

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ – ЗАЛОГ УСПЕШНОГО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Ахрименко Вячеслав Ефимович

доктор тех. наук, профессор Кубанского Государственного аграрного университета;

Пащевская Наталья Вячеславовна

канд. хим. наук, профессор Кубанского социально-экономического института

GROUTING MORTARS CHEMICAL TREATMENT AS GUARANTEE OF SUCCESS WELL CEMENTING

Akhrimenko Vyacheslav

Doctor of Technical Science, professor of Kuban State Agrarian University

Krasnodar;

Pashchevskaya Natalya

Candidate of Chemical Science, professor of Kuban Social Economic Institute,

Krasnodar;

Аннотация. *Приведены результаты исследования влияния химической обработки цементных растворов на их свойства, что обеспечивает достижение необходимых технико-технологических параметров за счет изменения поровой структуры и изолирующей способности тампонажного раствора и камня.*

Ключевые слова: *тампонажный раствор, изолирующая способность, прочность камня, коррозионная устойчивость, химическая обработка.*

Annotation. *The research results of chemical treatment influence on properties of cement solutions were presented. Chemical treatment of cement solutions ensures the achievement of necessary technical and technological characteristics at the expense of pore structure modification and changing the insulating property of grouting mortar and stone.*

Key words: *grouting mortar, insulating property, set strength, corrosion stability, chemical treatment.*

Важнейшим вопросом в общей проблеме строительства скважин является процесс их качественного цементирования, которому уделяется значительное внимание. Цементирование скважин в сложных геологических условиях во многих случаях не обеспечивает качественного завершения работ, что приводит к нефтегазоводопроявлениям или к поглощениям тампонажного раствора, и в конечном итоге наносит существенный урон окружающей природной среде. Возникновение осложнений при строительстве скважин – результат недостаточной изученности ряда факторов, определяющих формирование и долговечность цементного камня в течение длительного периода эксплуатации скважин. Для длительного выполнения цементным камнем своих функций в затрубном пространстве, необходимо соответствие его физико-механических свойств требованиям, отвечающим забойным температурам, и его химической стойкости по отношению к агрессивным пластовым водам, с которыми он соприкасается в процессе эксплуатации скважин [5,6].

Одним из основных требований, предъявляемых к тампонажному раствору, является его седиментационная устойчивость, обусловленная низкой фильтратоотдачей, а также прочность образующегося камня, особенно необходимая при установке цементных мостов и при креплении низа промежуточных и эксплуатационных колонн для предупреждения разрушения цементного кольца и сохранения его герметичности [7].

На основе теоретических и экспериментальных исследований нами разработан эффективный реагент комплексного действия, обеспечивающий цементным раствором низкую водоотдачу, высокую седиментационную и

изолирующую способность, а цементному камню – повышенную адгезию и прочность [1]. Разработанный порошкообразный понизитель фильтратоотдачи тампонажных растворов, предназначенных для цементирования скважин с забойной температурой до 75°C и получивший название КРТП-75, всесторонне исследовали на водоудерживающую способность и седиментационную устойчивость тампонажных растворов на основе цементов Новороссийского, Вольского и Сухоложского заводов. Исследованиями было установлено, что цементы этих заводов хорошо совместимы с жидкостью затворения на основе реагента КРТП-75. Водоотделение таких цементных растворов уменьшается в 5-7 раз, а водоотдача, измеренная на УВЦ-2 при перепаде давления 3,7 МПа – в 40-60 раз по сравнению с необработанными тампонажными растворами. Высокая седиментационная устойчивость цементного раствора, содержащего КРТП-75, указывает на значительное сопротивление порового пространства цементного раствора фильтрационным явлениям, что исключает образование флюидопроводящих каналов в зацементированном кольцевом пространстве скважины. Тампонажные растворы, обладающие высоким сопротивлением поровой фильтрации жидкости затворения особенно необходимы при цементировании скважин с близким расположением разномасштабных нефтегазовоносных пластов. Сопротивление порового пространства в структуре цементного раствора фильтрации жидкости затворения характеризует изолирующую способность тампонажной системы и количественно определяется начальным градиентом давления фильтрации, зависящей от проницаемости порового пространства, скорости роста прочностных связей структуры раствора и вязкости жидкости затворения.

Проведенные исследования показали, что тампонажные растворы, содержащие в своем составе реагент КРТР-75, обладают наибольшей величиной давлений фильтрации жидкости затворения (при 22 °С, $P=10$ МПа/м), в то время как этот показатель для цементных растворов, не содержащих добавок, достигает величины менее 1 МПа/м. Высокая изолирующая способность реагента КРТР-75 объясняется специфическими свойствами входящих в его состав компонентов. Так, метилцеллюлоза является хорошим структурообразователем и водоудерживающим реагентом при всех исследованных температурах. Молекулы аминокформальдегидной смолы, взаимо-

действуя за счет водородных связей с молекулами метилцеллюлозы, предупреждают ее гелирование при высоких температурах. Кроме того, адсорбированные на зернах цемента молекулы смолы, содержащие разнозаряженные функциональные группы, за счет электростатического взаимодействия расклинивающим образом действуют на цементные частицы, увеличивая их дисперсность, что вызывает рост числа контактных взаимодействий между частицами и приводит к более интенсивному структурообразованию и уплотнению структуры цементного камня. Описанные явления подтверждаются микроструктурой изломов образцов цементного камня (рис.).

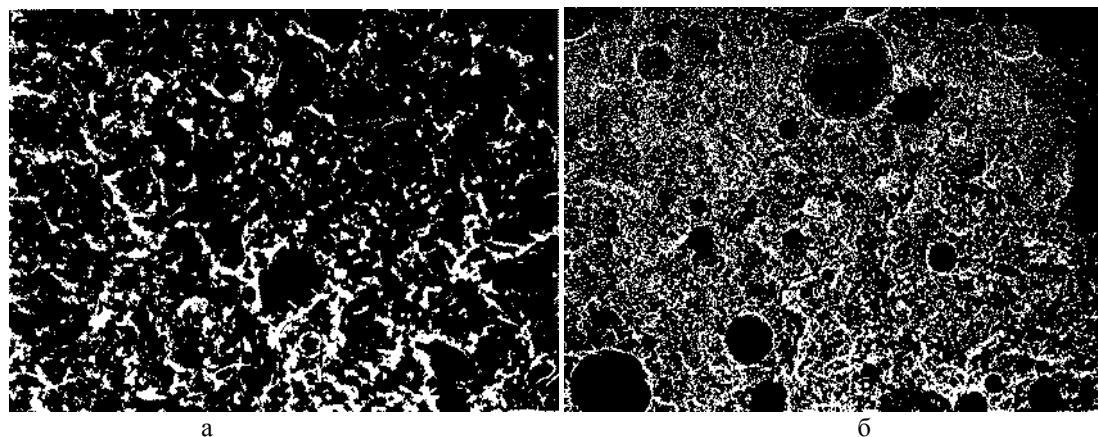


Рисунок. Структура цементного камня. а – цементный камень без реагента; б – цементный камень с 0,8% КРТР-75

Для предупреждения возможности прорыва пластовых вод по зацементированному заколонному пространству необходима низкая водопроницаемость и высокие значения прочности и адгезии образующегося цементного камня. Адгезию цементного камня к металлической поверхности определяли с помощью прибора – измерителя адгезии по методике, изложенной в работе [2]. Полученные экспериментальные данные показали, что величина адгезии цементного камня, содержащего карбамид в качестве химической обработки, увеличивается в исследованном интервале времени твердения и уменьшается с ростом процентного содержания реагента в цементном камне. Наличие же карбамида в цементном растворе позволяет снизить водоцементное отношение и получить цементный раствор с растекаемостью необработанного цементного раствора с $В/Ц = 0,5$. Величина адгезии цементного камня из первого раствора в 90-суточном возрасте в 2 раза (4,62 МПа) больше, чем величина адгезии камня из второго раствора (2,25 МПа).

Технологические и технико-экономические условия использования цементных вяжущих требуют, чтобы у высококачественных цементных вяжущих суточная прочность достигала 50% марочной прочности, то есть марочной прочности цементного камня, набираемой за 28 суток. Известно, что высокая прочность и скорость твердения цементного камня определяются скоростью гидратации и начальной плотностью упаковки цементного камня, связанной с водоцементным отношением, дисперсностью и минералогическим составом вяжущего. Поскольку прочность цементного камня и его пористость обратно пропорциональны, то для увеличения прочности камня необходимо искать пути снижения общей его пористости, что можно достичь уменьшением водоцементного фактора,

который возможно понизить применением понизителей вязкости – пластификаторов.

Для регулирования свойств цементного раствора и цементного камня, полученного на его основе, применяют различные модифицирующие добавки, вызывающие изменение седиментационной устойчивости раствора, его фильтратоотдачи и вязкости, а также поровой структуры образующегося камня, его адгезионных свойств, прочностных показателей и коррозионной устойчивости. Исследование указанных показателей цементного раствора и камня в зависимости от различных термобарических условий является актуальной задачей с научной и практической точек зрения. В этой связи нами проведены исследования по определению влияния карбамида и мелассы на реологические свойства цементного раствора, прочность цементного камня и его адгезию к металлической поверхности [3,4]. Меласса, отход сахарного производства, придает цементному раствору пластичность и подвижность. Пластифицирующее действие мелассы на тампонажные растворы обеспечивает возможность снижения их водосодержания и получения прочного цементного камня с плотной структурой и высокой адгезией. По нашему мнению это действие заключается в большом содержании сахаратов кальция общей формулой $CaO \cdot C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2H_2O$, которые, являясь электролитами, в водной среде образуют сахарат-анионы значительных размеров и хемосорбируются на активных зернах цемента, имеющих электрический заряд. Хемосорбированные сахарат-анионы прочно удерживаются атомами кальция, входящего в состав цементного клинкера, покрывают их защитной пленкой, выполняющей роль смазки, блокируют активные центры вяжущего и предупреждают их слипание и укрупнение. Кроме того

сахараты кальция, содержащиеся в тампонажном растворе, при смешивании его с глинистым раствором, нейтрализуют заряд мицеллы коллоидной глинистой частицы, в результате чего глинистая пленка на стенках колонны и скважины коагулирует, становится менее вязкой и хорошо смывается движущимся потоком тампонажного раствора. Очищенная поверхность обсадной колонны образует плотный контакт с затвердевшим цементным камнем.

Проведенные лабораторные исследования показали, что тампонажный раствор, содержащий в составе цемент, соль алюминия и гидросил, благодаря мелассе, введенной с жидкостью затворения придает ему необходимые технологические параметры. Так, тампонажный раствор, содержащий в своем составе 1,5% сульфата алюминия, 3,2% гидросила и 1,0% мелассы, начинает схватываться при 22 °С через 1 ч 15 мин, а бездобавочный тампонажный раствор при тех же условиях начинает схватываться через 7 ч 30 мин.

Содержащиеся в тампонажном растворе соли алюминия увеличивают общее число контактов взаимодействия цементных частиц, что сопровождается возникновением большого числа образований, пронизывающих весь объем гелевой структуры твердеющего тампонажного раствора. Поровое пространство гелевой структуры камня кольматируется мелкодисперсным гидросилом, что существенно повышает седиментационную устойчивость тампонажного раствора, его изолирующую способность и прочность образующегося камня.

Для длительной надежной изоляции затрубного пространства скважины цементным камнем, необходимо соответствие его физико-механических свойств забойным температурам, его химическая стойкость должна противостоять агрессивным пластовым водам, с которыми он соприкасается в процессе эксплуатации скважины. Коррозионную устойчивость цементного камня изучали методом выдерживания образцов в минерализованных растворах. Данный метод наиболее близок к реальным условиям работы цементного камня в скважине. В качестве жидкости затворения использовали питьевую воду, растворы КРТР-75 и минеральных солей, а в качестве агрессивных сред хранения образцов цементного камня использовали растворы NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄, MgCl₂ с концентрацией 50 г/л, что соответствует минерализованным пластовым водам. Такая же концентрация солей содержалась и в жидкости затворения цемента. Образцы цементного камня помещали в эксикатор с водой или растворами солей на 7, 14, 28 и 90 суток. По окончании сроков твердения образцы извлекали из эксикаторов и определяли их прочность на сжатие. Анализ результатов исследования показал, что во всех случаях добавки солей в цементный раствор, как содержащий КРТР-75, так и без него, повышают прочность цементного камня и в начальные сроки твердения, и в трехмесячном возрасте. Кроме того введение добавок NaCl в цементный раствор повышает коэффициент коррозионной стойкости (КС), определенный отношением показателя прочности камня, твердеющего в агрессивной среде, к показателю прочности камня, твердеющего в питьевой воде.

Твердение цементного камня, не содержащего Na₂SO₄ и добавок КРТР-75, в растворах Na₂SO₄ сопровождается снижением коэффициента стойкости (КС=0,88) по

сравнению с контрольными образцами, твердевшими в питьевой воде. Введение Na₂SO₄ в воду затворения повышает прочность камня в семисуточном возрасте на 20%, в 14-суточном – на 14% и в 90-суточном – на 9,4%. Для цементного камня, содержащего КРТР-75, повышение прочности достигает 26,5, 18,4 и 12,7% соответственно. Исследования показали, что цементный раствор, содержащий КРТР-75, образует цементный камень повышенной сульфатостойкости (КС=0,99) по сравнению с бездобавочным портландцементным камнем.

Введение в цементное тесто исследованных солей повышает прочность камня, как из чистого портландцемента, так и из портландцемента с добавкой кремнегеля. Уменьшение прочности, вызванное коррозией выщелачивания, не наблюдается в течение 180 суток. Образцы цементного камня из портландцемента с добавкой кремнегеля и солей магния, твердевшие в их растворах, являются более коррозионно устойчивыми (КС=0,9) против магnezальной коррозии, чем образцы камня из чистого портландцемента (КС=0,62).

Таким образом, результаты проведенных лабораторных исследований показали, что целенаправленное применение химических реагентов для обработки цементных растворов позволяет придавать им необходимые технико-технологические параметры, обеспечивающие успешное цементирование скважин в сложных горно-геологических условиях.

Список литературы:

1. Ахрименко В.Е. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка высокоэффективных буферных жидкостей, тампонажных растворов и понизителей фильтратоотдачи, обеспечивающих повышение качества крепления скважин / диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Краснодар, 2006.
2. Ахрименко В.Е. Облегченные тампонажные растворы для цементирования высокотемпературных скважин. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2006. - №5. – С. 34-36.
3. Ахрименко В.Е., Ахрименко З.М., Пашевская Н.В. и др. Влияние карбамида на реологические свойства цементного раствора и прочность камня. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2011. - №1. – С. 36-38.
4. Ахрименко В.Е., Пашевская Н.В. и др. Использование мелассы в качестве пластификатора тампонажных растворов. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2014. - №1. – С. 35-37.
5. Булатов А.И., Данюшевский С.С. Тампонажные материалы: учеб. Пособие для вузов. М.: Недра, 1978. – 280 с.
6. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. М.: Недра, 1990. – 440 с.
7. Ключев В.А. Улучшение свойств глиноцементных тампонажных композиций для цементирования арктических скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000. - №12. – С. 34-36.

СОШНИКОВАЯ ГРУППА СЕЯЛКИ ДЛЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА ТРАВ НА ПАСТБИЩАХ

Эвиев Валерий Андреевич

д.т.н., профессор Калмыцкого государственного университета, Элиста

Беляева Балюта Иринденевна

к.п.н., доцент Калмыцкого государственного университета, Элиста

Элешов Бембе Сергеевич

магистрант Калмыцкого государственного университета, Элиста

COULTER GROUP FOR THE WEED DIRECT SEEDING ON THE PASTURES

Eviev Valery, doctor of technical Science, professor of Kalmyk State University, Elista

Belyaeva Balyuta, candidate of Science, associate professor of Kalmyk State University, Elista

Eleshov Bembe, master student of Kalmyk State University, Elista

АННОТАЦИЯ

Представлена полезная модель усовершенствованной сошниковой группы для прямого посева трав на пастбищах. Раскрыт принцип работы усовершенствованной сошниковой группы.

ABSTRACT

This article presents the utility model of improved coultter group for the weed direct seeding on the pastures. Improved coultter group work principle is uncovered.

Ключевые слова: Сошник, посев по дерну, сеялка для прямого посева трав.

Keywords: Coultter, sod sowing, sod seeder.

Невысокий уровень продуктивности лугов и пастбищ чаще всего обусловлен плохим культуртехническим состоянием и недостаточным комплексом технических средств по уходу за травяным покровом. Для повышения продуктивности данных сельскохозяйственных угодий необходимо вводить в травостой ценные кормовые травы и создавать благоприятные условия для их развития, в том числе с применением более эффективной техники для посева кормовых трав.

Комплексная механизация работ по улучшению пастбищ традиционно включает предпосевную обработку почвы. Вместе с тем, обработка почвы – это наиболее трудоемкая и энергоемкая операция, поэтому выгоднее применять агротехнические приемы и технологические средства, позволяющие продлить срок продуктивной эксплуатации пастбищ и лугов без распашки.

Изучение конструкций отечественных и зарубежных сеялок позволило обратить внимание на возможность применения сеялок прямого посева для высева семян трав на пастбищах по дерну. Они позволяют выполнять посев без предварительной обработки почвы, но с заделкой семян на требуемую глубину высева.

Посев по дерну с минимальной обработкой почвы обладает рядом достоинств: не снижается плодородие почвы; остаются нетронутыми дикорастущие травы; обеспечивается защита почвы от эрозии за счет сохранения остаточного травяного покрова.

Особенностью сеялок прямого посева является то, что их сошники способны проникнуть в дерновую почву для размещения семян на определенной глубине, а затем засыпать их землей. Так, например, сошниковая группа сеялки Connor Shea Col Tyne Coultter drill, производимой австралийской фирмой John Shearer (Holdings) Limited, состоит из анкерных сошников, расположенных на расстоянии 150 мм друг от друга в два ряда, и отрезных ножей.

Данная сошниковая группа работает следующим образом: дисковый нож подрезает дерн на глубину высева семян, тем самым формирует центр будущей борозды, наральный анкерный сошник расширяет борозду, а его крыло окончательно формирует под дерном ложе, куда по

семяпроводу подается семя. Глубина посева в зависимости от типа почвы и влагообеспеченности изменяется от 6 до 37 мм и регулируется высотой установки двух опорных колес сеялки.

Достоинством данной схемы работы сошниковой группы является то, что она применима для посева семян трав на пастбищах в аридных зонах, где существует опасность ветровой эрозии почв.

Авторским коллективом преподавателей кафедры агроинженерии Калмыцкого государственного университета (д.т.н. Эвиев В.А., к.п.н. Беляева Б.И., магистрант Элешов Б.С.) предложена полезная модель сошниковой группы сеялки для прямого посева трав (Патент №125812).

Сошниковая группа (рис.1) состоит из рамы 4, на которой в передней части закреплены посредством подпружиненного соединения двухсторонние грабли 1 под углом 50-55° по отношению друг к другу. Два дисковых ножа-щелереза 2 закреплены посредством ступиц с двух сторон рамы со смещением по отношению друг к другу в горизонтальной плоскости на половину радиуса диска. Анкерный сошник с отвальчиком 3 имеет криволинейную стойку с профилированным носком и закреплен на раме болтовым соединением. К сошнику подсоединена трубка семяпровода 5. За сошником к раме на болтовом соединении крепится загорточ 6. Каток 7 прикреплен на поводках к косынкам рамы.

Технологический процесс осуществляется следующим образом: при движении посевного агрегата располагающиеся спереди на раме 4 двухсторонние грабли 1 удаляют из полосы обработки отмершую растительность, два дисковых ножа-щелереза 2 формируют с двух сторон борозду, анкерный сошник с отвальчиком 3 подрезает снизу пласт дернины в полосе обработки и оборачивает его вправо на необработанное междурядье. Непосредственно за сошником расположен семяпровод 5, посредством которого на дне борозды размещаются семена и загорточ 6, засыпающий поднятую дерновую землю назад в борозду и установленный следом каток 7 с возможностью регулировки в вертикальной плоскости посредством винтов для установления глубины высева семян, прикапывает почву.

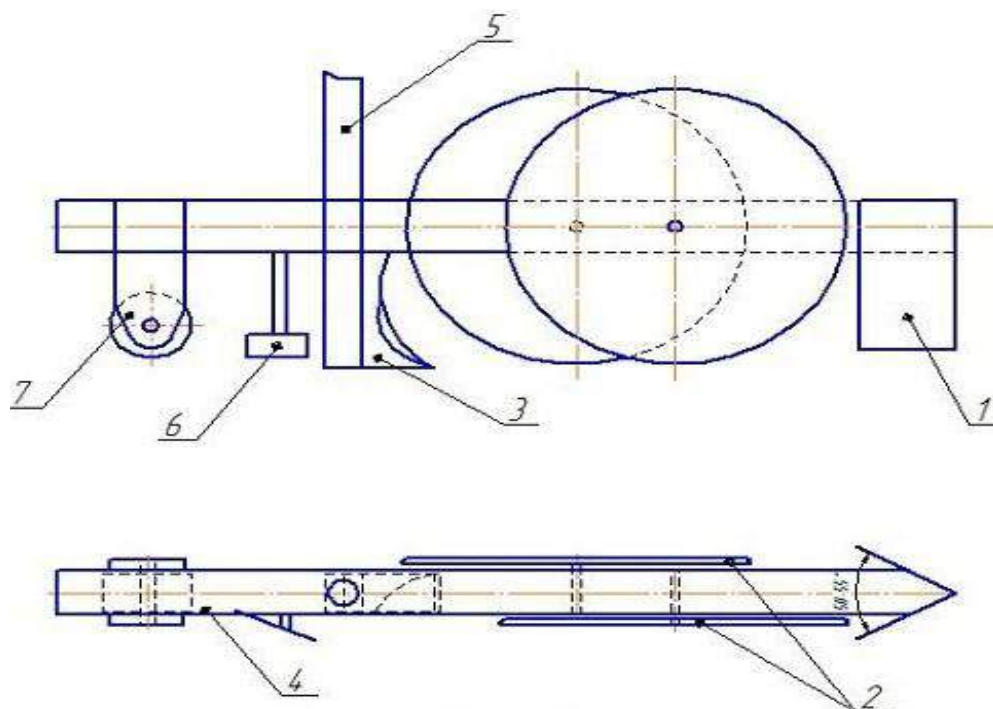


Рис 1. Сошниковая группа:

- 1 - двухсторонние грабли, 2 - дисковые ножи-щелперы,
 3 - сошник с отвальчиком, 4 - рама, 5 - семяпровод,
 6 - загортач, 7 - каток.

Технический результат применения такой сошниковой группы сведется к сокращению площади повреждаемой поверхности дернины и снижению энергоемкости прямого посева за счет уменьшения ширины посевной борозды; снижению риска ветровой эрозии почвы за счет уменьшения ширины посевной борозды и ее прикатывания. Следовательно, данная сошниковая группа может быть рекомендована для использования в регионах с засушливым климатом, в частности в аридной зоне Юга России.

Замена дисковых сошников зерновой сеялки на представленную выше сошниковую группу позволит проводить прямой посев семян дикорастущих кормовых культур (прутняк, житняк, волоснец и другие) на пастбищах. Известно, что дисковые сошники не могут равномерно заделывать семена на малую глубину, даже при ослабленных штанговых пружинах. В тоже время глубина заделки семян дикорастущих кормовых культур не должна превышать 1-2 см. Семена необходимо распределять равномерно по площади питания. Увеличение глубины заделки семян приводит к снижению их всхожести.

Предложенный авторами сошник может обеспечить требуемую глубину заделки семян и равномерность хода сошника по глубине за счет прижимной пружины и

катка, являющегося одновременно прикатывающим и опорным. Представленные рекомендации по модернизации сошниковой группы позволяют на базе зерновых сеялок прямого посева получить достаточно эффективную технику для посева дикорастущих кормовых культур на пастбищах и лугах.

Список литературы:

1. Зволинский В.Н., Любушко Н.И. Развитие конструкции зерновых сеялок прямого посева // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003, № 7. С. 28-32.
2. Sod Seeding Techniques. – [электронный ресурс] - Режим доступа – URL: [http://www1.agric.gov.ab.ca].
3. Пат.125812 РФ, МПК А01С7/20 Сошниковая группа сеялки для прямого посева трав / Б.И. Беляева, В.А. Эвиев, Б.С. Элешов; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калмыцкий государственный университет». - № 2012143894/13; заявл.15.10.2012; опубл. 20.03.2013, Бюл.№ 8.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ ПРУТКОВ ИЗ СТАЛИ 80P

Бойко Артём Борисович

аспирант Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE UNDER UNIAXIAL TENSILE STEEL RODS 80P

Boiko Artem Borisovich

Graduate student of Nosov Magnitogorsk State University Magnitogorsk

АННОТАЦИЯ

Исследовано напряженно-деформированное состояние прутков из стали 80P в процессе одноосного растяжения. Проведено моделирование процесса растяжения прутков сплошного сечения с использованием программного комплекса Simulia Abaqus. Результаты моделирования подтверждены данными испытаний на растяжение образцов из стали 80P на универсальной разрывной машине с использованием видеоэкстензометра для измерения абсолютного удлинения.

ABSTRACT

The stress-strain state of the steel rods 80R during uniaxial tension. The simulation process stretching rods of solid section using software package Simulia Abaqus. The simulation results were confirmed by tensile tests on specimens of steel 80P on a universal testing machine using a video extensometers to measure the absolute elongation.

Ключевые слова: растяжение, моделирование, стальной пруток.

Keywords: stretching, simulation, steel rod.

В настоящее время общемировой тенденцией, актуальной и для Российской Федерации, является увеличение массы и скорости движения подвижного состава при осуществлении пассажирских и грузовых перевозок железнодорожным транспортом. Данные условия определяют существенное повышение эксплуатационных нагрузок на железнодорожные пути, что в свою очередь определяет необходимость использования стальных прутков с повышенным уровнем механических свойств для армирования железобетонных шпал. В соответствии с ГОСТ 10629-88 в Российской Федерации для армирования железобетонных шпал в основном применяется стальная проволока при номинальном числе 44 элемента на одну шпалу. Использование стальных прутков диаметром 8-12 мм номинальным числом 4-8 прутков на одну железобетонную шпалу позволяет сократить расход металла в 5-10 раз при повышении уровня механических свойств. Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств стальной прутковой арматуры важным является вопрос выбора новых марок сталей, в том числе микролегированных, таких как 80P, 80ХФЮ и других, а также соответствующих технологий производства арматуры. При применении новой технологии производства прутковой арматуры важной проблемой является определение механических свойств и требований к микроструктуре, оказывающих существенное влияние как на технологический процесс производства, так и на функциональные свойства при эксплуатации. Одной из основных технологических операций, оказывающей существенное влияние на свойства получаемых прутков, является процесс волочения. Известно, что в данном процессе деформация обрабатываемого изделия осуществляется преимущественно под действием растягивающих напряжений. В соответствии с вышеизложенным, в данной работе представлены результаты моделирования процесса растяжения прутка из углеродистой стали 80P.

Моделирование осуществлялось в программном комплексе Simulia Abaqus. Данный комплекс основан на методе конечных элементов и обладает модульной структурой [1], позволяющей задавать исходные данные расчета в текущем модуле, что облегчает работу с данной

программой и представляет удобный интерфейс [2, 3]. Моделирование процесса растяжения позволяет оценить НДС прутка на всем периоде растяжения и разрушения [4] и спрогнозировать изменение механических свойств заготовки по всему сечению.

Методика и последовательность математического моделирования заключалась в реализации следующих этапов:

- построение геометрической модели образца;
- определение реологических свойств материала (сталь 80P) на основании феноменологических испытаний на одноосное растяжение;
- определение граничных условий процесса растяжения, позволяющих эмитировать поведение реального объекта с помощью его математической модели;
- разбиение геометрической модели на конечные элементы для расчета НДС в каждом узле;
- расчет и анализ результатов.

При исследованиях моделировалось растяжение прутков с однородной по сечению структурой. Поскольку крепление образца должно исключать проскальзывание и деформацию в области захватов, область крепления образца принята как жесткое тело. Длина рабочей части образца составляла 100 мм диаметром 16 мм. В качестве критерия разрушения использовалась модель пластичного разрушения (Ductile damage). Данный критерий применяется для прогнозирования наступления повреждения в результате зарождения, роста и слияния пустот в пластичных металлах. Модель предполагает, что эквивалентная пластическая деформация в начальной стадии разрушения является функцией напряженного состояния и скорости деформации.

На первом этапе исследования напряженно-деформированного состояния прутка при растяжении, моделировался процесс равномерного растяжения образца сплошного сечения. На рисунках для удобства оценки НДС выполнен продольный разрез образца.

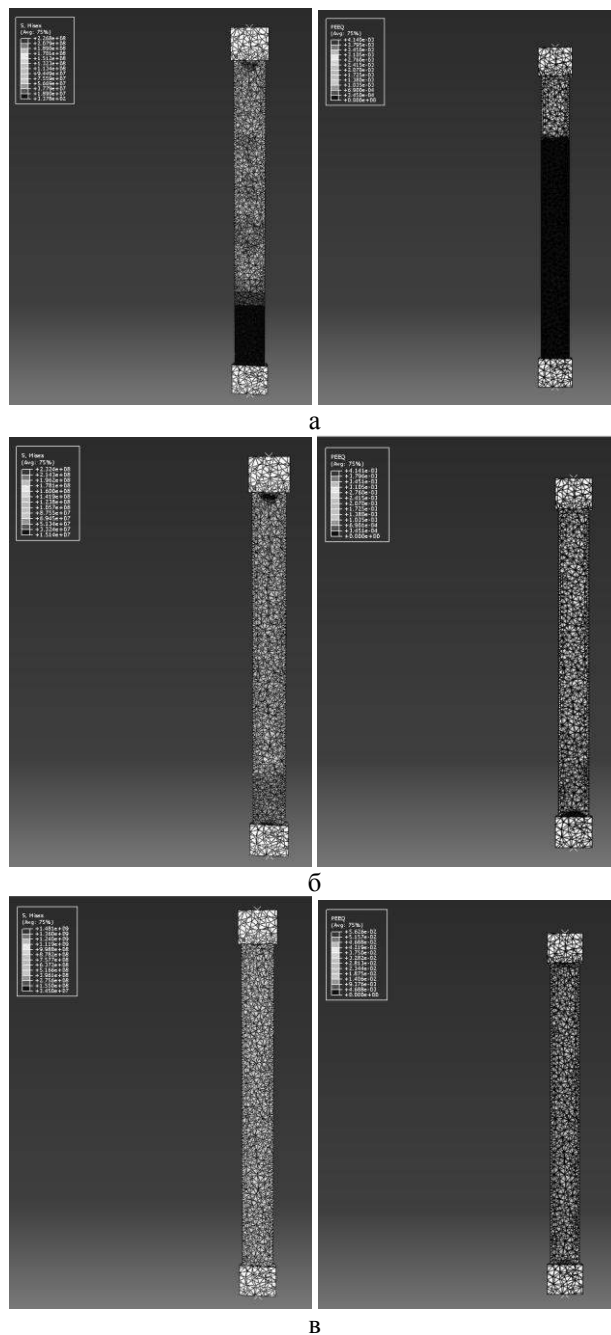


Рисунок 1. Распределение напряжений (слева) и деформаций (справа) модели образца сплошного сечения: а – в начальном этапе нагружения; б – при упругом деформировании; в) в области пластической деформации

На рисунке 1а представлены распределения эквивалентных напряжений и деформаций на начальном этапе нагружения. Можно выделить повышенные значения НДС в области приводного захвата образца (эквивалентные напряжения до 110 МПа, относительная деформация до 0,0009-0,0011). Дальнейший ход нагружения в области упругой деформации представлен на рисунке 1б, наибольшие эквивалентные напряжения сосредоточены вблизи поверхности образца (до 160 МПа), в осевой области напряжения напротив понижены (50-70 МПа). После превышения эквивалентным напряжением значения предела текучести напряженно-деформированное состояние выравнивается по всему сечению образца (рисунок 1 в). Значения эквивалентных напряжений составили 880-1000 МПа. Пониженные значения НДС в непосредственной

близости от захватов обусловлены особенностью моделирования абсолютно жесткого тела.

В ходе дальнейшего нагружения, наблюдается сосредоточение напряжений и деформаций в наиболее слабом сечении образца с образованием шейки. Деформация в области инициирования шейки 0,2 при среднем значении по сечению образца вне области шейки 0,055-0,074. После превышения предела прочности, наибольшие напряжения сосредоточены на границах шейки (1179-1287 МПа), в осевой области шейки напряжения напротив, снижены 535-750 МПа (рисунок 2а). Наибольшие значения деформации (рисунок 2б) сконцентрированы в центральной области шейки. Дальнейшее растяжение образца приводит к местному разрушению в осевой области шейки с последующим разрывом образца (рисунок 2в).

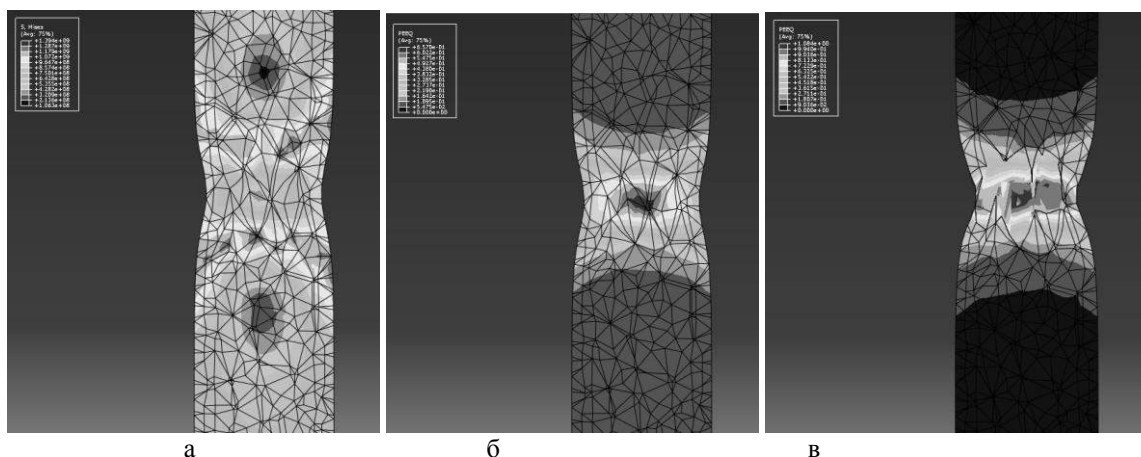


Рисунок 2. Распределение напряжений (а), деформаций (б) модели при образовании шейки и разрыве (в)

Для определения реологических свойств и оценки адекватности математической модели проведены испытания на растяжение образцов рабочей длиной 100 мм из стали 80P. Испытания проводились на универсальной испытательной машине AG-300kNIC с максимальной силой 300 кН, класс точности 1. Методика проведения испытаний на растяжение и обработка данных осуществлялась в

соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». Абсолютная деформация образца фиксировалась с помощью видеоекстензометра TRViewX 240S с точностью 6 мкм. Значения механических свойств определены как среднее значение данных испытаний пяти образцов. Результаты испытаний на лабораторной установке и сравнение с данными математического моделирования представлены в таблице.

Таблица

Сравнительный анализ данных испытаний на лабораторной установке и результатов математического моделирования

Вид испытания	Удлинение при образовании шейки, %	Относительная погрешность, %	Удлинение при разрыве образца, %	Относительная погрешность, %
Эксперимент	8,3	9,63	9,53	0,52
Моделирование	7,5		9,48	

В результате проведенной работы установлено, что результаты моделирования в программном комплексе соответствуют экспериментальным данным с погрешностью не более 9,63 % и могут быть использованы при разработке критериев годности изделий в производственном процессе. Проведенные в работе исследования, в частности при соответствующей постановке задачи, позволяют на основании математического моделирования прогнозировать механические свойства и НДС в процессах обработки давлением стальных заготовок под действием растягивающих напряжений. Постановка задачи будет включать в себя построение геометрической модели образца, определение реологических свойств материалов, соответствующих граничных условий и параметров расчета метода конечных элементов.

Список литературы

- Farrugia D., Cheong B. Multi-scale Modelling for Studying Ductile Damage of Free Cutting Steel // SIMULIA Customer Conference 2009. [электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://www.simulia.com/forms/world/pdf2009/Farrugia_SCC_2009.pdf. С 1.
- Drabek T., Bohm H.J. Unit cell studies of ductile damage in fiber reinforced metal matrix composites // European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2004.
- Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, № 4 (40) декабрь 2012 г. С 72-75.
- Yoshida K., Yamashita T., Tanaka A. Prevention of Wire Breaks in Gold Fine Wire Drawing and Improvement in Wire Straightening. // The 10th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2011. September 25 – 30, 2011. Aachen, Germany. Edited by: Gerhard Hirt, A. Erman Tekkaya. 297-301.

УДК 532.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КАЛИБРОВКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ДОННЫХ МАЯКОВ-ОТВЕТЧИКОВ С УЧЕТОМ РЕФРАКЦИИ СКОРОСТИ ЗВУКА

Борисов Алексей Алексеевич

канд. т. наук, филиал Южного федерального университета в г. Геленджике

Пивнев Петр Петрович

канд. т. наук, доцент Южного федерального университета

THE PROJECT OF CALIBRATION METHOD OF BOTTOM TRANSPONDER-BEACONS WITH THE REFRACTION OF SPEED OF SOUND

Alexei Borisov, Candidate of Science, branch office of South Federal University, Gelendzhik,

Petr Pivnev, Candidate of Science, associate professor of South Federal University

АННОТАЦИЯ

Целью работы является разработка метода калибровки глубоководных донных маяков-ответчиков. Данный метод предполагает свободный профиль движения судна и включает в себя соответствующие расчетные схемы определения горизонтальных координат и глубины. Данный метод разработан для глубоководной калибровки на больших полигонах, он может быть использован и на более мелких глубинах. Кроме того расчетные схемы могут быть использованы и для других методов калибровки, что свидетельствует об их универсальности.

ABSTRACT

The objective of the project is to develop a method of the calibration deep-water bottom transponder-beacons. The method proposes the free movement of a vessel and includes appropriate computational schemes for determining the horizontal coordinates and depth. The method is for deep-calibration at large ranges, the method can be use to shallower depths. Addition, the designed schemes can be use to for other calibration methods, that testifies to their versatility.

Ключевые слова: калибровка, маяк-ответчик, расчет координат.

Keywords: calibration, transponder-beacons, calculation of the coordinates.

Постановка задачи

Калибровка донных маяков-ответчиков является важнейшим фактором для успешной работы систем подводной навигации с длинной базой, которая признана наиболее точной, поскольку, ввиду большого количества маяков, расстояние между которыми на больших глубинах несколько сотен метров она охватывает полигон в несколько квадратных километров. Это позволяет точно описывать траекторию движения подводного аппарата (ПА) на глубинах в несколько километров, используя например метод триангуляции.

Методы калибровки полигона маяков основываются на многократном обмене сигналами между каждым донным маяком-ответчиком (ДМО) и приемо-передатчиком (ПП), который находится либо на дне судна, либо ради уменьшения помех вынесен на другой горизонт, называемый 0-м. Причем каждый ДМО работает на собственной частоте. Затем в режиме постобработки данных и определяются координаты всех маяков. Причем, как прямоугольные горизонтальные координаты, которые с помощью соответствующих формул могут быть переведены в геодезические, так и глубина.

Расчетными данными при однократном обмене сигналами являются:

1) горизонтальные координаты приемо-передатчика (ПП) сигнала от судна-сопровождения до ДМО. Они определяются с помощью приемника сигнала глобальной навигационной спутниковой системы GPS или ГЛОНАСС, установленного на судне. При этом всегда должно быть обеспечено стабильное положение ПП относительно судна-сопровождения, а его глубина и горизонтальные координаты относительно приемника должны быть известны.

2) Время T прохождения сигнала от ПП до ДМО, которое определяется с помощью судового блока обработки навигационной информации.

Многие методы калибровки не учитывают рефракцию скорости звука и пользуются понятием средней скорости звука, которая может быть определена лишь приближенно ввиду неизвестной глубины маяка особенно на глубоководных полигонах.

Также использование этих методов требует строгого профиля траектории движения судна относительно предполагаемого нахождения маяков [1], что увеличивает время калибровки особенно на больших полигонах. Кроме того на глубоководных полигонах горизонтальные координаты маяков могут существенно отличаться от горизонтальных координат точек их сброса из-за течения.

Задачей предлагаемого метода, учитывающего рефракцию скорости, служит устранение вышеуказанных недостатков. Он предполагает более свободный профиль движения судна и включает в себя соответствующие расчетные схемы определения горизонтальных координат и глубины.

Основными расчетными формулами данного метода при каждом обмене сигналами являются формулы (1) и (2), приведенные в работе [2]

$$T = \int_0^{HM} \frac{dz}{c(z)\sqrt{1-q^2c(z)^2}}, \quad (1)$$

$$S = \int_0^{HM} \frac{c(z)qdz}{\sqrt{1-q^2c(z)^2}}, \quad (2)$$

где $c(z)$ - зависимость скорости звука от глубины,

НМ- глубина ДМО, S- горизонтальное расстояние между ПП и ДМО, q- лучевой параметр, значение которого опре-

$$\text{деляется по формуле } q = \frac{\cos \alpha O}{c(O)}.$$

Лучевой параметр - величина постоянная для конкретного луча.

$c(O)$ -скорость звука на любом горизонте, $\cos \alpha O$ - соответствующий угол скольжения луча, изначально определенный приближенно.

Предварительные рассуждения

Поскольку профиль движения судна-сопровождения строго не фиксируется относительно какого-либо ДМО, появляется возможность оптимизировать его движение таким образом, чтобы получить максимальное количество информации от всех ДМО (по различным каналам связи) за минимально возможное время. После сбора данных начинается их статистическая обработка.

Как видно из формул (1) и (2) даже при известной зависимости профиля скорости звука от глубины, метод, получения которой будет описан ниже, они содержат три неизвестных величины S, НМ и q, причем последняя величина неопределенна из-за неточности определения угла скольжения конкретного луча.

Поэтому мы не можем однозначно определить значения S и НМ, используя эти формулы. Исключение составляет случай, когда судно находится прямо над маяком, поскольку угол скольжения – прямой (или близок к прямому). Поэтому возникает идея независимого определения одной из этих величин, а затем итерационным методом с помощью формул (1) и (2) получить значение второй.

Практика показывает, что из соображений симметрии вначале легче найти горизонтальные координаты

ДМО, а, следовательно, и значение S, а затем значение НМ.

Метод расчета горизонтальных координат

Расчеты горизонтальных координат всех маяков проводятся одним способом независимо друг от друга по данным, накопленным для каждого маяка, поэтому проиллюстрируем метод на примере одного ДМО.

В физической основе метода лежит тот факт, что скорость звука в воде зависит только от глубины и практически не зависит от горизонтальных координат, причем на фиксированной глубине скорость звука не зависит от направления волны.

Из вышесказанного следует, что если время прохождения сигнала от ДМО до двух различных точек одинаковое, то эти точки лежат на окружности, центром которой является проекция ДМО на горизонтальную плоскость (водную поверхность). Это также видно из анализа формул (1) и (2) поскольку при одинаковых значениях $c(z)$ и НМ величины S и T определяются значением параметра q, а он определяется начальным углом скольжения.

Отсюда следует, что, если в вышеуказанном случае одинаковых времен обозначить горизонтальное положение ПП в момент обмена сигналами с ДМО точками $A_{i1}(x_{i1}, y_{i1})$ и $A_{j1}(x_{j1}, y_{j1})$, то горизонтальные координаты ДМО должны лежать на перпендикуляре 3 к отрезку 1, соединяющему точки A_{i1} и A_{j1} и проходящему через его середину.

Если рассмотреть еще два положения ПП с одинаковыми временами (не обязательно совпадающими с первым) распространения сигнала до ДМО, горизонтальные координаты которых обозначим точками $A_{i2}(x_{i2}, y_{i2})$, $A_{j2}(x_{j2}, y_{j2})$, то получим второй перпендикуляр 4 к отрезку 2, на котором расположены горизонтальные координаты ДМО.

Очевидно, что горизонтальными координатами ДМО X_M, Y_M (точка O) будут координаты точки пересечения прямых 3 и 4 [3] (см. рис. 1).

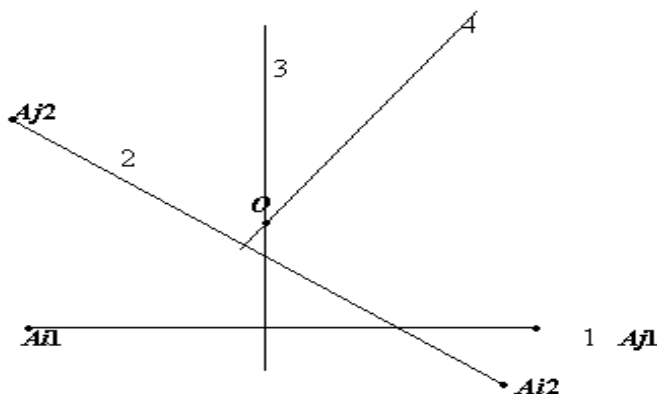


Рисунок 1. Однократное определение горизонтальных координат ДМО

При этом очевидно, что точки с одинаковыми временами должны лежать по разные стороны от соответствующих перпендикуляров.

Таким образом, можно видеть, что метод вычисления горизонтальных координат основан на использовании двух пар точек, а поскольку он является статистическим, то необходимо стремиться к получению максимально возможного числа пар. При этом, в зависимости от требования к точности /точки у которых времена распространения сигнала от ПП до ДМО отличаются не более чем на

$0.5 \div 1$ мс можно считать точками с одинаковыми временами.

Если число пар мало, то необходимо введение дополнительных пар, образующихся после проведения соответствующего расчета.

Данный расчет проводится для тех точек A_i и A_j , для которых разность времен не превышает 3мс.

Его суть заключается в корректировке координат одной из точек (например A_j). После чего вместо первоначальной точки A_j с координатами x_j, y_j и временем t_j

образуется новая точка A_{jn} с координатами x_{jn}, y_{jn} и временем $t_{jn}=t_i$, которая и будет наряду с точкой A_i образовывать пару.

Проиллюстрируем методику корректировки с помощью рисунка 2

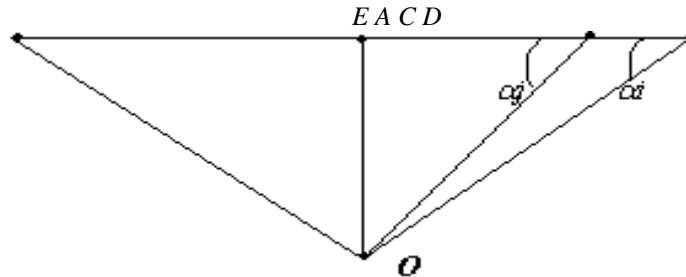


Рисунок 2. Нахождение дополнительных «пар точек»

На рис. 2: O - точка, в которой находится ДМО; E - точка на водной поверхности с горизонтальными координатами x_i, y_i ; C - точка на водной поверхности с горизонтальными координатами x_j, y_j ; D - точка на водной поверхности с горизонтальными координатами x_{jn}, y_{jn} , лежащая на той же прямой, что и точки E и C ; A - точка пересечения перпендикуляра, опущенного из точки O с прямой, на которой лежат точки E, C и D ; $\angle \alpha_j$ - угол ACO ; $\angle \alpha_i$ - угол ADO . Причем $EA = AD$ и $\angle \alpha_i = \angle AEO$, ввиду того, что времена t_i и t_{jn} совпадают. Кроме того, для определенности полагаем, что $t_i > t_j$.

Сначала определим уравнение прямой EC $y = a * x + b$, коэффициенты которого определяются по формулам $a = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}, b = \frac{y_j * x_i - y_i * x_j}{x_i - x_j}$.

Затем вычислим расстояние R между точками C и D . Из рисунка 2 следует $R = c_{zopi} * t_i - c_{zopj} * t_j$, где c_{zopi} и c_{zopj} - горизонтальные проекции средней скорости при распространении гидроакустических лучей по траекториям OD и OC соответственно. Проекции c_{zopi} и c_{zopj} рассчитываются по формулам $c_{zopi} = c * \cos \alpha_i, c_{zopj} = c * \cos \alpha_j$ где c - средняя скорость звука, являющаяся функцией глубины. В качестве средней скорости лучше всего выбрать среднегармоническую скорость звука или измерить ее значение с помощью эхолота.

Величину $\cos \alpha_j$ можно приближенно рассчитать по формуле $\cos \alpha_j = \frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{2ct_j}$, что

следует из рисунка 2. С помощью него также выводятся формулы для определения $\cos \alpha_i$. Расчет происходит в

следующей последовательности: $\sin \alpha_j = \frac{AO}{ct_j}$,

$$\sin \alpha_i = \frac{AO}{ct_i}, \quad \frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_j} = \frac{t_j}{t_i},$$

$$\cos \alpha_i = \sqrt{1 - \frac{t_j^2 (1 - \cos^2 \alpha_j)}{t_i^2}}.$$

Таким образом, мы определили значения всех величин, используемых для расчета расстояния R между точками C и D .

На последнем этапе координаты точки C корректируются путем сдвига на расстояние R вдоль прямой EA (в данном случае вправо) и определяются координаты точки D , которая вместе с точкой A образует новую пару.

После получения достаточного количества пар путем комбинаций различных двух пар многократно рассчитываются горизонтальные координаты маяка (см. рисунок 1).

В результате образуются два массива горизонтальных координат $XМ$ и $YМ$, элементы которых обозначим XMi и YMi (одинаковый индекс i соответствует координатам $XМ$ и $YМ$, полученным в одном расчете).

По данным каждого массива вычисляются наиболее вероятные значения горизонтальных координат $XМ$ и $YМ$. Поскольку все пары точек "равноправны" относительно друг друга, в качестве наиболее вероятных значений горизонтальных координат ДМО следует принимать средние значения элементов массивов, определяемые по формулам

$$XМ = \frac{\sum_{i=1}^N XMi}{N},$$

$$YМ = \frac{\sum_{i=1}^N YMi}{N},$$

где N - число элементов в каждом массиве.

Далее для обоих массивов рассчитываются средние квадратичные отклонения (СКО) значений $XМ$ и $YМ$ по формулам

$$\sigma X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (XMi - XM)^2}{N(N-1)}}$$

$$\sigma Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (YMi - YM)^2}{N(N-1)}}$$

После вычисления значений σX и σY необходимо исключить те элементы массивов, которые с большой вероятностью были рассчитаны по данным, поступившим во время аппаратного сбоя системы. При исключении элементов используется критерий отсева 3σ , то есть исключаются те элементы, значения которых удовлетворяют хотя бы одному из условий:

$$|XMi - XM| \geq 3 * \sigma X$$

$$|YMi - YM| \geq 3 * \sigma Y$$

Причем исключение элементов происходит одновременно в обоих массивах. Затем значения координат и их СКО вычисляются повторно, после чего расчет горизонтальных координат можно считать законченным.

Заметим, что при проведении расчетов результаты измерений подчинялись нормальному закону, что можно дополнительно проверить, используя критерий Пирсона.

Метод расчета глубины

Расчеты глубин всех маяков так же, как и горизонтальных координат проходят одним способом независимо друг от друга по данным, накопленным для каждого маяка, поэтому снова проиллюстрируем метод на примере одного ДМО.

В отличие от расчета горизонтальных координат при расчете глубины необходимо знать зависимость $s(z)$. По мнению авторов [4] наиболее точная зависимость получается прямыми измерениями с помощью зонда до глубины 1.5 км, а затем для больших глубин построением функциональной зависимости с постоянным градиентом скорости звука с помощью метода наименьших квадратов. Методика построения такой зависимости приведена автором в вышеуказанной работе.

На первом этапе для каждого положения ПП в момент обмена сигналами между ним и ДМО рассчитываем горизонтальную дальность по формуле

$$Si = \sqrt{(xi - XM)^2 + (yi - YM)^2}$$

Таким образом, мы получим многочисленное число пар значений Si и Tmi , по каждой из которых вычисляется значение HM_i .

Рассмотрим методику получения значения HM по одной паре значений S и T . Для этого обратимся к уравнениям (1) и (2). После нахождения S система этих уравнений содержит только две неизвестные величины q и HM и является однозначно разрешимой.

Как было показано в работе [4], данная система решается методом итераций с применением численных методов. Причем возможно несколько способов ее решения. В работе [4] показана методика решения путем корректировок значений лучевого параметра q . В данной работе приведем методику, связанную с корректировками глубины.

Обозначим HM_0 начальную глубину ДМО, вычисленную приближенно, например, с помощью эхолота. Подставим данное значение в уравнение (1) и численным методом вычисляем лучевой параметр, значение которого обозначим q_0 . Затем численным методом вычисляем интеграл в уравнении (2), значение которого обозначим S_0 .

Далее сравниваются значения величин S и S_0 , и проводится первичная корректировка значения глубины. Очевидно, что поскольку при одинаковом времени распространения сигнала глубина и горизонтальная дальность обратно пропорциональны, то при $S_0 > S$ глубину необходимо увеличить, в противном случае - уменьшить.

Скорректированное значение глубины обозначим HM_1 , подставим его в уравнение (1) и проделаем те же самые операции, получим значение S_1 и сравним его с S и т.д.

Итерационный процесс продолжается n раз до тех пор, пока разность между значениями S_n и S станет пренебрежимо малой (порядка нескольких сантиметров). В этом случае величина HM_n и будет равна глубине маяка HM .

После обработки всех пар, полученный массив глубин ДМО подвергается статистической обработке, которая полностью аналогична методике статистической обработке горизонтальных координат. Формулы обработки массива из N элементов имеют вид:

$$HM = \frac{\sum_{i=1}^N HM_i}{N}$$

$$\sigma HM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (HM_i - HM)^2}{N(N-1)}}$$

При исключении элементов также используется критерий отсева 3σ , а для проверки соответствия распределения нормальному распределению - критерий Пирсона.

После проведения расчетов процесс определения глубины можно считать законченным.

Оценка точности калибровки

После получения значений горизонтальных координат и глубины ДМО процесс калибровки можно считать законченным. Следующей задачей является оценка ее точности. Обычно в качестве величины, для которой проводится оценка точности, является наклонная дальность DM между ПП и ДМО, а точнее ее относительная погрешность. Проблемой такой оценки является тот факт, что наклонная дальность различна при различных положениях судна и ДМО относительно друг друга. Однако, если считать горизонтальные координаты и глубину независимыми величинами, то такая оценка является возможной, поскольку в этом случае СКО наклонной дальности можно определить по формуле

$$\sigma DM = \sqrt{(\sigma XM)^2 + (\sigma YM)^2 + (\sigma HM)^2}$$

При этом наклонная дальность рассчитывается по формуле

$$DM = \sqrt{SM^2 + HM^2}$$

Где SM – среднее значение горизонтальной дальности равно

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^N SM_i}{N}$$

Относительная погрешность наклонной дальности обычно считается в процентах по формуле

$$\frac{\sigma D}{D} * 100\%$$

Затем вычисленное значение сравнивается с требуемым значением точности, после чего делается вывод о точности калибровки. Обычно требуемая точность лежит в интервале (5÷10)%.

Заметим, что точность калибровки зависит не только от профиля движения и метода расчета, но и от процентного количества «грубых» погрешностей измерений, связанных, как правило, с аппаратным сбоем. Часть этих измерений фильтруются критерием отсева 3σ , однако, если их количество превышает 10÷20%, то высоко-точная калибровка невозможна. При этом, чем больше «грубых» погрешностей, тем менее первоначально полученный массив значений удовлетворяет закону нормального распределения. Поэтому для проверки качества измерений и используется критерий Пирсона.

«И, наконец, основным прямым критерием проверки, является критерий триангуляции, суть которого заключается в непрерывности траектории движения подводного аппарата, при переходе определения его координат

от одной тройки ДМО, определяемой его положение к другой. Отсутствие точек разрыва траектории движения при переходе от одной тройки ДМО к другой, с учетом, как горизонтальных, так и глубинных координат является основным фактором правильности проведения расчетов, хотя и не гарантирует от систематической ошибки, связанной с градуировкой измерительных приборов» [4].

В заключении заметим, что хотя данный метод разработан для глубоководной калибровки на больших полигонах, он может быть использован и на более мелких глубинах. Кроме того расчетные схемы могут быть использованы и для других методов калибровки, что свидетельствует об их универсальности.

Список литературы:

1. Милн П.Х. Гидроакустические системы позиционирования.- Л.: Судостроение, 1989-232с.
2. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. -Л.: Гидрометеоиздат, 264с.
3. Борисов А.А., Гольдефус Е.А., Кер-Оглы Г.М. Метод определения горизонтальных координат донного маяка-ответчика.-II Всероссийская научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов. Сборник трудов. Том 2.- Геленджик 2013.- 5-8с.
4. Борисов А.А. Метод расчета глубины донного маяка-ответчика, находящегося на глубине нескольких километров.- Матеріали 8 Міжнародної науково-практичної конференції. Том 3. Наукові дослідження в технічних галузях.- Дніпропетровськ Видавець Біла К.О., 2013.-80-87с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ, В ПРОИЗВОДСТВЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Бухарова Екатерина Александровна

аспирант, заведующая аналитической лабораторией «Промышленная экология» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А

Татаринцева Елена Александровна

канд. техн. наук, доцент Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А

Забудьков Сергей Леонидович

канд.хим. наук, доцент Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А

PROSPECTS OF APPLICATION OF THERMOEXPANDED GRAPHITE COMPOUNDS PRODUCED BY ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS IN PRODUCTION OF SORBENTS FOR WATER TREATMENT

Bukharova Ekaterina

Post graduated student, head of analytical laboratory «Industrial ecology» of Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Saratov State Technical University» Engels Technological Institute (branch)

Tatarintseva Elena

Candidate of Science, associate professor of Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Saratov State Technical University» Engels Technological Institute (branch)

Zabud'kov Sergei

Candidate of Science, associate professor of Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Saratov State Technical University» Engels Technological Institute (branch)

АННОТАЦИЯ

В статье описывается способ получения терморасширенного графита (ТРГ) с помощью электрохимического синтеза и создание таблетированного сорбента на его основе. Нами предложено таблетирование ТРГ, используя порошкообразный полиэтилентерефталат в качестве связующего. Изучение морфологии поверхности показало, что

сорбент имеет рыхлую пористую поверхность и значительное количество углублений во всем объеме таблетированного сорбента. Установлено, что сорбент имеет высокую степень очистки воды от нефтепродуктов (до 99%), что позволяет нам рекомендовать его в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод.

ABSTRACT

The paper describes a method of producing thermoexpanded graphite (TEG) using electrochemical synthesis and the creation of a tablet sorbent based on it. We have proposed the tableting of TEG using powder polyethylene terephthalate as a binder. The studying of the surface morphology revealed that the sorbent has a loose porous surface and a significant amount of indentations in the entire volume of tablet sorbent. It is found that the sorbent has a high degree of water purification from oil products (up to 99%), which allows us to recommend it as a sorption material for wastewater treatment.

Ключевые слова: терморасширенный графит; таблетирование сорбента; морфология поверхности; сорбционные свойства; очистка сточных вод от нефтепродуктов.

Key words: thermoexpanded graphite; tableting of sorbent; morphology of surface; sorption properties; wastewater treatment from oil products.

На сегодняшний день известно множество способов очистки сточных и поверхностных вод от загрязнителей. Использование сорбционных методов очистки воды позволяет решить одновременно ряд задач: получение воды, пригодной для повторного использования в технических целях или отвода в естественные водоемы, а также позволяет снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

В связи с этим создание эффективных сорбционных материалов весьма актуально и имеет большое научно-практическое значение.

В качестве адсорбентов для очистки воды от токсичных загрязнений наиболее широко применяются различные углеродные материалы и многочисленные композиты на их основе. К перспективным материалам для таких целей относят терморасширенный графит (ТРГ). ТРГ имеет широкий спектр применения, в том числе в качестве адсорбента для водоочистки и водоподготовки [1]. Терморасширяющиеся соединения графита (ТРСГ) представляют собой слоистые структуры, которые содержат интеркалированные частицы между графеновыми плоскостями. Быстрым нагревом таких соединений получают терморасширенный графит (ТРГ), представляющий собой пеноподобную структуру из чистого углерода с низкой насыпной плотностью. В промышленных масштабах ТРСГ полу-

чают химическим способом, который заключается в обработке дисперсного графита концентрированными растворами кислот (H_2SO_4 , HNO_3), с добавлением сильных окислителей. Преимуществом данного метода, благодаря которому он и получил свое распространение, является его простота, однако из-за введения окислителей ТРСГ сильно загрязнены продуктами их восстановления и требуют дополнительной очистки. Химический синтез трудноуправляем, что осложняет возможность получения соединений заданного состава с необходимыми свойствами [2].

В представляемом нами решении по созданию сорбентов на основе ТРГ предлагается применять электрохимический синтез для получения ТРСГ, основанный на анодном окислении дисперсного графита в растворе HNO_3 . Электрохимическая технология позволяет осуществлять синтез в управляемом режиме, при этом не требует высокой чистоты электролита. Это дает принципиально новую возможность использовать отработанные азотнокислые растворы травления гальванических производств [3].

В экспериментальных исследованиях использовались дисперсный графит марок GB/T 3518-95, 3520-95, 3521-95 производства КНР со следующими характеристиками (табл.1).

Таблица 1

Физико-химические показатели графита

Зольность, %	Массовая доля, %		Размер зерна графита, мкм
	влаги	серы	
Не более 0,2	Не более 0,9	Не более 0,03	250÷300

В качестве рабочего электрода использовалась суспензия графит – отработанный раствор травления деталей из медных сплавов предприятия ООО ЭПО «Сигнал» (г. Энгельс, Саратовская обл.). Данный раствор электролита для анодной обработки содержит в своем составе 63% азотной кислоты. Загрузка по сухому графиту составляла 1 г, объем электролита составлял 10-12 мл. Материалом катода служил титан. Во избежание короткого замыкания между поршнем и суспензией помещалась диафрагма из полипропиленового фильтра полотна. Все электрохимические измерения проводились на электронном потенциостате Р-30S. Потенциометрические и потенциодинамические измерения на платине проводились в трехэлектродной ячейке с плоско-параллельными электродами, рис.1.

После завершения электрохимического синтеза окисленный графит подвергали гидролизу: реакционную смесь быстро разбавляли дистиллированной водой ($t = 15\div 18^\circ C$) при перемешивании. Образцы выдерживались в воде в течение 15 минут. После чего твердую фазу отфильтровывали на воронке Бюхнера и промывали холодной дистиллированной водой до $pH = 5\div 7$. Удельный расход воды на гидролиз нитрата графита составлял 100 мл, на промывку полученного окисленного графита – 500 мл H_2O в расчете на 1 г продукта.

После гидролиза синтезированные образцы отфильтровывали и сушили до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре $50\text{--}60^\circ C$.

Термообработку интеркалированного графита проводили в муфельной печи в течение 10 минут при температуре $250^\circ C$.

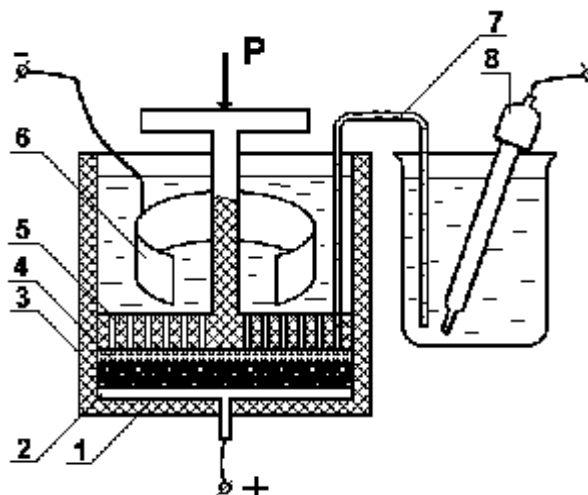


Рис. 1. Электрохимическая ячейка для синтеза ТРСГ: 1 – корпус из фторопласта; 2 – платиновый токоотвод анода; 3 – дисперсный графитовый анод; 4 – диафрагма из полипропиленовой ткани; 5 – перфорированный фторопластовый поршень со штоком для передачи давления; 6 – катод; 7 – электролитический ключ; 8 – электрод сравнения (хлорсеребряный электрод).

Насыпную плотность замеряли по стандартной методике ВНИИЭИ (ОСТ 16-0689.031-74). Для определения объема полученный пенографит помещали в цилиндр емкостью 350 мл, затем определяли точный вес исследуемой пробы. Исходя из полученных величин рассчитывали насыпную плотность ТРСГ по формуле:

$$d_{\text{ТРГ}} = m_{\text{ТРГ}} / V_{\text{ТРГ}} \quad (1)$$

$d_{\text{ТРГ}}$ – насыпная плотность терморасширенного графита;

$m_{\text{ТРГ}}$ – масса терморасширенного графита;

$V_{\text{ТРГ}}$ – объем терморасширенного графита.

ТРГ является материалом нового поколения и обладает всеми положительными качествами графита: химическая инертность, гидрофобность, большая удельная поверхность, устойчивость к агрессивным средам. ТРСГ имеет широкий спектр применения, в том числе в качестве адсорбента для водоочистки и водоподготовки.

Основная техническая сложность использования ТРСГ в качестве сорбента связана с пухообразной, воздушной структурой материала (рис.1, а).



а)



б)

Рис.1. Структура а) ТРСГ, б) таблетированный сорбент на его основе

В выпускаемых промышленностью адсорбционных материалах в качестве связующего широко используются полимерные материалы [1]. В представляемом нами техническом решении предлагается таблетирование ТРСГ, используя в качестве связующего ранее изученный нами сорбент на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) [4]. Материал на основе ПЭТФ представляет собой мелкодисперсный порошок, полученный методом осаждения из раствора ПЭТФ в системе бензиловый спирт-дибутилфталат. При 150-170 °С раствор представляет собой легкоподвижную жидкость. При охлаждении раствора до комнатной температуры ПЭТФ выпадает в виде мелкодисперсного

порошка с размером частиц 15-80 мкм. После промывки ацетоном и сушки при 100°С для улетучивания ацетона порошкообразный ПЭТФ может быть применен в качестве фиксатора структуры при производстве таблетированного сорбента на основе ТРСГ (рис 1б).

Композиционный сорбент получали перемешиванием ТРСГ (насыпной плотностью 3,2 г/дм³, терморасширенный при 250 °С) с порошковым ПЭТФ с последующим формованием таблеток при температуре 240-250 °С. Для предотвращения выгорания ПЭТФ обработку проводили в бескислородной среде. В результате получали таблетки ТРСГ, скрепленные полимерной матрицей. Варьирование

соотношением содержания ТРГ и ПЭТФ в смеси позволяет получить таблетированный сорбент с различной механической прочностью и морфологией. Установлено, что таблетки с содержанием связующего от 20 масс. % обладают достаточными прочностными свойствами (истираемость, измельчаемость), предъявляемыми к сорбционным материалам в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51641-2000.

Удельный расход сорбента и соответственно экономичность сорбционной технологии в значительной мере определяются морфологией его поверхности и пористой структурой [5]. Неоднородность поверхности сорбента и наличие большого количества пор и углублений различной формы и размеров являются одними из важнейших факторов, обеспечивающих прочное удерживание сорбата на поверхности и в объеме сорбента[6].

Микроструктурные исследования показали, что сорбент обладает не только рыхлой пористой поверхностью (рис.2, а), но и большим количеством неровностей и углублений различной формы и размеров во всем объеме (рис.2. б).

Для характеристики микропор размером 1 нм была изучена сорбционная емкость таблетированного сорбента на основе ТРГ по йоду. Адсорбционная активность по йоду составила 34%, что соответствует требованиям ГОСТ 6217-74, предъявляемым к активированному углю марки ДАК, который применяется для очистки сточных вод. Краситель метиленовый голубой является веществом-маркером для характеристики мезопор размером 1,5-1,7 нм. Сорбционная активность по метиленовому голубому, равная 22 мг/г, указывает на небольшое количество пор данного типа в исследуемом сорбенте.

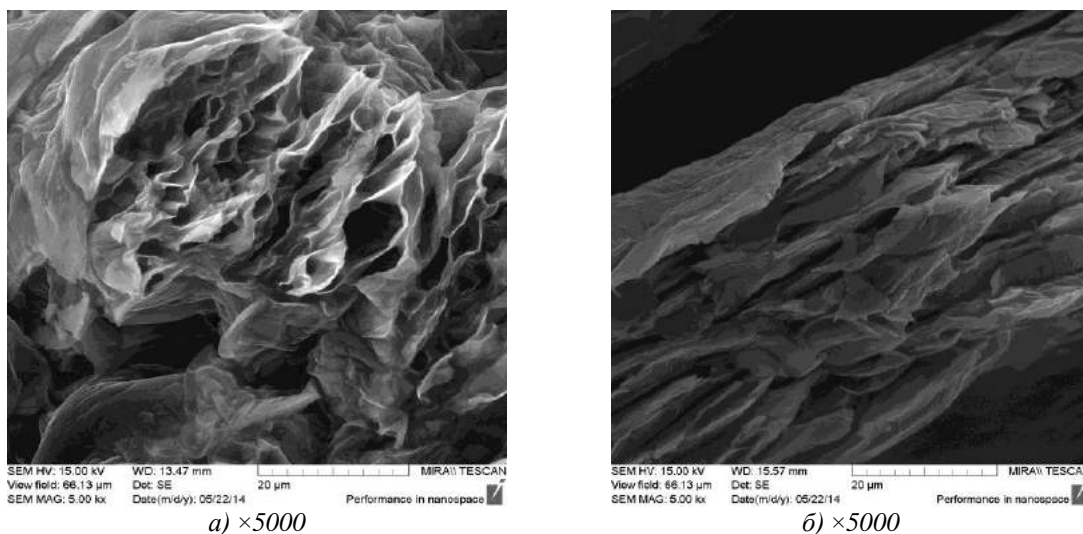


Рис. 2. Микроструктурные исследования таблеток на основе ТРГ:
а – поверхность; б – внутренняя структура

Нами изучены сорбционные свойства таблетированного сорбента на основе ТРГ по отношению к НП. Исследование процесса сорбции нефтепродуктов проводилось в статических условиях (скорость перемешивания $2,5 \cdot 10^3$ об/мин, время контакта фаз 1 час) на модельных системах вода – НП. Статические условия предусматривают временный контакт фаз при перемешивании с последующим их разделением. В

качестве нефтепродуктов использовался бензин марки АИ-92. Концентрацию НП измеряли методом инфракрасной спектроскопии на приборе «КН-3».

Установлено, что при введении 0,02 г сорбента на 100 мл в модельную систему НП эффективность очистки достигает значений, равных 90-99 % в зависимости от начальной концентрации НП, табл. 2.

Таблица 2

Зависимость эффективности очистки от начальной концентрации НП в воде

С нач, мг/л	С кон, мг/л	Эф-ть, %
14	0,099	99,3
70	1,38	98
140	5,23	96,3
210	12,12	94,2
238	13,27	94,4
280	15,41	94
350	21,05	94
420	39,93	90,5

Изучали возможность использования данного сорбента для сбора нефтепродуктов с поверхности воды.

Характеристика сорбента для сбора нефтепродуктов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика сорбента для сбора нефтепродуктов с поверхности воды

Наименование показателя	Значение
Нефтеемкость (по нефти Илишевского месторождения), г/г	12,1
Маслоемкость (по машинному маслу И-20А), г/г	3,1
Плавучесть 24 часа, %	100
Плавучесть 48 часов, %	100
Плавучесть 72 часа, %	100
Плавучесть 96 часов, %	100

В результате проведенной работы представлен способ получения таблетированного сорбента на основе ТРГ, полученного из ТРСГ электрохимическим синтезом, основанным на анодном окислении дисперсного графита в отработанном азотнокислом растворе травления гальванических производств. В качестве связующего предложен ПЭТФ, полученный по описанной в статье технологии.

Изучение морфологии поверхности показало, что сорбент обладает рыхлой пористой поверхностью и значительным количеством неровностей и углублений различной формы и размеров во всем объеме таблетированного сорбента.

Установлено, что сорбент имеет высокую степень очистки воды от нефтепродуктов (до 99%), что позволяет рекомендовать его в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод.

Список литературы:

1. Финаенов А. И., Кольченко А. С., Яковлев А. В., Финаенова Э. В., Колесникова М. А. Адсорбенты на основе терморасширенного графита. // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2011, №2, С. 46 – 54.
2. Электрохимический синтез терморасширяющихся соединений графита в отработанных азотнокислых растворах травления / Забудьков С. Л., Медведева М. В., Мокроусов А. А., Финаенов А. И. // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. - 2013. - Т. 56, № 5. - С. 115-118
3. Забудьков С. Л., Применение в электрохимическом синтезе терморасширяющихся соединений графита электролитов на основе гальванических отходов вместо растворов кислот / С. Л. Забудьков, М. В. Медведева, А. А. Мокроусов, А. И. Финаенов // Восьмая Международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедения, технология», 25 – 28 сентября 2012 года, Московская обл., г. Троицк – 2012 – С. 182 – 183.
4. Е. А. Татаринцева, Е. А. Бухарова, Л. Н. Ольшанская. Сорбционный материал для очистки воды от нефтепродуктов. Экология и промышленность России, №7, 2014 г. стр. 26-28.
5. Когановский А. М., Клименко Н. А., Левченко Т. М., Рода И. Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. 256 с.
6. М. Г. Иванец, Т. Н. Нева, Т. А. Савицкая, Д. Д. Гриншпан. Морфология поверхности и пористая структура углеродных сорбентов. <http://elib.bsu.by/handle/123456789/15937>

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

Буканов Жомарт Магатович

Аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения

Закирова Альфия Резавановна

К. т. н., доцент кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения

STUDY OF ELECTROMAGNETIC FIELDS WITH SOFTWARE IN THE WORKPLACE ELECTRICIANS

Bukanov ZHомart Magatovich

Graduate student "Technosphere Safety" Ural State University of Railway Transport

bukanovjm@mail.ru

Zakirova Alfija Rezavanovna

Ph.D., Associate Professor of "Technosphere Safety" Ural State University of Railway Transport

Alfij_2011@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Электротехнический персонал, обслуживающий контактную сеть, подвергается вредному воздействию электрического и магнитного (переменное и постоянное) полей.

Здоровье работников, обслуживающих электрифицированный железнодорожный транспорт, зависит от эффективности разработанной системы защиты от вредного воздействия электромагнитных полей.

Проведено исследование электромагнитных полей на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего контактную сеть, с помощью программного продукта EFC – 400.

ABSTRACT

Electrical support personnel contact network, exposed to harmful levels of electric and magnetic (AC and DC) fields. Health workers serving electrified rail transport depends on the efficiency of the developed system of protection against the harmful effects of electromagnetic fields.

The study of electromagnetic fields in the workplace electricians, maintenance contact network, the software EFC - 400.

Ключевые слова: Железнодорожный транспорт, электрическое поле, магнитное поле, электромагнитное поле, контактная сеть, средства защиты.

Keywords: Train: Railway transport, elektrycheskoe field, mahnytnoe field, elektromahnytnoe field, kontaktnaya Network, sredstva protection.

Электрификация железнодорожного транспорта связана с проблемой обеспечения электромагнитной совместимости устройств электроснабжения со смежными электротехническими коммуникациями [8, с. 23], обслуживающих электрифицированный железнодорожный транспорт, зависит от эффективности разработанной системы защиты от вредного воздействия электромагнитных полей.

Контактная сеть (КС) — система устройств, предназначенных для передачи электрической энергии от электрических станций через тяговые подстанции электровагонам и моторным вагонам.

Преобразователи тяговых подстанций служат генераторами высших гармоник тока и напряжения, поэтому в контактной сети наряду с постоянным током и напряжением присутствует спектр высших гармонических переменных составляющих выпрямленного напряжения и тока до 1 кГц, создающих ЭМП постоянного тока и спектр ЭМП от переменных составляющих выпрямленного тока и напряжения.

Электротехнический персонал обслуживающий контактную сеть (КС) подвергается воздействию комплекса вредных факторов производственной среды, основными из которых являются электрическое (ЭП) и магнитные (переменное и постоянное) поля (МП) [2, с. 13; 3,

с. 22; 3, с. 5-8; 4, с. 10].

Для анализа ЭМП вблизи электроустановок можно использовать методы расчета ЭМП представленные в [1 с. 75; 6 с. 17; 7 с.24; 9 с. 15], кроме этого существует современный программный продукт EFC – 400.

При проведении теоретических исследований ЭМП на рабочих местах персонала обслуживающего контактную сеть, необходимо учесть, что данный персонал кроме работ на «земле» выполняет работы связанных с нахождением на высоте - это работы с изолирующих съемных вышек, с изолирующих и заземленных рабочих площадок автодрезин и автомотрис, с приставных лестниц [5, с.17-23].

Кроме этого рассматривая источники ЭМП на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего контактную сеть (в данном случае постоянного тока), необходимо учесть, что кроме контактной сети могут встречаться и другие источники ЭМП – линии электропередач (ЛЭП) разного напряжения (220 кВ, 110 кВ) пересекающие КС.

1. Проведен анализ магнитной обстановки вблизи КС 3 кВ постоянного тока при разных токах протекающих в КС, тип провода 2МФ-100, при одном источнике МП – КС 3 кВ. При токе в КС 3500 А распределение постоянного МП в формате 2 D приведено на рисунке 1.

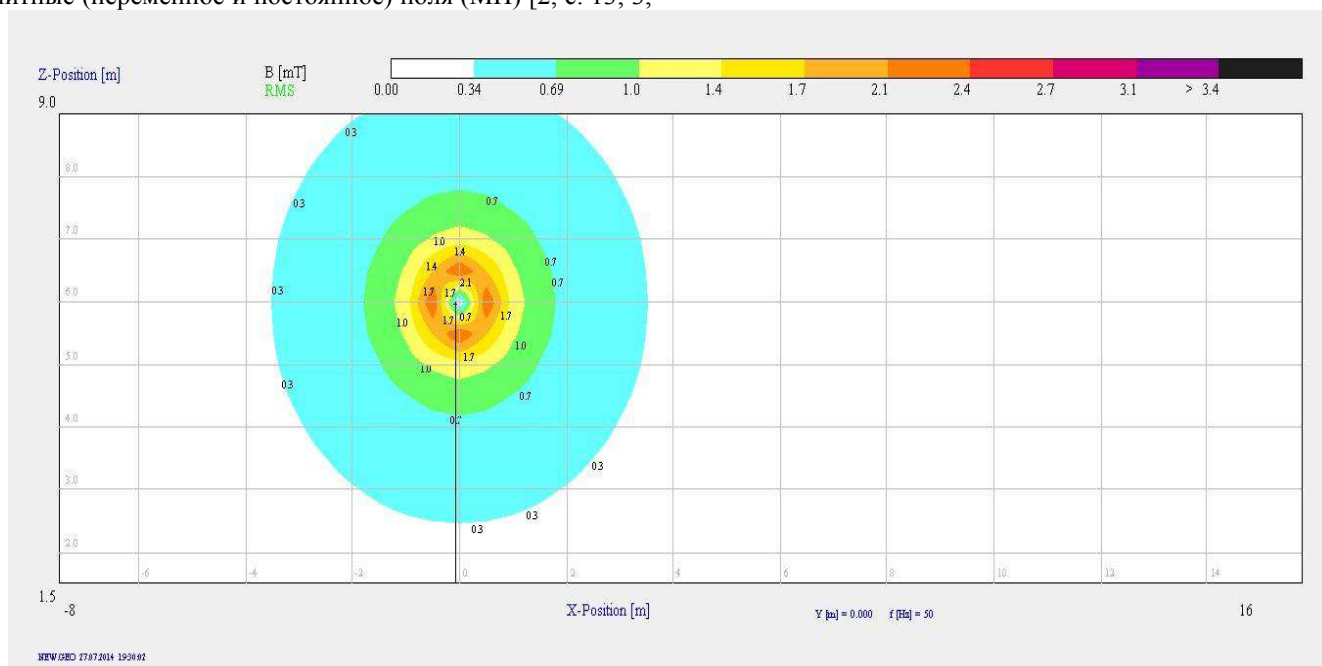


Рисунок 1. Распределение индукции постоянного МП вблизи КС при $I=3500$ А

Наибольшие значения постоянного МП зафиксированы у проводов КС 3 кВ. Полученные расчетные значения индукции постоянного МП (мТл) вблизи КС 3 кВ сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Величина индукции постоянного МП вблизи КС

Икс, А	Н, мкТл, при 1,8 м	Н, мкТл, при 2 м	Н, мкТл, при 6 м	ПДУ постоянного МП, мкТл
500	35	43	257	10000
1000	74	86	513	
1500	100	130	800	
2000	150	200	900	
2500	150	200	1100	
3000	200	300	1500	
3500	200	300	1800	

Проанализировав полученные значения индукции постоянного МП при разных значениях тока в контактной сети на уровне человеческого роста (1,8 метра и 2 метра) и на уровне 6 метров от уровня головки рельса (работа электротехнического персонала с изолированной съёмной вышки) можно сделать вывод, что значения индукции постоянного МП увеличиваются прямо пропорционально величине тока в КС и не превышают ПДУ, даже при больших токах в КС.

2. Так как в контактной сети постоянного тока присутствует спектр высших гармонических переменных составляющих выпрямленного напряжения и тока до 1 кГц, проведен анализ переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц (мТл) при выпрямленном токе электрической тяги и полученные расчетные значения сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Величина переменной составляющей индукции переменного МП вблизи КС при выпрямленном токе

Икс (переменная составляющая выпрямленного тока), А	Н, мкТл, при 1,8 м	Н, мкТл, при 2 м	Н, мкТл, при 6 м	ПДУ переменного МП, мкТл
21	0,6	0,9	5,2	100
42	1,3	1,7	10	
63	2,4	2,6	15	
84	3	3,4	21	
105	3,7	4,3	26	
126	4,5	5,2	31	
147	5,3	6	36	

Из Таблицы 2 видно, что значения переменной составляющей индукции МП 50 Гц вблизи КС при выпрямленном токе на уровне человеческого роста (1,8 метра и 2 метра) и на уровне 6 метров от уровня головки рельса не превышают ПДУ. На сегодняшний день не разработан программный продукт, с помощью которого можно было провести полный анализ спектра высших гармонических переменных составляющих выпрямленного тока до 1 кГц.

3. Получены расчетные значения переменного МП вблизи ЛЭП 220 кВ при следующих данных: $I_{\text{лэп}} = 1000\text{А}$, $h_{\text{лэп}} = 16$ метров – расстояние от земли до ближайшего провода ЛЭП 220 кВ, тип провода АС-240.

Величина индукции переменного МП от ЛЭП 220 кВ составляет от 300 до 900 мкТл на высоте от 12 метров до 18 метров от земли. На работника, обслуживающего контактную сеть, МП не оказывает вредного воздействия, так как на высоте до 6 - 10 метров от уровня земли величина индукции переменного МП составляет 0 Тл.

4. Получены расчетные значения напряженности ЭП (В/м) в формате 3D при следующих данных: $U_{\text{лэп}} = 220$ кВ, расстояние от земли до ближайшего провода $h = 18$ метров, тип провода АС-240 приведены на рисунке 2.

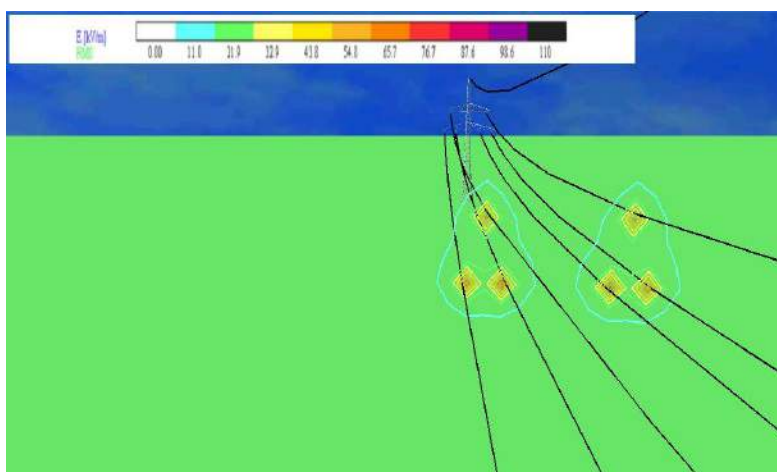


Рисунок 2. Распределение напряженности ЭП вблизи ЛЭП 220 кВ

Из рисунка 2 видно, что вблизи ЛЭП 220 кВ значения напряженности ЭП составляют от 11 кВ/м до 76 кВ/м, при сравнении с уровнем ПДУ РФ (5 кВ/м) наблюдается превышение.

5. Проведен анализ электрической обстановки с помощью специализированной программой EFC-400, когда

два источника ЭП: первый – КС 3 кВ, второй – ЛЭП (380 кВ, 220 кВ, 110 кВ) при разных значениях высот от уровня земли и полученные расчетные значения напряженности ЭП из программы EFC-400 сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Напряженность ЭП вблизи ЛЭП (380 кВ, 220 кВ, 110 кВ) и КС 3 кВ

ЭП вблизи ЛЭП				
ЛЭП, кВ	Н, кВ/м, при 6 м	Н, кВ/м, при 8 м	Н, кВ/м, при 10 м	ПДУ, кВ/м
380	0	100	697	5
220	20	40	139	5
110	22	131	16	5
ЭП вблизи КС				
КС, кВ	Н, кВ/м, при 1,8 м	Н, кВ/м, при 2 м	Н, кВ/м, при 6 м	ПДУ, кВ/м
3	0,3	0,3	2	5

Проанализировав полученные значения напряженности ЭП вблизи ЛЭП и можно сделать вывод, что напряженность ЭП вблизи ЛЭП 380 кВ (8-10 метров от земли) от 20 до 140 раз превышает ПДУ, вблизи ЛЭП 220 кВ (6-10 метров) и 110 кВ (6-10 метров) также наблюдается превышение ПДУ ЭП от 4 до 28 раз и от 3 до 26,2 раз соответственно.

Необходимо разработать средства защиты от вредного воздействия напряженности ЭП на работников, обслуживающих КС под пересечением ЛЭП (110 кВ, 220 кВ и 380 кВ).

Для контроля магнитных полей переменного и постоянного тока (подана заявка на изобретение) в помощь персоналу, обслуживающему КС разработано устройство, которое позволяет непрерывно контролировать уровень напряженности переменного и постоянного магнитных полей в течение 24 часов в сутки. Таким образом, применение предлагаемого прибора для контроля магнитных полей переменного и постоянного тока позволяет напрямую измерить напряженность как постоянного, так и переменного магнитных полей, и позволяет своевременно предупреждать персонал о превышении максимально допустимого уровня напряженности постоянного и переменного магнитных полей с помощью сигнального устройства.

Список литературы:

1. Аполлонский С.М., Горский А.Н. Расчеты электромагнитных полей: Монография / Под редакцией А.Н. Горского. – М.: Маршрут, 2006.–992с.
2. Власов И. И., Марквардт К. Г. Контактная сеть / И.И.Власов, К. Г. Марквардт, – М.: Транспорт, 1961. – 15 с.
3. Закирова А.Р. Вредное воздействие электромагнитных полей и заболеваемость работников // Молодые ученые – транспорту-2009 : сб. научн. тр. – Екатеринбург : Из-во УрГУПС, 2009. – Т. 2. – С. 230-236.
4. Закирова А.Р., Кузнецов К.Б. Вредное воздействие электромагнитных полей и заболеваемость работников // Электробезопасность. – 2010. – № 1. – С. 25-33.
5. Закирова А.Р., Кузнецов К.Б. О риске вредного воздействия на человека ЭМП электрических установок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Выпуск 17. – № 16. – С. 56-61.
6. Кац Р.А. Расчет электрического поля трехфазной линии электропередачи / Р.А. Кац, Л.С. Перельман // Электричество. – № 1. – 1978. – С. 16-19.
7. Косарев А.Б. Основы электромагнитной безопасности систем электроснабжения железнодорожного транспорта / А.Б. Косарев, Б.И. Косарев. – М.: Интекс, 2008. – 480 с.
8. Кузнецов К.Б., Мишарин А.С. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта. – Екатеринбург: Изд-во УрГАПС, 1999. – 425 с.
9. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях [Текст]. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, – 2003. – 4 с.
10. Федотов А.А., Ханатов В.В., Горожанкина Е.Н., Бычков А.Н. Инструкция по безопасности для электромонтеров контактной сети // Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» – Москва 2010. С. – 18-59.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МОРФОЛОГИЮ ЧАСТИЦ ПОРОШКА Al_2O_3

Чащин Вадим Олегович

магистрант 2 курса, физико-технический факультет Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск

EFFECT OF MECHANICAL TREATMENT ON THE MORPHOLOGY OF THE POWDER PARTICLES Al_2O_3

Vadim Chashchin

2 undergraduate course, Faculty of Physics and Technology, National Research Tomsk State University, Tomsk

АННОТАЦИЯ

Целью работы являлось изучение влияния механической обработки на морфологию частиц порошка Al_2O_3 . Механическая обработка порошка осуществлялась в барабанной мельнице с рабочей ёмкостью и мелющими телами из высокоплотного корунда. Максимальная продолжительность механической обработки порошка составляла 100 ч. Увеличение продолжительности механической обработки до 40 часов приводит к росту удельной поверхности порошка от 46 до 50 м²/г. Увеличение продолжительности механической обработки до 65 часов приводит к росту насыпной плотности от 0,6 до 0,8 г/см³.

ABSTRACT

It has been studied the effect of mechanical treatment on the morphology of the powder particles Al_2O_3 . Mechanical treatment of the powder was carried out in a rotary mill with a working capacity and grinding bodies of high-density corundum. The maximum duration of the machining of the powder was 100 parts. Longer machining to 40 hours leads to an increase in the specific surface area of the powder from 46 to 50 m² / g. Longer machining to 65 hours leads to an increase in bulk density from 0.6 to 0.8 g / cm³.

Ключевые слова: оксид алюминия, механическая обработка, насыпная плотность, удельная поверхность.

Key words: alumina, machining, bulk density, specific surface area.

На сегодняшний день керамические материалы на основе Al_2O_3 применяются в различных областях промышленности [3,5,7,8], что можно объяснить отличительным составом свойств – высокие прочность, термостойкость, износостойкость и температура эксплуатации, и химическая стойкость [1,6,9].

При разработке керамик различного функционального назначения основным требованием является изготовление материала назначенной структуры с оптимальными физико-механическими свойствами [2,4].

Промышленные порошки оксида алюминия имеют высокую дисперсность частиц, состоящих из прочных и крупных агрегатов, что затрудняет спекание прессовок на их основе до высокой плотности. Наличие данных агрегатов приводит к появлению в прессовках локальных пористых участков, которые не могут удалиться полностью при спекании, так как образуется прочный каркас. Подвижность связанных между собой частиц ограничена, и материал после обжига имеет достаточно высокую пористость.

Одним из способов активации физико-химических процессов при спекании в порошковых системах является механическая обработка. В процессе обработки дисперсной системы происходит её диспергирование, формирование центров с повышенной активностью на вновь образованных поверхностях.

Таким образом, целью работы являлось изучение влияния механической обработки на морфологию частиц порошка Al_2O_3 .

Материалом для исследования служил порошок оксида алюминия Al_2O_3 . Механическая обработка порошка осуществлялась в барабанной мельнице с рабочей ёмкостью и мелющими телами из высокоплотного корунда, при скорости вращения барабана 70 об/мин в режиме сухого помола. Соотношение массы мелющих тел к массе по-

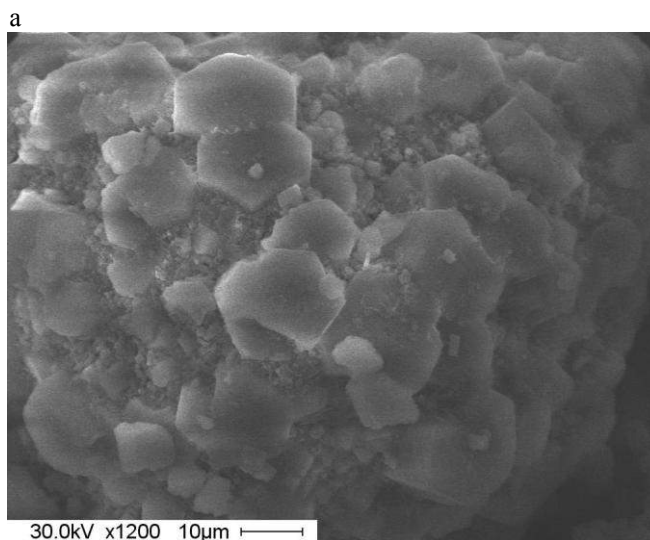
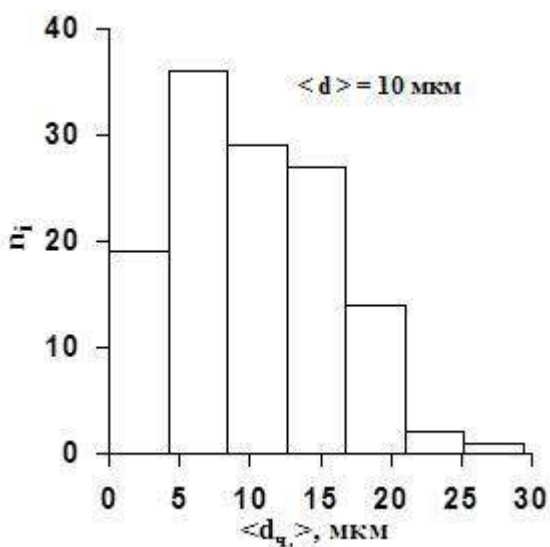
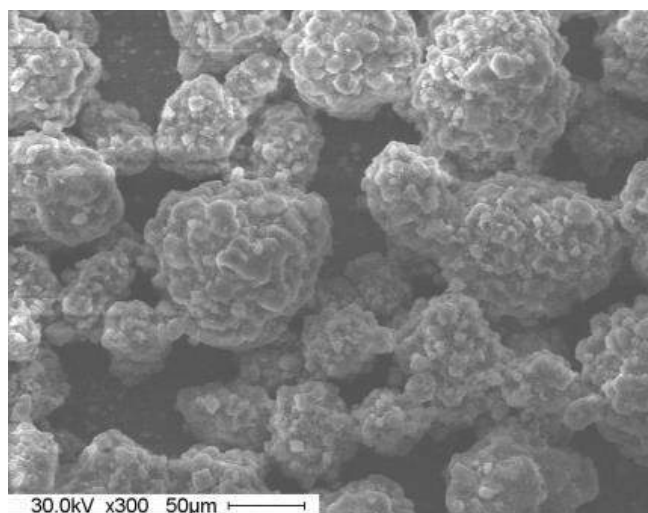
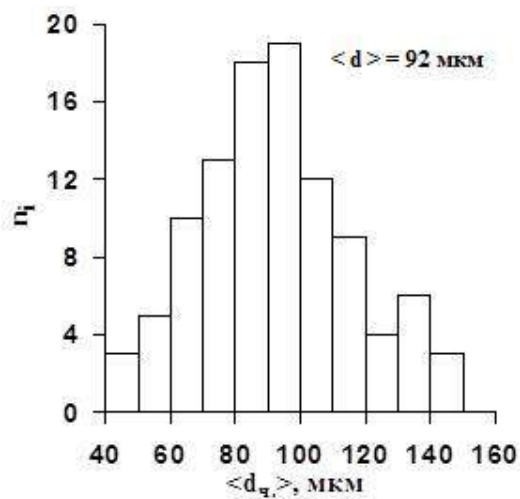
рошка выдерживалось 5:1 и 10:1. Максимальная продолжительность механической обработки порошка составляла 100 ч.

Измерение удельной поверхности порошков проводилось на приборе «СОРБИ №4.1» методом низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ). Морфологию частиц порошка исследовали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) SEM Philips-515. Средний размер частиц исследовали методом случайных секущих.

В итоге проведенных исследований были получены следующие результаты. Исходный порошок Al_2O_3 состоял из крупных глобулярных частиц, их средний размер составил ≈ 90 мкм, рис. 1 (а). Данные глобулы представляли собой совокупность частиц неправильной формы, средний размер которых составлял ≈ 10 мкм, рис. 1 (б).

Проведение механической обработки исходного порошка Al_2O_3 в течение 5 и 20 часов при соотношении массы мелющих тел к массе порошка 5:1 привело к практически полному разрушению крупных глобулярных частиц, рис. 1, составляющих исходный порошок. В порошках, обработанных при разном соотношении мелющих тел к массе порошка, присутствовали 3 группы частиц разных размеров. Средний размер частиц составил 12 мкм, при этом в порошке присутствовали частицы, размер которых достигал 30 мкм, а также мелкие частицы с размером порядка 3 мкм, рис. 2.

Несмотря на изменение гранулометрического состава порошка Al_2O_3 после механической обработки величина его удельной поверхности при увеличении продолжительности механической обработки порошка до 40 часов увеличилась от 46 до 50 м²/г, дальнейшее увеличение продолжительности механической обработки до 100 часов практически не оказало влияния на величину удельной поверхности порошка, рис. 3. Наблюдаемое незначительное увеличение удельной поверхности, вероятно, обусловлено рыхлой пористой структурой агрегатов, составляющих порошок Al_2O_3 .



б

Рис. 1. Гистограммы распределения частиц порошка Al_2O_3 по размерам

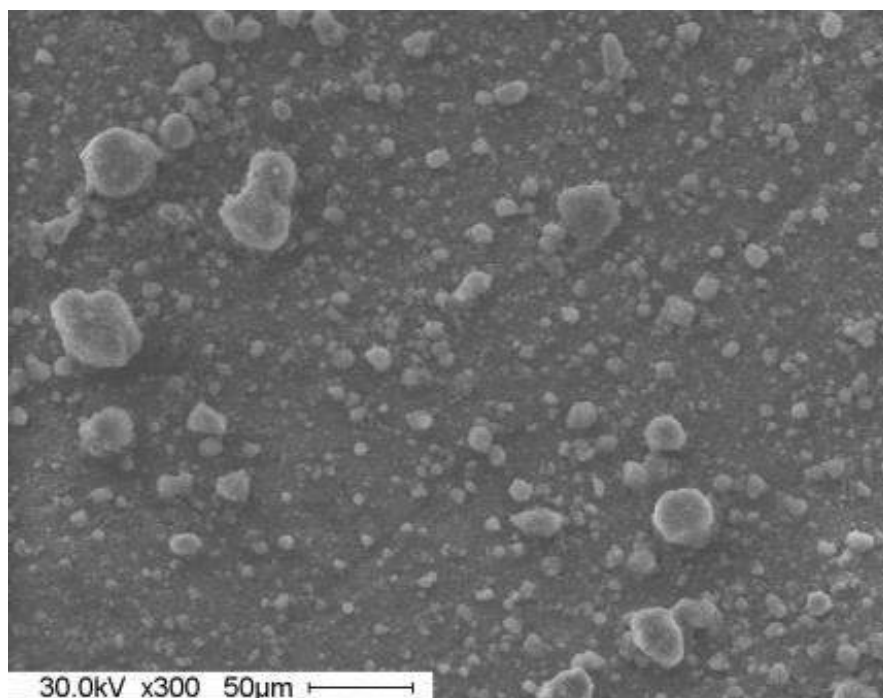


Рис. 2. РЭМ-изображение порошка Al_2O_3

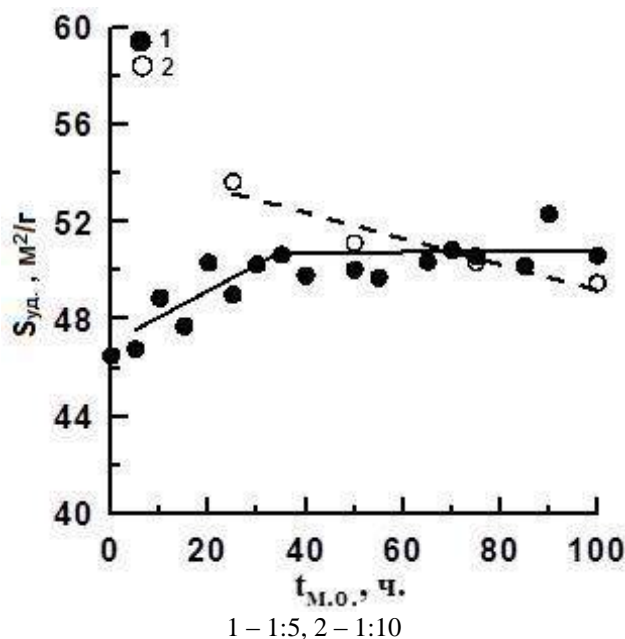


Рис. 3. Зависимость удельной поверхности от продолжительности механической обработки

Было установлено, что увеличение продолжительности механической обработки до 65 часов привело к росту насыпной плотности от 0,6 до 0,8 г/см³, при этом даль-

нейшее увеличение продолжительности обработки порошка в барабанной мельнице до 100 часов практически не оказало влияния на величину насыпной плотности, рис. 4.

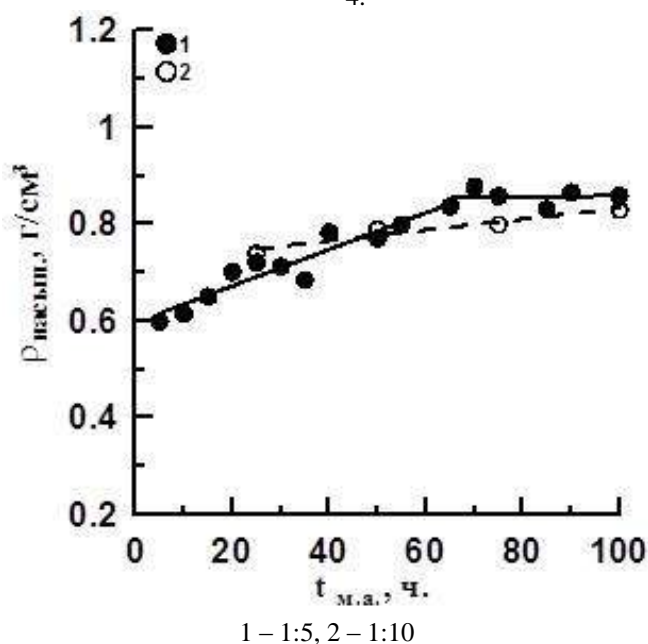


Рис. 4. Зависимость насыпной плотности от продолжительности механической обработки

Список литературы:

1. Буякова С. П., Кульков С. Н. Формирование структуры пористой керамики, спеченной из нанокристаллических порошков // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – №11. – С. 6-11;
2. Ван-Бюрен. Дефекты в кристаллах / Ван-Бюрен. – М.: ИЛ, 1962. – 605 с. ;
3. Лукин Е. С., Кутейникова А. Л., Попова Н. А. Пористая проницаемая керамика из оксида алюминия // Стекло и керамика. – 2003. – №3. – С. 17-18;
4. Комаров В. С. Синтез и регулирование пористой структуры адсорбентов / В. С. Комаров. – Минск: Хата, 2003. – 276 с. ;
5. Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б. Изделия из пористой проницаемой керамики новые возможности для технологического прорыва в основных отраслях промышленности // Новые огнеупоры. – 2008. – № 11. – С. 28-30;
6. Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б., Кутейникова А. Л. Свойства пористой проницаемой керамики на основе монофракционных порошков корунда и нанодисперсного связующего // Стекло и керамика. – 2009. – №6. – С. 18-21;
7. Салихов Т. П., Кан В. В., Уразаева Э. М. и др. Корундовая фильтрующая керамика на фосфатных

- связках // Стекло и керамика. – 2008. – №8. – С. 28-31;
8. Степанов Е. И., Григорьев М. В., Кирко В. И. Влияние добавок ультрадисперсного Al_2O_3 на физико-механические свойства корундовой керамики // Журнал СФУ. Техники и технологии 2008. – Т. 2. – №1. – С. 162-167;
9. Томилина Е. М., Пронина О. В., Лукин Е. С., Каграманов Г. Г. Пористая керамика на основе оксида алюминия // Стекло и керамика. – 2000. – №6. – С. 23-24.

УДК 622.781.001.5

АНАЛИЗ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ К АГЛОМЕРАЦИИ

Учитель Александр Давидович

профессор, доктор технических наук, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский Национальный Университет», директор КМИ ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог.

Лялюк Виталий Павлович

профессор, доктор технических наук, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский Национальный Университет», зав. каф. металлургических технологий КМИ ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог

Журавлев Феликс Михайлович

доцент, кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский Национальный Университет», г. Кривой Рог

Пополов Дмитрий Владимирович

доцент, кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский Национальный Университет», зам. декана КМИ ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог

Дац Наталья Александровна

Криворожский металлургический институт ГВУЗ «Криворожский Национальный Университет», аспирантка кафедры горные машины и оборудование ГВУЗ «КНУ», г. Кривой Рог

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL METHODS OF PREPARATION OF THE CHARGE TO AGGLOMERATE

Uchitel Alexander, Professor, Doctor of Technical Sciences, Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», director Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Kryvyi Rih.

Lyalyuk Vitalij, Professor, Doctor of Technical Sciences, Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Head of the Department of metallurgical technologies Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Kryvyi Rih

Zhuravlev Felix, Associate Professor, Ph.D., Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Kryvyi Rih
Popolov Dmitry, Associate Professor, Ph.D., Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Deputy Dean Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», Kryvyi Rih

Dats Natalia, Metallurgical Institute SIHE «Kryvyi Rih national university», graduate student Chair of mining machinery and equipment SIHE «Kryvyi Rih national university», Kryvyi Rih

На основе анализа существующей технологии подготовки шихты к агломерации предложены некоторые пути совершенствования состава шихты, характеристик входящих в этот состав материалов, а так же основные технологические требования к оборудованию для подготовки шихты к спеканию.

Ключевые слова: *окомкование (грануляция); гранула; ядро гранулы; кажущаяся плотность; гранулометрический состав.*

Some ways to improve the composition of the charge, are suggested on the basis of the analysis of the existing technology of sinter charge preparation, including characteristics of sinter composition, as well as the main requirements for technological equipment for the charge preparation to sintering.

Keywords: *balling (granulation); granule; core of granule; apparent density; particle size distribution.*

Проблема и её связь с практическими задачами.

Подготовка шихты к спеканию в агломерационном процессе, в общем случае, включает ряд последовательных операций, осуществляемых на тракте её подачи от накопительных бункеров до загрузочного бункера агломашины:

- послейное последовательное дозирование ингредиентов аглошихты из накопительных бункеров на ленточный конвейер;
- загрузка шихты в смесительный барабан;

- перегрузка смешанной шихты в окомковательный барабан (гранулятор);
- загрузка гранулированной шихты в загрузочный бункер агломашины;
- укладка шихты загрузочным устройством (питателем) на колосниковое поле агломашины.

В ряде случаев, на аглофабриках операции смешивания и грануляции совмещены и производятся в одном барабане, что не может оцениваться позитивно, так как приводит к повышению неоднородности химического состава аглошихты; в других случаях, смешивание шихты

производится на ленточном конвейере роторным смесителем перед её подачей в окомковательный барабан.

Операцией, в значительной степени, определяющей качество агломерата и производительность агломашины, является гранулирование шихты перед подачей ее на спекание.

Гранулирование может производиться с использованием следующих основных приемов:

- окатыванием в барабане в процессе смешивания с получением, преимущественно, бесформенных частиц с широким спектром размеров и значительного (более 65 %) количества мелких, неокомкованных фракций;
- брикетированием с получением частиц заданной формы и размеров;
- подпрессовкой между гладкими валками с получением смеси отдельных частиц разных размеров, поперечный размер которых близок к размеру щели между прессующими валками (формирование гранулометрического состава шихты происходит стихийно при ее транспортировании и перегрузках);
- подпрессовкой между формообразующими валками с получением смеси, преимущественно, частиц определенной формы, соответствующей формообразующим элементам валков, продуктов их разрушения и смеси частиц, прошедших через зазор между валками вне формообразующих элементов;
- экструзией с получением частиц, поперечное сечение которых, в основном, повторяет сечение экструзионных насадок (фильер, канавок и пр.), а продольный размер формируется в зависимости от прочности частиц в процессе их эвакуации из экструдера и дальнейшем транспортировании и перегрузках.

Выбор способа гранулирования производится исходя из основных и дополнительных требований, предъявляемых к шихте, подаваемой на спекание, учитывая свойства входящих в нее ингредиентов.

Общим требованием к окомкованной шихте, подаваемой на спекание, является высокая газопроницаемость, зависящая от гранулометрической характеристики шихты и формы её частиц [1, 2]. Негативное влияние на интен-

сивность процесса спекания и качество полученного агломерата оказывают фракции более 8 мм и аэроактивные фракции (-0,5 мм).

Дополнительными требованиями к окомкованной шихте являются:

- однородность шихты по химическому составу;
- прочность гранул, обеспечивающая их целостность в процессе загрузки на спекательные тележки, в зоне сушки, а также при температурном воздействии в начале твердофазных преобразований.

Способность шихты к окускованию в значительной степени зависит от влажности шихты, где влага играет роль связующего. Наличие в сырье гидрофобных составляющих уменьшает прочность гранул, увеличивает выход части шихты, не участвующей в процессе окомкования.

Анализ исследований и публикаций. Исследуя процесс мокрой агрегации железорудных частиц, В.М. Витюгин и А.С. Богма показали, что на процесс образования агрегата (гранулы) влияют максимальная молекулярная $W_{ММВ}$ и капиллярная $W_{МКВ}$ влагоемкости [3-5]. Таким образом, способность дисперсных железорудных материалов к окомкованию определяется показателем комкуемости [6].

$$K = \frac{W_{ММВ}}{W_{МКВ} - W_{ММВ}} \quad (1)$$

По комкуемости все материалы можно разделить на пять групп: I группа $K = 0,2$ и меньше – материал не комкуется; II группа $K = 0,2 \dots 0,35$ – слабая комкуемость; III группа $K = 0,35 \dots 0,5$ – средняя комкуемость; IV группа $K = 0,5 \dots 0,8$ – хорошая комкуемость; V группа $K = 0,8$ – очень хорошая комкуемость. [6]

Проведенный анализ влагоемкости и комкуемости составляющих типовой четырехкомпонентной аглошихты (табл.) позволил установить, что в ней содержится: 19,6 % – слабо; 15,9 % – средне; 64,5% – хорошо комкующихся материалов. В настоящее время на аглофабриках в состав аглошихты вводят до 18 компонентов, включающих не комкующиеся (прокатная окалина, марганцевый шлак), слабо комкующиеся (шлак обогащенный, колошниковая пыль) и др., в связи с чем, комкуемость шихты ухудшается.

Таблица 1

Влагоемкость и комкуемость компонентов типовой шихты

Материал	Содержание в шихте, %	Характеристическая влагоемкость, %		Комкуемость, K
		$W_{ММВ}$	$W_{МКВ}$	
Известняк	15,9	3,6	13,9	0,35
Коксовая мелочь	5,2	4,6	27,6	0,2
Аглоруда	14,4	4,4	19,2	0,3
Концентрат	64,5	8,4	20,3	0,7

Широкое распространение для объяснения формирования прочности агрегата (гранулы) получила теория «капиллярного взаимодействия» [7, 8]. Капиллярное взаимодействие характеризуется капиллярной силой:

$$z = k \cdot S_{уд} \cdot \gamma_{ист} \cdot \frac{1 - \Pi_k}{\Pi_k} \text{ г/см}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий форму частиц, характер их укладки в образце, гидрофильность материала;

$S_{уд}$ – удельная поверхность дисперсного материала, см²/г;

$\gamma_{ист}$ – истинная плотность материала, г/см³;

Π_k – абсолютная пористость комка, доля. ед.

Рассмотренные параметры в большинстве своем не являются регуляторными (управляемыми), их свойства заранее заданы. Анализируя (2) можно прийти к выводу, что увеличение капиллярной силы может быть достигнуто путем принудительного снижения пористости образующейся среды. Одновременная реализация этих факторов может быть обеспечена процессом уплотнения аглошихты.

В сыпучем увлажненном материале помимо активных сил сцепления (капиллярных или молекулярных) присутствуют силы механического сцепления, которые проявляются как силы трения, возникающими при движении одного слоя сыпучего материала по-другому.

Величина механического сцепления пропорциональна площади соприкосновения частиц: с увеличением площади контактов между частицами растут силы трения, что ведет к повышению прочности гранул. Основной характеристикой площади соприкосновения частиц является пористость комка, с уменьшением которой площадь соприкосновения увеличивается, соответственно, растет прочность гранул, что подтверждается экспериментальными данными [9-11].

Наряду с благоприятным гранулометрическим составом и оптимальной влажностью обязательным условием успешного течения процесса окомкования является наличие в объеме влажного материала зародышевых центров [12]. Зародышевые центры при грануляции аглошихты, в основном, представлены частицами аглоруды и возврата, а так же влажными агрегатами капельного происхождения определенного размера и прочности.

Согласно [11] гранулы агломерационной шихты в большинстве случаев состоят из ядра — кусочка руды или возврата фракций 1-5 мм, на поверхности которого находится оболочка из тонкоизмельченных фракций. Оценка грансостава окомкованной шихты, накатанной различными фракциями, показывает, что процесс окомкования грубозернистых агломерационных шихт носит селективный характер, так на поверхности крупных зерен содержится, в основном, фракция менее 0,4 мм, а класс 0,4-1 мм практически отсутствует. Частички крупностью 0,4-1 мм не участвуют в окомковании и образуют промежуточную фракцию, при увеличении содержания которой выход гранул при окомковании уменьшается.

Приведенные классы являются граничными, разделяющими агломерационную шихту на три части: способствующую окомкованию 1-5 мм; комкуемую менее 0,4 мм и промежуточную 0,4-1 мм.

Проведенный нами анализ [13] гранулометрического состава многокомпонентной аглошихты аглофабрики № 1 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» показал, что до процесса грануляции она содержит: 70,4 % комкуемой фракции (накатываемой на крупную), 11,7 % промежуточной (не участвующей в окомковании), 18 % способствующей окомкованию (выступающей в качестве зародышевого центра). После грануляции фракция 5-10 мм частично переходит во фракцию +10 мм, которая в процессе спекания не успевает расплавиться, и при разломе пирога выкрашивается, образуя мелочь, кроме того, повышенная крупность кусков снижает эффективность удаления из них серы.

После грануляции, в шихте содержится 14 % аэроактивных фракций (-0,5 мм), удаление которых в процессе спекания приводит к потерям сырья в шлам (от 1,46 % до

3,74 %) и атмосферу (18,5 %). Кроме этого следует отметить, что основная часть аэроактивных фракций в процессе спекания ведет к уменьшению газопроницаемости слоя.

Постановка задачи, изложение основного материала исследований. Повышение качества агломерата путем повышения эффективности гранулирования шихты.

Исследования механизма гранулирования шихты показали, что ее комкующая способность может быть оценена при помощи коэффициента, представляющего отношение поверхности фракций, способствующих окомкованию, формирующих ядро гранулы, к объему мелких (комкуемых) фракций формирующих оболочки гранул [14].

$$K_{\text{ср}} = \frac{6 \cdot \gamma_{\text{нак}}}{\gamma_{\text{каж}} \cdot m_{\text{м}}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i}{d_{\text{ср}i}} \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{нак}}$ — плотность комкуемого материала в накатанном состоянии (оболочки гранул), кг/м³;

n — количество способствующих окомкованию монофракций;

m_i — масса монофракции, способствующей окомкованию, кг;

$d_{\text{ср}i}$ — средний диаметр зерен соответствующей монофракции, м;

$\gamma_{\text{каж}}$ — кажущаяся плотность способствующей окомкованию части шихты, кг/м³;

$m_{\text{м}}$ — масса комкуемой части шихты, кг.

Выражение (3) позволяет оценить способность агломерационной шихты к окомкованию, учитывая наличие комкуемых и способствующих окомкованию фракций. Причем, чем больше коэффициент ($K_{\text{ср}}$), тем быстрее мелочь накатывается на крупные зерна. Использование этого показателя для оценки аглошихты аглофабрики ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (до процесса грануляции) позволило установить, что в исходном состоянии она содержит недостаточное количество фракций, способствующих окомкованию ($K_{\text{ср}} = 0,31$). В силу этого, в окомкованной шихте комкуемая фракция (0-0,4 мм) составляет всего 9,2% со значительным содержанием промежуточной (0,4-1 мм) — 38,9%.

Очевидно, что скорость окомкования и газопроницаемость аглошихты повышаются с увеличением доли фракций, способствующих окомкованию.

Аглоруда широко используется на аглофабриках, спекающих грубоизмельченные концентраты. Увеличение доли аглоруды в шихте позволяет повысить скорость спекания, но вследствие невысокого содержания железа приводит к разубоживанию шихты и уменьшению содержания железа в агломерате. Исходя из этого, на отечественных аглофабриках содержание аглоруды в шихте колеблется от 11 до 20 %, что недостаточно для ее эффективного окомкования [15-17].

Альтернативой аглоруде является применение в качестве фракций, способствующих окомкованию, отсева агломерата (возврата) [18-20]. Использование возврата существенно влияет на газопроницаемость слоя шихты в процессе спекания, понижает ее оптимальную влажность, вследствие чего происходит снижение кажущейся теплоемкости шихты, что приводит к увеличению скорости спе-

кания [21]. Однако с увеличением количества возврата затраты тепла на его нагрев растут и, одновременно, увеличивается неоднородность агломерата и снижается его прочность [22]. Таким образом, содержание возврата в аглошихте имеет свои пределы, которые в каждом конкретном случае должны быть определены.

Повышение эффективности грануляции шихты и, отдельно, прочности гранул может быть достигнуто путем подачи в состав шихты в качестве возможных центров окомкования фракции 1-5 мм полукокса или других материалов, кажущаяся плотность которых значительно ниже, чем у аглоруды.

Весьма перспективным с нашей точки зрения, является подача в аглошихту фракции 1-5 мм горючих сланцев гидрофобность которых ниже, чем у полукокса, и тепловая деструкция в процессе спекания агломерата приводит к выделению 70-80% (по массе) летучих с удельной теплотой сгорания до 16,7 кДж/кг, являющихся активными восстановителями [23].

Выводы.

1. На основе анализа приемов подготовки шихты к агломерации определены некоторые пути совершенствования технологии подготовки:

- использование для повышения химической и гранулометрической однородности принудительного смешивания компонентов шихты роторными смесителями и её подпрессовки до её подачи на гранулирование в окомковательный барабан;
- использование в качестве центров окомкования при грануляции шихты материалов с низкой кажущейся плотностью, например, полукокса, горючих сланцев с узким диапазоном крупности;
- обеспечение пониженной по сравнению с применяемой (-8 (16)) мм крупностью частиц, являющихся центрами окомкования до (+0,5-3(5)) мм.

2. Стала очевидной необходимость дополнительной проверки влияния содержания топлива в составе шихты на эффективность окомкования.

3. Стала очевидной необходимость создания нового оборудования (дробилок и грохотов), обеспечивающих получение ингредиентов аглошихты (аглоруды, топлива и флюсов) с классом крупностью (+1-3(5)) мм с минимизацией в шихте класса (-0,5)мм.

Список литературы

1. Учитель А.Д. Уточнение газодинамических параметров шихтовых материалов / Учитель А.Д., Боклан Б.В., Донсков Е.Г., Засельский В.И., Бондаренко В.И., Хомич И.Н., Тарановский В.В. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. 1982. – № 1. – С. 13-17.
2. Учитель А.Д. Коэффициент газопроницаемости при ламинарном течении газа, как обобщенная характеристика гранулометрического состава шихты / Учитель А.Д., Боклан Б.В., Донсков Е.Г., Засельский В.И. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. 1984. – № 11. – С. 26-28.
3. Витюгин В.М. Расчет оптимальной влажности дисперсных материалов перед гранулированием / В.М. Витюгин, А.С. Богма, П.Н. Докучаев // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. 1969. – № 8. – С. 42-43.
4. Богма А.С. Оценка комкуемости мелкозернистых материалов / А.С.Богма, В.М. Витюгин // Известие Томского политехнического ин-та – 1967. – № 175. – С. 112-116.
5. Бережной Н.Н. Комкуемость железорудных концентратов и шихт / Н.Н. Бережной, С.А. Федоров, В.И. Смирнов, В.М. Витюгин // Обзорная информация. ЦНИИТЭИ черной металлургии, Серия 3, Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу. – 1976. – № 2. – 11 с.
6. Юсфин Ю.С. Обжиг железорудных окатышей / Ю.С. Юсфин, Т.Н. Базилевич – М.: Металлургия. 1973. – 272 с.
7. Tigerschild M. Proceeding of the Blast Furnace and Coke Oven / Tigerschild M., Ilmoni P.A. // Raw Materials Conference – Amer. Inst. Min. Eng. – 1950. – № 9. – P. 18.
8. Бережной М.М., Збагачення та окускування сировини / М.М. Бережной В.П. Мовчан – Кривий Ріг. 2000. – 368 с.
9. Нечепоренко М.А. Труды института "Механобр" / М.А. Нечепоренко // Обзорная информация – 1958. – № 121. – 13 с.
10. Найдич Ю.В. Исследование капиллярных сил сцепления между твердыми частицами с прослойкой жидкости на контакте / Ю.В. Найдич, И.А. Лавриненко, Б.Я. Петрищев // Порошковая металлургия. 1965. – №2. – С. 50-56.
11. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов / В.И. Коротич – М.: Металлургия. 1966. – 152 с.
12. Пузанов В.П., Механизм и кинетика образования зародышей при окомковании агломерационной шихты / В.П. Пузанов, А.В. Малыгин // Окускование руд и концентратов – 1980. – № 6. – С. 185.
13. Засельский В.И. Исследование эффективности окомкования многокомпонентной агломерационной шихты в барабанном окомкователе / В.И. Засельский, Д.В. Пополов, С.А. Учитель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2010. – № 2/1(44). – С. 73-76.
14. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке / В.И. Коротич – М.: Металлургия. 1978. – 208 с.
15. Савицкая Л. И. Черная металлургия Вып 1 Интенсификация агломерационного производства путем улучшения методов подготовки шихты / Л. И. Савицкая // Обзорная информация. ЦНИИТЭИ черной металлургии, Серия 3, Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу. – 1985. – № 1. – 32 с.
16. Базилевич С.В. Агломерация / С.В. Базилевич, Е.Ф. Вегман – М.: Металлургия. 1967. – 368 с.
17. Еремеева К.Н. Повышение производительности агломашин / К.Н. Еремеева // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация» – 1981. – № 15. – С. 19-34.
18. Самохвалов П. В. Пути улучшения качества железорудного сырья/ П. В. Самохвалов, Л. Р. Мигуцкий // Металлургическая и горнорудная промышленность – 1964. – № 4. – С. 6-9

19. Бережной Н. Н. Обогащение руд / Н. Н. Бережной // Обзорная информация Бюл. ин-та «Механобр». – 1963. – № 4. – С. 32-34.
20. Базилевич С.В. Производство агломерата и окатышей / С.В. Базилевич, А.Г. Астахов, А.Г. Майзель – М.: Металлургия. 1984. – 216 с.
21. Voice E. Symposium on Siner, Special Report / Voice E., Brooks S. // The Iron and Steel. – 1955. – № 53. – P. 43-99.
22. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации / Е.Ф. Вегман – М.: Металлургия. 1974. – 288 с.
23. Кузнецов Д.Т. Энергохимическое использование горючих сланцев / Д.Т. Кузнецов – М.: Энергия. 1978. – 217с.

ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫЕ ЭТАЛОННЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Даденков Дмитрий Александрович

ст. преподаватель Пермского национального исследовательского политехнического университета

Казанцев Владимир Петрович

д-р. техн. наук., доцент, профессор Пермского национального исследовательского политехнич. университета

DISCRETE-CONTINUOUS REFERENCE MODEL FOR ELECTROMECHANICAL CONTROL SYSTEMS

Dadenkov Dmitriy, Senior Lecturer of the Perm national research polytechnic university

Kazantsev Vladimir, Doctor of technical sciences, Associate Professor, Professor of the Perm national research polytechnic university

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы синтеза дискретно-непрерывных эталонных моделей электромеханических систем управления, обеспечивающих адаптацию к энергетическим ресурсам и требованиям технологического процесса за счет ограничения фазовых переменных на уровнях, позволяющих системе функционировать в линейной зоне при любых задающих воздействиях. Представлена структура нелинейной модели, адаптивной к такту дискретного управления, а также результаты ее синтеза. Результаты исследований будут положены в основу синтеза квазиинвариантных по заданию следящих систем управления с эталонными моделями.

ABSTRACT

The questions of synthesis of discrete-continuous reference models of electromechanical control system, providing adaptation to the power resources and requirements of technological process requirements by limiting the phase variables at levels that allow the system to operate in the linear area for any given input. The structure of nonlinear model, adaptive to time of discrete control, and also results of its synthesis, is presented. The results will form the basis for the synthesis of quasi-invariant on the input task servo control systems with reference models.

Ключевые слова: электромеханическая система управления, эталонная модель, фазовые переменные, адаптация.

Keywords: electromechanical control system, reference model, phase variables, adaptation.

Электромеханические системы управления (ЭМСУ) на основе современных микропроцессорных электроприводов постоянного и переменного тока уже давно стали доминировать в системах автоматизации технологических процессов и установок самого широкого мощностного диапазона в силу множественных преимуществ в сравнении с гидравлическими, пневматическими системами управления, имеющими сравнительно небольшую нишу технологических приложений.

К современным микропроцессорным ЭМСУ, интегрированным в структуру того или иного технологического процесса, как правило, не предъявляются какие-либо специфические требования, если говорить непосредственно о координатах состояния как такового электропривода. При этом ЭМСУ обеспечивает требования к качеству регулирования выходной технологической координаты (давления, расхода, температуры и т.п.). Однако имеется довольно широкий класс позиционно-траекторных, в том числе следящих ЭМСУ [1, 2], обеспечивающих движение рабочего органа (РО) по некоторой траектории (эквидистанте в металлообрабатывающих станках). К таким системам программного-следящего управления предъявляются жесткие требования в отношении параметров дви-

жения – положения и скорости перемещения РО. Как правило, такое движение осуществляется с применением линейных, круговых, полиномиальных или сплайн интерполяторов [2, 3], обеспечивающих некоторое аппроксимированное перемещение РО, реализующее последовательное прохождение его через совокупность опорных точек. Однако в ряде случаев перемещение РО задают последовательностью приращений перемещений во времени по той или иной координатной оси, реализуя на уровне задания небольшие ступенчатые во времени переходы. В этом случае вместо интерполяторов достаточно применения эталонных моделей (ЭМ), задатчиков интенсивности или предшествующих фильтров, обеспечивающих ограничения фазовых переменных ЭМСУ на допустимых уровнях при произвольных по величине приращениях задающих воздействий. При этом важно не допустить работу ЭМСУ в нелинейной зоне, требующую применения нелинейных регуляторов, процедура синтеза которых, и программная реализация достаточно трудоемки. Именно этой цели и служат линейные и нелинейные дискретно-непрерывные ЭМ, вопросы синтеза которых рассмотрены ниже. Будем полагать, что главным техническим критерием при отработке эталонной моделью приращений заданных переме-

щений является минимум времени перехода при минимуме интегральной погрешности изменения выходной координаты.

Рассмотрим ЭМ некоторого механического объекта как замкнутую по фазовым переменным систему. Число фазовых переменных объекта управления в такой системе может от двух до четырех в зависимости от возможностей

системы контроля параметров ЭМСУ, а также цели управления. На рисунке 1 представлена структурная схемы дискретно-непрерывной ЭМ второго порядка собранная в пакете *Matlab/Simulink*. Дискретизация сигналов управления $U(kT)$ осуществляется интерполятором нулевого порядка (ИНП) выполненного звеном *Zero-Order Hold*.

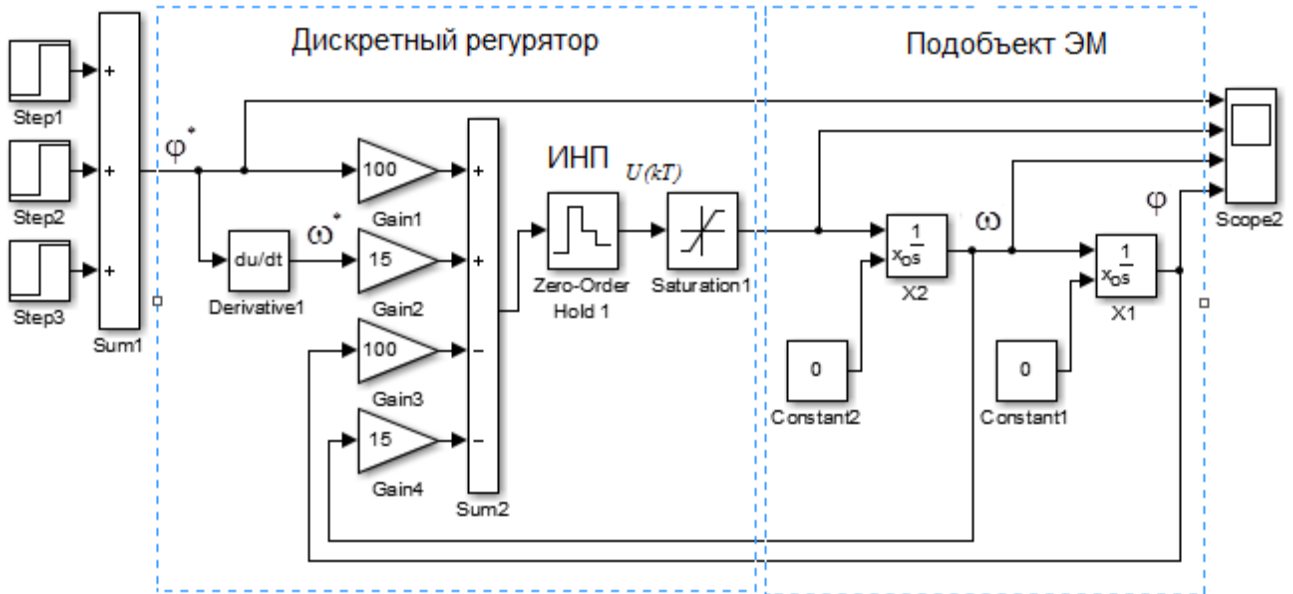


Рисунок 1. Линейная эталонная модель 2-го порядка

Подобъект управления в этой ЭМ представлен последовательным соединением интегрирующих звеньев, а устройства управления представляет собой дискретный регулятор состояния. Выходная координата ЭМ – формируемые линейное или угловое положение, либо линейная или угловая скорость ЭМСУ. Входы интеграторов на рисунке 1 – угловые скорости и ускорения, а старшая фазовая переменная подобъектов управления является дискретной управляющей переменной.

Дискретно-непрерывная линейная математическая модель ЭМ, представленная на рисунке 1, может быть записана в векторно-матричной форме [4, 5]:

$$\dot{\mathbf{X}}_{эм}(t) = \mathbf{A}_{эм} \mathbf{X}_{эм}(t) + \mathbf{B} \mathbf{U}_{эм}(kT), \tag{1}$$

где $\mathbf{X}_{эм}(t)$ – вектор фазовых переменных модели, $\mathbf{X}_{эм}(t) = [x(t) \ \dot{x}(t)]^T$, $\mathbf{U}_{эм}(kT) = U(kT)$ – скалярное управляющее воздействие ЭМ, $\mathbf{A}_{эм} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ – матрица состояния ЭМ, $\mathbf{B}_{эм} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ – матрица управления ЭМ.

Для определения оптимальной по критерию быстродействия ЭМ (1) воспользуемся методикой, приведенной в [5, 6]. В соответствии с концепцией терминальных систем управления в выражении (1) обеспечивается одновременно максимум быстродействия и минимум интегральной ошибки обработки ступенчатых задающих воздействий. Следовательно, согласно методике синтеза [6] представим это выражение в виде линейной формы коор-

динат состояния, задающих воздействий и их производных, изменяемых в дискретные моменты времени с периодом квантования T:

$$\mathbf{U}(kT) = \alpha_1 X(kT) + \alpha_2 \dot{X}(kT) + \beta_1 X^*(kT) + \beta_2 \dot{X}^*(kT), \tag{2}$$

где $X(kT), \dot{X}(kT)$ – фазовые переменные ЭМ, $X^*(kT), \dot{X}^*(kT)$ – задающие воздействия фазовых переменных ЭМ, $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ – коэффициенты ЭМ, полученные в результате оптимизационной процедуры синтеза [6, 7].

Результаты моделирования рассматриваемой ЭМ представлены на рисунке 2.

Анализ полученных переходных процессов, позволил сделать заключение, что эталонное движение рабочего органа ЭМСУ оптимально по критерию быстродействия, характер изменения фазовых переменных соответствует заданному терминальному движению без перерегулирования выходной переменной за конечное время, равное 2 - м тактам дискретного управления.

Однако при этом синтезированная линейная ЭМ обладает недостатками, как видно из графиков если увеличивать величину задания на входе ЭМ, то выходная переменная получает перерегулирование, а характер изменения фазовых переменных, становится колебательным и время управления значительно возрастает.

Для устранения отмеченных недостатков предлагается выполнить синтез нелинейной адаптивной дискретно-непрерывной эталонной модели.

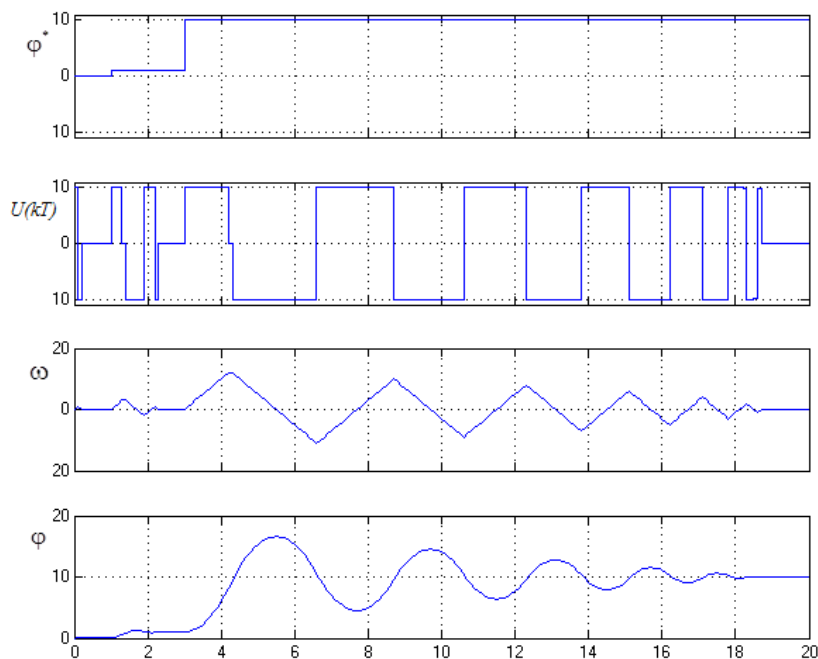


Рисунок 2. Результаты моделирования линейной эталонной модели

Для этого сначала выполним синтез коэффициентов линейной эталонной модели для различных тактов управления T и полученные результаты сведем в таблицу

1, а по табличным данным построим графики в логарифмическом масштабе (рис. 3).

Таблица 1

Результаты синтеза эталонных моделей 2-го порядка

T, с	α_1	α_2	β_1	β_2
0,01	-10000	-150	10000	150
0,05	-400	-30	400	30
0,1	-100	-15	100	15
0,15	-44,44	-10	44,44	10
0,2	-25	-7,5	25	7,5
0,3	-11,11	-5	11,11	5
0,4	-6,25	-3,75	6,25	3,75
0,5	-4	-3	4	3
0,8	-1,562	-1,875	1,562	1,875
1	-1	-1,5	1	1,5
2	-0,25	-0,75	0,25	0,75
5	-0,04	-0,3	0,04	0,3
10	-0,01	-0,15	0,01	0,15
100	-0,0001	-0,015	0,001	0,015

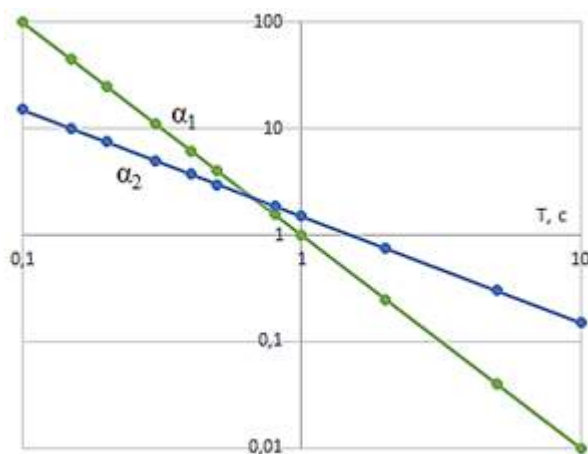


Рисунок 3. Графики $T=f(\alpha_1)$ и $T=f(\alpha_2)$

Несложные математические преобразования позволили установить зависимость оптимальных параметров синтезированного устройства управления ЭМ (значений коэффициентов $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$) от такта управления T . Для рассматриваемой эталонной модели 2-го порядка имеем:

$$|\alpha_1| = |\beta_1| = 1/T^2, \quad |\alpha_2| = |\beta_2| = 1,5/T \quad (3)$$

Теперь необходимо найти алгоритм вычисления такта T в функции задающих воздействий φ^* и ω^* при ограничениях на управление $U(kT)$:

$$|U(kT)| = |\beta_1(\varphi^* - \varphi) + \beta_2(\omega^* - \omega)| \leq U_{\max} \quad (4)$$

Подставляя выражения (4) в неравенство (3) получаем:

$$\left| \frac{(\varphi^* - \varphi)}{T^2} + \frac{(\omega^* - \omega) \cdot 1,5}{T} \right| \leq U_{\max} \quad (5)$$

В частном случае полагая, что $\omega^* = 0$ и $T=0,1$ с, а $U_{\max}=10$ В имеем неравенство $|100 \cdot (\varphi^* - \varphi) - 1,5 \cdot \omega| \leq 10$, из которого задавшись нулевыми начальными условиями ($\omega(0) = \varphi(0) = 0$) можно получить что $|100 \cdot \varphi^*| \leq 10 \Rightarrow \varphi^* \leq 0,1 \text{ rad}$ и далее сделать вывод что величина такта T определяется следующим выражением $T \geq \sqrt{\frac{\varphi^*}{U_{\max}}} = \frac{\sqrt{\varphi^*}}{3.162}$.

Полученная в результате синтеза схема нелинейной дискретно-непрерывной эталонной модели 2-го порядка приведена на рисунке 4.

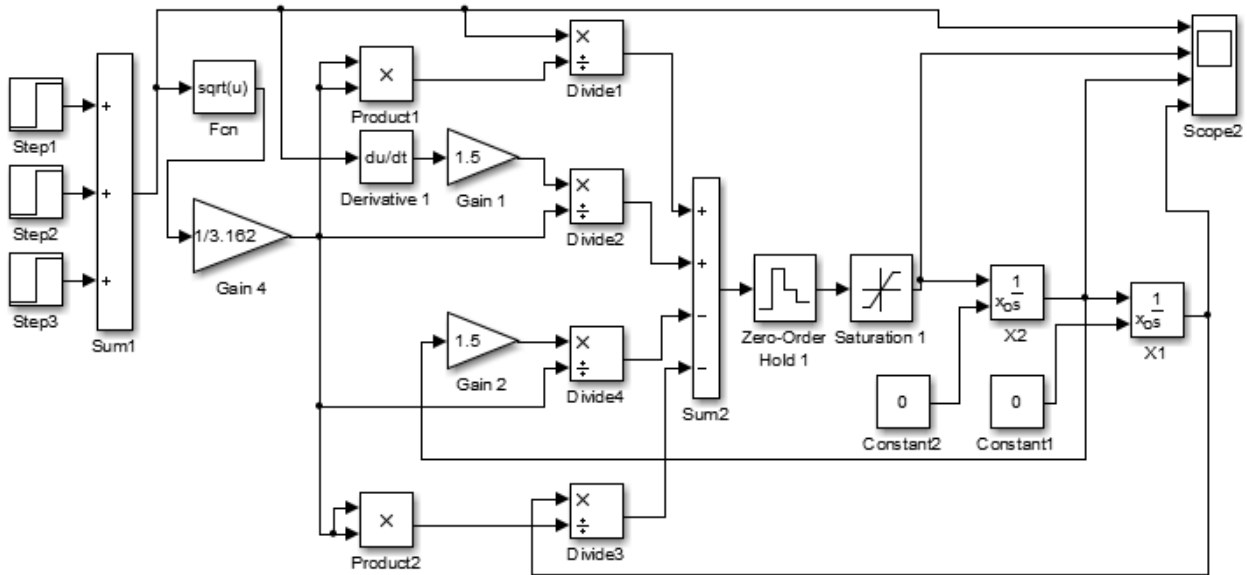


Рисунок 4. Схема моделирования нелинейной эталонной модели

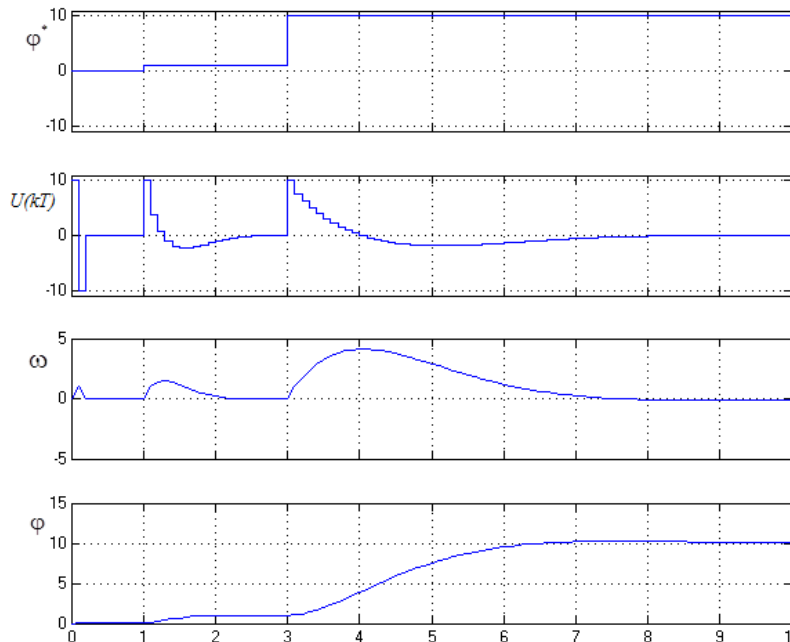


Рисунок 5. Переходные процессы в нелинейной дискретно-непрерывной эталонной модели

Анализируя полученные результаты моделирования (рис. 5) стоит отметить ряд достоинств синтезированной нелинейной дискретно-непрерывной ЭМ:

– ЭМ является нелинейной, но она может быть использована в качестве предшествующего фильтра, вынесенного за замкнутую ЭМСУ;

– возможно применение линейной теории управления для синтеза ЭМСУ, структура регулятора самой ЭМСУ при этом будет линейной, т.е. может быть использован любой типовой регулятор (П, ПИ, ПИД).

Из недостатков стоит отметить снижение быстродействия управления при увеличении величины задания на входе ЭМ, что ограничивает область применения ЭМ, в частности в позиционно-траекторных ЭМСУ.

Результаты рассмотренных в работе исследований будут в дальнейшем положены в основу методики синтеза программных, следящих и адаптивных электромеханических систем управления с эталонными моделями.

Список литературы

1. Пшихопов В.Х. Оптимальное по быстродействию траекторное управление электромеханическими манипуляционными роботами // Изв. вузов. Электромеханика, № 1, 2007. – с. 51-57.
2. Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB / Учебник для вузов. М.: Изд-во «Лань», 2011. – 464 с.
3. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. Научное издание. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
5. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением – Л.: Энергоатомиздат. 1984. – 216 с.
6. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Синтез дискретно-непрерывных систем управления электроприводами с упругими связями. Электротехника, № 11, 2012. – с. 24а-28.
7. Казанцев В.П., Петроченков А.Б., Даденков Д.А. Программный комплекс «Синтез и анализ цифровых систем управления» («Sintez&Analiz»). Реестр официально зарегистрированных программ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660457 от 06.11.2013 г.

УДК 539.213

СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА

Дайнеко Виктория Владимировна

магистр архитектуры ассистент кафедры архитектурного проектирования

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, ИрГТУ

Mounting Methods of Fused Glassware

Dayneko Viktoria, Master of Architecture Assistant, Department of Architectural Design

National Research Irkutsk State Technical University, ISTU

Аннотация

Описываются способы крепления художественных изделий из стекла, необходимых для их декоративного размещения в интерьере. Даются рекомендации по технологиям изготовления изделий из стекла с металлическими подвесами.

Abstract

The mounting methods of art glassware, used to decorate the interiors, are described. The recommendations for production technologies of glassware with metal hanging mounts are presented.

Ключевые слова: металлический подвес, изделие из стекла, фьюзинг, надежность крепления.

Key words: loop shaped metal hanging mount, glassware product, fusing, mount fitting reliability

Художественные изделия из стекла часто используются для декоративного оформления интерьера. В процессе изготовления таких изделий используется технологии обработки стекла в горячем и холодном состоянии. К горячей обработке относится технология спекания стекла (фьюзинг). Таким способом можно получить изделия сложных форм, рисунков, цветовых решений. Гибкость в управлении технологией изготовления обеспечивает необходимое качество.[3,с.120].

Спеканием получают не только готовые для дизайна интерьеров предметы, но и например, декоративные элементы, вставок. В дизайне архитектурных сред подразумевается разностороннее применение изделий из стекла, учитывающее эстетические, функциональные, утилитарные качества. Они встречаются в деталях мебели, остеклении дверей, межкомнатных перегородках, витринах, панно, подвесных потолках, оформлении зеркал, яв-

ляясь одним из наиболее распространенных средств декорирования интерьеров и формирования его художественной выразительности.

Отдельную группу составляют находящие все более широкое применение несущие конструкции из стекла, образующие архитектурную среду в виде ступеней лестниц, ограждений лестничных пролетов, ниш, перегородок, подиумов, ограждений балконов и лоджий. Реализация средовых проектов с применением стекла в различных формах предполагает учет функциональных требований к интерьеру, существующих отделочных и декоративных материалов. Однако традиционным остаются художественное остекление не всегда связанное с конструкцией здания.[1,с.1].

Именно к такой категории относятся рассматриваемые в статье художественные изделия из стекла, разработанные и созданные по технологиям спекания и авторским проектам.

Декоративные изделия из стекла, выполненные в технологии фьюзинга, размещаются в интерьере с использованием различных видов установки и крепления. Одним из видов крепления является металлический подвес, позволяющий закреплять изделие на стене, а также подвешивать к подвесному потолку. Крепление изделий должны

соответствовать художественной задумке всего изделия. [2, с.50].

На рис. 1 даны примеры декоративных изделий из стекла, выполненных в технологии фьюзинга, с металлическими подвесами.

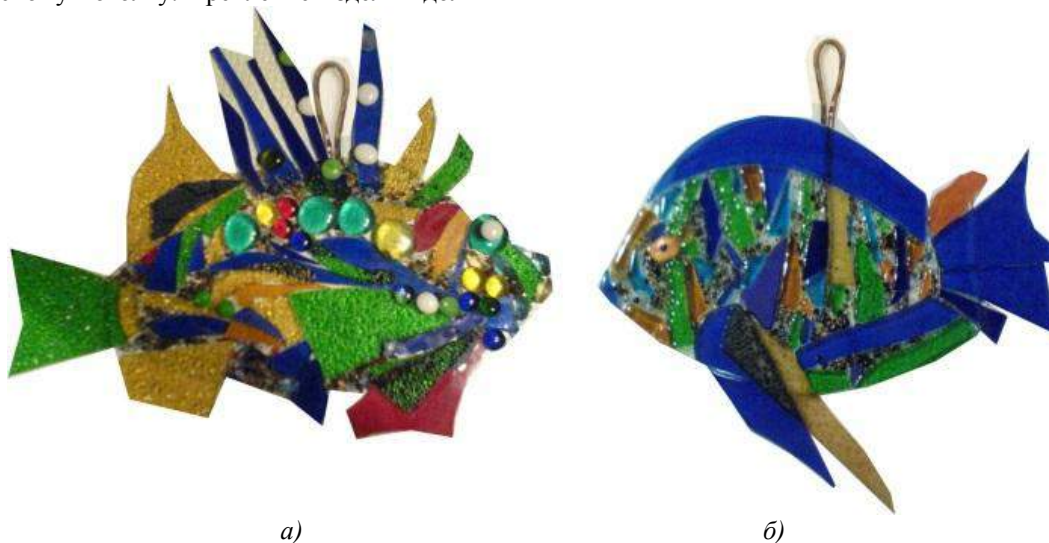


Рис. 1. Изделия из стекла в технологии фьюзинга для оформления интерьера:

a – декоративная рыба для крепления к потолку; *б* – рыба из стекла для декорирования стены интерьера;

В процессе создания таких изделий было использовано стекло с различной фактурой, степенью прозрачности: прозрачное бесцветное Clear Sheet Glass, синее Transparent, желтое Transparent, зеленое Transparent, красное стеклянные камушки System 96 (геммы). Цветовые переходы, фактуры создавались при помощи стеклянной крошки разных цветов и размеров, System 96 (геммы).

Технологическая последовательность изготовления витража в технологии фьюзинга повторяется для изготовления любых декоративных изделий не зависимо от типа стекла и величины изделия. Детали из цветного стекла вырезались стеклорезом вручную, затем шлифовались и закреплялись в соответствии с эскизом на подложке с помо-

щью клея, спекание производилось в печи при температуре 750°C и выдержке 30 минут. После запекания, изделие очищалось и смывались остатки покрытия подложки печи.

Крепления в виде металлических подвесов стеклянных изделий является наиболее удачным, так как наиболее прост в изготовлении.

Другой вид крепления это металлический каркас со встроенным осветительным прибором. Стеклянное изделие крепится на него при помощи хромированных болтов в заранее выполненные отверстия. [4, с.42].

На рис. 2 показаны примеры декоративных светильников выполненных в технологии фьюзинга.

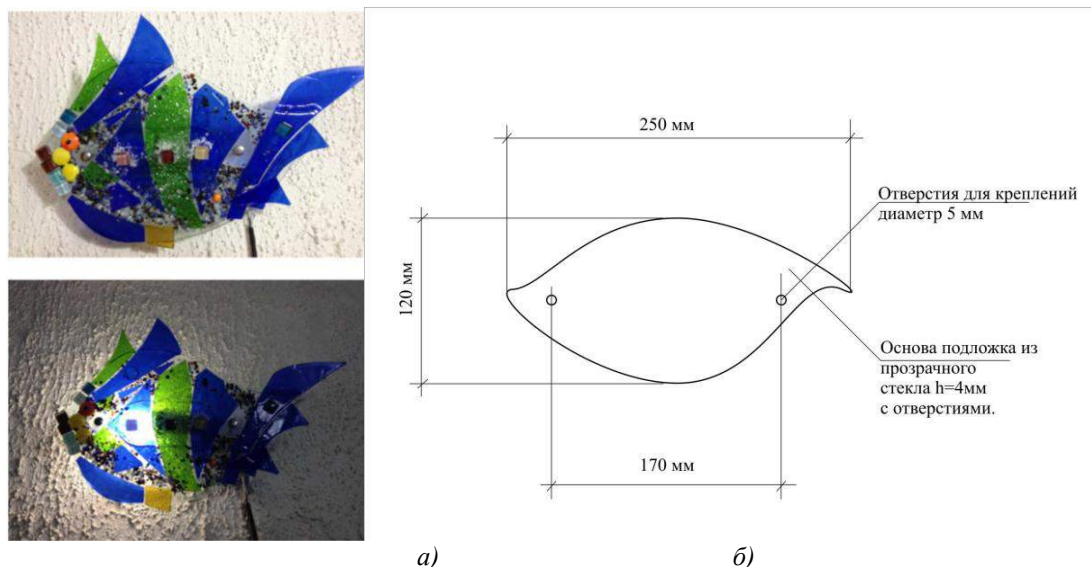


Рис. 2. Светильник из стекла в технологии фьюзинга для оформления интерьера:

a – декоративный светильник ; *б* – схема стеклянной основы светильника;

В таблице 1 представлены характеристики стекла, используемые в изделиях и температура спекания.

Таблица 1

Характеристики стекла и режимы температуры спекания.

Название стекла	Толщина стекла	Температура запекания и выдержки
Clear Sheet Glass (основа, подложка) прозрачная	4 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
Синее Transparent (прозрачное)	4 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
зеленое Transparent (прозрачное)	3 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
желтое Transparent (прозрачное)	3 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
Оранжевое Transparent (прозрачное)	3 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
Красное Стекланные камушки System 96 (геммы)	5 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
Коричневый Стекланная крошка System 96 (геммы)	Крошка 0,5-0,9 мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин
Черное Стекланна крошка System 96 (геммы)	Крошка 0,5-0,9мм	450-750°C. выдержка 20-30 мин

На рис 3 представлен другой способ крепления витражных вставки, изготовленные в технологии спекания, для дверок детской мебели, размер (300x150 мм.) По заданным размерам вырезалось подложка из матового

стекла, на которую при помощи клея закреплялся рисунок из кусочков цветного стекла. После обработки в печи, по окончанию программы охлаждения изделие закреплялось в деревянные дверцы.



Рис. 3. Витражная вставка для дверок детской мебели



Рис. 4. Общие виды двустороннего витража «Ракушки» с закрепленным зеркалом

На рис. 4 дан пример зонирования пространства ресторана «Неаполь» в Иркутске с использованием прозрачного двустороннего витража «Ракушки», помещенного в деревянную раму из натурального дерева и размещенного в центре зеркала, с целью отделения коридора от малого обеденного зала. Изделия изготавливались по заранее подготовленным эскизам с применением технологии нанесения на прозрачную рифленую поверхность вырезанных деталей из цветного стекла и стеклянной крошки. После обработки в печи каждый их элементов размерами 300x300 мм и 300x400 мм закреплялся в деревянную раму и устанавливался в соответствующий проем.

Заключение

Применение технологии спекания стекла (фьюзинга) при изготовлении изделий для декорирования интерьеров является одним из заметных средств современного развития дизайна архитектурных сред. Представлен-

ные краткие сведения о процессе спекания и используемых проектных решениях, способах крепления дополнены иллюстрациями художественных изделий из стекла, выполненных по авторским проектам.

Список литературы

1. Дайнеко В. В., Калихман А. Д. Художественные изделия из стекла в технологии спекания для декоративного оформления интерьеров // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость, 2013. - № 2 (5). - с. 144-151
2. Шульц М. М., Мазурин О. В. Современные представления о строении стёкол и их свойствах. - Л.: Наука. 1988. - 200 с.
3. Литвиненко С. В. Технология фьюзинга. - Киев: Витражная мастерская, 2005. - 123 с.
4. Золоторевский В. С. Механические испытания и свойств металлов.- М.: Металлургия 1974 - 304 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРОЛИЗА

Демиденко Максим Николаевич
ООО «Тобольск-Полимер», Россия

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PYROLYSIS

Demidenko Maxim, LLC "Tobolsk-Polymer", Russia
АНТАЦИЯ

При производстве этилена пиролизом для снижения парциального давления углеводородов на каждый килограмм сырья добавляют 0.5 – 1.5 килограмма водяного пара. В процессе пиролиза углеводородного сырья значительная часть энергозатрат связана с превращением воды в водяной пар, нагрев разбавителя до 800°C и более с последующей конденсацией.

Целью работы является снижение удельных энергозатрат и повышение селективности процесса пиролиза по этилену.

Создание такого же парциального давления углеводородов, как при разбавлении сырья пиролиза водяным паром, возможно при использовании в качестве разбавителя водорода при его массе в 9 раз меньше.

Установлено, что если подать водород на вход печи при различных температурах сырья до начала пиролитических реакций, то он будет играть роль гомогенного катализатора для последующих радикально-цепных реакций. При этом глубина реакции, согласно Корзун, Магарил [7] будет больше при прочих равных условиях, чем без водорода.

Удельный расход тепловой энергии на производство этилена, а также на сумму этилена и пропилена при замене водяного пара на водород снижается. При замене водяного пара на значительно меньшее количество водорода, последний участвует в радикально-цепном процессе, обеспечивающем большую селективность процесса по этилену, тем самым увеличивает выход этилена на 15 % относительных. В результате затраты на производство этилена существенно снижаются.

ABSTRACT

In order to decrease hydrocarbons fractional pressure in the process of ethylene pyrolysis, 0.5 – 1.5 kilograms of aqueous vapour is added to each kilo of feedstock. In the pyrolysis of hydrocarbon feed, a considerable part of the process' power consumption is connected with water vaporization; heat up of diluent to 800° C and more with the subsequent condensation.

The aim of this work is to reduce specific energy consumption and improve selectivity to ethylene of pyrolysis process.

The same hydrocarbons fractional pressure can be created as during diluting by aqueous vapour if we use hydrogen as a diluent with its mass 9 times less.

It was found that if hydrogen is purged to the furnace inlet under different feedstock temperatures prior to the pyrolytic reaction, hydrogen will become a homogeneous catalyst for the subsequent radical-chain reactions. The depth of the reaction, according to Korzun, Magaril [7] will be greater, under otherwise equal conditions, than without hydrogen.

Specific heat energy consumption for the production of ethylene, as well as for the amount of ethylene and propylene, with aqueous vapour substitution to hydrogen decreases. When replacing the vapour for a considerably smaller amount of hydrogen, the latter is involved in a radical chain process, providing greater selectivity for ethylene production, thereby increasing the yield of ethylene at 15% relative. As a result, ethylene production costs are significantly reduced.

Ключевые слова: пиролиз, гомогенный катализ, селективность процесса, снижение удельных энергозатрат, этилен.

Keywords: pyrolysis, homogeneous catalysis, process selectivity, energy cost reduction, ethylene.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент объем мощностей по выпуску этилена во всем мире составляет по оценкам СМАИ (Chemical Market Associates) около 155 млн т. в 2014 г. Журнал «Нефтехимия» [5].

Намечаемые масштабы роста производства этилена таковы, что обеспечение пиролизных установок сырьем только за счет легких бензиновых фракций уже в ближайшие годы окажется невозможным. По мере роста мощностей пиролиза в качестве сырья должны будут использоваться все более тяжелые фракции нефти, включая вакуумный газойль. Снижение содержания водорода во фракциях нефти с их утяжелением приводит к уменьшению выхода этилена и увеличению скорости закоксовывания реакторного змеевика. По этим причинам пиролиз с циркуляцией водорода при частичной или полной замене водяного пара водородом представляется весьма перспективным.

В данной работе мной рассматривается замена воды на водород при пиролизе пропан-бутановой фракции

(ПБФ), при котором соотношение водород : сырье минимально и составляет около 1.5 молей водорода на моль сырья, способы выделения водорода метано-водородной фракции, уменьшение коксообразования с помощью водорода.

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ЗАМЕНЕ ВОДЫ НА ВОДОРОД

Сравним энергозатраты при разбавлении сырья пиролиза водяным паром и водородом. Рассмотрим в качестве примера пиролиз пропан - бутановой фракции при температуре 1100 К.

В таблице 1 приведены результаты расчетов по данным Введенский [2] затрат энергии при пиролизе пропан-бутановой фракции с использованием в качестве разбавителя водяного пара в количестве 0.5 кг на 1кг сырья по данным о составе продуктов пиролиза Мухина, Барабанов, Бабаш [8].

Таблица 1

Затраты энергии при пиролизе с использованием в качестве разбавителя водяного пара (в расчете на 1 кг сырья).

Компоненты на входе процесса, T=300 К				Компоненты на выходе процесса, T = 1100 К			
Название	x _i , кг	ΔH ₃₀₀ , кДж/кг	ΔH ₃₀₀ x _i , кДж	Название	x _i , кг	ΔH ₁₁₀₀ , кДж/кг	ΔH ₁₁₀₀ x _i , кДж
Сырье пиролиза:				Продукты пиролиза:			
Этан	0.014	401	6	Водород	0.01	16050	160
Пропан	0.669	336	225	Метан	0.26	3475	904
Бутан	0.317	337	107	Ацетилен	0.01	2206	22
				Этилен	0.34	2552	868
				Этан	0.08	2990	239
				Пропилен	0.16	2508	401
				Пропан	0.09	336	30
				1,3-Бутадиен	0.05	2342	117
Всего:	1		338	Всего:	1		2740
H ₂ O*	0.5	1256	628	H ₂ O	0.5	2235	1118
Итого:	1.5		966	Итого:	1.5		3858

* жидкость

Доля теплотрат на нагрев разбавителя составляет примерно 20% от затрат тепла на собственно пиролиз углеводородов и 17 % от общих затрат энергии при пиролизе. При этом удельные затраты энергии в расчете на 1 кг этилена составляют $2892/0.34 = 8506$ кДж/кг.

В таблице 2 приведены результаты расчетов по данным Введенский [2] затрат энергии при пиролизе пропан-бутановой фракции с использованием в качестве разбавителя водорода в количестве 0.056 кг на 1 кг сырья.

Таблица 2

Затраты энергии при пиролизе с использованием в качестве разбавителя водорода (в расчете на 1 кг сырья)

Компоненты на входе процесса, T=300 К				Компоненты на выходе процесса, T = 1100 К			
Название	x _i , кг	ΔH ₃₀₀ , кДж/кг	ΔH ₃₀₀ x _i , кДж	Название	x _i , кг	ΔH ₁₁₀₀ , кДж/кг	ΔH ₁₁₀₀ x _i , кДж
Сырье пиролиза:				Продукты пиролиза:			
Этан	0.014	401	6	Водород	0.01	16050	160
Пропан	0.669	336	225	Метан	0.250	3475	904
Бутан	0.317	337	107	Ацетилен	0.001	2206	2
				Этилен	0.390	2552	995
				Этан	0.090	2990	239
				Пропилен	0.170	2508	426
				Пропан	0.069	336	23
				1,3-Бутадиен	0.020	2342	47
Всего:	1		338	Всего:	1		2796
Водород	0.056	4255	238		0.056	16050	900
Итого:	1.056		576		1.056		3696

Доля теплотрат на нагрев разбавителя составляет примерно 27 % от затрат тепла на собственно пиролиз углеводородов и 21% от общих затрат энергии при пиролизе. Выход этилена увеличивается относительно пиролиза с водяным паром примерно на 15 %. При незначительном росте общих затрат энергии, который составляет 8%, снижаются

на 6% удельные энергозатраты на 1 кг этилена при пиролизе с использованием в качестве разбавителя водорода, составляющие $3120/0.39 = 8000$ кДж/кг, снижаются также удельные энергозатраты в расчете на 1 кг суммарного выхода этилена и пропилена (табл. 3).

Таблица 3

Получение этилена пиролизом при использовании различных разбавителей.

Показатель	Пиролиз с водяным паром	Пиролиз с водородом	Изменение, % отн.
Общие затраты энергии на пиролиз, кДж (в расчете на 1 кг сырья)	2892	3120	+8
Удельные затраты энергии на производство этилена, кДж/кг	8506	8000	- 6
Удельные затраты энергии на суммарное производство этилена и пропилена, кДж/кг	5784	5571	- 3.7
Выход этилена, кг/кг сырья	0.34	0.39	+15
Выход пропилена, кг/кг сырья	0.16	0.17	+6.3

Таким образом, в результате замены водяного пара на водород при производстве этилена его себестоимость за счет снижения удельных энергозатрат снижается.

УЧАСТИЕ ВОДОРОДА РАДИКАЛЬНО-ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЯХ ПРИ ПИРОЛИЗЕ

Константы скорости реакций метильного радикала с водородом (k_1) и с бутаном (k_2) согласно Кондратьев, Ямпольский [6, 9] равны соответственно:

$$k_1 = 10^{12.5} e^{-\frac{42600}{RT}}; k_2 = 10^{11.21} e^{-\frac{37600}{RT}}, \text{ см}^3 \text{ моль}^{-1} \text{ с}^{-1}.$$

Найдем отношение констант:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{10^{12.5} e^{-\frac{42600}{RT}}}{10^{11.21} e^{-\frac{37600}{RT}}} \approx 10$$

Тогда отношение скоростей реакций $w_1:w_2$ равно:

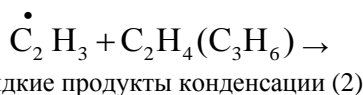
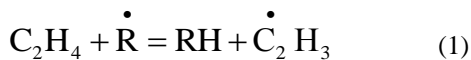
$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{k_1 [H_2]}{k_2 [C_4H_{10}]} \approx 10 \cdot 1.5 = 15$$

Таким образом, получаем, что скорость взаимодействия метильного радикала с водородом в 15 раз больше скорости взаимодействия метильного радикала с бутаном, при средней температуре пиролиза (950-1000 К).

Так как реакция атома водорода с углеводородами много быстрее, чем реакция с ними метильного радикала, то водород проявляет свойство гомогенного катализатора реакций продолжения цепи.

Благодаря практически полной замене метильных радикалов на атомы водорода, при первичном распаде углеводородов, значительно возрастает выход этилена.

Образовавшийся этилен может расходоваться в процессе в результате реакций:



В случае значительной концентрации водорода винильный радикал реагирует с водородом по реакции (3), которая значительно быстрее реакции (2), что ингибирует его расходование.



В случае, когда сырьем пиролиза являются бензиновые и более тяжелые фракции, использование водорода в качестве разбавителя значительно снижает выход жидких продуктов.

СПОСОБЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА

Водород, полученный в процессе пиролиза, попадает при разделении в метано-водородную фракцию и на многих предприятиях используется вместе с метаном как топливо для печей пиролиза. Возможно, однако, разделение метано-водородной фракции различными методами Вольтер, Шалгар [3].

Задачи извлечения и концентрирования водорода в циклах производств успешно решаются с помощью криогенных, мембранных и адсорбционных водородных установок.

При выборе технологии очистки водорода следует учитывать ряд факторов

- производительность установки;
- капитальные затраты на ее производство и поддержание бесперебойной работы;
- требуемая степень очистки;
- необходимая степень извлечения;
- энергозатраты;
- компактность.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ ВОДОРОДНЫХ УСТАНОВОК СВЕРХКОРОТКОГО ЦИКЛА

Область использования адсорбционных водородных установок в нефтепереработке и нефтехимии весьма широка. СКЦА-установки позволяют получать водород с чистотой до 99.9995% при производительности до 100000 $\text{м}^3/\text{ч}$ со степень извлечения до 95%. В СКЦА-установках применяется структурированный адсорбент нового поколения, устойчивый к флюидизации. Это позволяет увеличить скорость цикла до 50 циклов в минуту, по сравнению с традиционными КЦА-установками и, следовательно, в разы уменьшить требуемый объем адсорбента. Поэтому габариты и вес СКЦА-установок, на порядок меньше, чем у установок КЦА.

Благодаря появлению технологии СКЦА представленной на рисунке 1 удалось решить множество проблем, свойственных КЦА-установкам по производству водорода Журнал «ГРАСИС» [4].

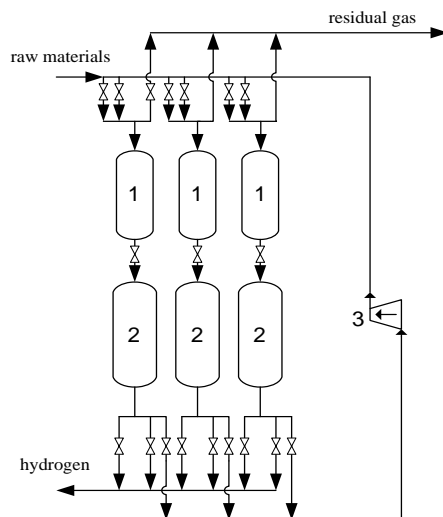


Рисунок 1. Схема адсорбционной водородной установки сверхкороткого цикла. 1 – адсорберы для предварительной отчистки; 2 – основные адсорберы; 3- компрессор.

Таким образом, крупногабаритные традиционные адсорбционные системы могут быть заменены интегрированными модулями СКЦА.

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ВОДОРОДНЫХ УСТАНОВОК

Низкотемпературная конденсация и фракционирование. При выделении водорода из ВСГ его концентрация может достигать 98%. Расход энергии составляет примерно 28,4 кВт·ч на 1000 м³ выделяемого водорода.

Адсорбционное выделение. Этот процесс осуществляется при помощи молекулярных сит в циклически

работающих адсорберах. При этом концентрация извлекаемого водорода равна 99,99%. По сравнению с низкотемпературным методом выделения водорода для проведения этого процесса требуется примерно на 30–40% меньше энергозатрат.

Мембранная установка. Использование широкого ряда мембранных модулей, позволяет выделять водород с концентрацией до 99,5%. По сравнению с низкотемпературным методом выделения водорода для проведения этого процесса требуется примерно на 15-25% меньше энергозатрат Архаров [1].

Таблица 4

Характеристики водородных установок.

Установка	Концентрация водорода, (%)	Степень извлечения, (%)	Производительность, нм ³ /ч	кВт·ч на 1000 м ³
Криогенная	98,0	95	90000	28,4
Мембранная	99,5	98	50000	21,3
Адсорбционная	99,99	95	100000	17,0

Были рассмотрены 3 вида установок по извлечению водорода из метано-водородной смеси. Выше приведены их описания и характеристики согласно критериям подбора установок. Таким образом, для извлечения образующегося водорода наиболее приемлемая является адсорбционная водородная установка сверхкороткого цикла. Использование данной технологии позволит снизить эксплуатационные затраты на 15-40% по сравнению с другими технологиями, и получение большего объема водорода, который будет повторно использоваться в процессе пиролиза.

УМЕНЬШЕНИЕ КОКСООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОДОРОДА

Скорость выделения пироуглерода зависит от строения углеводорода, но в большей степени - от содержания водорода в газовой фазе.

При разбавлении водородом различные углеводороды разлагаются до пироуглерода со значительно различающейся скоростью, увеличивающейся с ростом температуры, но водород снижает скорость выделения пироуглерода из данных углеводородов в 10-200 раз.

Подавление выделения пироуглерода водородом позволяет влиять на образование пироуглерода добавлением водорода к сырью.

На рисунке 2 приведены зависимости скорости выделения пироуглерода от содержания водорода в продуктах пиролиза, со снижением содержания водорода ниже 1% масс. скорость выделения пироуглерода резко возрастает; из данных на рисунке 2 видно, что отношение скорости образования пироуглерода к скорости подачи сырья (величина, пропорциональная выходу пироуглерода на сырье) одинаково для различного сырья при данном содержании водорода в продуктах пиролиза и резко возрастает при содержании водорода менее 1% масс Корзун, Магарил [7].

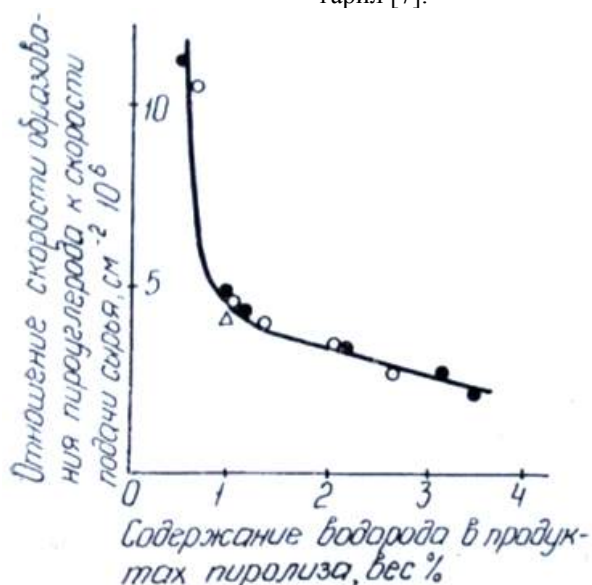


Рисунок 2. Зависимость выхода пироуглерода от содержания водорода в продуктах пиролиза. Пиролиз фракций: Δ – 85 -150 °С; ○ – 200 - 250 °С; ● – 250 - 300 °С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В таблице 5 приведены данные Корзун, Магарил [7] по пиролизу гексана, проводимому с разбавлением сырья

инертным разбавителем, гелием, и пиролизу, проводимому с водородом, в таком же отношении разбавителя к сырью.

Таблица 5

Результаты термического разложения гексана – 1 в гелии и водороде.

Показатели	Температура, °С							
	550		600		650		700	
Газ - разбавитель	He	H ₂	He	H ₂	He	H ₂	He	H ₂
Степень превращения гексана, %	5.6-15.0	5.8-22.3	8.2-19.0	11.5-26.3	9.9-22.8	7.9-27.6	7.2-27.7	7.5-27.7
Выходы, моль/100 моль прореагировавшего C ₆ H ₁₂ :								
CH ₄	27.9	32.2	27.9	35.2	27.9	38.3	29.4	38.9
C ₂ H ₆	11.9	15.2	9.3	15.5	8.1	14.0	6.8	12.7
C ₂ H ₄	57.9	63.4	65.9	74.6	72.1	80.5	76.8	80.3
C ₃ H ₆	68.8	78.6	68.1	69.0	63.5	67.7	58.7	61.8
C ₄ H ₈	17.0	12.5	17.2	12.0	17.7	11.8	19.7	13.9
C ₄ H ₆	24.7	21.6	23.6	21.6	22.8	20.8	26.3	20.5

Как видно из приведенных данных, рост селективности по этилену составляет под действием водорода порядка 10 % относительных.

ВЫВОДЫ

Положительным моментом вовлечения водорода в процесс пиролиза, с точки зрения технико – экономической эффективности, является: снижение удельные энергозатраты и повышает селективность процесса по этилену. Полученные результаты позволяют снизить себестоимость этилена, получаемого в процессе пиролиза. Снижаются удельные затраты на производство этилена на 6%, удельные затраты энергии на суммарное производство этилена и пропилена на 3,7%, повышается выход этилена на 15% относительных, пропилен на 6,3% относительных. Уменьшение образования пироуглерода и как следствие повышение пробега змеевика печи в период эксплуатации её до 1020 – 1500 ч против 500 – 700 ч без добавления водорода. Выход жидких продуктов конденсации снижается, в результате того, что их образование протекает по молекулярному механизму. Водород ускоряет радикально-цепные реакции пиролиза, в то время как молекулярные реакции конденсации остаются без ускорения.

В данной статье была рассмотрена адсорбционная установка сверхкороткого цикла, и сравнена с двумя видами установок по извлечению водорода из метано-водородной смеси. Для извлечения образующегося в процессе водорода наиболее приемлемой является адсорбционная водородная установка сверхкороткого цикла. Использование коротко цикловой адсорбции позволит снизить эксплуатационные затраты на 15-40%, по сравнению с другими представленными технологиями, а также получить наибольшее количество водорода, который будет повторно использоваться в процессе пиролиза.

Все изложенное может быть использовано в условиях компании ООО «Сибур» на промышленных площадках ООО «ТомскНефтехим» и ООО «ЗабСибНефтехим», так как на площадке ООО «Тобольск-Нефтехима» и ООО «Тобольск-Полимера» есть излишний баланс водорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архаров А.М. и др. Криогенные системы: В 2 т. Т.2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем / А.М. Архаров, И.А.Архаров, В.Л.Беляков и др.; Под общ. ред. А.М.Архарова и А.И.Смородина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1999 - 720 с.
2. Введенский А.А. Термодинамические расчеты нефтехимических процессов. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1960. – 575 с.
3. Вольтер Х., Шалгар Л.: Производство водорода, включая процесс газификации нефтепродуктов. VIII нефтяной конгресс. М., 1971
4. Журнал «ГРАСИС» Установки по извлечению водорода из технологических потоков.
5. Журнал «Нефтехимия». Перед началом роста. Банк Москвы. с. 27, 2010 г.
6. Кондратьев В.Н. Константы скорости газозаменных реакций. Справочник: - М.: Наука. 1970. – 351 с.
7. Корзун Н.В., Магарил Р.З. Термические процессы переработки нефти: Учебное пособие – М.: КДУ, 2008. – 96 с.
8. Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Бабаш С.Е. Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия, 1987, 240 с.
9. Ямпольский Ю.П. Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов. – М.: Химия, 1990. – 216 с.

ВЛИЯНИЕ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛООВОГО УЗЛА НА СКОРОСТЬ РОСТА И ОБРАЗОВАНИЕ МАКРО ДЕФЕКТОВ МОНОКРИСТАЛЛА САПФИРА

Дзиов Давид Таймуразович

Аспирант третьего года обучения Северо-Кавказского федерального университета г. Ставрополь

INFLUENCE OF TEMPERATURE GRADIENT THERMAL UNIT ON GROWTH RATE AND EDUCATION MACRO DEFECTS SINGLE CRYSTAL SAPPHIRE

Dziiov David, Graduate student of the third year of study North Caucasus Federal University, Stavropol

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведено исследование скорости роста монокристаллического лейкосапфира, выращиваемого методом Киропулоса. Определена зависимость изменения скорости роста в течение технологического процесса. Выявлена взаимосвязь между технологическими параметрами ростового процесса и образованием газовых включений в приповерхностном слое цилиндрической части кристалла, а также в донной части монокристалла.

Ключевые слова: метод Киропулоса, лейкосапфир, скорость роста, газовые включения.

ABSTRACT

In this article, a study of the growth rate of single crystal sapphire grown by Kyropoulos. The dependence of the growth rate of change during the process. The interrelation between the process parameters of the growth process and the formation of gaseous inclusions in the surface layer of the cylindrical portion of the crystal, as well as at the bottom of the single crystal.

Keywords: Kyropoulos method, leucosapphire, growth rate, gas inclusions.

Монокристаллический лейкосапфир используется в различных сферах: военной технике, медицине, оптике, электронике и др. Самым распространенным методом выращивания крупногабаритных кристаллов является метод Киропулоса. В данном методе оптимально сочетается себестоимость продукции и качество. Технология роста кристалла давно отработана, и успешно применяется на соответствующих производствах, но в процессе роста кристалла в его объеме возникают макро дефекты – пузыри.

Механизм образования пузырей связан с разложением Al_2O_3 при температуре выше $2000^\circ C$ [1 - 4]. Показано [5] что количество газообразных включений в сапфире зависит как от гидродинамики раствора, так и от скорости

продвижения межфазной границе. Однако эти данные невозможно применить для технологии роста монокристаллического лейкосапфира (далее МК ЛС), так как они не связаны с основными технологическими параметрами.

Исходя из выше сказанного, целью работы является изучение влияния осевого и радиального градиентов температур, а также скорости роста МК ЛС на количество газовых включений в растущем кристалле.

Для решения поставленного вопроса была разработана методика, позволяющая определить скорость роста кристалла на различных этапах технологического процесса. Проведен ряд исследований скорости роста кристаллов, выращенных по стандартной технологии роста (рисунок 1).

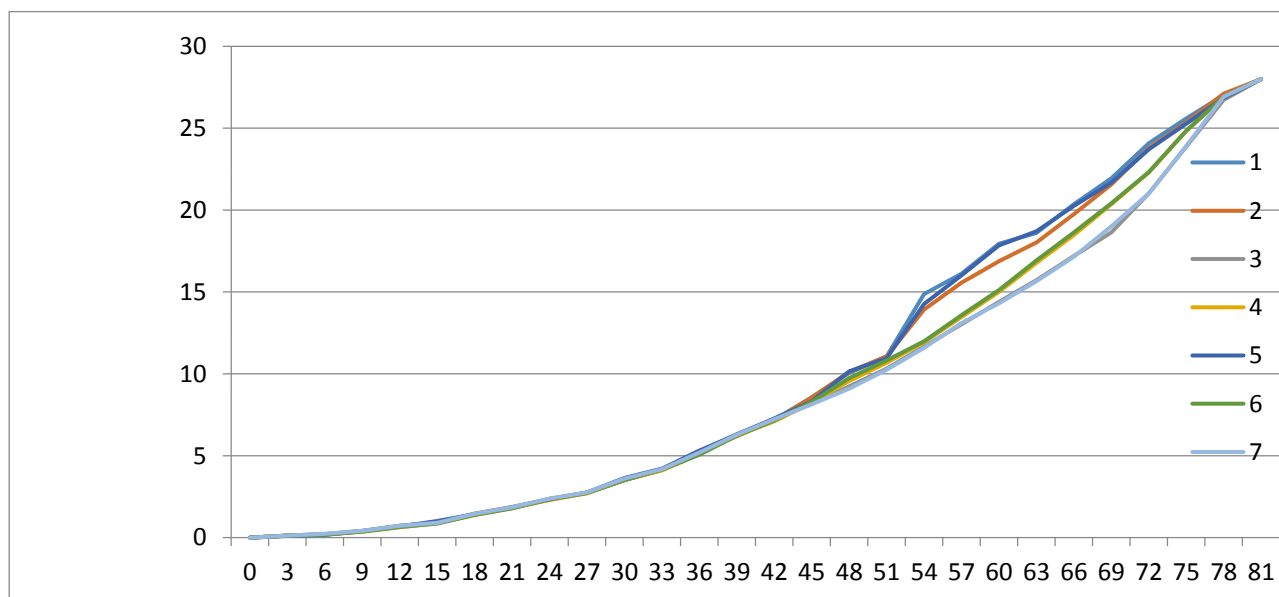


Рисунок 1 – изменение веса растущего кристалла в течение технологического процесса

Полученные данные были усреднены и на их основе построена зависимость изменения скорости роста в течение всего технологического процесса (рисунок 2).

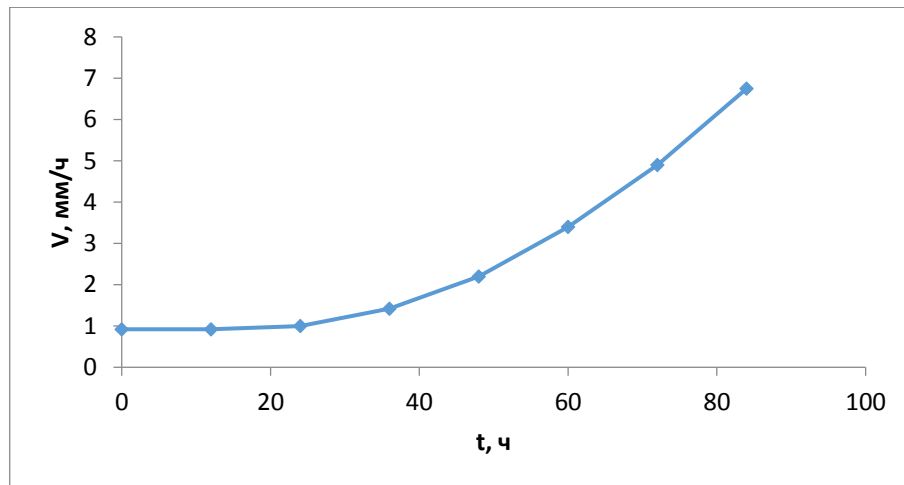


Рисунок 2 – усредненное значение изменения скорости роста кристалла в течение технологического процесса

Для МК ЛС выращенных по стандартной технологии присущи газовые включения в приповерхностном слое цилиндрической части и скопление в придонной части кристалла (рисунок 3).

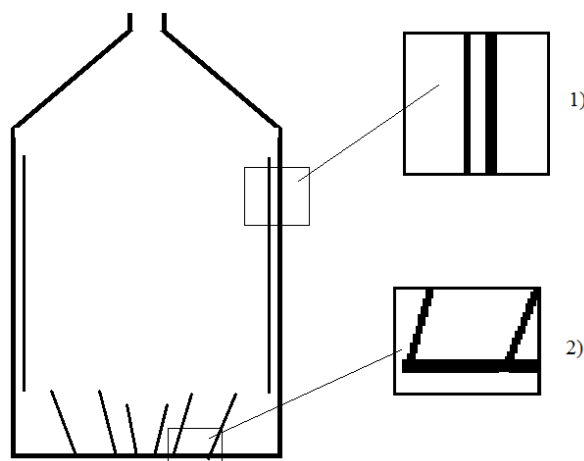


Рисунок 3 – схематическое изображение газовых включений в объеме кристалла. 1 – приповерхностные включения в цилиндрической части, 2 – скопления в придонной части кристалла

Для выявления закономерности влияния скорости роста на образования газовых включений проведены два процесса, в первом, из которых, была резко увеличена скорость роста в конце процесса, а во втором – в начальной стадии с дальнейшей стабилизацией и поддержанием на одном уровне. На рисунке 4 представлены схематические изображения кристаллов с газовыми включениями. Скорость роста МК измерялась каждые 12 часов.

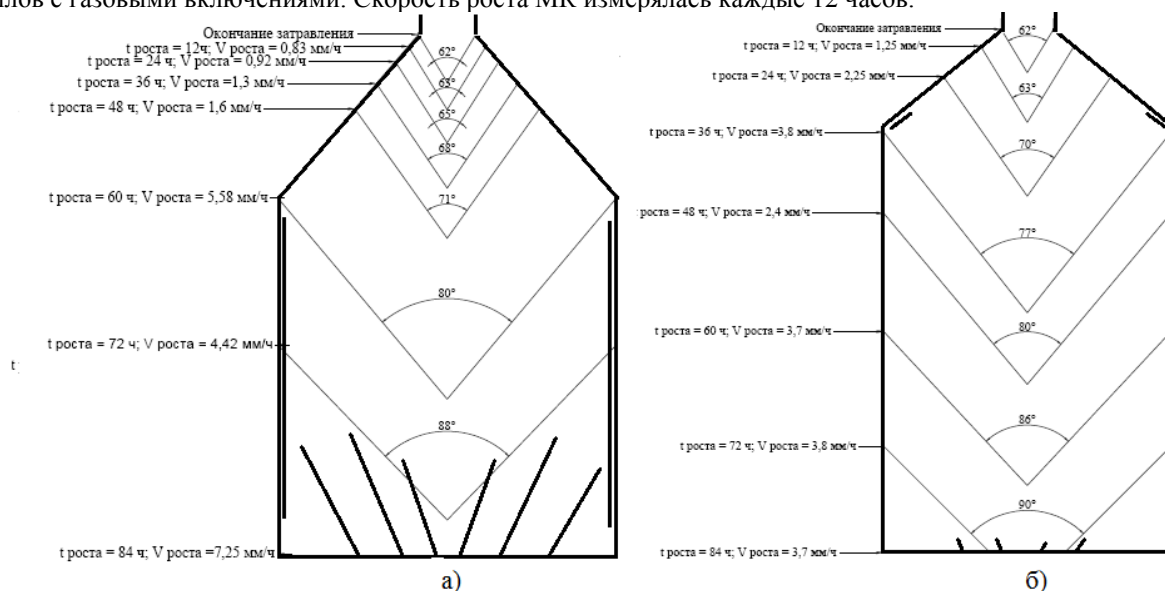


Рисунок 4 – схематическое изображение кристаллов, полученное после обработки экспериментальных данных

Выращенные МК как правило имеют газовые включения в придонной части кристалла и в приповерхностном слое цилиндрической части МК. Если посмотреть на рисунок 4(а) мы увидим, что увеличение скорости роста в заключительной стадии кристаллизации приводит к увеличению дефектов (рисунок 5(а)). Стандартная техноло-

гия роста, когда скорость роста не линейно, но плавно растет (рисунок 2), приводит к незначительному уменьшению количества дефектов. И, на конец, стабилизация скорости роста после 1/3 времени с начала кристаллизации (рисунок 5 (б)), приводит к резкому уменьшению пузырьков в донной части МК и исчезновению в приповерхностном слое цилиндрической части (рисунок 4 (б)).

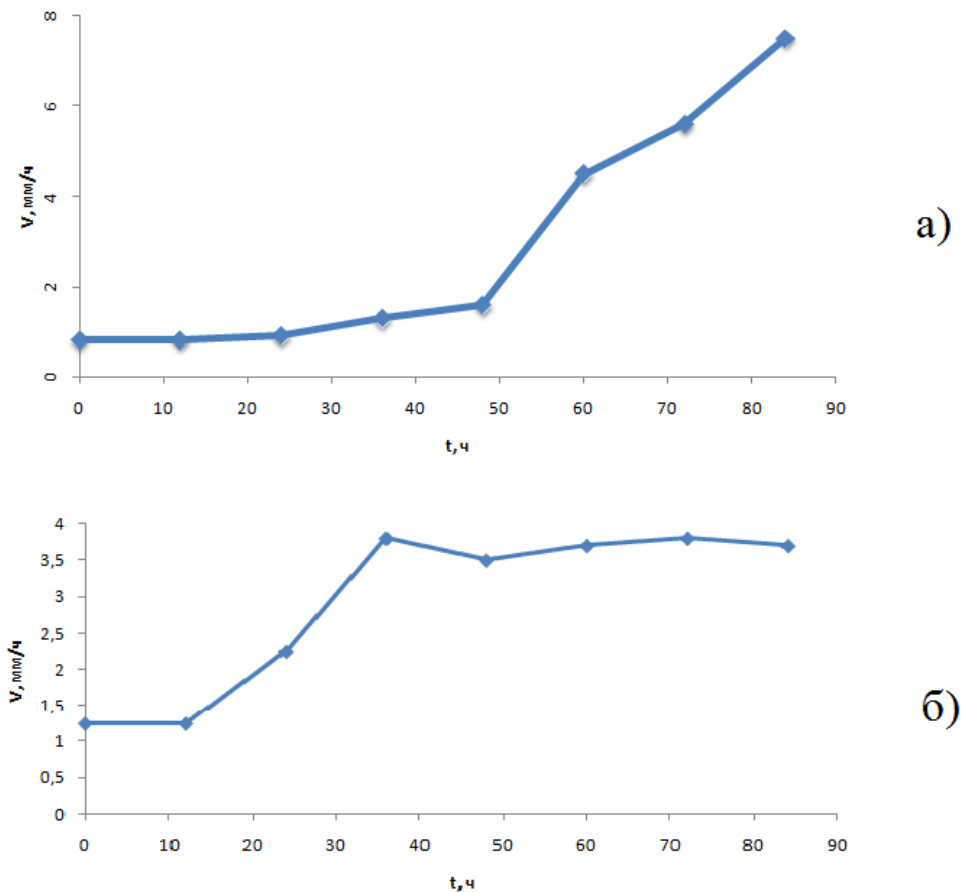


Рисунок 5 – зависимости скорости роста кристаллов от времени

Исходя из работ по гидродинамике [6 - 9] понятно, что кинетика зарастания газовых включений в МК зависит как минимум от следующих факторов:

- скорость движения гетерофазной границе.

- скорости флотации пузырьков по поверхности растущего МК.

Эти два параметра в свою очередь определяются вязкостью расплава и скоростью потока расплава, тормозящею флотацию пузырьков (рисунок 3).

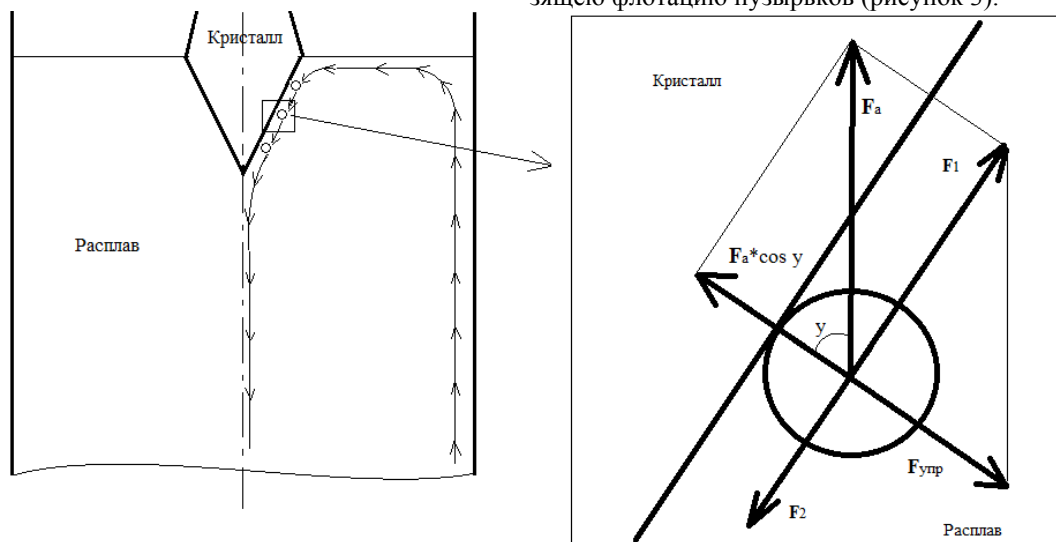


Рисунок 6 – силы действующие на газовое скопление вблизи гетерофазной границе

Понятно, что увеличение температуры расплава приводит к повышению скорости флотации пузырьков, но одновременно увеличивает скорость регенерации пузырей, и наоборот – уменьшение температуры расплава приводит к уменьшению скорости флотации, но и уменьшает скорость регенерации пузырей. Известно, что основным фактором увеличивающим скорость расплава является вертикальный градиент. Учитывая это видим, что МК (а) (рисунок 4), у которого был резко уменьшен осевой градиент температуры и соответственно увеличена скорость роста кристалла, привело к тому, что с одной стороны резкое уменьшение скорости потока расплава, препятствующего всплыванию пузырьков, но в месте с тем и увеличение вязкости расплава стало причиной образования газовых включений в приповерхностном слое цилиндрической части МК. Так же резкое ускорение на конечной стадии роста привело к тому, что пузыри начали захватываться на поверхности растущего конуса. Иная картина для кристалла (б) (рисунок 4). В случае роста кристалла (б) осевой градиент был увеличен, что привело, с одной стороны, к увеличению скорости движения расплава, препятствующей всплыванию пузырьков, а с другой к уменьшению вязкости расплава и как следствие исчезновение газовых включений в приповерхностном слое цилиндрической части кристалла. Так же за счет увеличения осевого градиента температур, удалось стабилизировать скорость роста цилиндрической и донной части кристалла, а именно 3 - 3,5 мм/ч, что привело к значительному уменьшению газовых включений в придонной части МК.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что основной вклад в образование газовых включений при росте МК методом Киропулоса привносит вязкость рас-

плава и скорость движения гетерофазной границе. Достижение оптимального соотношения данных параметров дает возможность выращивания МК ЛС высокого качества.

Список литературы

1. Rasmussen J. I, Levson R. P. II J. Amer. Ceram. Soc. 1971. V. 54. № 8. P. 398- 404.
2. Александров В. И., Осико В. В., Татаринцев В. М. Плавнение тугоплавких диэлектрических материалов высокочастотным нагревом // ПТЭ. 1970. № 5. С. 222-225.
3. Бокий Г. Б. Кристаллохимия. — М., 1971. 400 с.
4. Кристаллография и кристаллохимия (посвящ. Н. В. Белову). — М., 1986. 325 с.
5. Багдасаров Х. С, Холов А., Курбанов ХМ. Об использовании оптических квантовых генераторов для выращивания высокотемпературных монокристаллов // Доклады АН Таджикской ССР. 1980. 23. №1. С. 18-20.
6. Большое Л. А., Кондратенко П. С, Стрижов В. Ф. Свободная конвекция тепловыделяющей жидкости//УФН. 2001. Т. 171. Ш 10. С. 1051-1070.
7. Конаков П. К, Веревошкин Г. К, Горяинов Л. А. и др. Тепло- и массообмен при получении монокристаллов. — М.: Металлургия, 1971. 240 с.
8. Журавлев Ю. А., Задворный А. Г., Менее В. В. II Теплофизика высоких температур. 1980. Т. 18. Ш 2. С. 408-415.
9. Тиман Б. Л., Бурачас С. Ф. Влияние условий выращивания кристалла из расплава на его радиус // Кристаллография. 1978. Т. 23. Вып. 6. С. 1262-1263.

ОСОБЕННОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОШКОВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕОДНОРОДНОМ ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Егоров Иван Николаевич

канд. техн. наук, доцент Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону

Черный Александр Игоревич

аспирант Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону

FEATURES OF RHEOLOGICAL STATE OF FERROMAGNETIC POWDERS IN VARIABLE GRADIENT MAGNETIC FIELD

Egorov Ivan Nikolaevich, cand. of tech. sciences, ass. professor of Don state technical university, Rostov-on-Don

Chernyi Aleksandr Igorevich, post graduate student of Don state technical university, Rostov-on-Don

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается методика получения устойчивого магнитоожигенного слоя из тонкодисперсного порошка феррита стронция. Приведены результаты исследования реологического состояния дисперсной среды по изменению сигнала ЭДС, наведенного в индуктивном датчике порошком. Показано, что интенсивность движения ферромагнитных частиц в магнитоожигенном слое зависит от степени заполнения рабочей камеры и параметров электромагнитного воздействия.

ABSTRACT

The method of obtaining stable magnetoliquefied layer from fine strontium ferrite powder is reviewed in the paper. Study results of disperse medium rheological state by means of EMF signal induced by powder in inductive sensor changes measurements are presented. Dependency of ferromagnetic particles movement intensity in magnetoliquefied layer from the working chamber occupancy and electromagnetic effect parameters is shown.

Ключевые слова: псевдоожигенный слой, порошки ферромагнитных материалов, дисперсная среда

Keywords: pseudoliquefied layer, ferromagnetic powders, disperse medium

Псевдооживление твердых дисперсных систем с целью интенсификации технологических процессов привлекает к себе внимание не одно десятилетие. Образование устойчивого псевдооживленного слоя возможно при различных воздействиях на дисперсную систему: вибрационное за счет действия механических сил [1, с. 12, 4, с. 147]; гидрооживление, осуществляемое в стационарном потоке жидкости; аэрооживление, обусловленное прохождением через порошок газового потока. Для дисперсных материалов, обладающих некоторой электропроводностью псевдооживленный слой обеспечивает электродинамический метод [6, с. 7]. Дисперсные системы магнитных материалов переходят в псевдооживленное состояние путем воздействия: однородного переменного магнитного поля [7, с. 134], вращающегося магнитного поля [2, с. 104], переменного неоднородного и постоянного магнитных полей [3, с. 44]. Для того чтобы воздействовать на дисперсную среду в нужном направлении необходимы исследования основных закономерностей реологического состояния псевдооживленного слоя.

В переменном неоднородном и постоянном магнитных полях, силовые линии которых взаимно перпендикулярны из порошков ферромагнитных материалов образуется динамически устойчивое взвешенное состояние – магнитооживленный слой. В зависимости от режимов электромагнитного воздействия в магнитооживленном слое

происходит разрушение агрегатов или формирование вторичных агрегатов, имеющих ферромагнитное упорядочение магнитных моментов частиц.

Для исследований порошок феррита стронция со средним размером частиц 0,93 мкм помещался в камеру высотой 24 мм и диаметром 20 мм. Камера с исследуемым порошком располагалась между полюсами электромагнита переменного тока и постоянного тока (рис. 1). Вектор индукции постоянного магнитного поля направлен в горизонтальной плоскости, а неоднородного переменного – в вертикальной. Камера помещалась внутри индуктивного датчика, представляющего собой цилиндрическую катушку, имеющую 90 витков, высотой 24 мм. При неизменных параметрах установки ЭДС, наводимая в катушке, измерялась дважды: без порошка в камере (ε) и с исследуемым порошком (ε_1). Сигнал, наводимый движущимся порошком, определялся как разность значений ЭДС $\Delta\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon$ [5, с. 19]. С помощью данного метода исследовали влияние процента заполнения камеры порошком феррита стронция на свойства псевдооживленного слоя, образованного в переменном магнитном поле с градиентом индукции 253,3 мТл/м при различных значениях индукции постоянного магнитного поля.

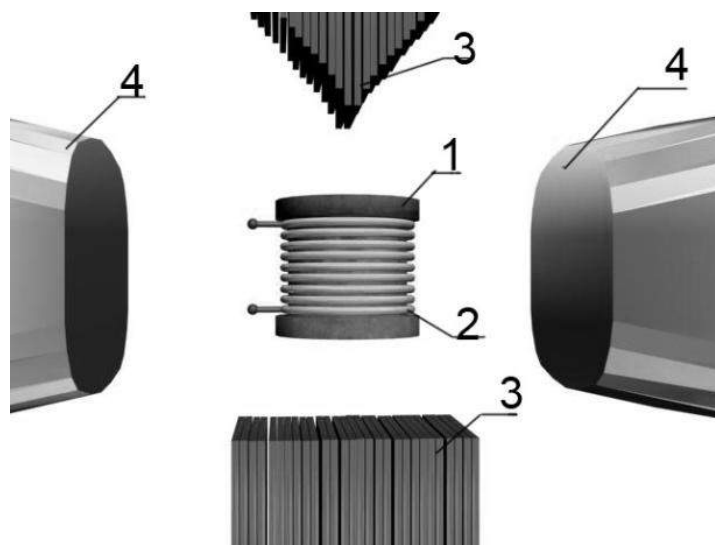


Рис. 1. Схема расположения индуктивной катушки с измерительной камерой в электромагнитном поле: 1 – камера; 2 – катушка; 3 – полюсные наконечники электромагнита переменного тока; 4 – полюсные наконечники электромагнита постоянного тока

Экспериментальные зависимости наведенного движущимся порошком сигнала $\Delta\varepsilon$ от процента заполнения камеры порошком феррита стронция для различных значений индукции постоянного магнитного поля имеют немонотонный характер (рис. 2). Как видно из рисунка 2 при фиксированных значениях параметров переменного и постоянного магнитных полей с увеличением процента заполнения камеры порошком до некоторого значения возрастает сигнал ЭДС, следовательно, происходит рост магнитного момента, наводящего в индуктивном датчике $\Delta\varepsilon$. Этот рост может быть обусловлен увеличением числа частиц, движущихся в магнитном поле и наводящих сигнал ЭДС, а также разрушением первичных агрегатов. При

дальнейшем увеличении процента заполнения камеры порошком интенсивность движения частиц уменьшается из-за увеличившегося числа столкновений частиц друг с другом, а также из-за более интенсивного формирования магнитных цепочек, вызванного уменьшившимися расстояниями между частицами. Максимальный сигнал ЭДС соответствует динамическому равновесию между двумя этими процессами.

Из экспериментальных исследований, приведенных на рисунке 2 следует, что существует такая плотность псевдооживленного слоя при которой ЭДС обладает максимальным значением. Процессы, протекающие в псевдооживленном слое при фиксированном значении градиента

индукции переменного магнитного поля и различных значениях индукции постоянного магнитного поля, аналогичны. Максимальная величина ЭДС соответствует загрузке порошка феррита стронция в количестве (45–60)% объема камеры. Например, при индукции постоянного магнитного поля 3,72 мТл при 8% заполнении рабочей камеры порошком $\Delta\varepsilon = 8,7$ мВ. При загрузке на 44% объема камеры $\Delta\varepsilon = 58,5$ мВ. И при заполнении камеры по-

рошком на 100% сигнал ЭДС уменьшается до 33,7 мВ. Однако, величина максимума при фиксированной загрузке камеры порошком с увеличением индукции постоянного магнитного поля с 3,72 мТл до 11,9 мТл возрастает, а при дальнейшем повышении индукции постоянного магнитного поля уменьшается. Этот результат можно объяснить образованием магнитных цепочек, размеры которых увеличиваются с возрастанием индукции постоянного магнитного поля.

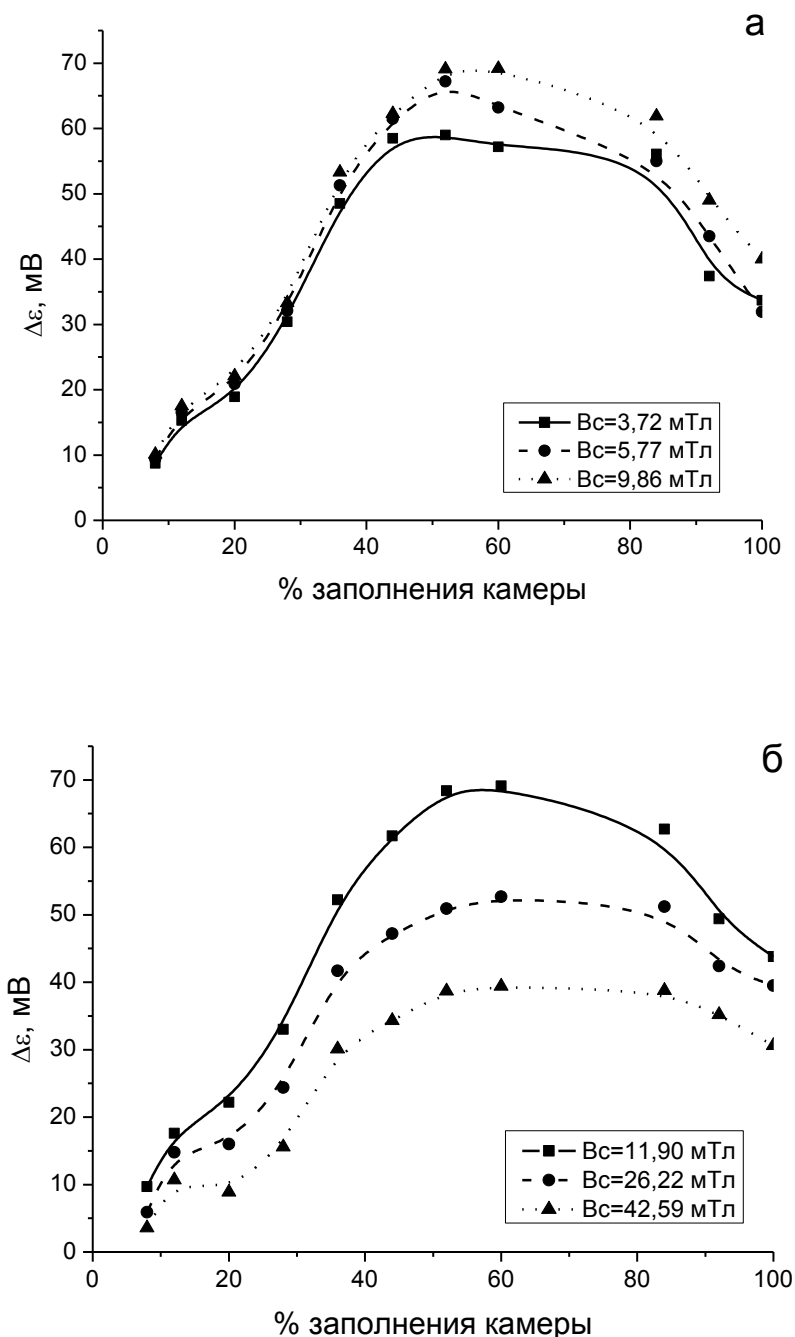


Рис. 2. Зависимость сигнала ЭДС индукции, наводимого в датчике псевдооживленным слоем порошка феррита стронция от процента заполнения камеры при фиксированных значениях индукции постоянного магнитного поля

Таким образом, экспериментально установлено, что величина ЭДС, характеризующая изменение реологического состояния порошка, зависит в основном от плотности псевдооживленного слоя и параметров электромагнитного воздействия. Поскольку электромагнитные поля

оказывают существенное влияние на реологические особенности псевдооживленного состояния порошков магнитных материалов, то приведенные зависимости должны учитываться в каждом конкретном случае практической реализации.

Список литературы:

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998.- 624 с.
2. Болога М.К., Марта И.Ф. Магнитооживление во вращающемся магнитном поле // Магнитная гидродинамика. – 1988.- №3.– С. 103 – 108.
3. Егоров И.Н. Исследование электромагнитного воздействия на процессы структурообразования в магнитооживленном слое ферритовых дисперсных систем / Вестник ДГТУ.-2012, № 3 (64).- С. 44 – 50.
4. Егорова С. И., Земляков Н. Д. Выбор режимов акустического воздействия при текстурировании постоянных магнитов // Приборы, средства автоматизации и системы управления: Тр. VIII Всесоюз. конф. по постоянным магнитам.- М.: 1985.- Вып. 2,3,4.- С. 147.
5. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. «Техніка», 1976, 144 с.
6. Мяздриков О. А. Электродинамическое псевдооживление дисперсных систем.- Л.: Химия, 1984.-160 с.
7. Столкновительное поглощение энергии частицами гранулированного материала в магнитном поле / А.П. Лупанов, А.Ю. Винаров, А.П. Канавин, В.И. Пантелеев // Журнал технической физики.– 2007.- Т. 77.- вып. 7. – С. 134 – 135.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БИЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Егоров Иван Николаевич

канд. техн. наук, доцент Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону

Егоров Николай Яковлевич

канд. техн. наук, доцент Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC EFFECT PARAMETERS ON MILLING INTENSITY IN BEATER MILL

Egorov Ivan Nikolaevich, cand. of tech. sciences, ass. professor of Don state technical university, Rostov-on-Don

Egorov Nikolay Yakovlevich, cand. of tech. sciences, ass. professor of South federal university, Rostov-on-Don

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена проблеме интенсификации процесса измельчения в бильной мельнице. Проведены исследования зависимости скорости измельчения от среднего размера частиц порошка феррита стронция, полученного при измельчении в бильной мельнице без электромагнитного воздействия и в магнитооживленном слое. Показано, что измельчение в магнитооживленном слое, сформированном в неоднородном переменном и постоянном магнитных полях в области вращающихся бил, позволяет повысить эффективность процесса и получить тонкодисперсный порошок.

ABSTRACT

The paper is devoted to the problem of milling process intensification in beater mill. Studies of milling speed dependency from average strontium ferrite powder particle size obtained with and without creation of magnetoliquefied layer were carried out. It was shown that milling with creation of magnetoliquefied layer formed with variable gradient and constant magnetic fields in the area of rotating beaters allows to increase process efficiency and obtain fine powder.

Ключевые слова: магнитооживленный слой, скорость измельчения, бильная мельница.

Keywords: magnetoliquefied layer, milling speed, beater mill.

Разнообразие требований, предъявляемых практикой к порошкам магнитных материалов, привело к созданию разнообразной аппаратуры для перевода твердых веществ в дискретное состояние с заданным гранулометрическим составом. Для получения тонкодисперсных порошков ферромагнитных материалов применяются вращающиеся шаровые, вибрационные, ударные и струйные типы мельниц [4, с. 9]. Производительность и качество получаемого порошка для каждого типа мельниц определяют экспериментально. Одним из большого числа разработанных методов диспергирования является обработка ферромагнитных дисперсных материалов в бильной мельнице в магнитооживленном слое, который создается путем воздействия на дисперсную среду переменным с частотой 50 Гц неоднородным и постоянным магнитными полями, силовые линии которых взаимно перпендикулярны и параллельны плоскости вращения бил [2, с. 18, 3, с. 2]. В мельнице измельчение осуществляется за счет взаимодействия бил вращающихся в рабочей камере с частотой 15 тысяч об/мин с частицами обрабатываемого материала. В переменном неоднородном магнитном поле на частицы

ферромагнитного материала действует сила, направление которой меняется с той же частотой, с которой меняется поле. Величина силы, следовательно, и ускорения приобретаемого частицами при поступательном движении в магнитооживленном слое зависят от величины градиента индукции. Таким образом, на эффективность диспергирования можно влиять, изменяя условия, в которых проводится измельчение, в частности варьируя градиент индукции переменного магнитного поля.

Целью работы является исследование влияния величины градиента индукции переменного магнитного поля на эффективность измельчения и качество получаемого порошка.

Для исследования использовали дисперсный материал феррита стронция ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) со средним размером частиц $d_{cp} = 1558,5$ мкм, дисперсией 497 мкм, медианой 1477 мкм. Исходный материал измельчали в течение 120 минут в бильной мельнице без электромагнитного воздей-

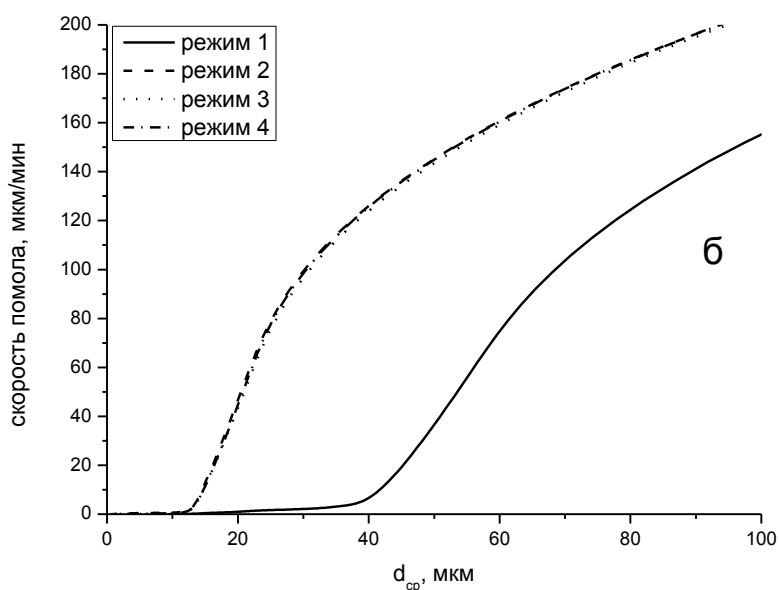
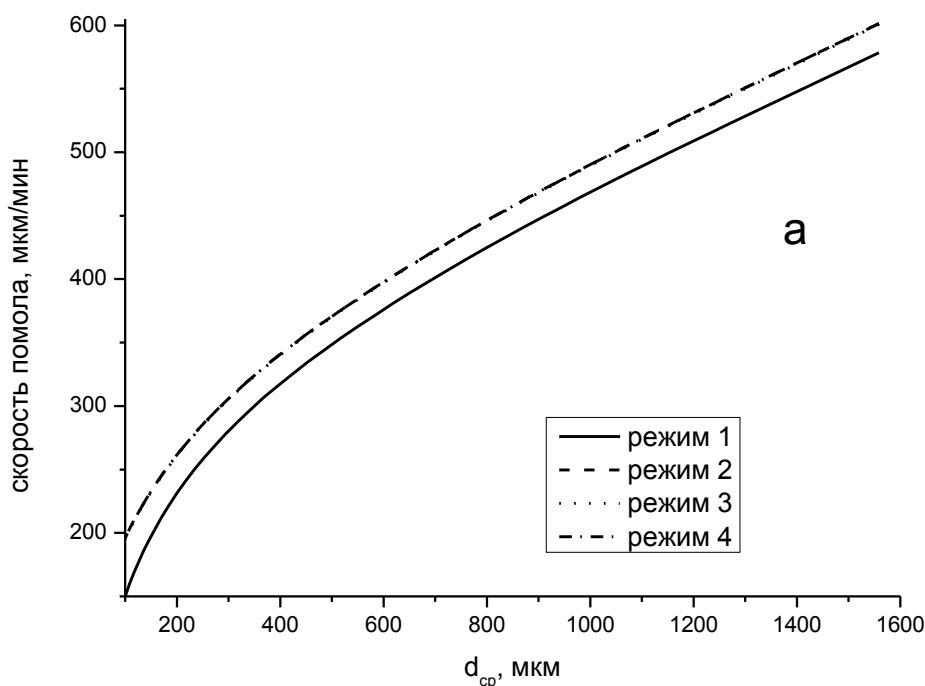
ствия (режим 1) и в магнитных полях: переменном с градиентами индукции 90 (режим 2), 150 (режим 3), 270 мТл/м (режим 4) и постоянном с индукцией 15,4 мТл.

Динамика изменения дисперсного состава порошка, подвергнутому размолу в бильной мельнице, от времени измельчения исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе Zeiss Supra 25. Скорость измельчения феррита стронция в бильной мельнице исследовалась по средним размерам частиц получаемого порошка в течение времени помола до 120 минут.

Из зависимостей, представленных на рис. 1 видно, что при измельчении исходного материала феррита стронция во всех исследованных режимах обработки с

уменьшением среднего размера частиц скорость измельчения, как и следовало ожидать, уменьшается. Из представленных на рис. 1 зависимостей следует, что скорость измельчения в режиме 1 меньше, чем в режимах 2-4. При измельчении в магнитоожигенном слое в исследуемых режимах скорость измельчения отличается только при достижении среднего размера частиц 12 мкм (рис. 1в) и то всего на 0,3 мкм/мин.

Из рис. 1а видно, что при уменьшении среднего размера частиц до 1000 мкм скорость измельчения в режиме 1 и 2-4 отличается на 17 мкм/мин. При достижении среднего размера частиц обрабатываемого порошка до 200 мкм эта разница уже составила 39 мкм/мин.



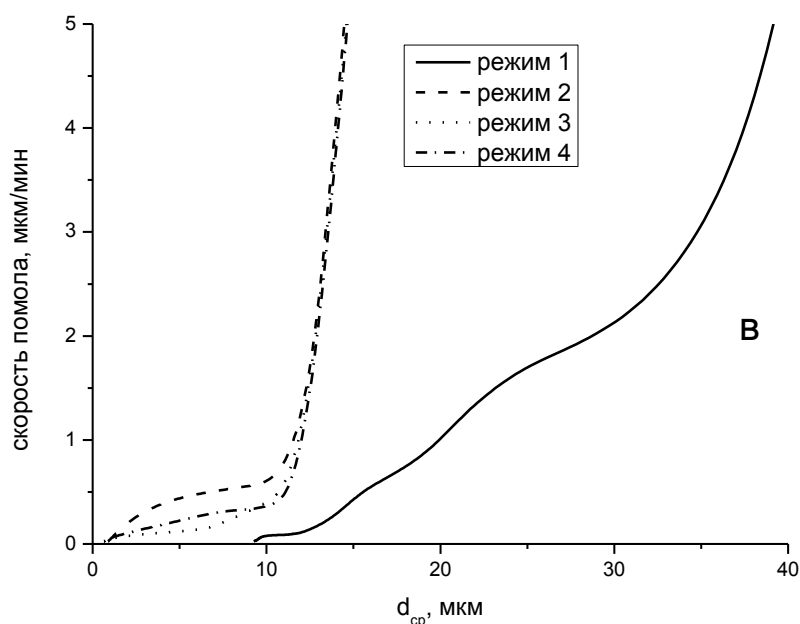


Рис. 1. Зависимость скорости помола от среднего размера частиц порошка, полученного при измельчении в бильной мельнице: а, б, в - уменьшение среднего размера частиц до 200 мкм; 30 мкм; 0,5 мкм.

Из рис. 1б следует, что при достижении среднего размера частиц 40 мкм различие скоростей измельчения без электромагнитного воздействия и в магнитоожигенном слое составило 109,9 мкм/мин. В дальнейшем с уменьшением среднего размера частиц обрабатываемого материала разница в скоростях измельчения уменьшается (рис. 1в).

Из полученных результатов следует, что чем более крупные частицы обрабатываемого материала, тем меньше разница скорости измельчения в мельнице без электромагнитного воздействия и в магнитоожигенном слое. С уменьшением размера частиц эта разница возрастает. Так как на частицы в магнитоожигенном слое движутся под действием силы со стороны внешнего магнитного поля, силы тяжести и сил, обусловленных воздействием магнитных полей соседних частиц, то чем больше масса частицы, тем меньшее она приобретает ускорение. Поэтому при больших размерах частиц измельчение в магнитоожигенном слое осуществляется в основном за счет взаимодействия вращающихся бил с частицами. При уменьшении размеров частиц интенсивность движения частиц возрастает, что приводит к истиранию частиц за счет межчастичного трения при поступательном движении в переменном неоднородном магнитном поле. Однако, с уменьшением размера частиц возрастают силы межчастичного взаимодействия, поэтому в магнитоожигенном слое уже движутся не отдельные частица, а вторичные агрегаты [1, с. 49]. Поэтому на определенном этапе скорость измельчения опять уменьшается.

Через 120 минут измельчения исходного материала феррита стронция в мельнице без электромагнитного воздействия получается порошок, средний размер частиц которого 9,3 мкм, дисперсия 11,0 мкм, медиана 6,4. При измельчении в режимах 2, 3 и 4 средний размер частиц порошка практически одинаков и составил 0,57, 0,56 и 0,55 соответственно. Дисперсия порошков изменяется от 0,34 мкм до 0,37 мкм, а медиана 0,45-0,47.

С увеличением градиента индукции переменного магнитного поля возрастает энергонапряженность процесса измельчения. Потребляемая электромагнитом переменного тока мощность в режиме 2 составляет 75 Вт, тогда как для режимов 3 и 4 - уже 108 и 212 Вт соответственно (или режимы 3 и 4 потребляют электроэнергии на 44% и 182% больше, чем режим 2). Таким образом, из приведенных результатов следует, что целесообразно обрабатывать исходный материал в магнитоожигенном слое в режиме 2.

На основании проведенных исследований можно заключить, что измельчение в магнитоожигенном слое в бильной мельнице, значительно интенсифицирует процесс и позволяет получать тонкодисперсные порошки ферромагнитных материалов, однако необходимо выбирать оптимальный режим электромагнитного воздействия.

Список литературы:

1. Егоров И.Н. Исследование электромагнитного воздействия на процессы структурообразования в магнитоожигенном слое ферритовых дисперсных систем // Вестник ДГТУ. – 2012. - № 3 (64). – С. 44 – 50.
2. Егоров И.Н., Егорова С.И. Влияние электромагнитного воздействия на дисперсный состав при помоле ферромагнитных материалов в бильной мельнице // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2013.- № 1.- С. 18-21.
3. Способ измельчения магнитных материалов и устройство для его осуществления: пат. 2306180 Рос. Федерация. № 2006103313/03; заявл. 06.02.2006; опубл. 20.09.2007, Бюл. № 26. 2 с.
4. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М. - Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972. 308 с.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТАЛЕФИБРОБЕТОНАХ

Елсуфьева Марина Сергеевна

Аспирант кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва

Соловьев Вадим Геннадьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва

METHODS TO REDUCE SHRINKAGE OF STEEL FIBRE CONCRETE

Yelsufyeva Marina Sergeevna, Graduate student of the department "Technology binders and concretes", Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Solovyev Vadim Gennadyevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the department "Technology binders and concretes", Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены результаты исследования комплексного влияния расширяющихся добавок и дисперсного армирования на усадочные деформации сталефибробетонов. Определено, что введение стальной фибры в мелкозернистый бетон на расширяющихся добавках снижает его собственные деформации на 26...83 % в зависимости от коэффициента армирования. Установлено, что стальная фибра, находясь в объеме бетонной матрицы, воспринимает растягивающие-сжимающие напряжения, сдерживая развитие усадочных-расширяющихся деформаций, что формирует преднапряженный фиброкаркас.

ABSTRACT

This article presents the results of research into the complex influence of the expanding additives and particulate reinforcement on shrinkage of steel fibre concrete. It was determined that the introduction of fine steel fiber in concrete with expanding additives reduces deformation by 26 ... 83%, depending on the ratio of reinforcement. It is established that the steel fibers are in the volume of the concrete matrix perceives tensile and compressive stress, limiting the development of shrinkage and expanding deformation that generates prestressed condition of steel fibre.

Ключевые слова: сталефибробетон, расширяющие добавки, усадочные деформации.

Key words: steel fibre concrete, expanding additives, deformation.

Усадочные деформации, возникающие в процессе твердения, вызывают растягивающие напряжения в бетоне, что приводит к образованию и развитию трещин, снижая тем самым трещиностойкость и долговечность бетонных конструкций.

В современном строительстве проблему усадки бетона возможно решить несколькими путями. Наряду с традиционными способами снижения усадочных деформаций, такими как снижение количества воды затворения и регулирования минералогического состава и тонкости помола цемента, основным и наиболее исследуемым решением данной проблемы является применение напрягающих цементов или введение в обычный портландцемент расширяющих добавок [4, с. 28; 5, с. 84]. В бетонах с расширяющими добавками в процессе твердения поры зарастают гидросульфалоюминатом кальция, образующегося в результате гидратации цемента и расширяющего компонента. Цементный камень при этом получается плотным с равномерно распределенными мельчайшими герметизированными порами определенной гранулометрии, наличие которых придает упругость и снижает внутренние напряжения, повышая тем самым трещиностойкость бетона [2, с. 87]. Механизм расширения цементов при введении алюминатно-сульфатной добавки связан с образованием гидросульфалоюмината кальция (3CaO·Al₂O₃·CaSO₄·32H₂O) при взаимодействии алюмо- и сульфатсодержащих фаз. Образование гидросульфалоюмината кальция происходит параллельно с гидратацией цементного камня, когда структура бетона склонна к пластическим деформациям, и способна воспринимать расширяющие напряжения без угрозы снижения прочности или разрушения бетона.

Другим эффективным технологическим приемом снижения усадки и повышением трещиностойкости бетонов является использование армирующих элементов, которые оказывают существенное влияние на характер образования и распределения трещин в бетоне. Дисперсное армирование приводит к более равномерному перераспределению возникающих в бетоне напряжений, блокирует развитие усадочных трещин, а также препятствует возникновению магистральных трещин при эксплуатационных нагрузках [1, с. 62; 3, с. 303].

Несмотря на одинаковый практический эффект – снижение трещинообразования и повышение трещиностойкости, от введения расширяющихся добавок и дисперсного армирования механизм их влияния на структуру бетона различный.

В рамках данного исследования была поставлена задача определить комплексное влияние расширяющих добавок и стальной фибры на собственные деформации сталефибробетонов в процессе твердения.

При проведении исследований в качестве вяжущего использовался портландцемент М500Д0 по ГОСТ 10178, заполнителя - песок М_{кр} 2,3 по ГОСТ 8736. В качестве расширяющих добавок использовались добавки РД-Н производства ООО «Консолит» (Россия), РСАМ и КРДэрсаммикс (далее КРД) производства ОАО «Парад» (Белоруссия). В качестве дисперсного армирующего элемента использовалась стальная волновая фибра изготовленная из высокоуглеродистой проволоки, с модулем упругости не менее 200 ГПа, временным сопротивлением разрыву не менее 1200 МПа. Длина фибры составляла 15 мм, диаметр 0,3 мм.

Для исследования усадочных деформаций сталефибробетонов с расширяющимися добавками изготавливались образцы размером 70×70×280 мм из бетонной смеси с цементно-песчаным соотношением 1:2 при В/Ц = 0,4, расширяющие добавки вводились в количестве 5%,

10% и 15% от массы цемента, суперпластификатор (Полипласт СП-1, производитель компания «Полипласт») – 0,7% от массы цемента.

Результаты проведенных испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Деформации сталефибробетона с расширяющимися добавками в возрасте 28 суток

№ п.п	Тип добавки	Дозировка добавки, %	μ_v , %	Деформации в возрасте 28 суток, мм/м	Изменение деформаций в возрасте 28 суток*, %
1	Без добавки	0	0,3	-0,175	26
2			1,1	-0,156	34
3			1,9	-0,138	42
4	РСАМ	5	0	-0,157	0
5			0,3	-0,084	46
6			1,1	-0,069	56
7		1,9	-0,050	68	
8		10	0	0,271	0
9			0,3	0,162	40
10			1,1	0,137	49
11			1,9	0,093	66
12		КРДэрсаммикс	5	0	-0,094
13	0,3			-0,070	26
14	1,1			-0,039	59
15	1,9			-0,016	83
16	10		0	0,069	0
17			0,3	0,042	39
18			1,1	0,022	68
19			1,9	0,017	75

* - по сравнению с контрольными составом бетона без фибры и расширяющейся добавки.

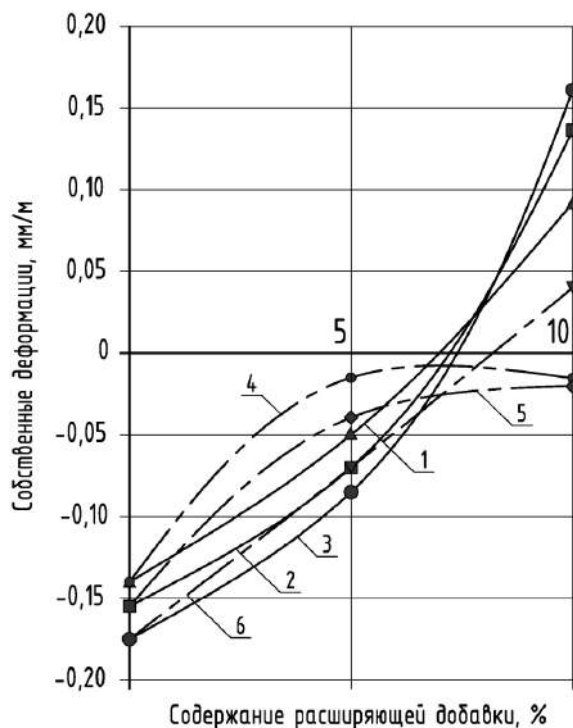
На основании проведенных испытаний установлено комплексное влияние стальной фибры и расширяющих добавок на усадочные деформации сталефибробетонов в процессе твердения:

1. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов без расширяющихся добавок приводит к снижению усадочных деформаций на 26...42 %.
2. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с расширяющими добавками в количестве 5% усадка которых в возрасте 28 суток составляет 0,157 мм/м для бетонов с добавкой РСАМ и 0,094 мм/м для бетонов с добавкой КРД, приводит к снижению усадочных деформаций на 26...83 %.
3. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с добавкой РСАМ в количестве 10 % от массы вяжущего, расширение которого в возрасте 28 суток составляет 0,271 мм/м, приводит к снижению расширяющихся деформаций на 40...66 %.
4. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с добавкой КРД в количестве 10 % от массы вяжущего, расширение которого в возрасте 28 суток составляет 0,069 мм/м, приводит к снижению расширяющихся деформаций на 39...75 %.

Из графической интерпретации полученных результатов, представленной на рисунке 1, возможно установить, что при введении стальной фибры происходит снижение деформаций сталефибробетона, как усадочных так и расширяющихся.

Это связано с тем, что стальная фибра, находясь в объеме бетонной матрицы, воспринимает как сжимающие, так и растягивающие напряжения, возникающие за счет деформации бетонной матрицы в процессе твердения, играя роль ограничения, и тем самым снижает общую деформацию всего композиционного материала в целом. При усадке бетонной матрицы в процессе твердения, стальная фибра находится в сжатом состоянии, а при расширении в растянутом, т.е. формируется преднапряженный фиброкаркас, который должен обеспечить дополнительное повышение прочностных и эксплуатационных свойств.

Анализируя полученные результаты в целом, возможно установить, что введение стальной фибры в мелкозернистый бетон на расширяющихся добавках снижает его собственные деформации на 26...83 % в зависимости от коэффициента армирования, при этом фиксируется увеличение эффекта при увеличении концентрации фибры в материале.



1,2,3 - сталефибробетон с добавкой РСАМ, $\mu_v = 1,9, 1,1$ и $0,3$ %;
 4,5,6 - сталефибробетон с добавкой КРД, $\mu_v = 1,9, 1,1$ и $0,3$ %.

Рисунок 1 – Деформации сталефибробетона с расширяющими добавками в возрасте 28 суток

Список литературы

1. Войлоков И.А. Композитное армирование бетонов // Строительные материалы. 2009. №6. С.62-64.
2. Мчедлов-Петросян О.П., Филатов Л.Г. Расширяющиеся составы на основе портландцемента. М.: Издательство литературы по строительству, 1965. 139 с.: ил.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. М.: Издательство АСВ. 2011. 642 с.: ил.
4. Самченко С.В., Зорин Д.А., Борисенкова И.В. Структура и свойства расширяющихся цементов в зависимости от дисперсности глиноземистого шлака и сульфоалюминатного клинкера // Технологии бетонов. 2012. № 11-12. С. 28-30.
5. Титов М.Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок // Строительные материалы. 2012. №2. С.84-86.

УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИКОЙ СКАЛЬНОГО МАССИВА

Гolik Владимир Иванович,

д.т.н., проф., Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ

Полухин Олег Николаевич,

д.т.н., проф., ректор, Белгородский государственный университет, г. Белгород

Габараев Олег Знаурович,

д.т.н., проф., проректор, Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ.

MANAGEMENT GEOMECHANICS ROCK MASSIV

Golik Vladimir Ivanovich, prof., Geophysical Research Center Vladikavkaz Scientific Center RAS and the Government of the Republic of North Ossetia-Alania Vladikavkaz.

Gabaraev Oleg Znaurovich, prof., Vice Chancellor, North-Caucasian State Technological University, Vladikavkaz.

Аннотация. Управление состоянием скальных пород осуществляется посредством регулирования напряжений и деформаций в массиве. Новым направлением управления является изменение свойств слагающих его пород воздействием реагентами в процессе выщелачивания металлов из руд. Перевод массива в состояние объемного сжатия и управление удароопасностью обеспечивается разделением месторождения на безопасные участки. сейсмического районирования и микрорайонирования. Максимальный результат профилактики сейсмической опасности обеспечивается при заполнении пустот материалами.

Abstract. Controlling the state of rock is by means of stress and strain in the array. New management direction is to change the properties of its constituent rocks exposure reagents in the leaching of metals from ores. Translation state array in bulk compression and management division provides udaroopasnost deposits in safe areas. seismic zoning and zoning. Maximum result of seismic hazard prevention is provided when filling voids materials.

Ключевые слова: напряжения, деформации, массив, порода, реагент, удароопасность, месторождения, сейсмика, районирование, пустоты.

Keywords: stress, strain, array breed reagent udaroopasnost, deposits, seismic, zoning, emptiness.

Управление состоянием горных пород или совокупность мероприятий по переводу массива в гарантировано устойчивое или, наоборот, неустойчивое состояние осуществляется путём оптимизации формы и продолжительности существования обнажений пород по критериям экономичности и безопасности.

При подземной разработке месторождений выработанное пространство поддерживают в гарантированно устойчивом состоянии и только после завершения добычных работ погашают одним из методов.

При открытой разработке месторождений устойчивое состояние обеспечивается уменьшением высоты и крутизны уступов, укреплением массива или увеличением

прочности пород специальными способами. Увеличение или уменьшение высоты и крутизны обнажения и создание бокового распора осуществляется технологически назначением нужных параметров управления.

Одним из способов управления горным давлением является расположение очистных выработок в разгруженных от напряжений зонах, образующихся при надработке или подработке массива [5].

Опасность деформации массивов и земной поверхности над ними уменьшают, например, закладкой выработанного пространства твердеющими материалами (рис.1) и хвостами подземного выщелачивания (рис.2) [6].

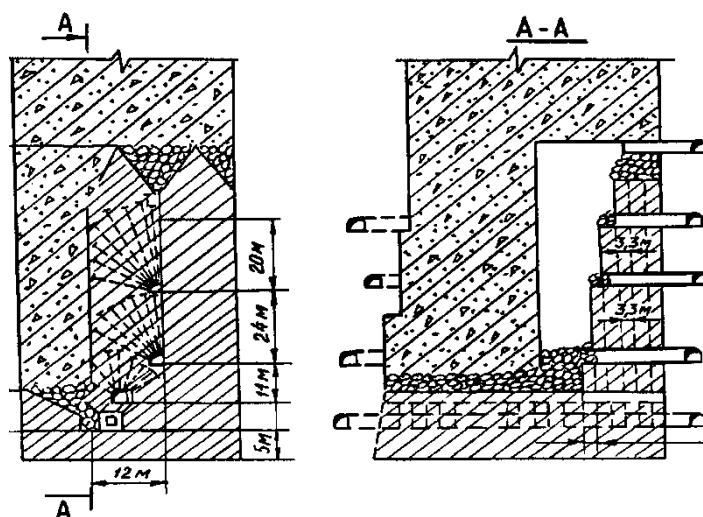


Рис.1. Технология разработки с закладкой пустот твердеющими смесями

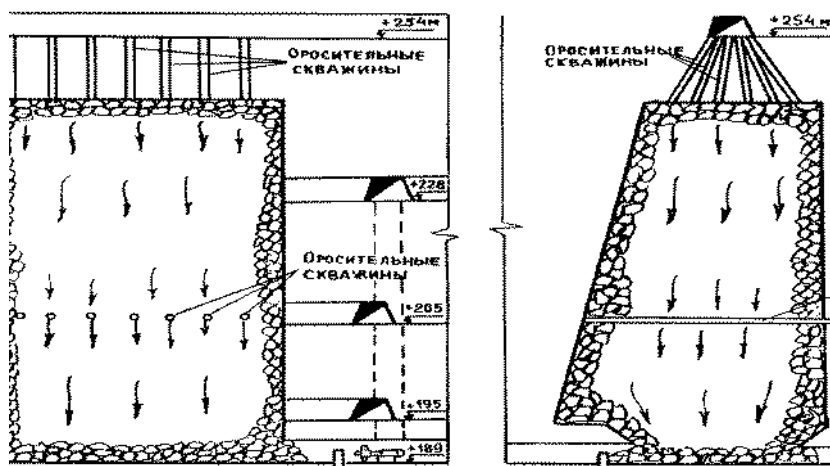


Рис.2. Технология разработки с закладкой пустот хвостами выщелачивания

Перевод массива в неустойчивое состояние обеспечивается подработкой массива взрыванием одним из способов.

Перспективное направление управления состоянием массива - изменение физико-механических свойств

пород физико-химическим воздействием. Реагенты, воздействуя на породы, инициируют химические реакции, сопровождаемые образованием вязущих соединений. При этом сыпучие породы существенно изменяют свойства [2].

Свойства пород в массиве изменяются во времени и в зависимости от характера прикладываемых нагрузок. Сложность учёта происходящих в массиве явлений и несовершенство расчётных методов приводит к необходимости завышать коэффициент надёжности, представляющим собой отношение удерживающих и разрушающих сил, вызванных природными и технологическими нагрузками.

Перевод массива в гарантировано устойчивое или неустойчивое состояние осуществляется путём оптимизации параметров устойчивости пород учетом действующих и разрушающих напряжений или сдвигающих и удерживающих сил. Это позволяет перевести массив в состояние объёмного сжатия и использовать его остаточную несущую способность (рис.3) [4].

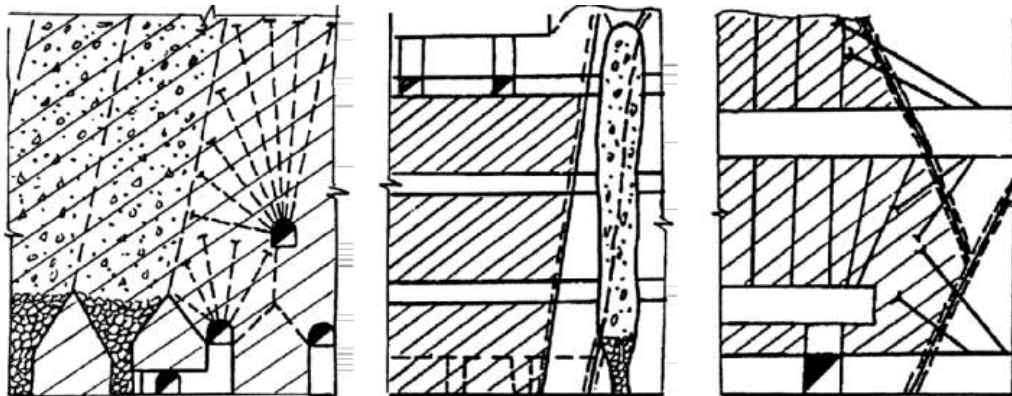


Рис.3. Повышение устойчивости массива переводом его в условия объёмного сжатия: а - наклон стенок камер; б - опережающая отработка; в – сшивание пород

Динамическое перераспределение горного давления при техногенном воздействии сопровождается быстротекущим разрушением предельно напряжённой части массива, прилегающей к выработке – горным ударом. Горный удар является результатом совокупного воздействия потенциальной энергии упругого сжатия пород и энергии упругих деформаций окружающих пород. Динамический характер потери устойчивости объясняется превышением притока энергии над её поглощением.

создаются высокие напряжения или проявляются признаки горных ударов. Удароопасность отдельных участков массива характеризуется величиной напряжений в зоне максимума опорного давления и расстоянием от него до выработки.

Опасными по удароопасности считают участки месторождения, если в их составе имеются хрупкие породы,

Профилактика горных ударов обеспечивается посредством разделением месторождения на участки и оптимизации порядка их отработки, исключая опасную концентрацию напряжений (рис.4) [7].

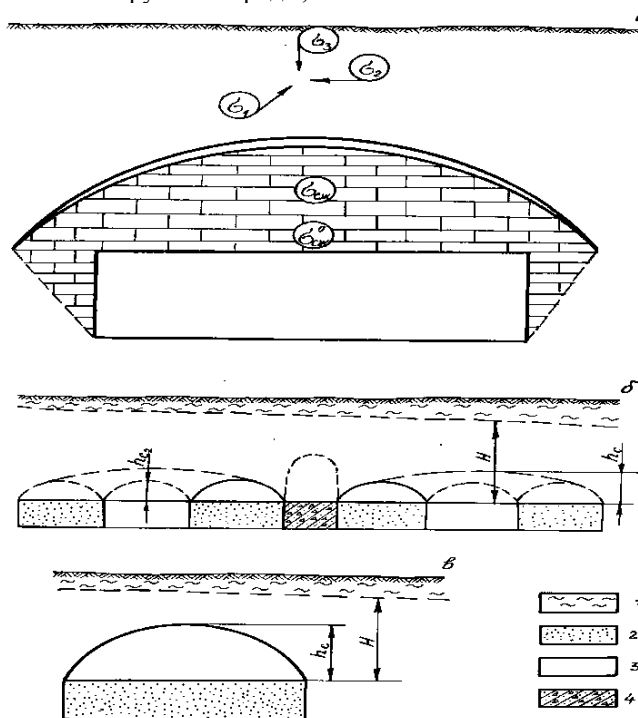


Рис.1. Разделение массива на безопасные участки: а - модель напряженности: $\sigma_{1,2,3}, \sigma_{сж}, \sigma_0$ - напряжения в массиве, в нарушенных породах и в породах кровли выработки; б - разделение массива на безопасные участки: 1 - наносы; 2 – твердеющая закладка; 3 – изолированные пустоты; 4 - искусственный или рудный целик; H-глубина работ; $h_{св}$ – высота зоны влияния выработки

Для этого применяют опережающую отработку защитных слоев, исключение целиков, минимизацию количества выработок впереди фронта работ, уменьшение способности пород к накоплению упругой энергии камуфлетными взрывами, нагнетанием воды в пласт, разгрузочными скважинами и щелями и др.

Крайней формой изменения состояния массивов являются техногенные землетрясения, вызываемые быстрым смещением крыльев существующих или вновь образующихся тектонических нарушений в земной коре, способных передаваться на большие расстояния.

С позиций теории упругой отдачи землетрясение происходит при длительном смещении тектонических пород, контактирующих по разлому. Силы сцепления удерживают крылья разлома от проскальзывания и зона разлома испытывает нарастающие сдвиговые деформации. При достижении деформациями предельно допустимых значений разлом вскрывается и крылья его смещаются.

Землетрясения являются результатом развития систем взаимодействующих трещин, формирующих зону повышенной концентрации локальных разрывов, образующих результирующий разрыв.

Наведенные тектонические землетрясения провоцируют подземные ядерные взрывы в сейсмоактивных зонах, закачка воды в скважины при добыче нефти и газа, захоронение отходов, добыча минералов технологиями с гидроразрушением. Между механизмами наведенных землетрясений и горных ударов много схожего. Региональные землетрясения вызываются сходами ледников, горными обвалами, оползнями, обрушением подземных пустот и т.п.

Строительство и эксплуатация горных объектов, в том числе, освоение месторождений в регионах, подверженных землетрясениям, осуществляется с учётом воздействия сейсмических явлений на объекты. Сейсмичность характеризуется интенсивностью динамических явлений и определяется по картам сейсмического районирования [8].

Интенсивность явлений оценивается по шкале сейсмической балльности, например, 12-балльная шкала MSK-64. Опасной для сооружений считается сейсмичность более 6 баллов. Повторяемость наиболее сильного землетрясения учитывается при расчёте сооружений на прочность увеличением несущей способности конструктивных элементов на величину до 30%.

Сейсмичность уточняется по данным сейсмического районирования и микрорайонирования в зависимости от геологических условий и наличия локальных очагов землетрясений.

Для строительства в сейсмических районах более благоприятны скальные грунты. В песчаных, глинистых, насыпных грунтах интенсивность сейсмического воздействия усиливается. Участки с крутизной склона св. 15°, сильной нарушенностью пород осыпями, оползнями, обвалами, пльвунами и селями для сейсмостойкого строительства неприемлемы.

Методы определения сейсмических нагрузок основаны на использовании приближённых моделей. Первые методы основались на статической теории, где сооружение рассматривалось как абсолютно жёсткое тело, все точки которого движутся так же, как и основание. С позиций этой теории сейсмическая нагрузка на сооружение определяется как произведение масс на ускорение грунта при землетрясении.

Преобладает динамический метод расчёта, рассматривающий сооружение как систему с неопределенно большим числом степеней свободы. Расчёт сейсмических нагрузок проводится с учётом динамического характера сооружения, периода и формы колебаний, распределения инерционных масс внешнего воздействия с применением реальных и виртуальных акселерограмм землетрясений.

При строительстве подземных горных объектов, кроме того, учитывают сейсмическое давление, вызванное изменением напряжённого состояния среды при прохождении в ней природных и техногенных сейсмических волн, сейсмической нагрузки от собственной массы сооружений и пригрузки породами вышележающего свода.

При проходке горных выработок на участках пересечения с тектоническими разломами для компенсации продольных деформаций применяют деформационные щели, конструкция которых допускает смещение части массива при сохранении расчетных свойств в безопасном диапазоне.

При сейсмичности 7 баллов обделку горных выработок выполняют из набрызг - бетона с анкерным креплением, а стены изготавливают из железобетона. Для ответственных объектов: атомные электростанции, крупные гидротехнические сооружения, объекты химической промышленности, высотные здания и т.п. расчётная сейсмичность сооружения повышается на 1-2 балла.

Для профилактики сейсмической опасности рекомендуются технологии погашения выработанного пространства с заполнением пустот материалами: обрушенными или полученными от проходки горных выработок породами, глиной, песком, твердеющими закладочными смесями, а также хвостами подземного физико-химического выщелачивания металлических руд.

Динамическое течение процессов колебания поверхности Земли в результате смещения крыльев существующих или вновь образующихся тектонических нарушений в земной коре провоцирует разрушение предельно напряжённой части массива.

Превышение притока энергии над её поглощением обуславливает динамический характер потери устойчивости при сложении потенциала энергии упругого сжатия пород и энергии упругих деформаций в процессе горных работ.

Массовые динамические явления, провоцируемые наведенными колебаниями земной коры, при совпадении частот способствуют динамическому разрушению массивов, которое, в свою очередь, генерируя колебания, дают импульс сходу ледников и другим катастрофическим явлениям.

Эксплуатация месторождений должна осуществляться с комплексным учетом гравитационных, тектонических и сейсмических условий участка Земной коры, рассматриваемого как система с неопределенно большим числом степеней свободы. На таких участках необходим мораторий систем разработки месторождений с естественным управлением массивом и с открытым выработанным пространством.

Выводы

1. Массив реагирует на техногенное воздействие деформированием и перемещением слагающих его пород вследствие нарушения равновесия техногенных напряжений.

2. Перевод массива в гарантировано устойчивое или неустойчивое состояние обеспечивается посредством оптимизации несущей способности сооружений.

3. Оптимизация технологий управления массивом состоит в комплексном использовании природных и техногенных условий разработки месторождений и строительства объектов на земной поверхности.

Список литературы

1. Боликов В.Е., Поль В.Г. Обеспечение устойчивости горных выработок в удароопасных условиях. / ГИАБ. – М.: МГГУ. – №5. – 2003.

2. Бубнов В.К., Спирин Э.К., Воробьев А.Е. и др. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. Целинград: Жана-Арка, 1992.

3. Бубнов В.К., Голик В.И., Капканщиков А.М. и др. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов. Акмола, 1995. 601 с.

4. Голик В.И., Ляшенко В.И., Разумов Д.И., Трапезников Н.М. Природо- и ресурсосберегающие технологии погашения выработанных пространств при подземной разработке рудных месторождений. М.: ЦНИИ экономики и информации. 1995. Обзор информ.

5. Голик, В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе / В.И. Голик, В.И. Комащенко - М.: КДУ, 2010.

6. Голик, В.И. Управление состоянием массива / В.И. Голик, Т.Т. Исмаилов. – М.: МГГУ, 2005. – 395 с.

8. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // Сб. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С. 251-262.

7. Ляшенко В.И., Голик В.И., Штеле В.И. Создание и внедрение мало затратных ресурсосберегающих методов, средств и технологий на горных предприятиях. М.: ЦНИИ экономики и информации. 1995. Обзор информ.

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБНОЙ СТАЛИ КАТЕГОРИИ ПРОЧНОСТИ X80

Губанов Сергей Александрович

магистрант Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Чикишев Денис Николаевич

канд. техн. наук, доцент Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова, Магнитогорск

REGRESSION ANALYSIS OF PROCESS PLATE ROLLING PIPE STEEL STRENGTH CATEGORY X80

Gubanov Sergey Aleksandrovich

master student of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Chikishev Denis Nikolayevich

candidate of Technical Sciences, associate professor of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

АННОТАЦИЯ

Для совершенствования технологии производства трубной стали необходимо создание математических моделей способных предсказывать конечные механические и потребительские свойства. Одним из способов создания математической модели является регрессионный анализ статистических данных полученных с реального объекта.

ABSTRACT

In order to improve the production technology of tubular steel is necessary to create mathematical models capable of predicting the final mechanical and consumer properties. One way of creating a mathematical model is a regression analysis of statistical data obtained from a real object.

Ключевые слова: контролируемая прокатка; трубная сталь; регрессионный анализ.

Keywords: controlled rolling; pipe steel; regression analysis.

Энергетическая стратегия России и недавнее заключение крупных контрактов с Китаем на поставку природного газа из Якутского (Чаядинское) и Иркутского (Ковыктинское) месторождений предполагает строительство новой крупнейшей газотранспортной системы, стоимость которой по предварительным оценкам может составить порядка \$60-70 млрд. Соответственно возрастает потребность в трубах большого диаметра. Современные газотранспортные системы должны быть ресурсо- и энергоэкономными объектами. Значительная экономия достигается при увеличении рабочего давления в трубе, за счёт чего возможно уменьшение диаметра трубы и уменьшения количества компрессорных станций, а так же при использовании высокопрочных сталей, вследствие чего возможно уменьшение толщины стенки трубы и снижение за-

трат на строительство газопровода. Наиболее используемой категорией прочности стали при производстве труб для большинства современных трубопроводов является X80 (по классификации американского института нефти API 5L)[1-2].

Технология производство трубной стали является чрезвычайно сложным процессом с большим числом контролируемых параметров. К таким параметрам относятся: химический состав стали, температура нагрева сляба, температура начала и конца прокатки, режим обжатий, скорость охлаждения, параметры термической обработки. При такой многофакторности процесса важна оценка степени влияния каждого параметра на конечные свойства продукта, а так создание математической модели, которая позволит предсказывать свойства при определённом сочетании параметров.

Одним из способов создания математической модели является регрессионный анализ базы данных полученной с реального объекта. Результатом такого анализа является уравнение с n -количеством входных и одной выходной величинами. В данной работе были взяты данные со стана 5000 ОАО «ММК» по прокаткам стали категории прочности X80.

На стане 5000 прокатка осуществляется по ТУ 14-101-898-2012 в 2 стадии с междеформационной паузой и последующим ускоренным охлаждением. Сляб толщиной 300 мм нагревается в методической печи с шагающим подом. Затем нагретый сляб попадает в гидравлический окатиноломатель и в прокатную универсальную клетку кварто, где осуществляется черновая и чистовая прокатка с междеформационной паузой, при этом контролируется температура прокатки и деформационный режим каждой стадии. После деформации осуществляется предварительная правка, и лист попадает в установку ускоренного контролируемого охлаждения. Лист после ускоренного охлаждения попадает в машину горячей правки и отправляется

на холодильник и участок инспекции. После инспекции происходит ультразвуковой контроль сплошности, обрезка концов и кромок, порезка, маркировка [3].

База данных, полученная со стана 5000, включает в себя значения основных параметров технологического процесса прокатки трубной стали категории прочности X80. Этими параметрами являются – размеры сляба, размеры конечного прокатанного листа, температура нагрева сляба, температура начала и конца первой черновой фазы прокатки и относительное обжатие, температура и начало второй чистой фазы и так же относительное обжатие, скорость охлаждения в УКО, химический состав стали. Эти данные будут служить независимыми входными переменными. В качестве выходных переменных примем три основных показателя механических свойств получаемых при испытании на разрыв – предел текучести (σ_t , МПа), временное сопротивление разрыву (σ_b , МПа) и относительное удлинение (δ_5 , %). Распределение величин показателей σ_t , σ_b , δ_5 изображено на рисунке 1.

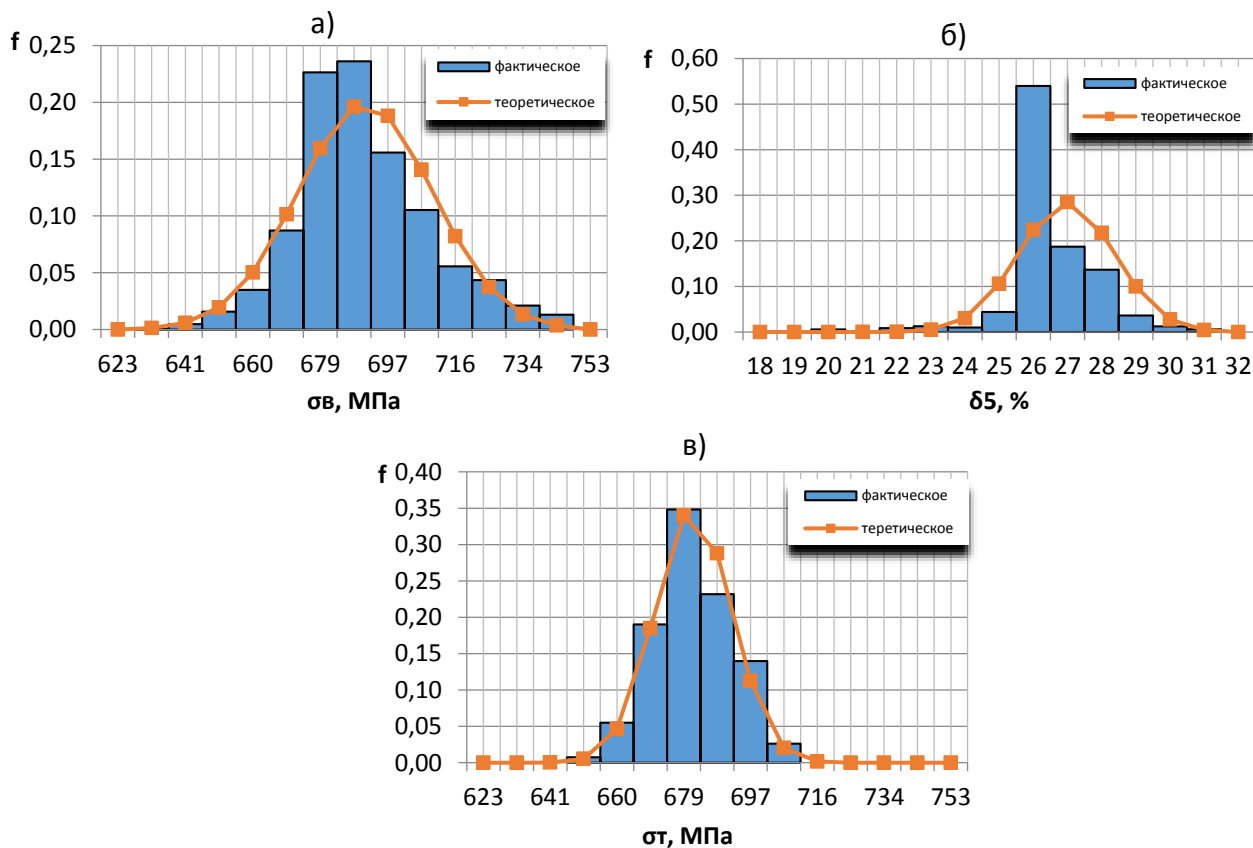


Рисунок 1. Распределение значений показателей механических свойств: а – временного сопротивления разрыву; б – относительного удлинения; в – предела текучести

Для оценки влияния технологического параметра на показатели механических свойств необходимо оценить коэффициент парной корреляции r между фактором и откликом. Расчёт r производится с использованием выборочных характеристик показателей входных и выходных параметров:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y} ; (1)$$

n – объём выборки;

\bar{x} и \bar{y} – средние выборочные значения входных и выходных параметров;

S_x и S_y – стандартные отклонения выходных и входных параметров.

Значения коэффициента корреляции лежат в интервале от -1 до +1, причём положительное значение говорит о том, что выходная величина увеличивается с увеличением входной; отрицательное о том, что выходная величина уменьшается с увеличением входной. Для вычисления r можно воспользоваться стандартной функцией MS Excel «КОРРЕЛ» либо пакетом анализа «Корреляция», с помощью которого строится так называемая матрица корреляции, отображающая взаимосвязи между факторами и откликами. Фрагмент матрицы корреляции изображён в виде таблицы 1.

Таблица 1

Фрагмент матрицы корреляции со значениями r

	σ_b	δ_5	σ_t
Тнагр	-0,027094	-0,032249	-0,041720
Т1н, °С	-0,109854	0,003476	-0,061135
Т1к, °С	0,035258	-0,019411	0,109922
$\xi_{1\text{min}}$, %	0,035347	-0,022893	-0,006484
Н подк, мм	-0,036468	0,021300	-0,038221
Тн2, °С	0,283774	-0,107783	0,132748
Тк2, °С	0,195293	-0,053863	0,014559
$\xi_{2\text{min}}$, %	0,331896	-0,102774	0,140353
Voхл	0,079697	-0,031855	0,003189
C	0,205275	-0,087325	0,109861
Si	0,015900	-0,002799	0,073619
Mn	0,158868	-0,091539	0,090814
S	-0,090530	0,000613	-0,021617
P	-0,049208	-0,052463	-0,020173
Cr	0,199495	-0,114302	-0,015408
Ni	0,293584	-0,000821	0,078194
Cu	0,133633	-0,029495	0,039144
Al	0,020920	0,017410	0,149813
N	-0,005145	-0,084086	-0,067432
V	0,001382	-0,039494	-0,006066
Ti	0,105145	-0,064342	0,114170
Nb	-0,032727	-0,026389	0,140460
As	0,009141	-0,026916	-0,011383
Mo	0,149224	0,026166	0,000741
B	0,116616	-0,034609	0,013881
Sn	-0,043521	0,014218	0,070951
σ_b	1	-0,249103	0,250691
δ_5	-0,249103	1	-0,044568
σ_t	0,250691	-0,044568	1

Получив коэффициенты корреляции можно оценить значимость того или иного технологического параметра на показатели механических свойств, используя следующий критерий значимости:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} > t[\alpha; n-2], \quad (2)$$

t – рассчитанное число Стьюдента;
 $t[\alpha; n-2]$ – табличное число Стьюдента (рассчитанное с помощью стандартной функции MS Excel «СТЮДРАСПОБР») [4-5].

Результаты оценивания значимости показаны в таблице 2.

Таблица 2

Оценка значимости коэффициентов корреляции для показателей механических свойств σ_t , σ_b , δ_5

Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя σ_b			Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя δ_5			Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя σ_t		
$t[\alpha; n-2]= 1,961$			$t[\alpha; n-2]= 1,961$			$t[\alpha; n-2]= 1,961$		
t(σ_b , Тнагр)	1,62	Незначим	t(δ_5 , Тнагр)	1,93	Незначим	t(σ_t , Тнагр)	2,50	Значим
t(σ_b , Т1н)	6,63	Значим	t(δ_5 , Т1н)	0,20	Незначим	t(σ_t , Т1н)	3,67	Значим
t(σ_b , Т1к)	2,11	Значим	t(δ_5 , Т1к)	1,16	Незначим	t(σ_t , Т1к)	6,64	Значим
t(σ_b , ξ_1)	2,12	Значим	t(δ_5 , ξ_1)	1,37	Незначим	t(σ_t , ξ_1)	0,39	Незначим
t(σ_b , Нпод)	2,19	Значим	t(δ_5 , Нпод)	1,28	Незначим	t(σ_t , Нпод)	2,29	Значим
t(σ_b , Тн2)	17,77	Значим	t(δ_5 , Тн2)	6,51	Значим	t(σ_t , Тн2)	8,04	Значим
t(σ_b , Тк2)	11,96	Значим	t(δ_5 , Тк2)	3,24	Значим	t(σ_t , Тк2)	0,87	Незначим
t(σ_b , ξ_2)	21,13	Значим	t(δ_5 , ξ_2)	6,20	Значим	t(σ_t , ξ_2)	8,51	Значим
t(σ_b , Voхл)	4,80	Значим	t(δ_5 , Voхл)	1,91	Незначим	t(σ_t , Voхл)	0,19	Незначим
t(σ_b , C)	12,59	Значим	t(δ_5 , C)	5,26	Значим	t(σ_t , C)	6,63	Значим
t(σ_b , Si)	0,95	Незначим	t(δ_5 , Si)	0,16	Незначим	t(σ_t , Si)	4,43	Значим
t(σ_b , Mn)	9,66	Значим	t(δ_5 , Mn)	5,52	Значим	t(σ_t , Mn)	5,47	Значим

Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя σ_b			Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя δ_5			Оценивание значимости коэффициентов корреляции для показателя σ_t		
$t[\alpha; n-2]= 1,961$			$t[\alpha; n-2]= 1,961$			$t[\alpha; n-2]= 1,961$		
$t(\sigma_b, S)$	5,46	Значим	$t(\delta_5, S)$	0,03	Незначим	$t(\sigma_t, S)$	1,29	Незначим
$t(\sigma_b, P)$	2,95	Значим	$t(\delta_5, P)$	3,15	Значим	$t(\sigma_t, P)$	1,21	Незначим
$t(\sigma_b, Cr)$	12,22	Значим	$t(\delta_5, Cr)$	6,91	Значим	$t(\sigma_t, Cr)$	0,92	Незначим
$t(\sigma_b, Ni)$	18,44	Значим	$t(\delta_5, Ni)$	0,04	Незначим	$t(\sigma_t, Ni)$	4,71	Значим
$t(\sigma_b, Cu)$	8,10	Значим	$t(\delta_5, Cu)$	1,77	Незначим	$t(\sigma_t, Cu)$	2,35	Значим
$t(\sigma_b, Al)$	1,25	Незначим	$t(\delta_5, Al)$	1,04	Незначим	$t(\sigma_t, Al)$	9,10	Значим
$t(\sigma_b, N)$	0,30	Незначим	$t(\delta_5, N)$	5,06	Значим	$t(\sigma_t, N)$	4,06	Значим
$t(\sigma_b, V)$	0,08	Незначим	$t(\delta_5, V)$	2,37	Значим	$t(\sigma_t, V)$	0,36	Незначим
$t(\sigma_b, Ti)$	6,35	Значим	$t(\delta_5, Ti)$	3,87	Значим	$t(\sigma_t, Ti)$	6,90	Значим
$t(\sigma_b, Nb)$	1,96	Значим	$t(\delta_5, Nb)$	1,58	Незначим	$t(\sigma_t, Nb)$	8,52	Значим
$t(\sigma_b, As)$	0,54	Незначим	$t(\delta_5, As)$	1,61	Незначим	$t(\sigma_t, As)$	0,68	Незначим
$t(\sigma_b, Mo)$	9,06	Значим	$t(\delta_5, Mo)$	1,57	Незначим	$t(\sigma_t, Mo)$	0,04	Незначим
$t(\sigma_b, B)$	7,05	Значим	$t(\delta_5, B)$	2,08	Значим	$t(\sigma_t, B)$	0,83	Незначим
$t(\sigma_b, Sn)$	2,61	Значим	$t(\delta_5, Sn)$	0,85	Незначим	$t(\sigma_t, Sn)$	4,27	Значим

Оценив значимость технологических параметров и химического состава, в результате получаем, что каждый из параметров, так или иначе, влияет на механические свойства. Однако у каждого из 3 выходных параметров свой набор входных величин, а это значит, что полученные уравнения будут отличаться не только коэффициентами регрессии, но и набором величин технологических параметров [6].

Регрессионный анализ заключается в получении уравнения зависимости отклика от некоторого числа факторов:

$$y = \varphi(\bar{X}) + \varepsilon, \quad (3)$$

где $\varphi(\bar{X})$ – объяснённая составляющая, обусловленная существованием зависимости между фактором и откликом;

ε – случайная составляющая, обусловленная различными возмущениями.

Регрессионный анализ и получение коэффициентов линейного уравнения осуществляется с помощью встроенного пакета анализа в MS Excel «Регрессия». В результате получаем 3 уравнения зависимости для нахождения σ_t , σ_b , δ_5 :

$$\begin{aligned} \sigma_t = & 513 - 0,41T_{\text{нагр}} - 0,05T_{1\text{н}} + 0,26T_{1\text{к}} - 1,52H_{\text{подк}} \\ & + 0,2T_{2\text{н}} + \\ & + 190,8\xi_2 + 442C + 82,5Si + 57,1Ni - 40,9Cu + \\ & + 413,09Al - 3767N + 705Ti + 1097Nb + 2027Sn; \quad (4) \\ \sigma_b = & 177 + 0,02T_{1\text{н}} - 0,01T_{1\text{к}} - 477\xi_1 - 1,44H_{\text{подк}} \\ & - 0,33T_{2\text{н}} + 0,35T_{2\text{к}} + \\ & + 846\xi_2 + 0,77V_{\text{охл}} + 702C + 69Mn - 7229S + 352P \\ & + 260Cr + 257Ni + \\ & + 3,1Cu + 577Ti - 729Nb + 56Mo + 30580B + \\ & 1159Sn; \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_5 = & 57 - 0,013T_{2\text{н}} - 0,002T_{2\text{к}} - 3,4\xi_2 - 18C - 5Mn \\ & - 65P - 13Cr - 209N - \\ & - 17V - 70Ti - 261B; \quad (6) \end{aligned}$$

$T_{\text{нагр}}$ – температура нагрева сляба перед прокаткой, °C;
 $T_{1\text{н}}, T_{1\text{к}}$ – температура начала и конца черновой прокатки, °C;

$T_{2\text{н}}, T_{2\text{к}}$ – температура начала и конца чистовой прокатки, °C;

ξ_1, ξ_2 – относительная деформация в черновой и чистовой стадиях, %;

$H_{\text{подк}}$ – толщина промежуточного раската, мм;

$V_{\text{охл}}$ – скорость контролируемого охлаждения, °C/с.

Для проверки адекватности полученных уравнений проведён анализ остатков, то есть оценка разницы между фактическими и полученными из уравнений значениями откликов. Параметром оценивания примем среднее абсолютное и среднее относительное значение остатка для каждого из параметров:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{\text{ф}} - y_{\text{п}}|}{n}; \quad (7)$$

$$z' = \frac{z \cdot n}{\sum_{i=1}^n y_{\text{ф}}} \cdot 100\%; \quad (8)$$

z, z' – среднее абсолютное и среднее относительное значение остатка;

$y_{\text{ф}}, y_{\text{п}}$ – фактическое и предсказанное значение отклика;

n – объём выборки.

В результате получаем:

$$\begin{aligned} z_{\sigma_t} = 17 \text{ МПа}, z_{\delta_5} = 0,92 \%, z_{\sigma_b} = 11 \text{ МПа}, \\ z'_{\sigma_t} = 2,87 \%, z'_{\delta_5} = 3,49 \%, z'_{\sigma_b} = 1,68 \%. \end{aligned}$$

Значения z и z' говорят о том, что полученные уравнения 4-6, могут быть применимы для расчёта механических свойств трубной стали категории прочности Х80 для различных наборов технологических параметров процесса горячей прокатки на толстолистовом стане. Так же уравнения позволяют оценить влияние отдельного параметра или их совокупности на конечные свойства листа, что в свою очередь очень важно при проектировании новых режимов и совершенствования существующих. Преимуществом применения такого рода линейных уравнений заключается в следующем: простота, экономия времени и ресурсов ЭВМ при расчётах, однако, недостатками являются недостаточная точность и узкая область применения [7].

Для того чтобы избавиться от недостатков использования уравнений полученных регрессионным анализом

на основе базы данных с реального производственного объекта, необходимо разрабатывать и совершенствовать алгоритмы совмещение с другими видами математического и физического моделирования. Так же необходимо использование аналитического аппарата для объяснения физико-химических процессов протекающих при прокатке.

Список литературы:

1. Чижишев Д.Н., Песин А.М., Салганик В.М., Дригун Э.М. Модернизация технологии производства крупногабаритных тел вращения // Материалы 63-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг.: Сб. докл. Т.1. -Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 7-10.
2. Песин А.М., Салганик В.М., Чижишев Д.Н. Совершенствование технологии производства деталей крупногабаритных тел вращения на основе математического моделирования // Производство проката. 2007. № 3. С. 34-40.
3. Pesin A.M., Salganik V.M., Dyja H., Chikishev D.N., Pustovoitov D.O., Kawalek A. Asymmetric rolling: Theory and Technology // *Hutnik-wiadomosci hutnicze*. 2012. No 5. P. 358-363.
4. Румянцев М. И., Ручинская Н.А. Статистические методы для обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством продукции: учебное пособие. Изд. центр ГОУ ВПО «МГТУ»: Магнитогорск, 2008. – 207с.
5. Бородин Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И. Управление качеством канатной проволоки на основе множественного регрессионного анализа // *Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения*. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. – С. 136-145.
6. Румянцев М.И., Черкасов К.Е., Попкова А.А. Повышение точности статистического контроля качества толстолистового проката по корреляционной связи между параметрами: депонированная рукопись. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова, 2010. – 11с.
7. Губанов С.А., Чижишев Д.Н. Ускоренное контролируемое охлаждение, применяемое на толстолистовых станах для производства высокопрочных сталей // *Калибровочное бюро*. 2014. Специальный выпуск 3.1. С. 4-10.

МНОГОУРОВНЕВОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ¹

Гудков Вячеслав Александрович

Старший научный сотрудник Научно-исследовательского института многопроцессорных вычислительных систем Южного федерального университета

MULTILEVEL PROGRAMMING OF RECONFIGURABLE COMPUTER SYSTEMS

Vyacheslav A. Gudkov, Senior research associate of Scientific research institute of multiprocessor computer systems at Southern Federal University

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены существующие уровни программирования реконфигурируемых вычислительных систем. Представлены особенности и недостатки каждого из уровней.

ABSTRACT

The paper covers existing levels of reconfigurable computer system programming. Advantages and shortcomings of each level are given.

Ключевые слова: реконфигурируемая система, параллельное программирование, уровни программирования
Keywords: reconfigurable system, parallel programming, programming levels

В настоящее время для программирования реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) [1], создаваемых в Научно-исследовательском институте многопроцессорных вычислительных систем имени А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), используются следующие уровни программирования: универсальный уровень, пользовательский уровень и уровень логических ячеек программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Выбор одного из уровней программирования РВС определяется композицией из доступного времени на разработку и отладку параллельной программы и заданным уровнем производительности РВС.

Все представленные уровни основаны на принципе структурно-процедурной организации вычислений, что требует создания в архитектуре РВС специализированной

вычислительной структуры, обеспечивающей последовательную смену структурно (аппаратно) реализованных фрагментов информационного графа задачи, каждый из которых является вычислительным конвейером потока операндов.

Программирование РВС на универсальном уровне подразумевает программирование универсальных макрообъектов, в частности макропроцессоров (МАП) [5, с. 25]. Макропроцессор представляет собой единый программно-неделимый вычислительный ресурс, состоящий из набора элементарных процессоров и связей (коммутаций) между ними.

У универсального макрообъекта имеются определенные свойства и ограничения, выделяющие его из множества проблемно-ориентированных и специализированных макрообъектов:

- структура макропроцессора содержит неизменное количество вычислительных ядер - элементарных процессоров (ЭП);

- параметры элементарных процессоров (разрядность операндов, система команд, состав входных и выходных шин) не изменяются в зависимости от предметной области;

- параметры внутреннего коммутатора универсального макропроцессора не изменяются в зависимости от предметной области;

- с точки зрения программиста макропроцессор является программно-неделимой единицей, то есть изменение команд для всех элементарных процессоров и коммутатора выполняется одновременно в момент смены макрооперации.

Макропроцессор сохраняет свою структуру независимо от размещения в той или иной ПЛИС базового модуля. Неизменность структуры макропроцессора компенсируется универсальной системой команд для элементарных процессоров и наличием программируемого коммутатора. Это дает возможность для различных классов задач формировать эффективные параллельно-конвейерные вычислительные структуры.

Настройка макропроцессора на крупную функционально законченную операцию осуществляется макрокомандой (макрооперацией), которая содержит информацию об элементарных операциях, выполняемых каждым элементарным процессором, а также о соединении входов и выходов между процессорами. Одновременно макропроцессор может реализовать только одну макрооперацию, при этом незадействованные элементарные процессоры будут простаивать.

Для программирования ПЛИС на уровне ЭП использовалась одна из первых версий языка высокого уровня COLAMO, которая была ориентирована на программирование РВС, построенных на базе макропроцессоров, а также созданы средства трансляции и отладки параллельных программ. Текст параллельной программы на языке COLAMO транслировался в параллельно конвейерную программу на языке ассемблера Argus в виде виртуальных макроопераций и макрообращений [1, с. 274], что позволяло описывать информационный граф задачи, не привязываясь к особенностям коммутационной системы вычислительных модулей РВС.

При программировании макропроцессора выполняется отображение информационного графа решаемой задачи на структуру макропроцессора. Информационные дуги графа отображаются на множество коммутационных связей макропроцессора, а каждая операционная вершина реализуется в виде элементарного процессора.

Программирование РВС на универсальном уровне позволяет оперативно создавать прикладные программы для решения задач различных предметных областей на РВС, однако использование универсальных макрообъектов приводит к значительному снижению реальной и удельной производительности РВС за счет неэффективного использования аппаратного ресурса ПЛИС.

Рост объема ПЛИС позволил реализовывать информационный граф задачи в ПЛИС целиком, не разбивая информационный граф задачи на отдельные подграфы, следовательно реализуемые на макропроцессоре, что дало возможность перейти от программирования на уровне универсальных макропроцессоров к программированию на уровне логических ячеек ПЛИС [4, с. 10].

Программирование РВС на уровне логических ячеек, в отличие от универсального уровня программирования, заключается в программировании на более «мелком» уровне в виде специализированных аппаратно-реализованных блоков, соответствующих арифметико-логическим операциям программы, и связей между ними в соответствии с информационным графом задачи.

Такой подход позволяет создать более компактные аппаратные решения для конкретной задачи, учитывающие специфику проблемной области, необходимый формат представления информации, а также требования к производительности задачи. Производительность программы, реализованной на уровне логических ячеек ПЛИС, в несколько раз выше, чем при реализации на уровне ЭП, что обусловлено лучшим соответствием аппаратной реализации исходной информационной структуре задачи.

Одним из достоинств программирования РВС на уровне ЭП является возможность динамической перестройки вычислительной структуры РВС при переходе с кадра на кадр, что достигается за счет перекоммутации связей между загруженными элементарными процессорами. При программировании РВС на уровне логических ячеек ПЛИС такая перестройка в процессе реализации задачи невозможна, т.к. для этого требуется загрузка конфигурации всех рабочих ПЛИС, что занимает существенное время (несколько секунд) по сравнению с выполнением команд программы и является недопустимым при решении большинства задач.

Поэтому для создания корректных многокадровых параллельных программ в язык COLAMO было введено правило «однотипности» параллельных программ [4, с. 10], которое требует, чтобы вычислительные структуры кадров были топологически изоморфны. Для обеспечения однотипности каждый кадр параллельной программы должен содержать единственное описание вычислительной структуры LET, вызов которой обязательно осуществляется только один раз в теле каждого кадра программы. В этом случае кадры отличаются друг от друга информационными потоками, подключенными на входы и выходы конструкции LET.

При создании структурного компонента все программные конструкции языка COLAMO (операции, условные переходы и др.) отображаются на вычислительный ресурс РВС в виде эквивалентных им аппаратно-реализованных блоков, однократно созданных специалистом-схемотехником и находящихся в подключаемой к проекту библиотеке. Если в параллельной программе используется оператор цикла, переменная которого участвует в индексации массивов с параллельным доступом, то фрагмент программы, включающий в себя данные массивы, будет мультиплицирован в структуре РВС в соответствии с параметрами цикла. Использование оператора условного перехода требует аппаратной реализации всех альтернативных ветвей вычислений в структуре РВС, а также устройства для выбора определенного варианта. Таким образом, каждая программная конструкция (оператор или операция) языка COLAMO отображается в структурном компоненте в виде аппаратно реализованного блока.

Программирование на уровне логических ячеек позволяет достигать высокой реальной и удельной производительности, при этом программированием РВС зани-

мается только один специалист – прикладной программист, а разработка программы занимает сравнительно небольшое время.

В то же время отладка параллельных программ является долгим и трудоемким процессом, поскольку любое изменение в параллельной программе требует перетрансляции всех компонентов параллельной программы, что может занимать значительное время, в особенности при генерации структурного компонента. Это связано с длительным процессом получения конфигурационных файлов для всех ПЛИС, участвующих в создании вычислительной структуры. Один цикл получения конфигурационных файлов для решения реальных задач может занимать до нескольких суток.

В 2013 году был предложен новый подход к программированию РВС – программирование на уровне софт-архитектур (пользовательский уровень) [2, с. 107].

Процесс программирования на пользовательском уровне в целом схож с программированием на универсальном уровне, но отличается тем, что программисту предоставляется возможность самостоятельно создавать и описывать архитектуру вычислительной системы наподобие универсального макропроцессора для решения задач некоторой предметной области с учетом элементной базы РВС.

Ключевым понятием софт-архитектуры является макрообъект. Макрообъектом называется совокупность функциональных узлов, объединенных пространственной коммутационной средой, способная самостоятельно решать поставленную задачу. Макрообъект представляет собой программно-аппаратную заготовку, содержащую не только схематехнические элементы, но и средства их программирования, которые позволяют осуществлять перенастройку без дополнительного управления. Совокупность независимо управляемых макрообъектов, объединенных информационными и синхронизирующими связями, образует софт-архитектуру. Типы и количество макрообъектов в составе создаваемой софт-архитектуры определяются пользователем, исходя из перечня задач и требований к производительности РВС при их решении.

Ключевым отличием программирования РВС на пользовательском уровне от программирования на уровне логических ячеек ПЛИС является создание многоструктурной параллельной программы, т.е. вычислительная структура может перенастраиваться (изменяться) в процессе решения задачи при переходе от одного кадра к другому. Таким образом, создаваемые параллельные программы могут быть многокадровыми и многоструктурными, что снимает ограничения по использованию конструкции LET, применяемые при программировании РВС на уровне логических ячеек ПЛИС, и позволяет использовать множества различных конструкций LET в разных кадрах параллельной программы.

Переход к программированию на пользовательском уровне привел не только к изменению семантики языка высокого уровня, но и к изменению принципов трансляции параллельной программы. Так, при создании информационного графа задачи узлу графа может соответствовать не только одна операция или оператор языка COLAMO, но и их совокупность, соответствующая некоторому шаблону, заданному в библиотеке макрообъектов.

В макрообъектах используются функции, которые требуют предварительной настройки (АЛУ, процессоры и т.д.) [3, с. 358]. Так, арифметико-логические устройства

могут выполнять несколько операций в зависимости от входного управляющего сигнала. Например, при выполнении первого кадра многокадровой параллельной программы один и тот же блок должен реализовать операцию вычитания, а в следующем кадре – операцию сложения. Для настройки подобных устройств при трансляции потокового компонента в параллельно-конвейерную программу добавляются специализированные операторы на языке ассемблера. Помимо операторов настройки, используются операторы управления для перенаправления информационных потоков данных при переходе от одного кадра к другому в процессе выполнения программы, когда на один и тот же вход вычислительного блока подаются разные информационные потоки данных в разных кадрах.

Таким образом, программирование на пользовательском уровне для обеспечения многоструктурности и многокадровости параллельных программ потребовало: введения новых операторов для управления информационными потоками и настройки вычислительных блоков, изменения семантики использования конструкций языка высокого уровня COLAMO, а также создания новых средств трансляции и синтеза конфигурационных файлов ПЛИС.

Очевидно, что для перехода от одного уровня программирования РВС к другому требуется создавать новую параллельную программу или выполнять ее модернизацию, исходя из принципов программирования, присущих разным уровням программирования РВС, а также использовать разное программное обеспечение в зависимости от выбранного уровня программирования РВС.

Таким образом, для сокращения времени разработки и отладки параллельных программ и упрощения программирования РВС необходима разработка методов и средств трансляции параллельных программ для многоуровневого программирования реконфигурируемых вычислительных систем без изменения параллельной программы.

Список литературы:

1. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры [Текст]: монография под общ. ред. И.А. Каляева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. - 344 с.
2. Коваленко В.Б., Семерников Е.А., Кочерга М.С. Реконфигурируемые вычислительные системы с макрообъектной архитектурой [Текст] // Материалы Международной научно-технической конференции «Суперкомпьютерные технологии: разработка, программирование, применение (СКТ-2010)». Т.1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С.107-112.
3. Коваленко В.Б., Семерников Е.А., Кочерга М.С. Набор библиотечных элементов для макрообъекта цифровой обработки сигналов [Текст] // Материалы Международной молодежной научно-технической конференции “Высокопроизводительные вычислительные системы, ВПВС-2008”. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 478 с. – С. 358-362.

4. Левин И.И., Гудков В.А. Расширение языка высокого уровня COLAMO для программирования реконфигурируемых вычислительных систем на уровне логических ячеек ПЛИС [Текст] // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2010. – № 12. – С. 10-17.
5. Семерников Е.А., Дордопуло А.И., Каляев И.А., Левин И.И. Универсальный многоядерный макропроцессор для семейства многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой [Текст] // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет: многоядерный компьютерный мир». – М.: Изд-во МГУ, 2007. – С. 25 – 27.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Чудина Ольга Викторовна

*Доктор технических наук, профессор Московского Автомобиле-Дорожного Государственного
Технического Университета (МАДИ), Москва*

Хачатурян Владимир Ашотович

Аспирант Московского Автомобиле-Дорожного Государственного Технического Университета (МАДИ), Москва

EFFECT OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE STRUCTURE AND HARDNESS CONSTRUCTIONAL STEEL

Chudina Olga

Doctor of sciences, professor Moscow State Automobile - Road Technical University (MADI), Moscow

Khachatryan Vladimir

graduate student Moscow State Automobile - Road Technical University (MADI), Moscow

АННОТАЦИЯ

Проведены экспериментальные исследования влияния ультразвуковой обработки в жидкой среде на структуру и твердость поверхностного слоя конструкционных сталей.

Установлены оптимальные технологические режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальное упрочнение без нарушения целостности поверхности изделия. Показано, что ультразвуковое воздействие повышает микротвердость поверхностного слоя в 1,3...1,5 раза. Установлено, что упрочнение стальной поверхности обусловлено формированием в поверхностном слое развитой дислокационной структуры, измельчением зерна и микронапряжениями.

ABSTRACT

The experimental researches of influence ultrasonic treatment in the liquid environment on the surface structure and hardness of the constructional steel. The optimum technological regimes of ultrasonic treatment that provide maximum hardening without violation of the integrity surface were determined. It was shown that ultrasonic treatment increases the microhardness of the surface layer in 1.3 ... 1.5 times. Established that the surface hardening of steel is due to formation in the surface layer of the developed dislocation structure, grain refinement and microstresses.

Ключевые слова: ультразвуковое воздействие, поверхностное пластическое деформирование, микроструктура, твердость.

Keywords: ultrasonic treatment, steel, surface plastic deformation, microstructure, hardness.

Введение

В современном машиностроении при производстве и ремонте автотракторной техники широко применяют ультразвуковые методы очистки поверхности от загрязнений. Ультразвуковая очистка может быть как финишной обработкой [1,2], так и промежуточной перед нанесением на поверхность упрочняющего покрытия [3]. Имеющиеся публикации по влиянию ультразвуковой очистки в жидких моющих средах на состояние поверхности, в основном, посвящены исследованию процессов эрозионного разрушения поверхности при ультразвуковом воздействии. Однако практически отсутствуют исследования влияния ультразвуковой кавитации на изменение структуры и свойств поверхностного слоя обрабатываемых материалов.

В связи с тем, что состояние поверхности в значительной степени определяет надежность и долговечность деталей машин, в особенности эксплуатируемых при циклических нагрузках, целью настоящей работы является

изучение влияния ультразвукового воздействия на структуру и твердость поверхностного слоя конструкционных сталей и определения оптимальных режимов ультразвуковой обработки, позволяющих повысить поверхностную твердость без нарушения целостности поверхности деталей.

Материалы и методика проведения

Исследовали влияние ультразвуковой обработки (УЗО) на структуру и твердость армо-железа, сталей 45, 40X и 10X18H9. Методика проведения экспериментальных исследований заключается в следующем. В технологическую емкость с водой погружают стержневой магнитострикционный преобразователь, работающий с частотой акустических колебаний $f = 22 \text{ кГц}$. Образцы цилиндрической формы диаметром 15 мм и высотой 10 мм также погружают в емкость с водой и подвергают обработке. Основными технологическими параметрами УЗО являются: первое - амплитуда колебательных смещений ξ , зависящая от типа преобразователя, которую варьировали

от 7 мкм до 45 мкм. Второе – это длительность обработки, минимальная продолжительность воздействия составляет 15 минут, при меньшей продолжительности процесса видимых изменений в структуре и свойствах не происходит, а максимальная продолжительность составляет 60 минут, после чего на поверхности появляются эрозионные кратеры. Третий изменяемый параметр – это расстояние от ультразвукового преобразователя до обрабатываемой поверхности. Для эффективного ультразвукового поверхностного упрочнения деталь размещается на расстоянии 6...10 мм от преобразователя, а в целях получения равномерно упрочненного слоя положение детали меняли, что обеспечивало циркуляцию акустических потоков внутри технологической емкости и равномерное ультразвуковое воздействие на всю поверхность изделия.

Металлографические исследования поверхностного слоя проводили на световом микроскопе Axiovert 25 CA CarlZeiss, а дюрометрические исследования – на микротвердомере ПМТ-3.

Обсуждение результатов исследований

В процессе работы магнитоострикционного преобразователя в ультразвуковом частотном диапазоне в жидкости развиваются кавитационные процессы, сопровождающиеся образованием куммулятивных струй жидкости в результате схлопывания кавитационных пузырьков, формированием ударных волн, генерируемых из зоны

схлопывания кавитационных пузырьков и возникновением коллективной ударной волны [4]. Совокупное воздействие перечисленных процессов оказывает существенное влияние на поверхность стальных изделий, вызывая поверхностную пластическую деформацию и, как следствие, упрочнение.

В результате описанного выше ударного акустического воздействия вблизи поверхности металла формируется масса многократно захлопывающихся пузырьков, которые активируют процессы увеличения микронапряжений в кристаллической решетке, повышения плотности дислокаций и измельчения зерна.

По характеру производимого действия и по длительности существования в акустическом поле кавитационные пузырьки разделяют на захлопывающиеся и пульсирующие. При захлопывании кавитационного пузырька возникает ударная волна, развивающая значительные давления. Многократное воздействие в одной и той же области большого количества отдельных захлопывающихся пузырьков приводит к повышению плотности дислокаций, который носит накопительный характер. В начале воздействия пузырьки на поверхности преобладают упругие деформации, затем, накапливаясь по величине, деформации становятся пластическими и при повышении критических значений деформации может произойти разрушение металла.

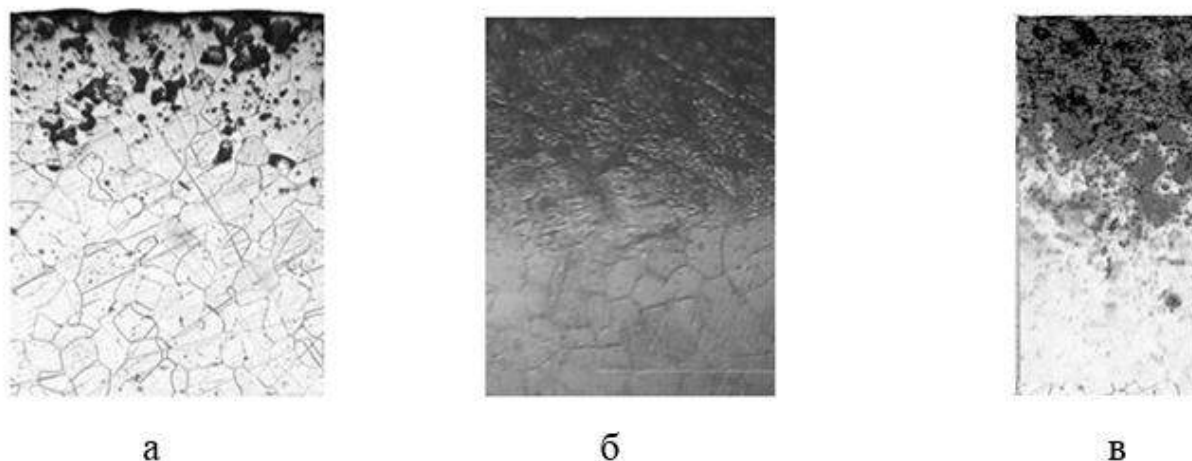


Рисунок 1. Микроструктуры армко-железа (а, б) и стали 45 (в) после ультразвуковой обработки в течение 60 минут при а) $\xi = 7$ мкм, б) и в) $\xi = 15$ мкм

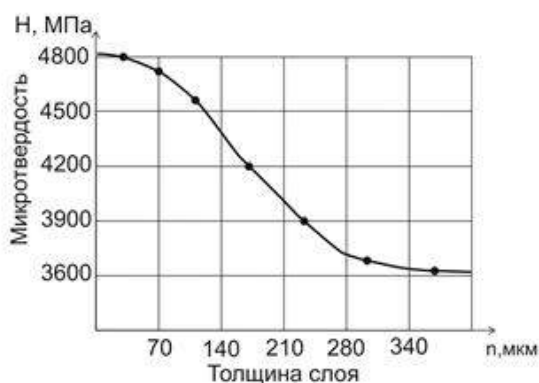
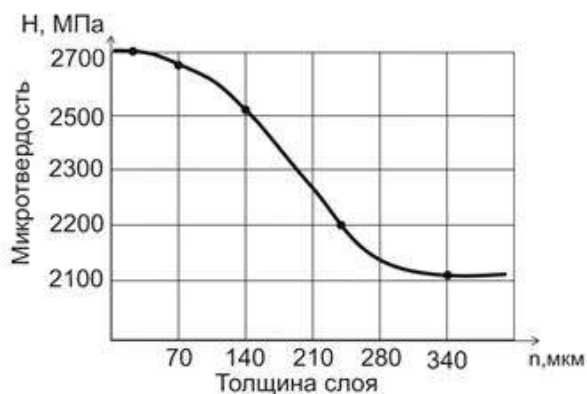
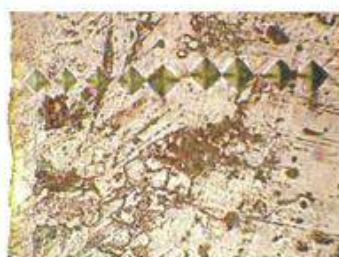
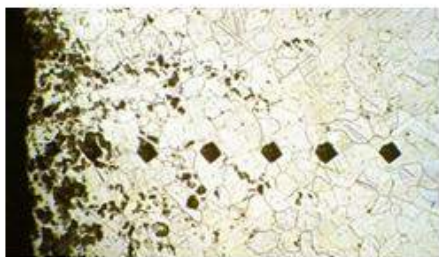
В соответствии с классическими представлениями об упрочняющих механизмах, действующих при пластической деформации в металлах, повышение поверхностной твердости в основном объясняется увеличением плотности дислокаций в поверхностном слое.

На рис. 1 приведены микроструктуры армко-железа и стали 45 после ультразвуковой обработки в течение 60 минут с амплитудами колебательных смещений $\xi = 7$ мкм и $\xi = 15$ мкм. С увеличением амплитуды колебательных смещений увеличивается интенсивность ультразвукового воздействия, что приводит не только к формированию на поверхности образца слоя развитой дислокационной структуры, но и к измельчению зерна, что дополнительно повышает поверхностную твердость стали. На рис. 2 сопоставлены структуры с твердостью армко-железа и стали 45, подвергнутых УЗО в течение 30 минут с амплитудами колебательных смещений $\xi = 7$ мкм и $\xi = 15$ мкм соответственно.

Кроме увеличения плотности дислокаций и измельчения зерна в приповерхностном слое наблюдается увеличение микронапряжений кристаллической решетки. В работе [5] исследовали влияние ультразвукового воздействия на характер изменения микронапряжений в поверхностном слое. С этой целью электрографическим методом, основанном на эффекте Кирлиана, путем цифровой обработки цветного изображения получен количественный структурный и фазовый экспресс-анализ, который позволил выявить взаимосвязь между структурой металла и характером микронапряжений в нем. Полученные результаты указывают на нерегулярный характер распределения максимальных и минимальных значений микронапряжений по озвучиваемой поверхности. Такие неравномерные микронапряжения по поверхности образцов являются следствием сложных нестационарных гидродинамических процессов, протекающих в жидкостях в условиях акустического воздействия и играют роль концентраторов

напряжения. Известно, что в присутствии концентраторов напряжений механические свойства изделий, в особенности эксплуатируемых при циклических и ударных нагрузках, снижаются. Для получения равномерно упрочненного

слоя достаточно применить технологические приемы, заключающиеся в изменении положения обрабатываемой детали в процессе озвучивания относительно преобразователя.



а

б

Рисунок 2. Сопоставление микроструктуры и твердости армко-железа (а) и стали 45 (б) после ультразвуковой обработки в течение 30 минут при $\xi = 7$ мкм (а) и $\xi = 15$ мкм

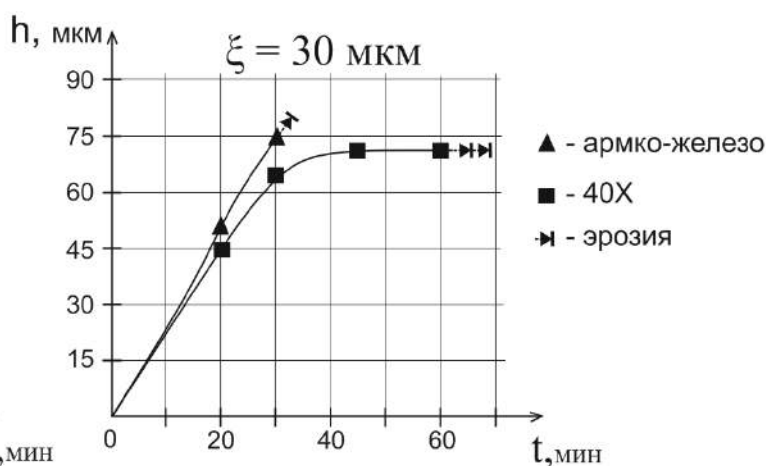
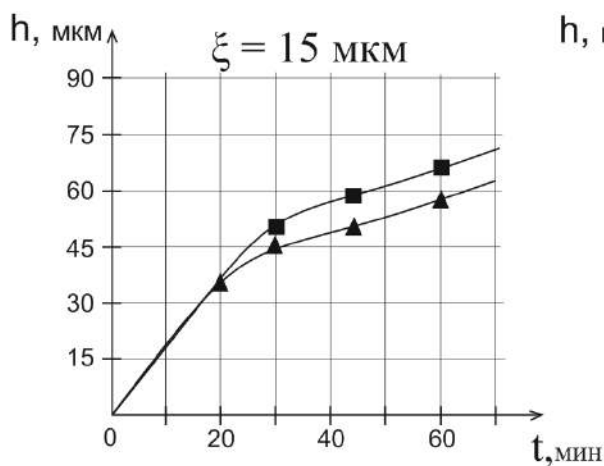


Рисунок 3 Влияние амплитуды колебательных смещений ξ и длительности ультразвуковой обработки на толщину упрочненного слоя армко-железа - \blacktriangle и стали 40X - \blacksquare

Установлено, что толщина упрочненного слоя в основном зависит от технологических параметров УЗО. На рис.3 приведены зависимости влияния амплитуды колебательных смещений и длительности обработки на толщину упрочненного слоя для армко-железа и стали 40X. Экспериментально установлено, что максимальная толщина упрочнения без нарушения целостности поверхности обеспечивается на модельном материале – армко-железе и на стали 10X18Н9 уже через 30 минут обработки и достигает 70 мкм. Для получения упрочненного слоя такой же

толщины на сталях 45 и 40X, ультразвуковая обработка проводится в течение 40...45 минут.

По результатам экспериментальных исследований определены преимущественные технологические режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальное упрочнение без нарушения целостности поверхности изделия. Для сталей с ферритной и аустенитной структурой оптимальными являются амплитуда колебательных смещений $\xi = 7...30$ мкм и длительность обработки - 15...30 минут. А для сталей с перлитной структурой - $\xi = 15...50$ мкм и длительность – 30...60 минут.

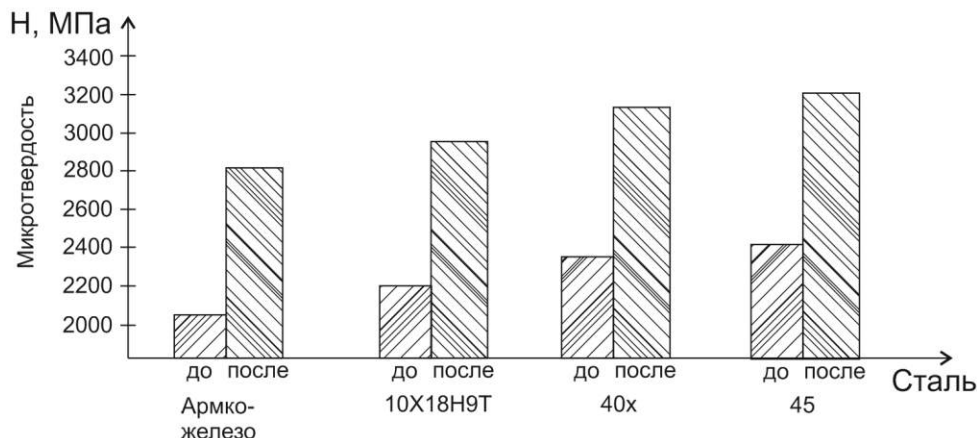


Рисунок 4. Влияние ультразвуковой обработки на прирост микротвердости поверхностного слоя сталей

Ультразвуковая обработка сталей по предложенным режимам, повышает микротвердость поверхностного слоя в 1,3...1,5 раза. Значения микротвердости армко-железа, сталей 10X18H9, 45, 40X до и после ультразвуковой обработки приведены на рис. 4. Установлено, что уровень упрочнения в значительной мере зависит от структуры стали. Установлено, что наибольшее упрочнение достигается в сталях с аустенитной структурой, в меньшей степени – с ферритной, а в сталях с перлитной структурой уровень упрочнения зависит от содержания углерода: чем больше углерода в стали, тем меньше прирост твердости в поверхностном слое обрабатываемой стали.

Работа выполнена в рамках программы стратегического развития МАДИ на период с 2012 – 2016 год.

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования влияния ультразвуковой обработки в жидкой среде на структуру и твердость поверхностного слоя сталей ферритного, аустенитного и перлитного классов.

2. Установлены оптимальные технологические режимы ультразвукового воздействия, обеспечивающие максимальное упрочнение без нарушения целостности поверхности изделия. Показано, что ультразвуковое воздействие повышает микротвердость поверхностного слоя в 1,3...1,5 раза, причем уровень упрочнения зависит от структуры стали, а толщина упрочненного слоя от технологических параметров обработки.

3. Установлено, что наибольшее упрочнение достигается в сталях с аустенитной структурой, в меньшей степени – с ферритной, а в сталях с перлитной структурой

уровень упрочнения зависит от содержания углерода: чем больше углерода в стали, тем меньше прирост твердости в поверхностном слое обрабатываемой стали.

4. Показано, что упрочнение стальной поверхности вызвано в основном формированием в поверхностном слое развитой дислокационной структуры по классическим механизмам пластической деформации, измельчением зерна и микронапряжениями.

Библиографический список

1. Панов А.П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей. М.: 1984. 88с.
2. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении. Под общ. ред. О.В. Абрамова и В.М. Приходько. М.: Янус-К, 2006, 688с.
3. Алисов В.Е., Чудина О.В. О влиянии кавитации на процесс разрушения поверхностных пленок загрязнений при ультразвуковой очистке режущего инструмента // Сб. научн. трудов. «Эффективность использования инструмента с износостойкими покрытиями» // М.: ВНИИинструмент, 1985. С.111-113.
4. Буравова С.Н. Повреждаемость поверхности при кавитационной эрозии // Журнал технической физики. 1998.Т.68. №9
5. Чудина О.В., Александров В.А., Фатюхин Д.С. Влияние ультразвуковой кавитации на состояние поверхности конструкционных сталей // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2011. - №2.- С.3-6.

О ПРОБЛЕМЕ РЕЦИКЛИНГА ДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

Хайруллин Рамиль Ренадович

аспирант Набережночелнинского института Казанского федерального университета

Сафронов Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор Набережночелнинского института Казанского федерального университета

ON THE PROBLEM OF RECYCLING WASTE DISPERSIVE IRON AND STEEL INDUSTRY AND ENGINEERING

Khayrullin Ramil, Graduate student branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny

Safronov Nikolai, Doctor of technical sciences, professor branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny

АННОТАЦИЯ

Проблема утилизации, переработки и использования металлоотходов - стружки, окалины, шлаков, пыли от металлургических производств и металлообрабатывающих цехов является одной из острых проблем, с которой сталкивается большинство машиностроительных и металлургических предприятий.

Утилизация и переработка промышленных отходов важны не только с точки зрения их использования как альтернативного источника сырья, но и с точки зрения охраны окружающей среды.

Во всех металлургических процессах образуется значительное количество пыли, которую необходимо улавливать и утилизировать для извлечения содержащихся в ней металлов и предотвращения загрязнения окружающей среды. Однако высокое содержание цинка и свинца нарушает процессы пылеулавливания и собственно выплавки, что является основной проблемой при рециклинге пыли.

ABSTRACT

The problem of utilization, processing and use of metal - chips, scale, slag, dust from metallurgical plants and metalworking shops is one of the most pressing problems faced by the majority of engineering and metallurgical enterprises.

Disposal and recycling of industrial wastes are not only important from the point of view of their use as an alternative source of raw materials, but also in terms of environmental protection.

In all metallurgical processes generate significant amounts of dust, which must be captured and disposed for extraction of metals contained therein and to prevent environmental pollution. However, a high content of lead and zinc dust separation processes and gives proper melt, which is a major problem in the recycling of dust.

Ключевые слова: рециклинг, железосодержащие отходы, бэгхаусная пыль.

Keywords: recycling, waste iron, baghouse dust.

Проблема рециклинга дисперсных железосодержащих отходов имеет три основных аспекта: экологический, экономический и юридический. Первый аспект связан с тем, что обсуждаемые отходы ввиду их дисперсности и часто окисленной формы железа являются нетехнологичным материалом. Поэтому в большинстве случаев данные отходы подвергаются захоронению, и тем самым литосфера представляет собой достаточно значимую экологическую опасность. Известно, что более 75% отходов производства являются токсичными для окружающей среды, а следовательно, и для здоровья человека.

Экономический аспект обсуждаемой проблемы заключается в том, что металлургические и машиностроительные предприятия вынуждены нести бремя издержек по процессу захоронения отходов и по оплате штрафных санкций за загрязнение литосферы. В то же самое время захораниваемые отходы содержат ценный элемент – железо, являющееся основой многих конструкционных материалов. Компенсация утраченного элемента также является затратной статьей производственной деятельности металлургических и машиностроительных предприятий.

Юридический аспект связан с проявлением внимания со стороны руководства страны к проблеме загрязнения биосферы. На заседании президиума Госсовета 27 мая 2010 года Президент РФ Дмитрий Медведев выступил с целым рядом поручений по разработке нового законодательства, целевых программ и нормативов по этой сфере. Их смысл заключается в экономическом стимулировании деятельности в области обращения с отходами с целью уменьшения их количества и вовлечения в хозяйственный оборот. 30 ноября 2010 года в послании Федеральному собранию Президент РФ еще раз обратился к проблемам экологии и ее законодательной базе.

Номенклатура дисперсных железосодержащих отходов достаточно широка. К ним относятся металлургическая пыль, образующаяся при плавке черных литейных сплавов и улавливаемая из газовой фазы в очистных установках, окалина кузнечного и термического производства, шламы электрохимической и электроэрозионной обработки черных металлов, а также гальванического производства, пылевидные отходы напылительных операций. Стружка, образующаяся при различных видах механической обработки резанием, отходы дробеструйных, дробетметных и помольных агрегатов.

Учитывая выше отмеченные обстоятельства, проблема рециклинга дисперсных железосодержащих отхо-

дов в последнее время стала привлекать внимание исследователей. В результате появился ряд предложений [1, с 31], внедрение которых позволяет решить обсуждаемую проблему. Но часто эти способы утилизации связаны с многоэтапностью процесса, наличием операций очистки и применением специализированного и дорогостоящего оборудования.

Среди предприятий машиностроительного комплекса наибольшую экологическую опасность представляет литейное производство. При изготовлении одной тонны отливок из стали и чугуна выделяется около 50 кг пыли, 250 кг оксидов углерода, 1,5-2 кг оксидов серы и азота и до 1,5 кг других вредных веществ (фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов) [2, с 7]. Для уменьшения выброса пыли в атмосферу применяют различного вида пылеуловители. В ОАО «КАМАЗ-МЕТАЛЛУРГИЯ» для этой цели используют бэгхаусы (англ. "baghouse") - Пылеуловители в виде фильтров на тканой основе. Они позволяют улавливать мелкодисперсные пылевые частицы из газовой фазы дуговых электропечей со степенью очистки свыше 99%.

Мелкодисперсная пыль (≈ 5 мкм), накапливающаяся в бэгхаусе, имеет слеующий химический состав, % (масс.): FeO – 11,9; Fe₂O₃ – 59,7; Fe_{ообщ} – 51,1; MnO – 1,4; Cr₂O₃ – 0,2; SiO₂ – 21,7; CaO – 1,5; MgO – 0,9; Al₂O₃ – 1,1; C – 1,6. Несмотря на значительную долю оксидов железа рециклирование бэгхаусной пыли не нашло своего отражения в производственном процессе, и она вывозится в отвал.

В настоящей работе предлагается использовать бэгхаусную пыль в качестве окислителя сталеплавильной ванны с целью ее кипения и обезуглероживания. Но поскольку этот материал дисперсный, использовать его непосредственно в качестве присадки не представляется возможным. Поэтому необходимо провести компактирующую операцию. С этой целью составлялась смесь, в которую наряду с бэгхаусной пылью входили отходы дробы с химическим составом, % масс: Fe – осн.; C – 0,16; Si – 0,04; Mn – 0,17; Cr – 0,21; Ni – 0,45; S – 0,02; P – 0,01; Al – 0,02; Ti – 0,06 и порошкообразная известь, в которой основными компонентами являются CaO и MgO (91 и 2%, (масс) соответственно). Вышеуказанные дисперсные материалы перемешивались между собой в массовом соотношении друг к другу 1:0,3; 0,3 и увлажнялись насыщенным водным солевым раствором до пластичной консистенции. В качестве соли использовался отработанный

флюс МХЗ (Менделеевский химический завод им. Л.Я. Карпова) на основе хлоридов Щелочных металлов.

Компактирование смеси дисперсных отходов осуществлялось в экструдере BRONTO модели E-250. Полученные жгуты после естественной сушки приобретали необходимую для проведения транспортных и грузочных операций прочность ($\sigma_{сж}$ до 30 МПа). Упрочнение компактных образований обусловлено окислительными процессами присутствующего в них металлического железа, в результате которых железо превращается в золь $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. В процессе сушки он переходит в гелеобразное состояние. Кроме того, имеющаяся в составе смеси жженая известь в контакте с водой образует гидроксид кальция, который благодаря физико-химическим превращениям, протекающим на этапах формования и сушки, способствует схватыванию и твердению вещества компактных образований с нарастанием их механической прочности. Процесс упрочнения обусловлен также наличием вяжущих свойств бэгхаусной пыли. Эти свойства обусловлены тем, что образование бэгхаусной пыли происходило в условиях высоких температур, при которых сформировался оксидный и фазовый состав, соответствующий силикацементу.

По описанной выше технологии была изготовлена опытная партия компактных образований (120 кг) с целью их использования как альтернативный закупаемый железнорудным окатышам материал при проведении окислительного периода процесса приготовления расплава стали 35Л для отливок в условиях производства стального литья ОАО «КАМАЗ-МЕТАЛЛУРГИЯ» на дуговой электропечи №7 (№ плавки 7-6739). Процесс кипения был интенсивный и сопровождался образованием крупных пузырей оксида углерода. По ходу плавки отбирались пробы металла на химический анализ, который показал следующую

тенденцию поведения элементов, % (масс): С – 0,42 → 0,45 → 0,4 → 0,39; Si – 0,16 → 0,22 → 0,33 → 0,47; Mn – 0,28 → 0,31 → 0,26 → 0,75; Cr – 0,07 → 0,07 → 0,07 → 0,08; Cu – 0,12 → 0,12 → 0,12 → 0,13; S – 0,015 → 0,015 → 0,015 → 0,014; P – 0,015 → 0,015 → 0,016 → 0,014; Al – 0,07. Исследование полученного металла на механические свойства показало, что $\sigma_T=372$ МПа; $\sigma_B=627$ МПа; $\delta=16$ %; HB=163.

Результаты приведенных анализов свидетельствуют о том, что использование опытного материала из дисперсных железосодержащих отходов в качестве окислителя не привел к нарушениям штатного технологического режима приготовления расплава стали и не отразился негативно на ее качестве, так как его параметры укладывались в нормативные значения. Следует отметить положительный факт, обусловленный применением опытного материала. Он заключается в том, что скачиваемый в малых разливных ковшах с поверхности металлического расплава шлак приобрел «мягкость» и, как следствие, высокую способность к осуществлению указанной технологической процедуры. Полученный результат объясняется, очевидно, переходом из опытного материала в шлак соединений щелочных металлов.

Список литературы

1. Сироткин С.К., Хухарева Н.Н., Некрасов В.М., Кузнецов В.К. Переработка железосодержащих отходов металлургического производства // *Электromеталлургия*. – 2010. – № 10. – С. 30-35.
2. Экология литейного производства. / Под ред. А.Н. Болдина, С.С. Жуковского, А.Н. Поддубного, А.И. Яковлева, В.Л. Крохотина: Учебн. пособие для вузов. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2001. - 315 с.

МЕТОД СОВМЕЩЕННОЙ КОНВЕЙЕРИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Холопов Юрий Алексеевич.

ведущий инженер, Институт точной механики и вычислительной техники имени С.А. Лебедева Российской академии наук, Москва

METHOD OF COMBINED PIPELINING OF THE OPERATING COMPUTER SIGNALS

Kholopov Yury, leading engineer, Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow

АННОТАЦИЯ

Предложен метод ступенчатой реконфигурации заполнения конвейера вычислительного устройства. Совмещенная конвейеризация управляющих сигналов вычислительного устройства позволяет сократить цикл обработки данных.

ABSTRACT

The method of step reconfiguration of filling of the pipeline of the computer is offered. Combined pipelining of the operating signals of the computer allows to reduce an operation cycle of data.

Ключевые слова: конвейер; обработка данных; алгоритм сжатия.

Keywords: pipeline; data processing; algorithm of compression.

Классическая реализация вычислительного конвейерного устройства предполагает эффективное реконфигурирование алгоритма вычислений, путем выделения в цепочке преобразований квантов одинаковой длительности. Каждый шаг конвейера соответствует определенной фазе

управления и операциям обработки данных, а целесообразная длина конвейера определяется количеством таких фаз управления, на которые удается разбить выделенную цепочку преобразований. Продвижение информации по конвейеру осуществляется в синхронном режиме, и каждая фаза обработки заканчивается временной фиксацией

промежуточных результатов преобразований на выходе очередной аппаратной ступени конвейера. Одной из наиболее существенных задач конвейерной обработки является задача эффективной загрузки конвейера, не допускающей пропусков или минимизирующей эти пропуски в загрузке данных на входе конвейера и ограничивающей отказы от продолжения преобразований на каком-то промежуточном шаге.

Узким местом при реализации конвейерной обработки данных в реальных условиях является неспособность обеспечить необходимый темп подачи данных на вход конвейера (источник данных) и своевременной разгрузки конвейера на выходе (приемник результатов) в темпе, соответствующем скорости работы вычислительного конвейера. Любая задержка в подготовке или выгрузке данных будет приводить к остановке конвейера на один или несколько тактов, пропуск тактов работы конвейера. Увеличение объема, скорости и функциональных возможностей блоков сверхоперативной памяти (СОЗУ), реализующей связь с конвейером имеет свои пределы. Поэтому одним из возможных решений этой проблемы является более корректное, согласованное с работой конвейера, управление работой сверхоперативной памяти, обеспечивающей необходимый темп загрузки и разгрузки конвейера в цепочке устройств:

СОЗУ Источника → Конвейер → СОЗУ Приемника

Отметим, что, как особенности обрабатываемых данных, так и особенности программы обработки влияют на количество обращений к памяти, кроме того, задержки на источнике и приемнике, как правило, будут возникать не синхронизировано, а в общем случае - в произвольные моменты обработки потока данных.

Поскольку жесткая синхронизация этих устройств (источника, конвейера и приемника) приведет единственно к привязке темпа конвейера к темпу более медленного устройства, то очевидным путем эффективного решения данной проблемы является реализация в цепочке управления этими устройствами флагов готовности. Флаги готовности, не нарушая работы устройства в целом, помогли бы идентифицировать и частично компенсировать потери времени обработки потока данных при неготовности приемника и/или при неготовности источника. Неготовность самого конвейера мы в данном случае не рассматриваем, так как априори предполагаем, что он работает в темпе, превышающем темп работы источника и приемника.

На начальном этапе загрузки конвейера, его темп работы подчинен темпу работы источника, и на каждом шаге источник поставляет на вход конвейера очередную порцию данных. После полной загрузки конвейера на его выходе появляются первые результаты, и темп их выгрузки теперь диктуется темпом работы приемника. Если приемник не способен принять очередную порцию данных, очевидно, конвейер должен быть остановлен на один или несколько тактов собственной синхронизации, пока не получит сигнал готовности приемника, при этом по-видимому должен быть остановлен и источник, так как конвейер предположительно полностью загружен и дальнейшее продвижение информации невозможно. Если источник не способен на очередном такте синхронизации передать данные в конвейер, то конвейер может продолжать функционирование, а при готовности приемника может

осуществлять и выгрузку результатов, пока в нем присутствует содержательная информация. В цепочке работы конвейера образуются холостые такты, не обеспечивающие новой загрузки ступеней конвейера, но позволяющие продвигать по нему содержательную информацию. Целесообразно реализовать построение схемы так, чтобы мы могли флагами идентифицировать ступени конвейера, на которых в данный момент находится содержательная информация и выделять ступени, где вычислений не производится.

Задержка источника на один или несколько тактов работы конвейера может привести к частичной или полной разгрузке конвейера. Жесткий алгоритм работы взаимодействия этой пары устройств (источник → конвейер) будет приводить к тому, что по прошествии нескольких тактов работы с содержательной информацией, конвейер должен «впустую» отработать такты выталкивания несодержательной информации, пока он вновь не будет заполнен и на выходе не появится содержательная информация, которую должен забрать приемник. Пустые такты, даже если мы отметим их соответствующими флагами, пройдут всю цепочку конвейера – этого требует классический алгоритм обработки.

Очевидно, что подобные «пузыри» – пустые такты в работе конвейера будут порождаться периодически, спровоцированные источником. Предположим теперь, что единичный пустой такт или начало и конец «пузыря» (несколько пустых тактов подряд) в конвейере отмечены флагами, которые не только идентифицируют факт наличия «пузыря», но и позволяют идентифицировать ступени конвейера, которые работают впустую. Независимо от наличия или отсутствия пустых тактов в конвейере, на его выходе может возникнуть блокировка записи, порожденная неготовностью приемника, которая, по классической схеме, должна остановить и работу всего конвейера, и работу источника.

Наличие выше описанных флагов позволяет обнаружить «пузыри» и принять другое решение в управлении конвейером. Выходная часть конвейера одна или несколько ступеней с содержательной информацией могут быть остановлены, до момента возникновения сигнала готовности от приемника, в то время как начальная часть конвейера, так же заполненная содержательной информацией, может продолжать функционирование и продвижение частичных результатов вычислений на пустые ступени конвейера «поглощая пузырь». При этом не останавливается и работа источника. Наличие нескольких пустот в длинном конвейере не является алгоритмической проблемой, т.к. в предлагаемом случае будет заполняться первая по старшинству, пустая наиболее близкая к приемнику ступень конвейера.

Таким образом, условием для возникновения описанного ускорения обработки является наличие двух событий одновременно: наличие одной или нескольких пустот в конвейере и задержка в работе приемника на выходе конвейера. Готовность источника в данном случае не является обязательной, так как его неготовность при реализации описанного алгоритма управления будет всего лишь порождать очередной пузырь на входе. Синхронная работа конвейера в целом не нарушается, однако минимизируются потери, связанные с простоями конвейера и недостаточным темпом работы источника и приемника в вычислителе. Отметим, что при достаточной длине конвейера, выигрыш от совмещения простоя части конвейера на

выходе с обеспечением его частичной работы на входе может быть весьма значителен, однако в данной работе мы не ставим перед собой задачу теоретического обоснования и оценки возможного выигрыша, лишь проверив действенность этого решения на практике.

Схемотехническая реализация предлагаемого метода, например, предполагает, что помимо конвейера обработки данных, параллельно с ним мы реализуем на сдвиге регистре тривиальный конвейер управляющих флагов, который позволяет нам распознавать наличие в конвейере пустот, идентифицировать пустые ступени конвейера и позволяет управлять каждой ступенью конвейера

обработки данных с учетом состояния конвейера управляющих флагов готовности. Уплотнение потока обработки и заполнение пустот в конвейере обработки данных будет сопровождаться и соответствующими изменениями в конвейере управляющих флагов, т.е. если некоторая пустая ступень конвейера обработки заполняется содержательной информацией, то и соответствующий ей флаг в конвейере управления так же изменяет свое значение.

Работа выполнялась в рамках исследований при финансовой поддержке Министерства образования и науки России.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО РЕСУРСА В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Олесьюк Роман Валерьевич

аспирант, Московский физико-технический Институт (Государственный университет)

Холопов Юрий Алексеевич.

ведущий инженер, Институт точной механики и вычислительной техники имени С.А. Лебедева Российской академии наук, Москва

RESERVATION OF THE COMPUTING RESOURCE IN THE DIGITAL CONTROL SYSTEM

Olesyuk Roman, graduate student, Moscow Institute of Physics and Technology State University

Kholopov Yury, leading engineer, Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow

АННОТАЦИЯ

Рассматривается реализация горячего резерва вычислительного ресурса построенного на основе двух идентичных вычислителей в системе управления объектом в режиме реального времени.

ABSTRACT

Realization of a hot reserve of the computing resource constructed on the basis of two identical specialized computer in a control system of object in real time is considered.

Ключевые слова: цифровая система управления; горячий резерв.

Keywords: digital control system; hot reserve.

Для большого числа детерминированных систем управления естественным является процесс управления в виде периодического опроса состояния объекта управления и формирование управляющих воздействий, являющихся реакцией на проведенные в данном цикле измерения. Одним из определяющих параметров системы управления является время задержки, затраченное на измерение и обработку характеристик объекта и вычисление управляющих воздействий, необходимых для функционирования системы. Циклически повторяемые процедуры измерения-управления предполагают выполнение вычислений в темпе реального времени существования управляемой системы (объекта). Исходя из этого, одним из критических элементов реализации систем управления является разработка контуров и алгоритмов управления, в которых измерительная, вычислительная и управляющие компоненты были оптимизированы по времени и суммарно обеспечивали необходимый темп управления.

Современные объекты управления и управляющие системы отличаются увеличением сложности, увеличением числа датчиков и исполнительных механизмов, что приводит, прежде всего, к необходимости доставить к центральному вычислительному узлу значительный

объем информации за достаточно короткое время. Значительно осложняется решение задачи обеспечения бесбойного надежного функционирования системы. Одним из известных приемов повышения надежности функционирования систем является дублирование узлов. При необходимости быстрого ввода в работу дублирующего оборудования принято использовать горячее резервирование.

Рассмотрим реализацию системы управления, в которой по регламентным требованиям необходимо обеспечить горячее резервирование вычислительного ресурса на основе двух идентичных вычислителей. Вычислители подключены к общему полю сенсоров и исполнительных механизмов – единому базису функционирования системы управления. Существенной чертой рассматриваемой системы, как отмечалось выше, является циклический принцип взаимодействия системы с объектом управления, а так же режим реального времени функционирования.

Для случая обработки неструктурированной информации ситуация выглядит так: в некоторый конкретный момент работы системы один из вычислителей является ведущим, а второй - ведомый вычислитель вообще не участвует в управлении контролируемыми внешними устройствами системы. Однако ведомый вычислитель по-

лучает полный набор входной информации, как и ведущий, и вычисляет все необходимые по реализуемому алгоритму управляющие воздействия, которые вырабатывает и ведущий вычислитель.

Представим набор формируемых управляющих воздействий в виде многомерного управляющего вектора. Если вектора, выработанные каждым из вычислителей в определенный момент времени, не совпадают, то в системе возникает состояние неопределенности, говорящее о возможности ошибочного управления. Следует отметить, что функционирование вычислителей несколько неравнозначно. Ведущий вычислитель не только осуществляет управление, но одновременно позволяет ведомому вычислителю синхронно получать весь входной набор, определяющий текущее состояние контролируемой системы – позволяет подсматривать за работой контура управления. Ведомый вычислитель формирует управляющий вектор, но этот вектор остается доступен только ведущему вычислителю. Именно ведущий вычислитель сравнивает два сформированных вектора, но последовательно формируемые эти вектора выполняются до тех пор, пока они совпадают. Детектируем возможный отказ системы по факту несовпадения двух параллельно рассчитанных управляющих векторов.

С точки зрения объекта управления такая управляющая система воспринимается, только как периодически возникающий на его входах вектор управления, поэтому нецелесообразно детально сравнивать работу двух одновременно функционирующих вычислителей и достаточно сравнить сформированные векторы – окончательные результаты вычислений. Более детальное сравнение могло бы быть целесообразным, когда в напряженном цикле управления нет времени на реакцию, для принятия решения об ошибке, либо когда мы помимо управления, пытаемся решать и задачу диагностики вычислителей. Ненапряженный режим циклического функционирования системы означает, что процесс вычисления вектора управляющих воздействий занимает лишь часть времени цикла. Оставшаяся часть периода может быть пассивным ожиданием, но может быть и использована системой управления для решения целей самоконтроля. Для целого ряда объектов управления с ненапряженным циклом управления предположительна даже ситуация, когда в течение одного или нескольких циклов вычислитель не принимает участия в управлении, а на исполнительные органы системы подается один и тот же «старый» вектор управления. В принципе, это достаточно общее свойство цифровых систем управления: любой актуатор на уровне связи с цифровой системой управления имеет буфер уставки, содержимое которого для актуатора является актуальным, т.е. старая уставка продолжает обрабатываться данным актуатором (в зависимости от реализуемого принципа исполняемого актуатором, это может быть прямое, дифференциальное или иное исполнение заданной величины, могут быть и другие нюансы, но для рассматриваемой задачи это не существенно).

Сама постановка задачи повышения надежности с использованием только двух вычислителей порождает ситуацию отсутствия эталона. И в случае, когда сформированные вектора разошлись, мы не можем сказать который из вычислителей порождает ошибочное решение. Есть

только один способ определить исправность – это протестировать вычислители. Возможны два варианта: первый вариант – ведущий вычислитель продолжает функционировать в качестве ведущего, – это допустимо, когда периферия и исполнительные устройства обладают определенной интеллектуальностью и способны блокировать явно ошибочную уставку, в противном случае, целесообразнее остановить процесс управления и параллельно на обоих вычислителях запустить процесс тестирования. Этап тестирования может быть достаточно длительным, что противоречит задаче управления, поэтому одна из целей предлагаемого метода состоит как раз в уменьшении времени этого тестирования.

Предлагаемый в работе подход ориентирован на своевременное распознавание вычислителя породившего ошибочный вектор. Тестирование предполагается организовать не по элементному, а по функциональному принципу. Компоненты (например, память вычислителя) в которых хранится структурированная информация, а не информация, порожденная случайными обращениями, предлагается тестировать функционально, т.е. зная структурные особенности обмена информацией или порождения информации, каждую структурированную единицу информации (массив, структуру, пакет или дейтаграмму) снабжать ее контрольным кодом или сигнатурой и тогда тестирование узла будет состоять в одноразовом обращении к этому узлу, например, к этой области памяти, причем целесообразно проверять не весь набор устройств, входящих в состав вычислителя, а только те, которые реально задействованы в выполнении вычислений. Фактически нас интересует – была ли ошибка в цепочке узлов, участвующих в вычислении.

В вычислителе, как правило, есть несколько памятей (память программ, память векторов состояния системы, память данных) и другие буферные устройства. При формировании, хранении или передаче структурированной единицы информации мы формируем контрольные коды и имеем возможность проверить этот код при передаче единицы структурированной информации к следующему узлу вычислителя. Фактически процесс тестирования ряда основных узлов вычислителя осуществляется функционально, т.е. каждый такой узел тестируется в процессе выполнения основной операции в рамках выполняемых вычислений цикла управления. Каналы связи с внешними устройствами, из-за того что они все преимущественно пакетного типа обмена информацией, внутренние тракты передачи промежуточной информации естественно проверяются на всем пути прохождения информации, на всех интересующих нас сечениях, и частота этих проверок определяет степень детализации проверки правильности работы узлов.

Предлагаемый подход незначительно увеличивает объем используемого вычислительного оборудования, но требует внесения изменений в алгоритм обработки данных. Эффективность предлагаемого решения проверена на практике при реализации системы контроля и управления объектом высокой сложности.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Ильина Светлана Игоревна

Кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия, 125047, Москва, Миусская площадь, 9

Терпугов Данила Григорьевич

Аспирант кафедры процессов и аппаратов химической технологии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия, 125047, Москва, Миусская площадь, 9

Ильин Игорь Павлович

Студент группы ИУ1-32 Московский Государственный Технический Университет им. Баумана Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

CLASSIFICATION OF MEMBRANE SEPARATION TECHNIQUES AND NEW SOLUTIONS IN MEMBRANE TECHNOLOGY

Irina Svetlana Igorevna, Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of processes and instruments of chemical technology, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia Russia, 125047, Moscow, Miusskaya square, 9

Terpugov Danila Grigorievich, Postgraduate student of the Department of processes and instruments of D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Russia, 125047, Moscow, Miusskaya square, 9

Ilin Igor Pavlovich, Student IU1-32 Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, street 2-ya Baumanskaya, 5

Аннотация

Рассмотрены различные методы классификации процессов мембранного разделения. Проведена систематизация аппаратурного оформления для мембранных процессов. Приведены примеры использования классификации для описания процесса.

Обозначены пути развития мембранной технологии. Показана возможность разработки процесса на основании приведенной классификации.

Annotation

Various methods of classification of processes of membrane division are considered. Systematization of hardware registration for membrane processes is carried out. Examples of use of classification for the process description are given.

Ways of development of membrane technology are designated. Possibility of development of process on the basis of the given classification is shown.

Ключевые слова: мембранные методы, классификация

Key words: membrane methods, classification

В настоящее время мембранные методы разделения являются одним из самых перспективных направлений развития в различных областях промышленности: пищевой, химической, в электронике, медицине, - а также и в быту. Чаще всего мембранные методы используют для обессоливания и деминерализации воды, а также для переработки сточных вод. Однако возможно применение мембранных методов в производстве при получении продукта. Кстати, хотелось бы отметить, что на Западе доля использования мембран для получения целевого и промежуточных продуктов гораздо больше, чем в России [1]. Это также может служить стимулом к внедрению мембранных процессов в производство.

В настоящее время происходит не только расширение спектра применения уже хорошо отработанных мембранных процессов, но и само развитие мембранной технологии. В первую очередь это, конечно, связано с созданием новых материалов и технологий получения мембран. Но также появляются и новые решения организации процессов.

Вообще, мембранные процессы – это частный случай массообменных процессов. Однако они в свою очередь представляют собой такое многообразие процессов, и при этом постоянно находятся в развитии и имеют свои закономерности, что уже стали выделяться в отдельные технологии. Наверное, можно провести такую же парал-

лель с химией и органической химией. В органической химии действуют те же законы, но, однако, она уже выделена в отдельную дисциплину.

Итак, т.к. процессы мембранного разделения являются частным случаем массообменных процессов, то, соответственно, подчиняются и тем же принципам классификации.

По организации процесса:

- непрерывный
- периодический
- По организации потоков:
- проточные,
- непроточные,
- цикл.

В соответствии с классификацией Дытнерского Ю.И.[2] мембранные процессы подразделяются по движущей силе:

- градиент концентрации
- градиент давления
- градиент температуры
- градиент электрического потенциала

Кроме того, в промышленности часто встречаются случаи одновременно протекающих процессов – сопряженных процессов.

Так же существует классификация мембран. Характеристики мембран представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Классификационные характеристики мембран*.

Мембраны			
твердые, жидкие, газообразные**			
гомогенные	гетерогенные		
	изотропные	анизотропные	
материал			
органические			неорганические
Ионообменные	Полимерные		угольные
	неионообменные		
	заряженные	незаряженные	
			керамика

*В данной работе мы не рассматриваем динамические мембраны (хотя их тоже следует иметь в виду) в силу того, что на практике они пока не находят широкого применения.

**В настоящее время в основном используются твердые мембраны, но уже в литературе [2] описывается возможность создания мембран и в других агрегатных состояниях.

В принципе, любой мембранный процесс может быть классифицирован с точки зрения приведенных параметров.

Аппараты также могут быть классифицированы: плоскокамерный, трубчатый, рулонный, полое волокно, как, собственно, и электроды: монополярные и биполярные.

Как уже отмечалось, классификация массообменных процессов, и, как частный случай, мембранных методов разделения существует уже очень давно, но о ней часто забывают, т.к. пользуются уже готовыми технологиями с заданными классификационными параметрами, например, обратный осмос: движущая сила – градиент давления; мембраны – полимерные, неионообменные; процесс – непрерывный; в промышленности чаще всего используют рулонные модули.

Четкая классификация позволяет не только изучать и характеризовать процессы, но и прогнозировать их развитие.

Например, в последнее время проводятся эксперименты по наложению внешнего электрического поля на обратноосмотические элементы (а также на ультра – и микрофильтрационные) [3-5]. Это вполне согласуется со стандартной классификацией, если считать, что процесс будет сопряженным. Однако в механизме течения этих процессов будут отличия. В данном случае практический интерес представляет определение концентрационной поляризации, т.к. для баромембранных процессов характерно увеличение концентрации в толщине диффузионного слоя, для электромембранных же, наоборот, - понижение, связанное с различием в числах переноса в растворе и мембране.

Кроме того, при наложении электрического поля при определенных напряжениях происходит разложение воды. Это явление тоже необходимо учитывать. К примеру, разложение воды под действием напряжения, которое отрицательно влияет на процесс электролиза, используется для регенерации ионообменной смолы в электродеионизации (EDI). Стоит заметить, что EDI – фактически тоже является сопряженным процессом, как в принципе и электролиз (разность потенциалов, разность концентраций).

Это один из примеров, как системный подход может помочь созданию каких-либо новых решений, а таких вариантов множество: это может быть, как сопряжение различных движущих сил, так и изменение стандартно используемых материалов мембран. Например, замена полимерных материалов керамическими [6].

Итак, на основании вышеизложенного можно сделать выводы:

- 1) На основании систематизации классификационных характеристик возможно найти новые методы решения традиционных задач по разделению растворов. Это имеет большое практическое значение, т.к. новые решения могут снизить капитальные и энергетические затраты.
- 2) Работа требует продолжения, т.к. не учтены все агрегатные состояния мембран (к примеру, существует возможность создания широкого спектра жидких мембран) и динамические мембраны.
- 3) Для упрощения систематизации и прогнозирования процессов может быть создан унифицированный код (хотя, конечно, мы понимаем, что в настоящее время эта необходимость отсутствует).

Список литературы:

1. А.А. Свитцов Мембранные процессы разделения – теория, практика, экономика.//Научно-практический семинар «Мембранная очистка воды» 3 июня 2014 г., Москва, «ЭКВАТЭК-2014».
2. Ю.И. Дытнерский Процессы и аппараты химической технологии. Ч.2. Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн. М.: Химия, 1995.—368 с.
3. Лазарев С.И., Вязовов С.А., Рябинский М.А. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. // Патент РФ № 2324529. В01D 61/42.Бюл. № 05. 2006.
4. Патент РФ № 2268085. В01D 61/42. Лазарев С.И., Горбачев А.С., Абоносимов О.А. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. //Патент РФ № 2268085. В01D 61/42.Бюл. № 02. 2006.
5. Патент РФ № 2403957. В01D61/42, В01D61/46. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Чепеняк П.А., Данилов А.Ю., Лазарев К.С. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа.//Патент РФ № 2403957 В01D61/42, В01D61/46. Бюл. № 32. 2010.
6. Пат. 2205061 В01D 71/02, 67/00.Мынин В.Н., Серегин И.Н., Смирнов Б.Н., Смирнова Е.Б., Терпугов Г.В., Шестерин Ю.А.Способ изготовления фильтрующих элементов с керамическим активным слоем на пористой углеродной подложке. //Пат. 2205061 В01D 71/02, 67/00.27.05.2003.

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ АЛГОРИТМОВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Илюшин Павел Владимирович

канд. техн. наук, директор по техническому контролю и аудиту
ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС», г. Москва

CONSIDERATION OF SPECIAL FEATURES OF DISTRIBUTED GENERATION UNITS WHEN THE EMERGENCY CONTROL ALGORITHMS FOR DISTRIBUTION NETWORKS ARE BEING CHOSEN

Pavel Ilyushin, candidate of technical science, director of technical control and audit CJSC «Technical inspection UES», Moscow

АННОТАЦИЯ

Обобщены особенности объектов распределенной генерации и их влияние на режимы работы распределительной сети. Приведены результаты анализа ряда существенных негативных свойств некоторых генерирующих установок малой и средней мощности, применяемых в распределенной генерации. Эти свойства должны быть учтены при проектировании конкретных систем внешнего электроснабжения – при выборе типов генерирующих установок и необходимых средств противоаварийного управления. Показаны особенности переходных процессов в системах электроснабжения с газотурбинными генерирующими установками.

ABSTRACT

Summary of special features of distributed generation units and their impact on distribution network operating modes. Results of analysis of a number of significant negative aspects of some low and medium power dispersed generation units used in distributed generation are provided. These aspects should be considered when specific outer power supply systems are being designed (at the time when generation units types and required emergency control facilities are being chosen). Special features of transient processes in power supply systems with gas turbine generation units are given.

Ключевые слова: распределительные сети; распределенная генерация; газотурбинные установки; асинхронные режимы; противоаварийная автоматика.

Keywords: distribution networks; distributed generation; gas turbine generation units; asynchronous modes; emergency control.

Понятие распределенная генерация охватывает генерирующие установки приближенные к потребителям, в том числе принадлежащие им, излишки вырабатываемой электроэнергии которых могут выдаваться в сеть внешнего электроснабжения. Основные причины, побуждающие интенсивно развивать распределенную генерацию, известны. Главные из них:

- нагрузки в распределительных сетях растут, а возможности развития сетей, особенно в мегаполисах и крупных городах, ограничены техническими и финансовыми факторами, связанными со строительством новых подстанций и линий (увеличением трансформаторных мощностей, увеличением пропускной способности линий), трудностями выбора и согласования мест под строительство, ростом токов короткого замыкания и т.п.;
- перерывы электроснабжения, даже кратковременные, представляют для многих потребителей серьезную проблему (при электроснабжении потребителя I категории по двум линиям, вывод в ремонт одной из них и внезапное отключение второй оставляет его без электроснабжения на такое время, которое может оказаться недопустимым по условиям основных технологических процессов);
- снижение расходов на электрическую энергию достигается за счет эффективной утилизации вторичных

энергоресурсов (доменный и конвертерный газ, попутный нефтяной газ, шахтный газ (метан), биогаз от осадков сточных вод на очистных сооружениях, отходы лесопереработки и сельского хозяйства, горючие бытовые отходы и пр.).

Целями данной статьи является анализ особенностей применения газотурбинных генерирующих установок в узлах электропотребления, выявление адекватных и эффективных противоаварийных мероприятий.

Распределенная генерация предполагает в основном использование генераторов с номинальной мощностью от сотен киловатт до десятков мегаватт. При таких мощностях в современной электроэнергетике лидирующее положение занимают следующие электростанции:

- во всем диапазоне мощностей – газотурбинные (ГТЭС);
- в нижней части этого диапазона – газопоршневые, а также дизельные (ГПЭС, ДЭС);
- в верхней части диапазона – парогазовые (ПГЭС), причем на таких электростанциях большая часть мощности вырабатывается газотурбинными установками.

Данные установки позволяют значительно повысить КПД использования минерального топлива и подключаются, как правило, к распределительным электрическим сетям или сетям внутреннего электроснабжения промышленных предприятий.

У объектов распределенной генерации могут быть два альтернативных нормальных режима:

- работа параллельно с ЭЭС с возможностью автоматического отделения от ЭЭС при нарушениях работы сети, препятствующих функционированию потребителей;
- автономное электроснабжение потребителя при условии, что предусмотрены технические решения, позволяющие объединяться с ЭЭС в режимах, когда располагаемая мощность электростанции оказывается недостаточной: соответствующие линии и трансформаторы для связи с сетью, а также устройства автоматического управления.

Работа параллельно с ЭЭС дает следующие преимущества по сравнению с автономной работой:

- возможность продажи избытков электроэнергии;
- легкость прямых пусков крупных электродвигателей;
- возможность продолжения нормальной работы потребителя в случае внезапного отключения генератора (генераторов) данной электростанции.

Однако электроустановки, в том числе генерирующие, при работе в ЭЭС испытывают воздействия КЗ. Эти воздействия, которые могут быть частыми, например, в зонах промышленного загрязнения изоляции, становятся причиной нарушений производственных процессов. В таких случаях отделение от сети (в нормальных условиях) может положительно сказываться на бесперебойности производственных процессов работы потребителя, но при достаточно надежных собственных источниках электроснабжения.

Поэтому выбор между работой электростанции параллельно с ЭЭС или автономно в основном зависит от свойств потребителя и определяется текущими условиями электроснабжения и электропотребления. Следовательно, оборудование электростанций, а также их устройства релейной защиты и автоматики должны удовлетворять требованиям эффективной работы как параллельно с ЭЭС, так и автономно.

При применении современных генерирующих установок малой и средней мощности приходится учитывать негативные свойства части из них. К таким свойствам, как показывает опыт эксплуатации и расчетный анализ различных режимов, относятся:

- механическое повреждение генерирующей установки при внешнем КЗ (по ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования» такие повреждения недопустимы);
- нарушения устойчивости при внешних КЗ, значительно более частые, чем у традиционных турбогенераторов такой же мощности и в аналогичных условиях;

- отключение собственной автоматикой газотурбинных установок со свободной силовой турбиной в случаях внезапного сброса нагрузки, близкого к 100%-ному, в том числе и при кратковременных сбросах нагрузки, например, в паузу АПВ;
- сбой в системе регулирования скорости вращения генераторов при переходе от работы в сети к автономному режиму или обратно.

Для подключения объектов распределенной генерации к электрической сети нужно решить ряд задач как по первичной схеме (в том числе, замене выключателей, если их отключающая способность недостаточна при возросших точках КЗ), так и по устройствам противоаварийной автоматики.

Если к сети должен быть подключен новый потребитель с собственной электростанцией, то в проекте системы внешнего электроснабжения обязательно должен быть раздел с анализом изменений режима работы сети в возможных случаях внезапного отключения электростанции при работающих электроприемниках, и должны быть предусмотрены соответствующие противоаварийные меры, а именно:

- усиление сети внешнего электроснабжения;
- ограничение электропотребления по команде ПА сети с использованием сетевой автоматики ограничения перегрузки трансформаторов и линий (АОПТ, АОПЛ) либо собственной автоматики потребителя, действующей непосредственно по факту отключения генерации.

Автоматика отключения нагрузки должна обеспечивать быстрое действие, достаточное для того, чтобы не допускать аварийные отключения элементов сети (ЛЭП и трансформаторов), вследствие их перегрузки, а также снижений напряжения, опасных как для данного, так и других потребителей электрической энергии. Кроме того, в интересах данного потребителя минимизировать ущерб от потери генерации и вынужденного отключения части электроприемников: предотвращать опрокидывание работающих двигателей из-за снижения напряжений в сети внутреннего электроснабжения и нарушение производственных процессов.

Все указанные противоаварийные меры, включая оснащение трансформаторов ПС 110 (220) кВ и питающих ЛЭП 110 (220) кВ устройствами локальной противоаварийной автоматики, должны быть включены в ТУ на технологическое присоединение и отнесены на счет собственника электростанции.

Газотурбинные электростанции, на которых используются газотурбинные установки (ГТУ) со свободной силовой турбиной (двух- или трехвальные), имеют свойства, неблагоприятные в отношении устойчивости генераторов. Это неоднократно обсуждалось в печати. Эскиз трехвальной газовой турбины приведен на рис. 1.

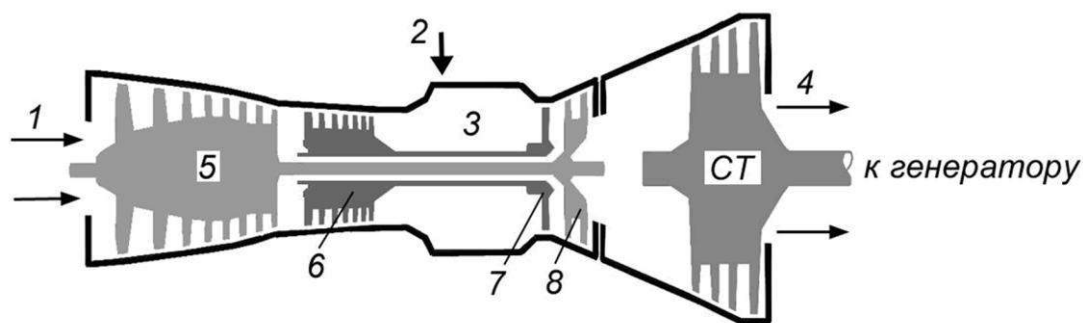


Рисунок 1. Эскиз трехвальной газотурбинной установки

1 – воздух, 2 – топливо, 3 – камера сгорания, 4 – к котлу-утилизатору тепла, 5 – компрессор низкого давления, 6 – компрессор высокого давления, 7 – турбина высокого давления, 8 – турбина низкого давления.

Причина пониженных запасов динамической устойчивости ГТУ со свободной силовой турбиной состоит в том, что они, в отличие от одновальных ГТУ, где компрессор, турбина и генератор находятся на одном валу, имеют сравнительно малые моменты инерции. Суммарные механические постоянные инерции всех масс, вращающихся на одном валу с генератором, у ГТУ со свободной силовой турбиной примерно в 3 – 4 раза меньше, чем у одновальных ГТУ, и в 2 – 3 раза меньше, чем у обычных паротурбинных генераторов.

При больших сбросах электрической нагрузки генератора и повышении скорости его вращения прекращается подача топлива в камеру сгорания, но компрессор, имеющий большой момент инерции, продолжает подавать воздух в силовую турбину. В итоге скорость вращения силовой турбины и генератора может увеличиться настолько, что сработает автоматика, отключающая генерирующую установку. В таком случае кратковременный сброс нагрузки генератора при нарушении нормального режима сети может стать причиной отказа генерирующей установки.

Следует отметить, что направления конструкторских работ [1] нацеленные на ослабление этого недостатка – уменьшение массы и момента инерции компрессоров и увеличение массы и момента инерции свободной силовой турбины (альтернатива – сброс в атмосферу значительной части воздуха, проходящего через компрессор).

При малых моментах инерции соответственно снижаются пределы по динамической устойчивости генераторов при КЗ в сети. Общее снижение динамической устойчивости

энергосистемы незначительно, так как суммарная мощность генерирующих установок со свободной силовой турбиной, по крайней мере в настоящее время, не велика. Но асинхронные режимы, возникающие сравнительно часто, имеют свою специфику, которую необходимо учитывать при определении параметров настройки автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР).

Наиболее существенны две особенности асинхронных режимов рассматриваемых генераторов, работающих в распределительных сетях:

1. При нарушении синхронизма генераторы достигают больших скольжений, но достаточно высокое быстродействие регуляторов скорости вращения генератора повышает вероятность ресинхронизации генераторов. Ресинхронизация, как следует из теории переходных процессов синхронных машин, облегчается также тем, что амплитуда колебаний скольжения генераторов из-за малых значений механической постоянной инерции велика. Таким образом, имеется большая вероятность того, что асинхронные режимы рассматриваемых генераторов закончатся естественной ресинхронизацией. Но из-за большой разности частот их продолжительность может быть значительной – несколько секунд, 5–10 проворотов или больше.

Расчетный пример затяжного асинхронного режима на ПГЭС (3 ГПУ × 50,8 МВт + ПТУ 73,5 МВт, см. рис. 2), присоединяемой к электрической сети Московской энергосистемы, показан на рис. 3. На графике приведены изменения скоростей вращения генераторов парогазовой электростанции.

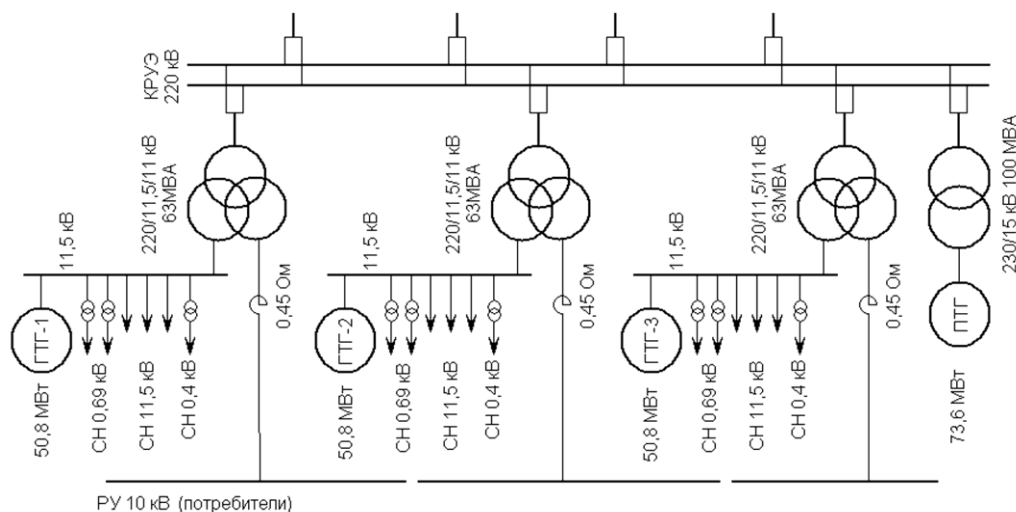


Рисунок 2. Упрощенная схема включения ПГЭС

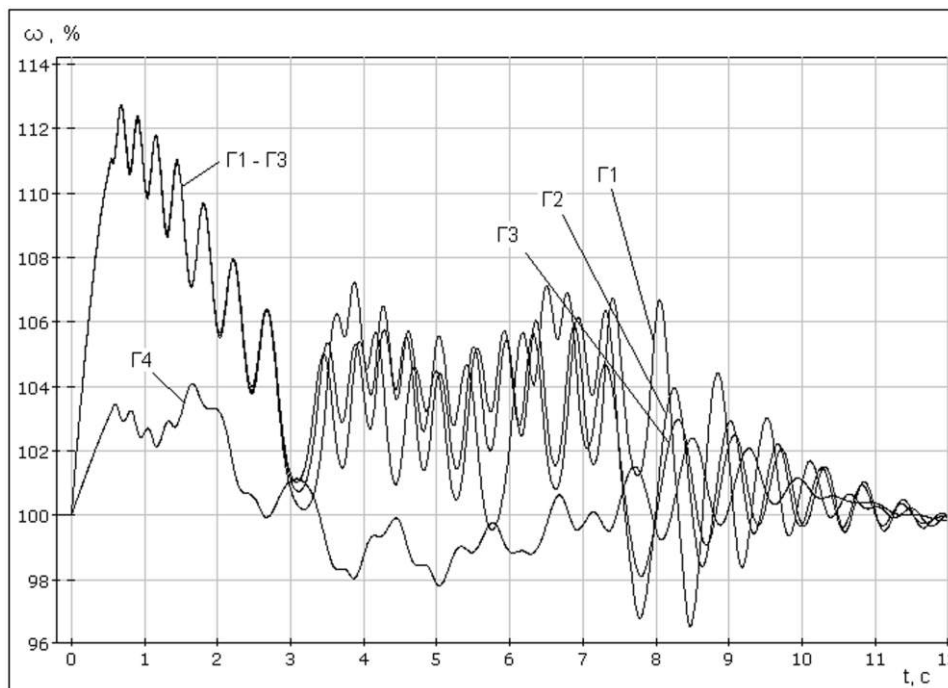


Рисунок 3. Расчет изменения скоростей вращения генераторов ПГЭС: газотурбинных двухвальных Г1–Г3, и паротурбинного Г4 при трехфазном КЗ с отключением линии (АПВ не сработало). Исходная схема – ремонтная (отключена 1 ВЛ вблизи ПГЭС)

В результате КЗ все генераторы ПГЭС переходят в асинхронный режим; попытка ресинхронизации генераторов ПГЭС между собой и с энергосистемой (при $t \approx 3$ с) оказалась неуспешной, асинхронный режим продолжался, причем из трехчастотного (наибольшая частота – у Г1–Г3, частота Г4 – промежуточная между частотой Г1–Г3 и частотой

в сети) он в условиях очень низких напряжений превратился в многочастотный. При $t \approx 8,5$ с наступила ресинхронизация всех генераторов ПГЭС.

Отметим, что в тех же условиях, но в случае применения одновальных ГТУ вместо двухвальных, синхронизм быстро восстановился бы (рис. 4).

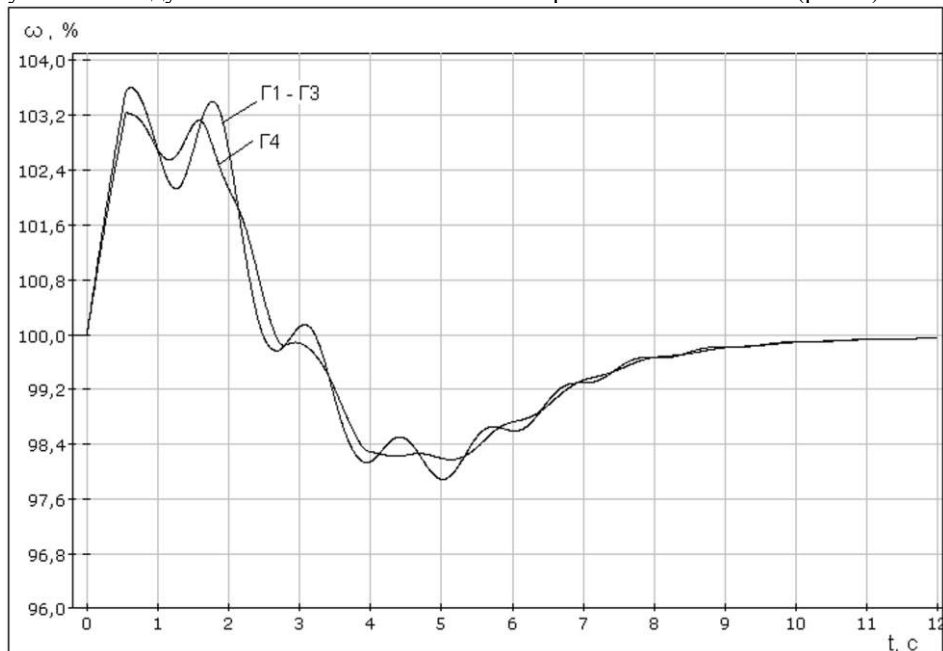


Рисунок 4. Тот же процесс, что на рис. 2, но при замене двухвальных ГТУ на одновальные

2. Асинхронный режим в распределительной сети приводит к глубоким снижениям напряжения на потребительских подстанциях и поэтому оказывает большое влияние на работу электроприемников – в первую очередь электродвигателей. Опрокидывание большого количества

электродвигателей приводит к дополнительным снижениям напряжения и существенно затрудняет процесс ресинхронизации.

Влияние параметров нагрузки на рассматриваемый процесс можно видеть на рис. 5 и 6. Все параметры схемы, режима и возмущения – те же, что на рис. 3, но составы

нагрузки в узлах вблизи ПГЭС разные: в исходном варианте (рис. 3) электропотребление асинхронными электродвигателями в среднем составляют 40% от общей нагрузки, на рис. 5 – 20%, а на рис. 6 – 80% от общей нагрузки.

В случае варианта на рис. 5 асинхронный режим длится менее 2 с (ресинхронизация наступает после четырех проворотов), а в случае варианта на рис. 6 ресинхронизация

не наступает, так как возникает лавина напряжения; напряжение при этом становится ниже 50% от номинального (рис. 7) и будет оставаться низким, пока не отключится значительная часть нагрузки в данном энергорайоне.

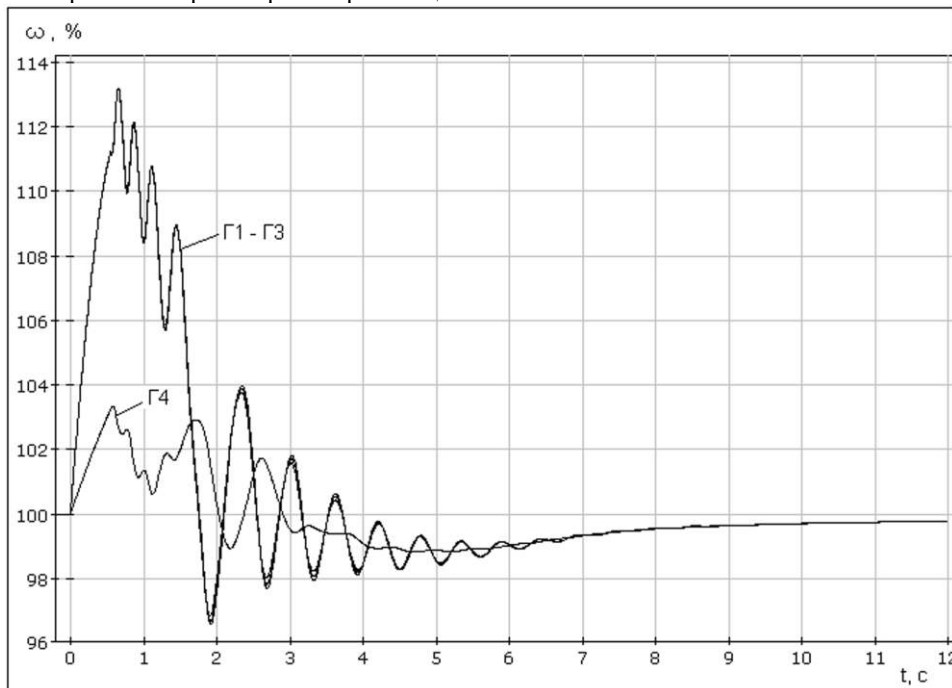


Рисунок 5. Тот же процесс, что на рис. 3, но при меньшей доле электродвигателей в узлах нагрузки

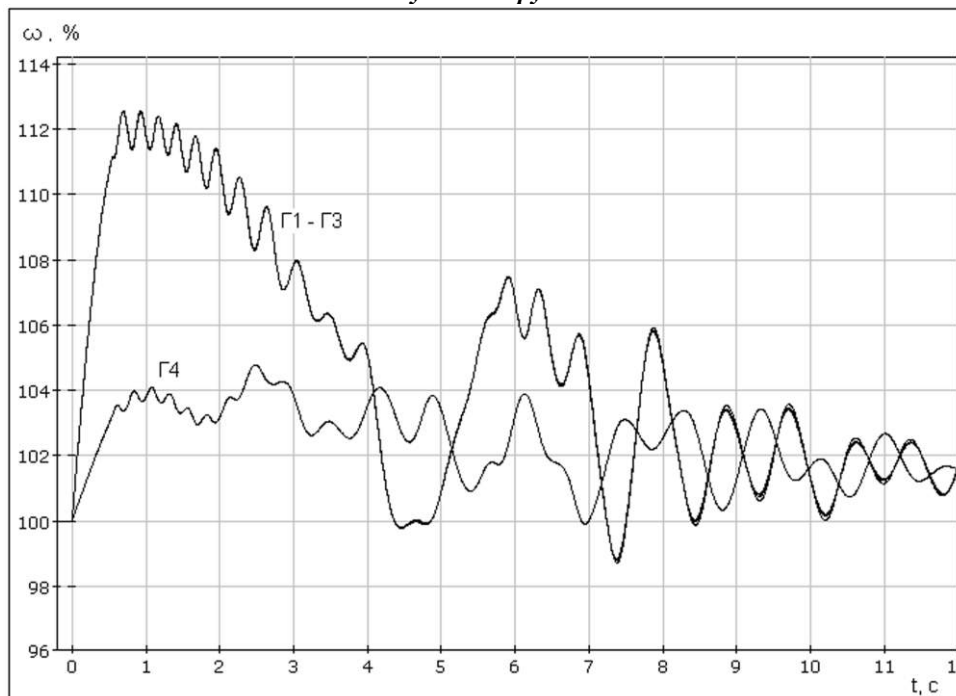


Рисунок 6. Тот же процесс, что на рис. 3, но при большей доле электродвигателей в узлах нагрузки

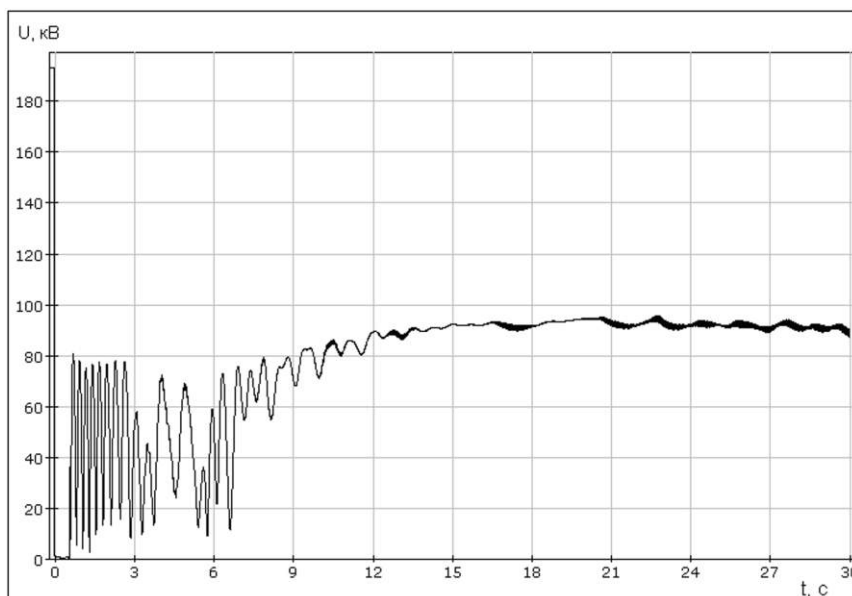


Рисунок 7. Изменения U на шинах 220 кВ ПГЭС в процессе, показанном на рис. 6

3. Вероятность того, что асинхронный режим на ПГЭС перейдет в многочастотный велика, как показано выше, из-за существенной разницы в механических постоянных инерции газотурбинных и паротурбинных агрегатов. Кроме того, многочастотные асинхронные режимы наблюдаются в узлах промышленной нагрузки, особенно при наличии собственной генерации и с большой долей синхронных двигателей. Для многочастотных асинхронных режимов характерны значительные перемещения электрического центра качаний (ЭЦК), что затрудняет выявление асинхронного режима и его ликвидацию. Таким образом, при выборе средств противоаварийной автоматики распределительной сети нужно считаться со значительной вероятностью возникновения асинхронных режимов газотурбинных двух- или трехфазных генерирующих установок.

При выборе уставок АЛАР в случаях, подобных рассмотренным, нужно разрешить дилемму: либо быстро прекращать асинхронный режим (как это обычно и делается),

либо в течение нескольких секунд ожидать самопроизвольной ресинхронизации. В первом случае могут иметь место излишние отключения генераторов, что может спровоцировать перегрузки некоторых участков сети и дальнейшее развитие аварии, во втором – дополнительные нарушения устойчивости электродвигателей в узлах нагрузки или других генераторов в сети и проблемы, связанные с трудностями выявления и ликвидации многочастотного асинхронного режима.

Решается эта дилемма расчетами переходных процессов в сети, причем следует учитывать, что характеристики асинхронных режимов в значительной мере зависят от параметров нагрузки в соседних узлах. В тех же расчетах определяются возможные положения ЭЦК при асинхронном режиме генераторов. У генераторов сравнительно небольшой мощности ЭЦК располагаются обычно в повышающем трансформаторе электростанции или даже в самом генераторе. Расчеты позволяют также построить годографы сопротивлений, используемые при определении параметров настройки АЛАР (рис. 8).

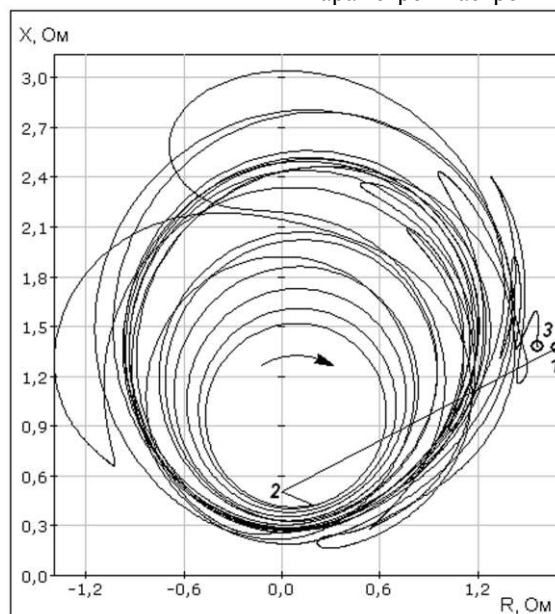


Рисунок 8. Годограф сопротивлений для процесса, показанного на рис. 3: 1 – начало процесса, 2 – ликвидация КЗ, 3 – конец рассчитанного процесса

Особенности объектов распределенной генерации на базе газопоршневых генерирующих установок более подробно рассмотрены в [2], а вопросы применения мобильных ГТЭС для повышения эффективности противоаварийного управления в распределительных сетях освещены в [3].

Выводы

1. В распределительных сетях имеется значительная вероятность возникновения асинхронных режимов (особенно – в отношении ГТУ со свободной силовой турбиной, а также ПГУ), а также вероятность того, что асинхронный режим может перейти в многочастотный.
2. Электрический центр качаний на электростанциях малой и средней мощности обычно находится в повышающем трансформаторе вблизи выводов генератора.
3. Вероятность ресинхронизации электростанций в распределительной сети велика. Поэтому, с учетом конкретных условий, целесообразно отстраивать срабатывание АЛАР по времени от ресинхронизации генераторов, – если задержка срабатывания АЛАР не приводит к возникновению препятствующего ресинхронизации многочастотного асинхронного режима генераторов или к дополнительным

нарушениям устойчивости двигателей в узлах нагрузки.

4. Установки распределенной генерации должны работать как в ЭЭС, так и автономно, без каких-либо переключений в системах регулирования (не исключается возможность существования упрощенных конструкций генерирующих установок для работы только параллельно с ЭЭС).
5. Нарушения механической прочности генерирующих установок в результате воздействия внешних КЗ недопустимы.

Список литературы

1. Берестнев Б.С., Майорович Б.Д., Филоненко А.А. Регулирование газотурбогенераторов при мгновенных сбросах электрической нагрузки. – «Техногенная безопасность». Выпуск 18.
2. Илюшин П.В. «О свойствах энергоустановок с газопоршневыми двигателями». - Электрические станции, 2009, №11.
3. Жмурко В.Е., Илюшин П.В., Кандауров Л.Н., Хвошинская М.А. «Использование мобильных электростанций для противоаварийного управления в энергосистемах». - Электро, 2010, №4.

СОЗДАНИЕ И ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ

Москвин Дмитрий Андреевич

Кандидат технических наук, доцент, кафедра информационной безопасности компьютерных систем ФГАОУ ВПО "СПбПУ", Санкт-Петербург

Иванов Денис Вадимович

Студент, кафедра информационной безопасности компьютерных систем ФГАОУ ВПО "СПбПУ", Санкт-Петербург

DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF WIRELESS SELF-ORGANIZING NETWORKS CYBER SECURITY METHODS АННОТАЦИЯ

Рассматривается безопасность беспроводных самоорганизующихся сетей, исследована и проанализирована атака "Черная дыра" направленная на нарушение работоспособности таких сетей, а также приведены рекомендации по борьбе с ней.

Ключевые слова: самоорганизующиеся сети; ad-hoc; mesh; безопасность; атака

ABSTRACT

The article considers rapidly developing technology of self-organizing wireless networks. Investigated and analyzed "Blackhole" attack targeting security breach of such networks, and provided recommendations to defend yourself from such attack.

Keywords: self-organization; network; ad-hoc; mesh; security; attack

Международный опыт последних лет показывает, что привычная ИТ-инфраструктура в любой момент может дать сбой, обусловленный совершенно разными причинами. После этого связь определенного сегмента с остальной сетью теряется. Например, на Гаити после землетрясения в 2010 году главным средством связи стали спутниковые телефоны, предоставленные в качестве помощи. Использование таких телефонов стало скорее вынужденной мерой, а не эквивалентной альтернативой существующим средствам связи. Основная проблема в том, что не только природные катаклизмы способны вывести из строя современную инфраструктуру, но и банальное отключение электропитания способно превратить наши мобильные устройства и компьютеры в "бесполезные игрушки" [1, с. 297].

Адекватной реакцией на такие проблемы является растущий интерес к идее создания беспроводной самоорганизующейся (или динамической, ad-hoc) сети. Беспроводные самоорганизующиеся сети — децентрализованные сети, не имеющие постоянной структуры. Клиентские устройства соединяются «на лету», образуя между собой сеть. Каждый узел сети может являться посредником в передаче данных, предназначенных другим узлам. При этом поиск получателя данных производится динамически, на основании текущей связности сети. Данная особенность беспроводных самоорганизующихся сетей является их основным отличием от проводных сетей и управляемых беспроводных сетей, в которых задачу управления потоками данных выполняют маршрутизаторы (в проводных сетях) или точки доступа (в управляемых беспроводных сетях).

Такая сеть способна формировать сама себя каждый раз, когда специальным образом запрограммированные мобильные устройства (телефоны, планшеты, ноутбуки и др.) оказываются в пределах прямого доступа. Каждое из таких устройств исполняет роль и приемника и передатчика, а также является ретранслятором для других устройств в сети. Устройства, расстояние между которыми превышает дальность прямого доступа, могут поддерживать между собой связь посредством других устройств в сети, образуя, таким образом, подобие цепочки из узлов, где каждый из них передает информацию своему соседу [2, с. 43].

Использование самоорганизующихся сетей будет полезно не только в случае стихийных бедствий. Такие сети будут также востребованы в случае, если возведение стационарной базы является слишком дорогостоящим, долгим или трудоемким процессом. Например, удаленные поселения, возведение в которых стационарных баз не планируется, смогут получить доступ в сеть Интернет посредством беспроводных самоорганизующихся сетей. Другой пример — при организации "умного" дома все домашние устройства смогут передавать информацию друг другу, освобождая от необходимости прокладки дополнительных проводов и объединяя всю домашнюю технику в один удобный комплекс. Также сети подобного класса широко применяются военными ведомствами разных стран для организации оперативной связи в тактических целях, например, во время проведения антитеррористических операций, в зонах локальных военных конфликтов.

Плюс ко всему вышеперечисленному, в последнее время получили распространение телекоммуникационные сети передачи данных, организованные в соответствии с топологией самоорганизующихся сетей. Масштабы таких проектов увеличились до сотен тысяч пользователей по всему миру. Сети с динамической организацией предоставляют наиболее практичные решения, интегрирующие различные беспроводные технологии. Возможность организации с помощью динамической топологии локальных и городских (LAN и MAN) сетей, легко интегрируемых в глобальные сети (WAN), является хорошей перспективой для операторов связи, разворачивающих свои сети в мегаполисах, и это еще раз подтверждает релевантность и актуальность использования самоорганизующихся сетей.

Известные атаки на сети с динамической организацией на самом верхнем уровне делятся на пассивные и активные. Пассивные атаки преследуют лишь цель прослушивания и перехвата передающейся в сети информации (нарушение конфиденциальности), что делает их крайне тяжелыми для обнаружения. Активные атаки, в свою очередь, направлены на непосредственное взаимодействие с информацией в сети: изменение или скрытие пакетов данных является основной целью таких атак (нарушение целостности и доступности). Также различают атаки внешние (организуемые внешним нарушителем) и внутренние (внутренний нарушитель).

Наиболее специфичной для самоорганизующихся сетей является атака "Черная дыра". Она заключается в том, что устройство-злоумышленник маскируется под узел сети, через который проходит кратчайший путь к узлу, информацию от и для которого злоумышленник хочет получить. На самом деле узел-злоумышленник может быть вообще не связан с узлом-жертвой в рамках сети.

Традиционным методом решения проблем безопасности в беспроводных самоорганизующихся сетях является использование шифрования на прикладном уровне, что не всегда удобно, требует лишних затрат ресурсов, а также не защищает от угроз направленных на доступность информации. Поэтому для обеспечения безопасности сетей с динамической организацией необходимо применять специфические методы защиты.

Многие протоколы взаимодействия в сетях с динамической организацией используют следующий механизм для нахождения оптимального пути до узла цели: узел-инициатор посылает широковещательный RREQ-запрос, который запускает процедуру поиска кратчайшего маршрута. Каждый последующий узел сети передает RREQ-запрос дальше по цепочке, пока он не дойдет до узла-цели. Узел-цель ответит RREP-ответом, который будет передан в обратном направлении через те же узлы, что и RREQ-запрос [3, с. 2].

Атака "Черная дыра" реализуется за счет того, что узел злоумышленник может, получив RREQ-запрос, не смотря на свое положение относительно узла-цели, передать обратный RREP-ответ, так как будто именно через него проходит оптимальный маршрут, при этом злоумышленник не обязательно находится на оптимальном пути между узлом-инициатором связи и узлом-целью.

У каждого узла сети, в контексте реактивных протоколов, существует собственный номер последовательности, который изменяется лишь в двух случаях, как это описывается в стандарте RFC 3561 [4, с. 11].

Для защиты от атаки "Черная дыра", которая была описана ранее, можно использовать следующий метод. Все узлы в сети должны хранить таблицу номеров последовательностей всех узлов, от которых были приняты данные. Для этого при инициализации сети, все участники обмениваются друг с другом Hello-сообщениями. При запуске процедуры поиска маршрута, узел-инициатор отправляет RREQ-запрос, на который узел-цель или промежуточный узел с "freshenough" маршрутом, должен отправить источнику номер последовательности, с которым он в последний раз контактировал с узлом-целью.

Затем промежуточный узел (узел проверки) сравнивает разницу между номером последовательности, отправленным узлом с "fresh-enough" маршрутом и номером последовательности, с которым он сам последний раз взаимодействовал с узлом-целью. Если это значение превышает заранее оговоренную величину L , то узел отправивший этот RREP вероятно является злоумышленником.

Величина L измеряется статистическим образом для каждой целевой сети, и представляет из себя среднее значение разности между номером последовательности, отправленным узлом с "fresh-enough" маршрутом, и номером последовательности, с которым узел проверки сам последний раз взаимодействовал с узлом-целью.

Для оценки предложенного метода построен макет MANET-сети. Программная реализация макета осуществляется с помощью средств языка программирования Java. Упрощенная схема генерируемого программой макета представлена на рисунке 1.

Смоделированная сеть работает следующим образом: на участке размером 1000 на 1000 метров случайным образом генерируются узлы сети путем задачи каждому из них уникальной пары координат ($double x, y$). Количество узлов равно 25.

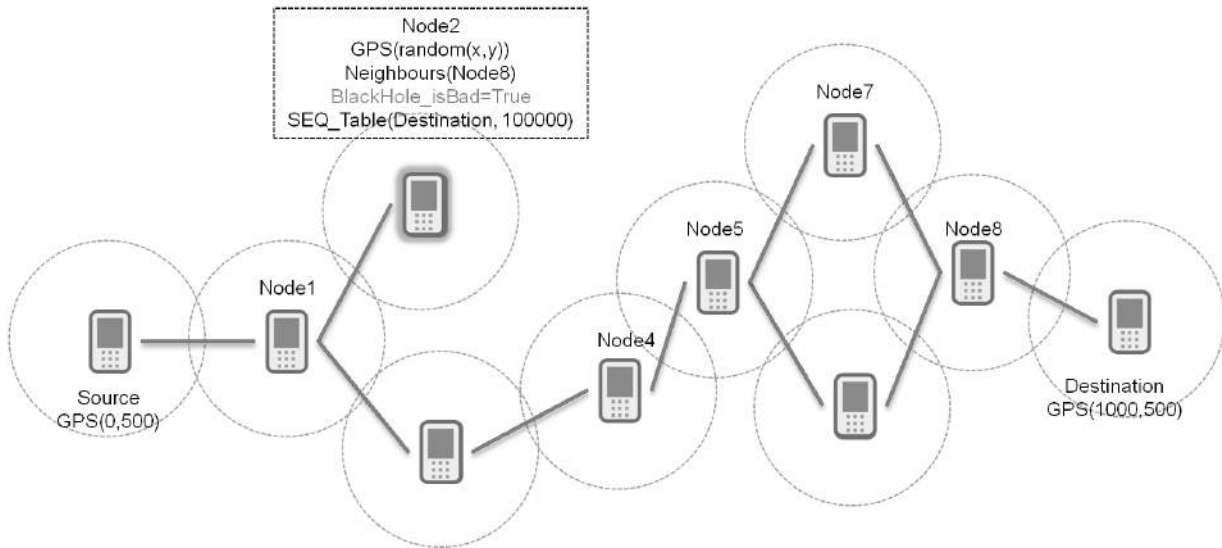


Рисунок 1 — Упрощенная схема макета сети из 10 узлов на плоскости 1000x1000 метров

После этого узлы проверяют связанность с соседями и объединяются с ними каналами связи. Связанность с соседями проверяется путем сравнения расстояния между узлами на двумерной плоскости и радиуса охвата технологии передачи данных. Для простоты радиус охвата в макете принят за 150 метров. Эта величина может легко быть изменена.

Также в макете сети задаются узел-источник (source) и узел-получатель (destination) между которыми налаживается связь.

Некоторые из узлов генерируются как узлы, обладающие freshenough маршрутом до узла-получателя.

Один узел сети гарантированно назначается в макете нарушителем, в зависимости от моделируемой атаки (BlackHole_isBad=true).

Прежде чем говорить об оценке метода защиты от атаки "Черная дыра" нужно затронуть вопрос выбора оптимального значения лимита разницы между номерами последовательности узлов.

Суть заключается в том, что взяв за лимит очень маленькое значение разности, мы обезопасим себя от пропуска атак (ошибок первого рода), но будем вынуждены терпеть большое количество ложных срабатываний, так

как разность номеров последовательности очень часто будет превышать лимит. Взяв за значение лимита слишком большое число, доля ложных срабатываний будет стремиться к нулю, но количество пропусков атаки возрастет.

Таким образом, метод должен настраиваться на конкретной целевой системе для поиска баланса между долями ошибок первого и второго рода. Стоит заметить, что баланс не фиксирован и зависит от конкретных предпочтений и приоритетов сети: если сеть терпима к ложным срабатываниям, то стоит отдать предпочтение уменьшению доли пропуска атак и значение лимита стоит искать левее точки обозначенной на рисунке. С другой стороны, если сеть не может позволить себе слишком часто блокировать узлы, ложно обвиненные в атаке, то стоит искать значение лимита, как показано на рисунке 2. И в третьем, самом редком случае, когда отсутствие ложных срабатываний важнее отсутствия пропусков атаки, стоит искать значение лимита правее точки отмеченной на рисунке.

В результате многочисленных проверок было выявлено, что оптимальным лимитом для разности номеров последовательности получателя, является 11 000. Здесь лимит высчитан для нейтральной ситуации, где нет предпочтений между ошибками первого и второго рода.

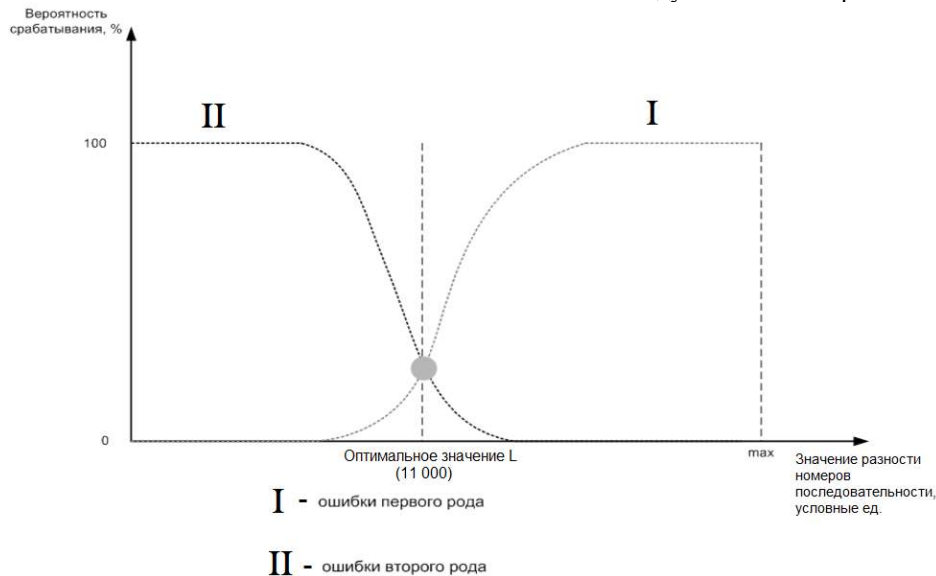


Рисунок 2 — График изменения доли ошибок первого и второго рода в зависимости от значения лимита

Результат тысячи испытаний создания уникального макета и оценки на нем метода защиты от атаки "Черная дыра" показал следующие результаты, отраженные на рисунке 3.



Рисунок 3 — Результаты тысячи испытаний метода защиты от атаки "Черная дыра"

Ихз 1000 испытаний 834 сценария были легитимными, в 24 случаях из них происходили ложные срабатывания. 166 сценариев прошли как атакующие, и лишь в 7 случаях был зарегистрирован пропуск атаки.

Доля ошибок первого рода (пропуск атаки) составила 4%, В свою очередь доля ошибок второго рода (ложное срабатывание) составила 3%, что является хорошим показателем.

Таким образом, технология беспроводных самоорганизующихся сетей является перспективным и актуальным для исследований направлением. В свою очередь существование атак на подобные сети, делает технологию важной для изучения с точки зрения информационной безопасности. Разработчики mesh-сетей изначально предусмотрели использование механизмов защиты, но основную угрозу они видели во внешней среде — в Интернете и в других внешних нарушителях. И это отлично работало, когда mesh-сети использовались локально, для решения узкого круга зачастую кратковременных задач, и в них присутствовало фиксированное множество доверенных узлов. Однако в последнее время вследствие роста количества и масштаба mesh-сетей на доверие ко всем узлам рассчитывать уже не приходится — появилась угроза

внутреннего нарушителя, к которому mesh-сети оказались не готовы. Поэтому для дальнейшего развития и использования WMNs необходима разработка новых технологий и средств для их защиты.

Литература

1. Москвин Д. А., Иванов Д. В. Исследование безопасности беспроводных самоорганизующихся сетей/Д. А. Москвин, Д. В. Иванов. В.: журнал "Информация и безопасность", воронежский государственный технический университет, 2014.
2. Кучерявый А.Е. Самоорганизующиеся сети/А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый — СПб.: Любавич, 2011.
3. Shree Om. Wireless Ad-hoc Network under Black-hole Attack / Shree Om , Mohammad Talib // International Journal of Digital Information and Wireless Communications. С. 591-596
4. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>[электронный ресурс] // Сайт "ietf" – Электрон. дан. – 2003. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt/>, свободный. – Загл. с экрана. Дата обращения: 10.05.2014

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА КОМБИНИРОВАННЫМИ АЛГОРИТМАМИ

Кондрашов Олег Олегович

аспирант Национально исследовательского университета МИЭТ, Зеленоград, Москва

ESTIMATE OF EFFICIENCY WEB-INTERFACE PROTECTION OF COMBINED ALGORITHMS

Kondrashov Oleg, postgraduate student National Research University of Electronic Technology Zelenograd, Moscow

АННОТАЦИЯ

Повышение эффективности алгоритма защиты веб-интерфейса от ботов может быть осуществлено после детального анализа. Для этого предлагается два показателя: показатель баланса и вероятностный коэффициент. Они позволяют определить надежность и приемлемость применения анализируемого алгоритма на практике. Проведен эксперимент, по результатам которого определены оптимальные входные параметры для выбранного комбинированного алгоритма, а также даны рекомендации по улучшению алгоритма и индивидуализации оценки.

ABSTRACT

Improvement of efficiency of web-interface protection algorithm from bots can be made with detailed analysis. For this can be used two indicators: a balance index and a probability index. It allows you to determine the reliability and appropriateness of the analyzed algorithm on a practice. As result of conducted experiment determined the optimal input parameters for the choosen combined algorithm, and provided recommendations for improvement of the algorithm and the individualization of estimation.

Ключевые слова: защита интерфейса, captcha, эффективность защиты, оценка эффективности
Keywords: interface protection, captcha, protection efficiency, estimation of efficiency.

При организации защиты веб-интерфейсов и веб-форм от выполнения автоматических несанкционированных действий в современных интернет-ресурсах используются классические, комбинированные и целевые алгоритмы реализации обратного теста Тьюринга. К первой группе относятся общеизвестные графические CAPTCHA, аудио и текстовые тесты, основанные на принципе ввода искаженных символов. Ко второй относятся двух и более этапные алгоритмы, и множество классических тестов, синтезированных в один. Целевые алгоритмы в свою очередь не типизируются и разрабатываются под конкретную задачу.

Главной проблемой при разработке и внедрении нового комбинированного или целевого (с элементами комбинации) алгоритма является обеспечение баланса между надежностью и удобством использования интерфейса. Для анализа алгоритма веб-интерфейса удобно применять H – показатель баланса системы:

$$H = \ln \left[\frac{K(n)}{P(n)} \right], \quad (1)$$

где $K(n)$ – количество отказов выполнить тест, связанное со сложностью конструкции, зависящее от кардинальности теста.

$P(n)$ – количество тестов, пройденных ботом.

n – кардинальность теста – количественный показатель исходных компонентов теста, варьирование которого влияет на сложность прохождения.

Показатель применим только для тестов, в которых сложность прохождения теста как для пользователя, так и для бота взаимно увеличивается по мере роста кардинальности.

Результаты комбинации классических тестов хорошо аппроксимируются полиномами степени $p \geq 4$, $q \geq 4$:



Рисунок 1. Словесная последовательность в экспериментальном тесте, кардинальностью $n = 7$.

Кардинальность теста определялась количеством слов от 1 до 20. По результатам теста был построен график и отмечена область применимости.

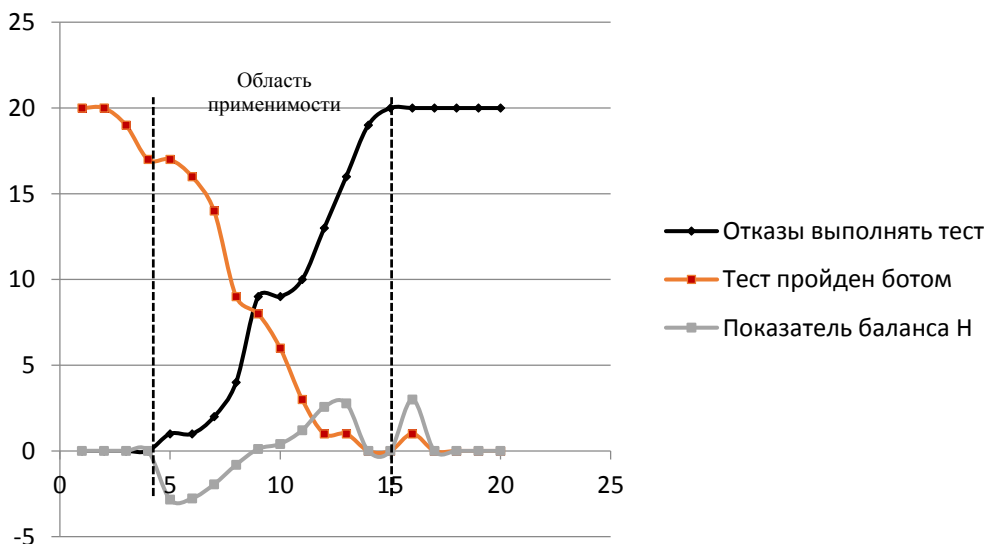


Рисунок 2. Результаты эксперимента по оценке эффективности алгоритма

Из графика на рис. 2 видно, что область применимости задана на промежутке (4;13). Это показывает, что при реализации теста или построении математической модели оправдано рассматривать кардинальность от 4 до 13 единиц. В данном случае, количество слов в САРТСНА должно быть больше 4, но не превышать 13. Оптимальное же значение кардинальности определяется как точка максимального сближения графиков, где $H \rightarrow 0$. В текущем эксперименте оптимальное значение $n = 9$ (в этой точке $H \approx 0.118$).

Кроме коэффициента баланса требуется оценить также вероятностную составляющую. Для такого случая используется формула:

$$E = (1 - P_y) * (1 - P_{fail}) - P_0 \quad (3)$$

где E – расчетный коэффициент оценки,

P_y – вероятность успешного прохождения теста методом случайного перебора,

P_0 – вероятность отказа пользователя пройти САРТСНА

P_{fail} – вероятность прохождения обратного теста Тьюринга

Второй (наряду с показателем баланса) критерий эффективности защиты комбинированным алгоритмом можно обозначить:

$$E \geq E_{ц} \quad (4)$$

$E_{ц}$ – минимально необходимый для надежности оценочный коэффициент.

Для определения вероятностного оценочного коэффициента защиты был поставлен эксперимент над той же системой с теми же респондентами. Критерий был выбран $E_{ц} = 0.75$. Результаты представлены на таблице 1.

Таблица 1

Результаты оценки теста с добавлением случайной вероятности и расчетом вероятностного коэффициента

Значения X	Отказы выполнять тест	Тест пройден бо- гом	Случайное про- хождение	Вероятностный коэф- фициент E
1	0	20	20	0
2	0	20	14	0
3	0	19	11	0,0225
4	0	17	5	0,1125
5	1	17	1	0,0925
6	1	16	0	0,15
7	2	14	0	0,2
8	4	9	0	0,35
9	9	8	0	0,15
10	9	6	0	0,25
11	10	3	0	0,35
12	13	1	0	0,3
13	16	1	0	0,15
14	19	0	0	0,05
15	20	0	0	0
16	20	1	0	-0,05
17	20	0	0	0
18	20	0	0	0
19	20	0	0	0
20	20	0	0	0

Нигде коэффициент не достигает желаемого результата. Ситуация исправляется либо модификацией алгоритма, либо введением коэффициента-усреднителя, чтобы оптимальный показатель баланса и так и неопределенный оптимальный коэффициент вероятности позволили выбрать самую эффективную кардинальность без необходимости изменять всю систему. Для первого варианта предлагается найти «потенциальную область». В ней значительное изменение только одного из показателей оказало бы значительное влияние на вероятностный коэффициент, увеличивая его. Чаще всего потенциальная область располагается внутри области применимости коэффициента баланса. В таблице 1 потенциальная область выделена серым цветом. Если алгоритм модифицировать так, что производная $\frac{dP(n)}{dn}$ уйдет глубже в отрицательную

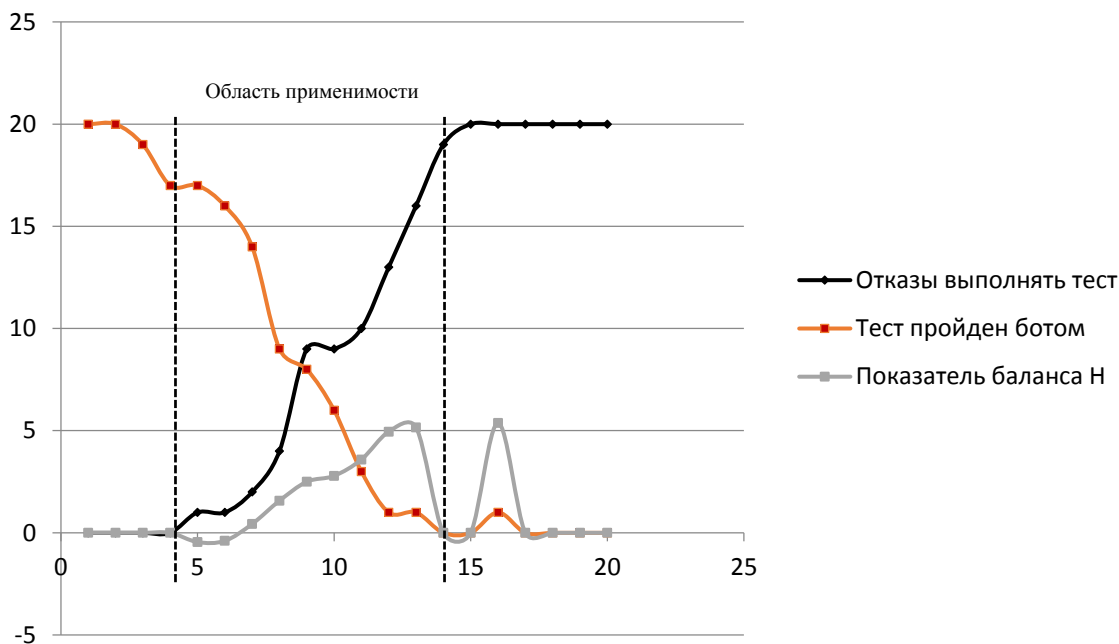
область и бот будет хуже справляться с задачей распознавания при малейшем повышении кардинальности, E увеличится до оптимального уровня.

Второй вариант требует изменить сам подход к оценке эффективности и учесть в коэффициенте баланса проблему недостаточной E . Для достижения второй цели необходимо трансформировать формулу 1:

$$H = \ln \left[C * \frac{K(n)}{P(n)} \right], \quad (5)$$

где C – усреднитель.

Для него подходит лучше всего минимальное значение E из потенциальной области. В данном случае $E_{min} = 0.0925$. В связи с этим перестроенный график результатов примет вид:

Рисунок 3. Измененный с учетом E показатель баланса.

В результате оказалось, что оптимальное значение кардинальности будет равно $n = 6$ ($H = -0.392$). Здесь учитываются уже оба фактора, как количественный, так и вероятностный.

Введенные показатели позволяют хорошо анализировать комбинированные алгоритмы на их эффективность и уместность. Также стоит отметить, что в современной технике чаще всего используются чистые классические алгоритмы. Предложенный способ оценки допускается использовать и для них, но с небольшими изменениями.

Список литературы:

1. 5 Examples of Different Types of CAPTCHAs. URL: <http://www.findexamples.com/5-examples-of-different-types-of-captchas/>
2. How CAPTCHA Works. <http://computer.howstuffworks.com/captcha1.htm>
3. P. B. Godfrey. Text-based CAPTCHA Algorithms. 2001 год. URL: http://www.aladdin.cs.cmu.edu/hips../events/abs/godfreyb_abstract.pdf
4. What's Up CAPTCHA? A CAPTCHA Based On Image Orientation.
5. Абросимов М. Б., Маторин А. А. Анализ надежности графических CAPTCHA-систем на примере проекта KCAPTCHA. Прикладная дискретная математика, №4 / 2011
6. Анализ алгоритмов генерации CAPTCHA. 2012. URL: <http://intsystem.org/295/analiz-captcha-algorithms/>

СОЦИАЛЬНЫЙ РИСК ЛЮДСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ АВАРИЯХ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ ТЕХНОСФЕРЫ

Козлитин Анатолий Мефодьевич

д-р техн. наук, проф. Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., РФ, г. Саратов

SOCIAL RISK OF HUMAN LOSSES AT ACCIDENTS ON POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS OF TECHNOSPHERE

Kozlitiin Anatoliy

Doctor of technical Sciences, Professor Saratov state technical University of Yuri Gagarin, Russia, Saratov

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен метод количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий, связанных с людскими потерями при авариях на потенциально опасных объектах техносферы. Основная цель получить объективную информацию о степени опасности объекта, на основе социального риска, показывающего масштаб катастрофичности реализации опасности. Разработанная методика представления и анализа социального риска позволяет повысить оперативность управления промышленной безопасностью и обеспечить необходимый контроль и принятие мер по снижению риска.

ABSTRACT

The article describes the method of the quantitative risk assessment of social consequences of the possible failures connected with human losses at failures on potentially dangerous objects of technosphere. The main objective to receive the objective information on degree of danger of object, on the basis of the social risk showing scale catastrophic realisation of danger. The developed technique of representation and the analysis of social risk allows to raise efficiency of management of industrial safety and to provide necessary control and acceptance of measures on risk decrease.

Ключевые слова: риск; чрезвычайная ситуация; безопасность; потенциальный риск; индивидуальный риск; социальный риск.

Keywords: risk; emergency; security; potential risk; individual risk; social risk.

Сооружение и функционирование энергонасыщенных и химически опасных промышленных объектов, как известно, всегда сопряжено с риском разрушительного высвобождения собственного энергозапаса или неконтролируемого выброса химически опасных веществ, что может привести к потерям материальных ценностей, гибели людей и окружающей природной среды. При этом ущерб от возможных аварий может быть выше финансовых возможностей предприятия, и носит случайный характер. Именно в этих условиях возникает необходимость количественной оценки, анализа и управления техногенными рисками аварий на потенциально опасных объектах техносферы.

Основными характеристиками случайной величины людских потерь при возможных авариях на опасном производственном объекте являются индивидуальный риск, определяющий вероятность поражения индивидуума реализовавшейся опасностью в рассматриваемой точке территории, социальный риск, показывающий масштаб катастрофичности реализации опасности, и коллективный риск, определяющий в стоимостном эквиваленте ожидаемое количество пораженных в результате возможной аварии.

Индивидуальный риск, как вероятностная мера опасности поражения индивидуума, представлен величиной потенциального риска $R(E)$ в рассматриваемой ij -й элементарной площадке территории и вероятностью $P(N)$ нахождения индивидуума на этой же площадке. Потенциальный риск характеризует потенциал возможной опасности поражения реципиента на данной площадке территории при условии возникновения аварийной ситуации на опасном производственном объекте и представлен в работах автора [1, 2] интегральной формулой полной вероятности:

$$R(E) = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f(M) \cdot P(\Gamma / M) dM, \quad (1)$$

где: $f(M)$ - плотность распределения аварийных выбросов на объекте;

$P(\Gamma/M)$ - вероятность поражения реципиента в рассматриваемой точке территории при условии аварийного выброса опасного вещества (определяется координатным законом поражения реципиента);

Γ - расстояние от места аварии до рассматриваемой точки территории;

M - масса аварийного выброса опасного вещества; $[M_{\min}, M_{\max}]$ - диапазон изменения массы аварийных выбросов на потенциально опасном объекте.

Расчет потенциального риска и определение на его основе индивидуального риска поражения индивидуума в рассматриваемой точке пространства является важным условием для принятия соответствующих управленческих решений. Однако знание индивидуального риска не позволяет судить о масштабе последствий аварий, что в первую очередь необходимо лицу, принимающему решения по вопросам предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Анализ социального риска с точки зрения принятия решений. Как уже отмечалось, одной из основных характеристик случайной величины людских потерь при возможных авариях на опасном производственном объекте является социальный риск, показывающий масштаб катастрофичности реализации опасности в результате возможной аварии.

Социальный риск, как количественная мера опасности, представлен в РД 03-418-01 [3] функцией распределения потерь $F(\geq N)$, позволяющей учитывать отдельно вероятности и последствия реализации опасности в виде F/N -диаграмм.

Рассмотрим методы количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий, связанных с людскими потерями в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности.

Социальный риск или функция распределения потерь представляет собой F/N - диаграмму, описывающей зависимость частоты реализации неблагоприятных событий F , в результате которых погибло не менее N человек, от этого количества человек. Подобные диаграммы в случае, если количество данных и диапазон их изменения велик, обычно строятся в логарифмическом масштабе.

В зарубежных исследованиях [4] функция распределения потерь (F/N - диаграмма) имеет название дополнительной кумулятивной функции распределения (ДКФР), дополняющей функцию распределения случайной величины потерь $F(n_i)$ до единицы $P(N \geq n_i) = 1 - F(n_i)$. Рассмотрим методы количественной оценки социального риска. На основе полученной зависимости (1) для потенциального риска $R(E)$ и характера распределения населения на прилегающей к объекту территории определяется закон распределения случайной величины, устанавливающий связь между возможными потерями N и соответствующими им вероятностями (частотами) реализации опасности.

С этой целью, прилегающая к потенциально опасному объекту территория, разбивается на элементарные площадки - зоны риска, рис. 1.

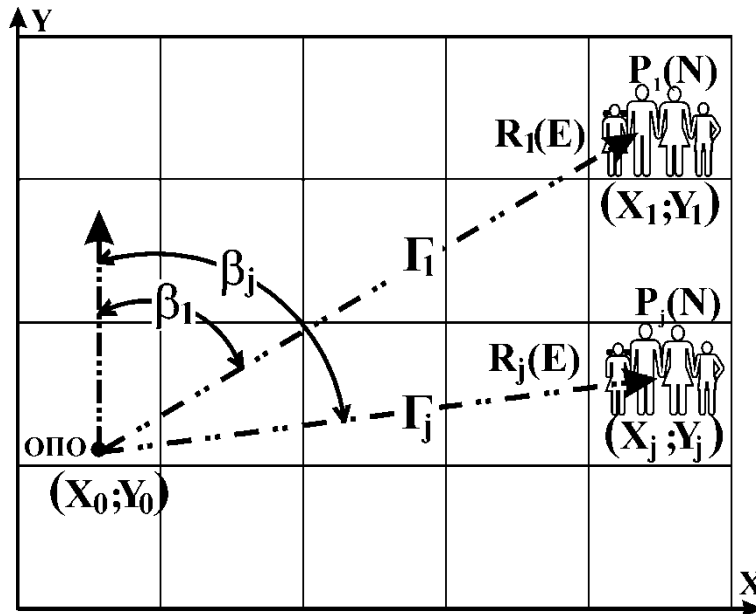


Рисунок 1. Зоны риска и последовательность оценки социального риска

В каждой элементарной площадке для группы людей с одинаковыми условиями поражения определяется численность проживающего населения или работающего производственного персонала (N) и строится матрица распределения людей по зонам риска $\|N_{ij}\|$. Затем, для каждой группы людей в выделенных элементарных площадках определяется, в функции расстояния Γ от места аварии и направления β с учетом розы ветров, соответствующая им величина потенциального риска $R(E) = f(\Gamma, \beta)$, а также вероятности нахождения среднестатистического индиви-

дуума, в пределах рассматриваемого ij-го квадрата территории $P_j(N)$ и строится матрица индивидуального риска $\|R_{ind_{ij}}\|$.

На основе матриц $\|N_{ij}\|$ и $\|R_{ind_{ij}}\|$ устанавливается закон распределения случайной величины, который задается рядом распределения потерь. На рис. 2 показан в качестве примера ряд распределения потерь для реального предприятия органического синтеза при аварии с разрушением емкости хранения окиси этилена. Зная ряд распределения потерь, легко построить функцию распределения потерь $\bar{F}(n)$.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	2	4	6	6	6	7
1	0.998895448	4.14·10 ⁻⁷	9.93·10 ⁻⁷	3.3·10 ⁻⁵	1.2·10 ⁻⁵	8.298·10 ⁻⁶	4.033·10 ⁻⁶	5.132·10 ⁻⁶

Рисунок 2. Ряд распределения потерь для реального предприятия органического синтеза при аварии с разрушением емкости хранения окиси этилена

При авариях число погибших N среди людей, находящихся на прилегающей к потенциально опасному объекту территории, является случайной величиной и характеризуется интегральной функцией распределения $F(n) = P(N < n)$, которая в теории вероятностей определена как функция, выражающая вероятность появления случайной величины менее заданного значения n. Следовательно, функция F(n), для рассматриваемой случайной величины N, есть функция распределения «нулевого поражения» или функция распределения выживаемости.

Наряду с этим, для оценки последствий аварии в промышленной безопасности важно знать вероятность ожидаемых потерь не менее определенного числа людей,

подвергшихся поражающему воздействию, то есть функцию распределения потерь $\bar{F}(n) = 1 - F(n)$. Эта функция дополняет функцию распределения F(n) до единицы и интерпретируется как вероятность того, что число погибших N в случае реализации опасности будет не менее n, $\bar{F}(n) = P(N \geq n)$.

Случайные события, вошедшие в ряд распределения потерь, рис. 2, образуют полную группу, объединяющую события «нулевого поражения» и события потерь. Сумма соответствующих им вероятностей равна единице $F(n) + \bar{F}(n) = 1$. Программа построения функции $\bar{F}(n)$, реализована в среде Mathcad. Фрагмент программы показан на рис. 3.

```

 $\bar{F}(n) = \begin{cases} F(n) & \leftarrow z \leftarrow 0 \\ & \text{for } i \in 1..u \\ & \quad s \leftarrow z + i \\ & \quad 0 \text{ if } -\infty < q \leq A_{0,0} \\ & \quad \sum_{j=0}^s A_{1,j} \text{ if } A_{0,i+0} \leq q < A_{0,i+1} \\ & \quad 1 \text{ if } A_{0,u+1} \leq q < \infty \\ & \text{continue} \\ 1 - F(n) \end{cases}$ 

```

Рисунок 3. Фрагмент программы построения функции распределения потерь

Графики функции распределения потерь $\bar{F}(n) = 1 - F(n)$ и функции распределения выживаемости

$F(n)$, для реального предприятия органического синтеза при аварии с разрушением емкости хранения окиси этилена, в качестве примера показаны на рис. 4.

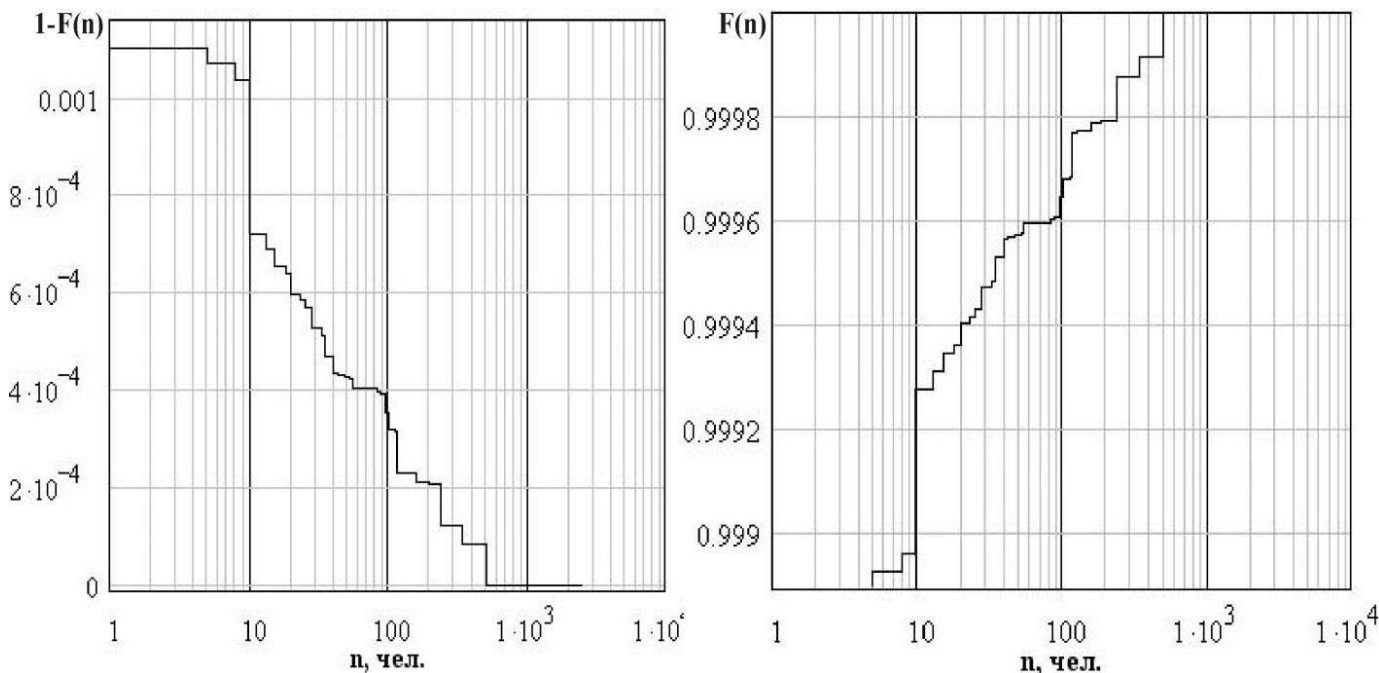
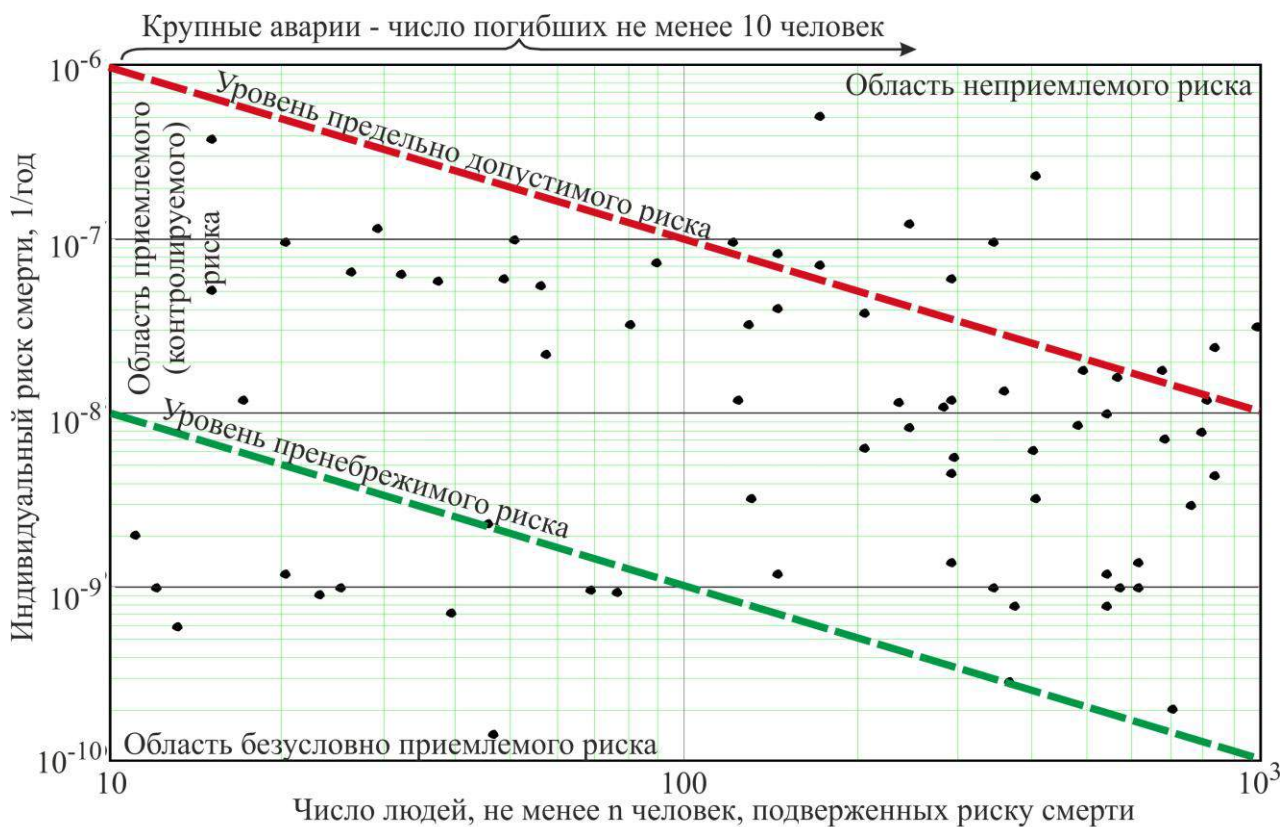


Рисунок 4. Графики функции распределения потерь и функции выживаемости

Однако график функции распределения потерь для лица принимающего решения в области промышленной безопасности не дает наглядной картины масштаба и тяжести социальных последствий аварии.

Большую информативность, на наш взгляд, имеет социальный риск $R(N)$, представленный графиком закона распределения потерь, устанавливающего связь между возможными потерями N и соответствующими им вероятностями (частотами) реализации опасности R_{ind} и построенные на этой же плоскости кривые приемлемого и неприемлемого риска летальных исходов.

На основе полученного массива данных $\|N_{ij}\|$ и $\|R_{ind,ij}\|$ по результатам оценки риска аварии на опасном производственном объекте, определяется распределение социального риска по различным уровням критичности. График закона распределения потерь (социальный риск) и кривые предельного риска в логарифмических координатах приведены на рис. 5.



• – Число людей, подверженных риску смерти в пределах круга вероятного поражения

Рисунок 5. График закона распределения потерь (социальный риск) и кривые предельного риска в логарифмических координатах

Уровни критичности задаются кривыми предельного социального риска, которые построены в логарифмическом масштабе и делят координатную плоскость на три области – безусловно приемлемого (пренебрежимого), приемлемого (контролируемого) и неприемлемого социального риска. Если социальный риск находится в области пренебрежимого риска, никаких дополнительных мер по его снижению не требуется. Если социальный риск попал в область неприемлемого риска, то обязательно проведение мероприятий для его перевода в категорию приемлемого или пренебрежимого риска.

Для построения кривых предельного риска необходимо иметь законодательно установленные критерии минимального R_{\min} и максимального R_{\max} социального риска. Для построения кривых минимального и максимального риска на основе принятых к рассмотрению критериев, необходимо иметь соответствующие математические зависимости, устанавливающие функциональную связь предельного риска R_{\lim} , вероятности (частоты) реализации опасности R и нанесенного данной опасностью ущерба, Y . Один из возможных подходов, используемый в управлении риском в развитых странах Европейского сообщества, заключается в представлении предельного риска через математическое ожидание ущерба

$$R_{\lim} = R^n \cdot Y^m, \quad (2)$$

где: n и m – показатели, отражающие восприятие обществом различных величин вероятностей и возможных ущербов.

В Декларации «О предельно допустимых уровнях риска» [5], например, используется подход, отражающий осторожное отношение общества к возможному ущербу.

При таком подходе параметры уравнения (2) имеют значения $n = 1$, $m = 2$. При нейтральном отношении общества к величинам вероятностей и ущерба значения параметров n и m равны единице. Такой подход, например, используется в ГОСТ Р 12.3.047-98 [6] и Федеральном законе №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [7]. В указанных документах приняты следующие значения критериев социального риска:

- уровень предельно допустимого риска – риску смерти подвержено не менее 10 человек с вероятностью 10^{-6} в год;

- уровень пренебрежимого риска – риску смерти подвержено не менее 10 человек с вероятностью 10^{-8} в год.

Выводы. В данной статье рассмотрен метод количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий, связанных с людскими потерями при авариях на потенциально опасных объектах техносферы. Обосновано применение метода анализа степени опасности объекта по распределению социального риска по различным уровням критичности. Даны рекомендации построения графика закона распределения потерь (социальный риск), устанавливающего связь между возможными людскими потерями и соответствующими им вероятностями реализации опасности, и построения на этой же плоскости кривых приемлемого и неприемлемого риска летальных исходов в логарифмических координатах. Предложенный подход представления и анализа социального риска позволяет повысить оперативность управления промышленной безопасностью и обеспечить необходимый контроль и принятие мер по снижению риска.

Список литературы:

1. Козлитин А.М. Интегрированный риск техногенных систем. Теоретические основы, методы анализа и количественной оценки: монография. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 260 с.
2. Козлитин А.М. Теория и методы анализа риска сложных технических систем: монография. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2009. 200 с.
3. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Серия 03. Вып. 10. М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. 40 с.
4. Векслер Л.М. Критерии индивидуального и социального риска для оценки безопасности АЭС // Атомная техника за рубежом. 1991. №9. С.3-27.
5. Быков А.А., Елохин А.Н., Махутов Н.А. и др. Декларация Российского научного общества анализа риска: о предельно допустимых уровнях риска // Проблемы анализа риска. 2006. Т.3. №2. С. 162-168.
6. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Изд-во стандартов, 2001. 85 с.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ. М.: Проспект, 2009. 144 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА

Крюков Олег Викторович

канд. техн. наук, доцент, главный специалист ОАО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород,

Серебряков Артем Владимирович

канд. техн. наук, доцент Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева

INNOVATIVE ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES OF MAIN TRANSPORT OF GAS

Kryukov Oleg

Candidate of Science, associate professor, chief specialist of JSC «Giprogazcenter», Nizhny Novgorod,

Serebryakov Artem

Candidate of Science, associate professor of the R.E.Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена концепция и стратегии энергоэффективного управления технологическими процессами магистрального транспорта газа. Для главных агрегатов электроприводных компрессорных станций разработаны энергоэкономичные алгоритмы оптимального регулирования основными параметрами транспорта природного газа. Предложены запатентованные структуры систем автоматического управления частотно-регулируемых электроприводов.

ABSTRACT

The concept and power efficient control strategy of technological processes of the main transport of gas is considered. Energy-saving algorithms of optimum regulation of the key parameters of natural gas transport for main units of electro-driven compressor stations have been developed. There offered the patented structures of automatic control systems of variable frequency electric drives.

Ключевые слова: магистральный транспорт газа, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, частотно-регулируемый электропривод.

Keywords: main transport of gas, compressor station, gas compressor unit, variable frequency electric drive.

Согласно нормам технологического проектирования магистральных газопроводов Российской Федерации [1] «в комплексе средств автоматизации компрессорных цехов следует предусматривать системы автоматического регулирования, обеспечивающие поддержание заданных величин давления и температуры газа на выходе станции, устройства антипомпажного регулирования и защиты электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА)». Однако существующие средства автоматики в основном работают автономно от агрегатов в ручном режиме, выполняя в основном защитные функции, и не обеспечивают энергоэффективные режимы. Вместе с тем, сегодня возможности частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) ЭГПА позволяют оптимизировать энергопо-

требление компрессорных станций (КС) с автоматическим слежением за возмущениями детерминированного и стохастического характера.

В соответствии с патентом на изобретение ведущего проектного института ОАО «Газпром» – ОАО «Гипрогазцентр» [2] при участии авторов предложен способ магистрального транспорта газа, обеспечивающий высшую энергоэффективность при любых режимах работы магистральных газопроводов (рисунок 1). Это достигается тем, что температура и давление компримированного газа на выходе всех КС в начале каждого линейного участка газопровода измеряются и автоматически регулируются из условия поддержания их на оптимальном уровне в соответствии с заданием и значениями внешних возмущений, действующих на параметры потока газа в газопроводах.

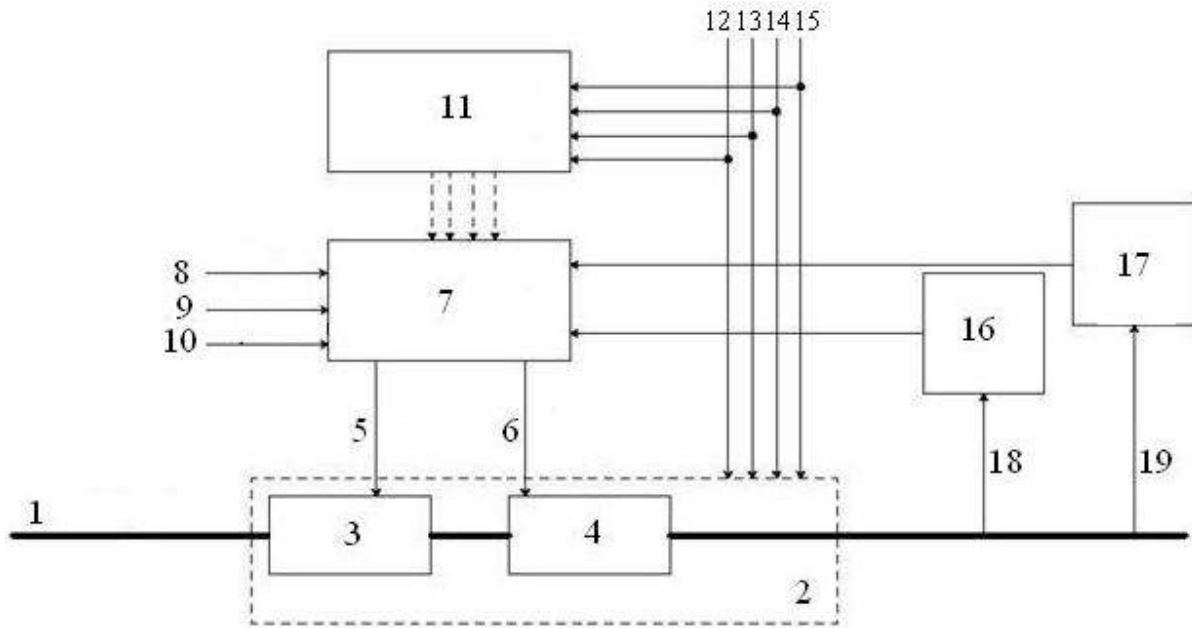


Рисунок 1. Структура энергоэффективного транспорта газа через электроприводную компрессорную станцию: 1 - линейная часть МГ, 2 – КС, 3 – ЭГПА, 4 – АВО газа, 5 и 6- скорости вращения приводов ЭГПА ($\omega_{зад}^{ЭГПА}$) и вентиляторов АВО ($\omega_{зад}^{АВО}$), 7 - блок расчета параметров регулирования, 8, 9, 10 - заданные значения производительности, давления и температуры газа, 11 - датчики измерения воздействий, 12 – влажность воздуха (β), 13 – температура воздуха (θ), 14 – перепад температур (Δt) или давлений КС (Δp), 15 – производительность КС (Q), 16 и 17 - датчики давления и температуры газа, 18 и 19 - реальные значения давления и температуры газа на выходе КС.

Сопоставительный анализ данного способа, заключающегося в формировании давления и температуры потока сжатого газа по всей трассе магистрального газопровода (МГ) с помощью ЭГПА и вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа, установленных на всех КС в начале каждого линейного участка МГ, с аналогами показывает, что предлагаемый способ магистрального транспорта газа отличается от известных тем, что в нем автоматически устанавливаются и плавно регулируются величины давления и температуры газа с помощью регулируемых ЭГПА и АВО в зависимости от текущих значений давления и температуры газа в МГ, измеряемых соответственно датчиками давления и температуры газа, заданных параметров давления и температуры участка МГ, а также величин возмущающих воздействий стохастического характера и, тем самым минимизируются параметрические изменения давления и температуры газопровода, чем повышается его эксплуатационная надежность, а также минимизируются интегральные энергозатраты на привод ЭГПА и вентиляторов АВО газа [3].

В качестве исходного состояния оптимизации необходимо выбрать интервалы значений непрерывно изменяющихся переменных и наборы значений дискретных переменных. Причем возможные значения переменных анализируются при постепенном построении дерева, ветви которого соединены с узлами, описывающими рассматриваемые комбинации значений, с использованием технологии разделения переменных, именно разбиения, приводящего к возникновению новых узлов дерева, и оценки, именно определения с большой вероятностью ветвей дерева, которые могут привести к листьям, соответствующим конечному оптимизированному решению. Таким образом, в приоритетном порядке проходят ветви с наибольшей вероятностью успешного решения, причем искомые

величины рассматривают как оптимальные, если заранее определенные ограничения не нарушаются или нарушаются в минимальной степени. При этом достигается минимум целевой функции, которая имеет следующий трехфакторный вид:

$$G = \alpha \times R + \beta \times W + \gamma \times C, \tag{1}$$

где α , β и γ - весовые коэффициенты, R - фактор «режима», т.е. минимизации (максимизации) давления в определенных точках МГ, таких как любые точки, расположенные выше и ниже КС или регулирующего вентиля, а также устройства потребления газа, W - фактор «энергии» или минимизации потребления электроэнергии на компримирование газа и его охлаждение в АВО перед подачей в газопровод, C - фактор «цели», т.е. максимизации (минимизации) расхода газа на участке системы, расположенном между двумя точками газопровода, или давления в определенной точке соединения.

Причем указанные ограничения включают в себя ограничения равенства, в число которых входят закон потери напора в трубопроводах и первое правило Кирхгофа, определяющие расчеты сетей, и ограничения неравенства, в число которых входят ограничения на минимальные и максимальные значения расхода газа, ограничения на минимальное и максимальное давление в активных или пассивных объектах и ограничения мощности ЭГПА КС.

Оптимальная конфигурация активных объектов КС моделируется в виде программы P оптимизации следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} \min_{\{x,s,e\}} f(x,s) &= G(x) + \alpha \cdot \|S\|, \\ P &= C_I(x) + \beta \cdot e \leq s_I, \\ C_E(x) &= s_E, \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

где $x \in R^n$, $s_I \in R^p$, $s_E \in R^q$, $e \in \{0,1\}$, x - совокупность переменных расхода газа Q и давления P , $G(x)$ - целевая функция, представляющая собой экономический критерий оптимизации, $C_I(x)$ - совокупность p линейных и нелинейных ограничений неравенства для активных объектов, β - вектор, коэффициенты которого равны нулю или максимальным значениям ограничений, e - вектор двоичных переменных, $C_E(x)$ - совокупность q линейных и нелинейных ограничений равенства, s - переменная отклонения, ненулевое значение которой обозначает нарушение ограничения, α - коэффициент, соответствующий допустимой степени нарушения ограничений.

В результате при заданном расходе газа 8 (рис. 1) давление 19 и температура 18 газа на выходе КС устанавливаются и стабилизируются на заданном оптимальном по энергопотреблению КС уровне. Данный способ магистрального транспорта газа при этом представляет собой надежную и долговечную в эксплуатации систему, ограничивающую превышение давления и температуры газа выше и ниже предельных значений.

Использование предлагаемого способа магистрального транспорта газа обеспечивает по сравнению с существующими способами автоматическую стабилизацию давления и температуры газа на выходе КС, и тем самым практически полностью устраняет недопустимые деформации и напряженные состояния трубопровода и возможные разрушения его противокоррозионной изоляции, в результате чего повышается эксплуатационная надежность, а также оптимизируются интегральные энергозатраты на привод ЭГПА и вентиляторов АВО газа магистральных газопроводов.

Для реализации данной энергоэффективной технологической схемы система электропривода ЭГПА должна быть частотно-регулируемой и инвариантной ко всем параметрам возмущениям детерминированного и стохастического характера, т.е. комбинированной САР (по отклонению и возмущению) с отрицательной обратной связью по главному технологическому параметру – давлению газа на выходе компрессорной станции. Такая система, разработанная при участии автора и представляющая патент ОАО «Гипрогазцентр» [4], показана на рисунке 2.

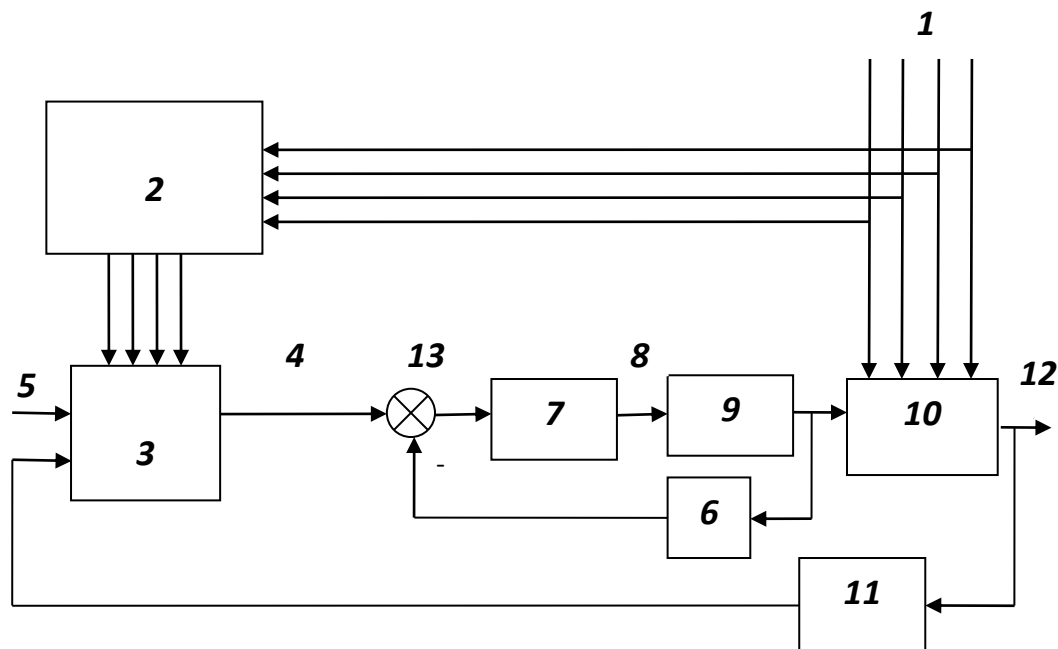


Рис. 2. Структура инвариантной системы частотно-регулируемого ЭГПА.

Объектом управления для электропривода 9 является газоперекачивающий агрегат 10, на вход которого подводится газ. Повышение давления (компримирование) газа происходит за счет политропной работы компрессоров ГПА. Вращение газоперекачивающего агрегата 10 обеспечивает двигатель 9 с устройством изменения его частоты вращения (ПЧ) с законом управления $U/f^2 = \text{const}$. На вход блока 3 расчета необходимой скорости вращения поступают сигналы о величине возмущающих воздействий с датчиков 2 измерения внешних воздействий 1 и сигнал задания давления 5, который корректируется с датчика давления 11. Динамические колебания скорости вращения электропривода ГПА 9 поступают на датчик скорости вращения 6 и далее на второй вход сумматора 13. Сигнал 4 с выхода блока 3 расчета необходимой скорости вращения электропривода ГПА поступает на сумматор 13,

где корректируется сигналом с датчика скорости 6. Сигнал с сумматора 13 поступает на ПИ-регулятор 7, на выходе которого формируется сигнал 8, пропорциональный требуемой скорости вращения электропривода 9. Газоперекачивающий агрегат 10, вращаемый электроприводом 9, создает требуемое давление газа на выходе компрессорной станции 12.

Данная комбинированная система, состоящая из САР по отклонению (давления газа) и САР по возмущению (стохастических возмущений), обеспечивает автоматизацию процесса компримирования газа до оптимального стабильного давления в условиях различных случайных воздействий средствами инвариантной системы управления частотно-регулируемого ЭГПА. При этом решается искомая задача повышения точности обработки

требуемой величины давления газа на выходе КС и стабилизации процесса компримирования газа средствами ЭГПА. Этому способствует строгое соблюдение параметров основного технологического процесса компримирования газа, что позволяет повысить производительность и надежность газопровода в условиях действия возмущающих воздействий.

При необходимости перевода ЭГПА в турбодетандерный режим работы необходимо обеспечивать на выходе ПЧ параметры напряжения с помощью введения внешней отрицательной обратной связи по выходному напряжению, как это выполнено в работах [3,5].

Список литературы

1. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов // СТО Газпром 2-3.5-051-2006.
2. Пужайло А.Ф., Крюков О.В., Репин Д.Г. Способ магистрального транспорта газа // Патент

на изобретение №2502914 МПК F17D1/02. – ОАО «Гипрогазцентр». – Оpubл. 27.12.2013, БИ №36.

3. Пужайло А.Ф., Серебряков А.В., Крюков О.В. и др. Электроприводы объектов газотранспортных систем: Монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр» // Под ред. к.т.н., доц. О.В. Крюкова. – Нижний Новгород: Исток, Том 4, 2013. – 300с.
4. Крюков О.В., Степанов С.Е. Электропривод газоперекачивающего агрегата // Патент №107427, МПК H02P 27/04, 25/02. – ОАО «Гипрогазцентр». – Оpubл. 10.08.2011, БИ №8.
5. Крюков О.В. Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности, 2010, №10. – С.50-53.

ПРОГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Малышев Евгений Викторович

Аспирант Саратовского Государственного Технического Университета имени Гагарина Ю.А.,

Столяров Виктор Васильевич

Д.т.н., профессор Саратовского Государственного Технического Университета имени Гагарина Ю.А.,

Кокоева Наталия Евсегнеевна

Д.т.н., профессор Саратовского Государственного Технического Университета имени Гагарина Ю.А.

TRAFFIC FORECAST USING extrapolation simulation

Malyshev Evgeny, graduate student Saratov State Technical University

Victor V. Stolyarov, Doctor of Science, professor of Saratov State Technical University

Kokodeeva Natalia Evsegneevna, Doctor of Science., professor of Saratov State Technical University

Аннотация

В данной статье рассмотрены экстраполярные гипотезы (модели) прогнозирования интенсивности движения на существующих автомобильных дорогах Российской Федерации. Проанализированы характерные особенности применения этих гипотез для реконструкции и усиления дорожных одежд. Выявлена и обоснована возможность применения данных методик для прогнозирования интенсивности движения на этапе строительства новых автомобильных дорог.

ABSTRACT

This article describes ekstrapolyarnye hypothesis (model) predict traffic on existing roads of the Russian Federation. Analyzed the characteristics of the application of these hypotheses for the reconstruction and strengthening of road pavements. Identified and justified the possibility of applying these techniques to predict the traffic during the construction of new highways.

Ключевые слова: интенсивность движения; рост интенсивности движения.

Keywords: traffic; growth in traffic.

Экстраполяционные гипотезы (модели) используют, как правило, при прогнозировании интенсивности движения на существующих дорогах для реконструкции или усиления дорожных одежд, исчерпавших запас прочности. В этом направлении и описаны приводимые ниже экстраполяционные модели. Однако их можно использовать для вновь проектируемых дорог (дорожных одежд)

при описании экстраполяционными гипотезами результатов прогнозирования интенсивности движения методами многофакторного анализа. Поэтому в каждой из описанных моделей (линейной, сложных процентов, экспоненциальной, степенной, логической, СоюздорНИИ) дан способ перехода от понятия “наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией или усилением дорожной одежды” (N_0) к понятию

“прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию” (N_0). Этот переход возможен в том случае, когда по данным исследования хозяйственной деятельности района тяготения к дороге и с учетом экономического обоснования развития этого региона прогнозируются объемы перевозок и перспективные значения интенсивности движения в первый (N_1) и последующие годы эксплуатации дороги. В этом случае удастся установить как значения годовых приростов интенсивности движения, так и вид экстраполяционной модели и ее параметры [1, 2, 4].

Гипотеза (модель) линейного роста интенсивности движения основывается на том предположении, что средние темпы роста, наблюдаемые за ряд лет (обычно за 10-15 лет), не изменятся в перспективный период за срок службы (T_{cl}) дорожной одежды и следовательно

$$N_{T_{cl}} = N_0 (1 + P \cdot T_{cl}), \quad (1)$$

где $N_{T_{cl}}$ - среднесуточная интенсивность движения в последний год срока службы дорожной одежды, авт/сут; N_0 - наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут); $N_0 = N_1 / (1 + P)$; P - средние темпы роста интенсивности движения ($\frac{P, \%}{100}$), доли единицы; T_{cl} - срок службы дорожной одежды, годы.

Очевидно, что через t лет (при $t \leq T_{cl}$) перспективная интенсивность движения определится выражением

$$N_t = N_0 (1 + P \cdot t), \quad (2)$$

а коэффициент суммирования, показывающий во сколько раз суммарная среднесуточная интенсивность движения

за весь срок службы ($\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_t$) превысит наблюдаемую

среднесуточную интенсивность движения в последний год перед усилением, составит

$$K_C = T_{cl} + P \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} t_i. \quad (3)$$

При этом суммарная среднесуточная интенсивность движения (суммарное количество приложений нагрузки за период T_{cl}) определится выражением

$$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_0 \cdot K_C. \quad (4)$$

Контроль вычислений осуществляют по формуле

$$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_{t=1} + N_{t=2} + \dots + N_{t=T_{cl}}, \quad (5)$$

где $N_{t=t_i}$ - среднесуточная интенсивность движения в году t_i , определяемая по формуле (2), авт/сут.

Гипотеза роста интенсивности движения по модели сложных процентов основывается на том предположении, что прирост интенсивности будет постоянно увеличиваться по зависимости

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t \quad (6)$$

и к концу срока службы (T_{cl}) дорожной одежды составит

$$N_{T_{cl}} = N_0 \left(1 + \frac{P}{100}\right)^{T_{cl}}, \quad (7)$$

где N_t - среднесуточная интенсивность движения в году

t (при $t \leq T_{cl}$), авт/сут; N_0 - наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут); $N_0 = N_1 / (1 + P/100)$; P - прирост интенсивности движения в текущем году по сравнению с интенсивностью движения в предшествующем году, %. Примечание: значение P может быть принято и постоянным (как это делают в линейной модели), однако интенсивность движения будет увеличиваться во времени (t) по сложным процентам в соответствии с формулой (6); $N_{T_{cl}}$ - среднесуточная интенсивность движения в последний год срока службы дорожной одежды, авт/сут.

Очевидно, что коэффициент суммирования, показывающий во сколько раз суммарная среднесуточная интенсивность движения за весь срок службы больше наблюдаемой среднесуточной интенсивности в последний год перед реконструкцией или усилением (N_0), определится выражениями:

$$\text{при } P \neq \text{const} \quad K_C = \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t; \quad (8)$$

$$\text{при } P = \text{const} \quad K_C = \frac{1}{P} \left[(1 + P)^{T_{cl}} - 1 \right]. \quad (9)$$

В случае $P = \text{const}$ суммарное количество приложения нагрузки за период T_{cl} составит

$$\sum_{t_i}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_1 \cdot K_C = N_0 (1 + P) \cdot K_C, \quad (10)$$

где N_0 - то же, что в формулах (6) и (7).

В формулах (9) и (10) P - прирост интенсивности движения ($\frac{P\%}{100}$), доли единицы.

Контроль вычислений осуществляют по формуле (5) при условии, что интенсивности N_{t_i} находят по зависимости (6).

Предположение о том, что *рост интенсивности движения будет проходить по экспоненциальной модели* имеет следующее математическое выражение

$$N_t = N_o e^{P \cdot t}, \quad (11)$$

которое для интенсивности движения в последний год срока службы (T_{cl}) принимает вид

$$N_{T_{cl}} = N_o e^{P \cdot T_{cl}}, \quad (12)$$

где N_t - среднесуточная интенсивность движения в году t (при $t \leq T_{cl}$), авт/сут; N_o - наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут): $N_o = N_l / e^P$; P - прирост интенсивности движения (в долях единицы), который можно принимать как постоянной, так и переменной величиной за срок службы (T_{cl}) дорожной одежды; e - основание натурального логарифма; $N_{T_{cl}}$ - среднесуточная интенсивность движения в последний год срока службы дорожной одежды, авт/сут.

Коэффициент суммирования для экспоненциальной модели равен

$$K_C = \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} e^{P \cdot t}, \quad (13)$$

а суммарное количество приложения нагрузки за период T_{cl} составит

$$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C. \quad (14)$$

Контроль вычислений можно выполнить по формуле (5) при условии, что интенсивности N_{t_i} устанавливаются по зависимости (11).

В ОДН 218.046-01 [3] использована *степенная модель прогнозирования интенсивности* движения вида

$$N_{T_{cl}} = N_t \cdot q^{(T_{cl}-t)}, \quad (15)$$

которая при $t=1$

$$N_{T_{cl}} = N_1 \cdot q^{(T_{cl}-1)}, \quad (16)$$

где $N_{T_{cl}}$ - среднесуточная интенсивность движения в последний год срока службы дорожной одежды, авт/сут; N_1 - среднесуточная интенсивность движения в первый год срока службы дорожной одежды, авт/сут; q - показатель прироста интенсивности движения, определяемый по зависимости

$$q = 1 + P, \quad (17)$$

где P - прирост интенсивности движения ($\frac{P\%}{100}$), доли

единицы.

Учитывая, что интенсивность N_l определяется по зависимости

$$N_1 = N_o (1 + P) = N_o \cdot q, \quad (18)$$

получаем по выражению (16), что

$$N_{T_{cl}} = N_o \cdot q^{T_{cl}}, \quad (19)$$

где N_o - наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут): $N_o = N_l / (1 + P)$.

Среднесуточную интенсивность движения в году t (при $t \leq T_{cl}$) определяют по формуле

$$N_t = \frac{N_{T_{cl}}}{q^{(T_{cl}-t)}} \quad (20)$$

после вычисления параметра $N_{T_{cl}}$ по зависимости (16) или (19).

Коэффициент суммирования степенной функции (15) устанавливают по выражению

$$K_C = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}. \quad (21)$$

Если $q=1$, то $K_C=T_{cl}$

Так как в структуру формулы (15) не входит интенсивность N_o , то суммарное количество приложений нагрузки за период T_{cl} устанавливают не по формуле (1.4), а по зависимости

$$\sum_{t_i}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_1 \cdot K_C. \quad (22)$$

Контроль вычисления суммарной нагрузки выполняют по формуле (5) при условии, что интенсивность движения в любой промежуточный год t определяют по формуле (20).

Степенная модель, реализованная по формуле (15), работает аналогично модели роста интенсивности движения по сложным процентам [см. формулу (6)] в том случае, когда в формуле (6) используется постоянная величина прироста (P) интенсивности, то есть при $P=\text{const}$. Это объясняется тем, что формула сложных процентов то же является степенной функцией, однако имеет больше возможностей по сравнению с формулой (15), так как применима при $P \neq \text{const}$.

Прогноз роста интенсивности движения по логической кривой выполняют в том случае, когда ожидается первоначальное быстрое возрастание интенсивности движения с последующим очень медленным приростом интенсивности (или даже спадом). Такая закономерность изменения интенсивности движения характерна для дорог, ведущих к крупным строительным объектам, где первоначальная интенсивность создается перевозкой грузов, поступающих на строительство.

Логическая модель имеет вид

$$N_t = N_o \left[1 + 0,01(K_1 \cdot t + K_2 \sum_{t=1}^t t_i^{-1/3}) \right], \quad (23)$$

где N_o - наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной

одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут): $N_o = N_i/[1+0,01(K_1+K_2)]$;

K_1 и K_2 – коэффициенты уравнения, зависящие от первоначального (предыдущего) прироста интенсивности (P), и определяемые по зависимостям

$$K_1 = 6,7 - 0,3 \cdot P, \tag{24}$$

$$K_2 = 1,3 \cdot P - 6,7; \tag{25}$$

N_t – среднесуточная интенсивность движения в

году t , авт/сут; $\sum_{t=1}^t t_i^{-1/3}$ – последовательно суммируемые

годы в степени $(-1/3)$ от первого года ($t_1^{-1/3} = 1^{-1/3} = 1$) до года $t^{1/3}$, для которого и определяется интенсивность N .

В случае реконструкции или усиления дорожной одежды интенсивность движения в первый год срока службы определяют по формуле

$$N_1 = N_o [1 + 0,01(K_1 + K_2)], \tag{26}$$

а в последний год срока службы соответственно

$$N_{T_{cl}} = N_o \left[1 + 0,01(K_1 \cdot T_{cl} + K_2 \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} t_i^{-1/3}) \right]. \tag{27}$$

Коэффициент суммирования как при новом строительстве, так и при реконструкции (усилении) устанавливают по выражению

$$K_C = \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} \left[1 + 0,01(K_1 \cdot t + K_2 \sum_1^t t_i^{-1/3}) \right], \tag{28}$$

где $t=1,2,3,\dots,T_{cl}$; $t_i=1,2,3,\dots,t$.

Суммарное количество приложения нагрузки за период T_{cl} определяют по формуле (4), а контроль вычисления суммарной нагрузки выполняют по формуле (5) с использованием формулы (23).

Модель СоюздорНИИ роста интенсивности движения имеет вид

$$N_t = N_1 \prod_2^t \left(1 + \frac{\Delta N_t}{100} \right), \tag{29}$$

где N_t – среднесуточная интенсивность движения в году t , авт/сут; N_1 – среднесуточная интенсивность движения в первый год срока службы дорожной одежды, авт/сут; ΔN_t – прирост интенсивности движения в году t ($t=2,3,\dots,T_{cl}$), %.

Параметры N_1 и ΔN_t определяют по формулам

$$\Delta N_t = a + \frac{6}{\sqrt[3]{t-1}}; \tag{30}$$

$$N_1 = N_o \left(1 + \frac{\Delta N_1}{100} \right), \tag{31}$$

где ΔN_1 – прирост интенсивности движения в первый год срока службы дорожной одежды относительно интенсивности N_o , %:

$$\Delta N_1, \% \dots\dots\dots 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20$$

$$a \dots\dots\dots 3,7 \ 3,1 \ 2,5 \ 1,9 \ 1,3 \ 0,7$$

$$6 \dots\dots\dots 6,3 \ 8,9 \ 11,5 \ 14,1 \ 16,7 \ 19,3$$

t – год, в котором определяют прирост ΔN_t ,

($t=1,2,3,\dots,T_{cl}$); N_o – наблюдаемая среднесуточная интенсивность движения в последний год перед реконструкцией дорожной одежды (авт/сут) или прогнозируемая интенсивность движения в последнем году строительства перед пуском дороги в эксплуатацию (авт/сут): $N_o = N_i/[1+\Delta N_i/100]$, авт/сут.

Очевидно, что интенсивность движения в первый год срока службы определяют по формуле (31), а в последний год срока службы по зависимости

$$N_{T_{cl}} = N_1 \prod_2^{T_{cl}} \left(1 + \frac{\Delta N_t}{100} \right). \tag{32}$$

Коэффициент суммирования устанавливают по выражению

$$K_C = \sum_1^{T_{cl}} \left[\prod_1^t \left(1 + \frac{\Delta N_t}{100} \right) \right], \tag{33}$$

где при $t=1$ имеем первый множитель $(1 + \frac{\Delta N_1}{100})$ из

формулы (31).

Суммарное количество приложения нагрузки за период T_{cl} определяют по формуле (4), а контроль вычисления суммарной нагрузки выполняют по формуле (5) с использованием формулы (29).

В табл. 1 даны основные формулы часто применяемых экстраполяционных моделей перспективной интенсивности движения и соответствующие им формулы расчета суммарного приложения нагрузки за период службы конструкции.

В формулах (11) и (12) используется коэффициент суммирования, определяемый в зависимости от вида экстраполяционной модели по формулам табл. 1 с учетом изложенных рекомендаций.

В ОДН 218.046-01 дан частный случай формул (11) и (12), соответствующий степенной экстраполяционной модели, которая может не реализоваться при прогнозировании интенсивности движения и, следовательно, при использовании ОДН могут возникнуть существенные трудности.

Данные предложения по прогнозу интенсивности движения с использованием экстраполяционных моделей значительно расширяют возможности использования ОДН 218.046-01, не меняя по сути предъявленные в них требования к проектированию дорожных одежд с жесткими покрытиями.

Таблица 1

Прогноз интенсивности движения

Модель прироста	Основная формула	Интенсивность движения		Коэффициент суммирования	Суммарное приложение нагрузки за срок службы
		первый год срока службы	в последний год срока службы		
Линейная	$N_t = N_o(1 + P \cdot t)$	$N_1 = N_o(1 + P)$	$N_{T_{cl}} = N_o(1 + P \cdot T_{cl})$	$K_C = T_{cl} + P \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} t_i$	$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C$
Сложных процентов	$N_t = N_o(1 + \frac{P}{100})^t$	$N_1 = N_o(1 + \frac{P}{100})$	$N_{T_{cl}} = N_o(1 + \frac{P}{100})^{T_{cl}}$	При $P \neq \text{const}$: $K_C = \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} (1 + \frac{P}{100})^t$ При $P = \text{const}$: $K_C = \frac{1}{P} [(1 + P)^{T_{cl}} - 1]$	При $P \neq \text{const}$: $\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C$ При $P = \text{const}$: $\sum_{t_i}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_1 \cdot K_C$
Экспоненциальная	$N_t = N_o e^{P \cdot t}$	$N_1 = N_o e^P$	$N_{T_{cl}} = N_o e^{P \cdot T_{cl}}$	$K_C = \sum_{t=1}^{t=T_{cl}} e^{P \cdot t}$	$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C$
Степенная	$N_t = \frac{N_{T_{cl}}}{q^{(T_{cl}-t)}} = N_o \cdot q^t$ где $q = 1 + P$	$N_1 = N_o \cdot q = \frac{N_{T_{cl}}}{q^{T_{cl}}}$	$N_{T_{cl}} = N_1 \cdot q^{(T_{cl}-1)} = N_t \cdot q^{(T_{cl}-t)}$	$K_C = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}$	$\sum_{t_i}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_1 \cdot K_C$
Логическая	$N_t = N_o [1 + 0,01(K_1 \cdot t + K_2 \sum_{i=1}^t t_i^{-1/3})]$	$N_1 = N_o [1 + 0,01(K_1 + K_2)]$	$N_{T_{cl}} = N_o [1 + 0,01 \times (K_1 \cdot T_{cl} + K_2 \cdot \sum_{i=1}^{T_{cl}} t_i^{-1/3})]$	$K_C = \sum_{i=1}^{T_{cl}} [1 + 0,01(K_1 \cdot t + K_2 \sum_{i=1}^t t_i^{-1/3})]$	$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C$
СоюздорНИИ	$N_t = N_1 \prod_{2}^t (1 + \frac{\Delta N_t}{100})$	$N_1 = N_o (1 + \frac{\Delta N_1}{100})$	$N_{T_{cl}} = N_1 \prod_{2}^{T_{cl}} (1 + \frac{\Delta N_t}{100})$	$K_C = \sum_{i=1}^{T_{cl}} \left[\prod_{1}^t (1 + \frac{\Delta N_t}{100}) \right]$	$\sum_{t=1}^{t=T_{cl}} N_{t_i} = N_o \cdot K_C$

Список литературы:

1. Кокодеева Н.Е. Определение допустимой нагрузки на фактическую конструкцию дорожной одежды в неблагоприятный период года // Повышение эффективности эксплуатации транспорта: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С.177-182.
2. Кокодеева Н.Е. Техническое регулирование в дорожном хозяйстве : монография / Н.Е. Кокодеева, В.В.

Столяров, Ю.Э. Васильев - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 232 с. ОДН 218.046-01

3. Усова Л.В., Миндалиев В.В. Обоснование границ перспективной интенсивности для II III IV категорий дорог с использованием теории риска // Техническое регулирование в транспортном строительстве.-2013.- №1(1).

УДК 669.295.017: 001.5

3D МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОГО СТРОЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Носов Владимир Константинович

док. т. наук, профессор Ступинского филиала «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» Ступино

Нестеров Павел Анатольевич

доцент Ступинского филиала «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» Ступино

Ермаков Евгений Игоревич

аспирант Ступинского филиала «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» Ступино

3D MODEL OF THE STRUCTURAL CONSTRUCTION OF TITANIUM ALLOYS

Nosov Vladimir K., Doctor of Sciences, Professor of Moscow Institute of Aviation Technology, Russian State Technology University, Stupino Branch, Stupino

Nesterov Pavel A., Associate professor of Moscow Institute of Aviation Technology, Russian State Technology University, Stupino Branch, Stupino

Ermakov Evgeny I., Post-graduate student of Moscow Institute of Aviation Technology, Russian State Technology University, Stupino Branch, Stupino

АННОТАЦИЯ

Разработаны на условиях минимума свободной поверхностной энергии и полного заполнения пространства изолированным многогранником тетракайдекаэдром Кельвина 3D модели структурного строения титана, α -титановых сплавов и $\alpha+\beta$ - титанового сплава ВТ6. Получена аналитическая зависимость, связывающая заданный размер кристаллита со средним размером его плоскостного отображения. Установлены стереологические параметры пространственных структур сплавов и зависимости удельных поверхностей и удельных объемов межкристаллитных зон от диаметра кристаллита в микро-, субмикро- и наноструктурном уровнях.

ABSTRACT

3D models of structural construction of titanium, α -titanium alloys and $\alpha + \beta$ - titanium alloy VT6 were developed under the terms of the minimum surface free energy and full space-filling with isolated polyhedron - Kelvin's tetrakaidecahedron. It was found an analytic dependence, which relates a size-defined crystallite with an average size of its planar reflection. Stereological characteristics of spatial structures of alloys were discovered. The dependence of the specific surface areas and the specific volumes of intergranular zones on the diameter of the crystallite in the micro-, submicro- and nanostructured levels was established.

Ключевые слова: титановые сплавы 3D модель, стереологические и стереометрические параметры.

Keywords: titanium alloys, 3D model, stereological and stereometric parameters.

ВВЕДЕНИЕ

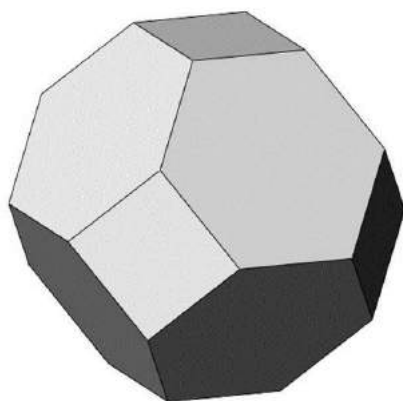
Теоретически обоснованное и экспериментально подтвержденное представление о трёхмерном строении одно- и гетерофазных металлических материалов углубляет понимание процессов формирования объёмной структуры в процессах пластической деформации, термической обработки и их влияния на механические свойства. Модели трёхмерной однофазной непрерывной полиэдрической структуры должны отвечать взаимосвязанным термодинамическим условиям минимума свободной поверхностной энергии и стереометрическим – полного заполнения кристаллитом (зерном) в форме изолированного многогранника пространства без промежутков, наложений и комбинаций с другими многогранниками [1- 4]. Моделирование трёхмерной гетерофазной структуры в дополнение к однофазной должно учитывать достижение равновесного фазового состава сплавом, определяемого теоретическими и кинетическими условиями процессов пластической деформации и термической обработки, форму, последовательность зарождения и заполнения второй фазой дефектов кристаллического строения в процессе её роста [1, 2].

Цель настоящей работы заключается в разработке трёхмерной модели структурного строения титана, α -титановых сплавов и $\alpha+\beta$ - титанового ВТ6 в равновесном состоянии.

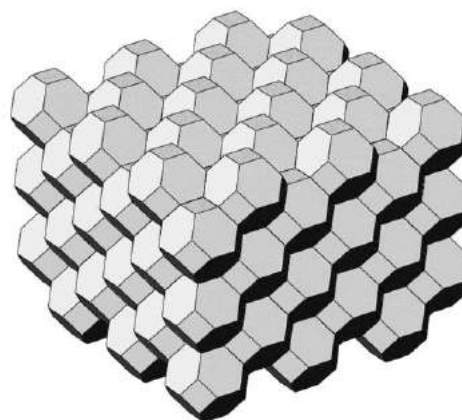
МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Приближение к локальному равновесному состоянию свободной энергии поверхности титана и гомогенных α -твёрдых растворов достигается при условии, что три граничные плоскости при ребре стыкуются под углом 120° друг к другу, а четыре ребра, сходящиеся в вершинах – под углом 110° таким условиям, в наибольшей степени отвечает усеченный октаэдр (тетракайдекаэдр Кельвина). Отношение поверхности тетракайдекаэдра к поверхности шара равного объема – 1,099. Выбор тетракайдекаэдра в качестве изолированного многогранника равновесной полиэдрической структуры обусловлен еще и тем, что он является единственным полуправильным Архимедовым телом, которым без комбинации с другими многогранниками можно заполнить трехмерное пространство без промежутков, наложений и комбинаций с другими многогранниками (рис.1а), образуя заполняющую пространство упаковку (ЗПУ) (рис.1б).

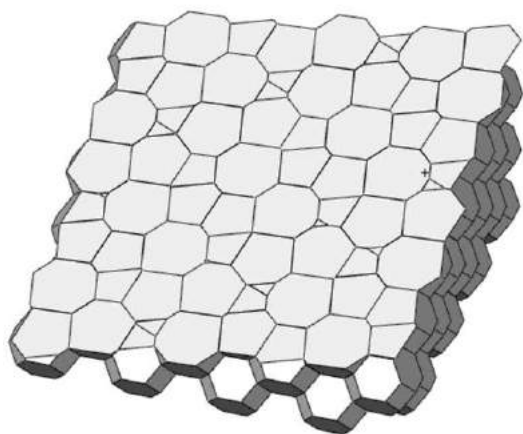
Произвольное сечение ЗПУ однофазной полиэдрической структуры (рис.1в) отображает плоскостную структуру, видимую на плоскости шлифа в оптическом микроскопе. Такая структура характерна для рекристаллизованных технического титана, гомогенных α - и β -твёрдых растворов титановых сплавов, закаленных $\alpha+\beta$ -сплавов переходного класса и псевдо- β сплавов [5] (рис.1г).



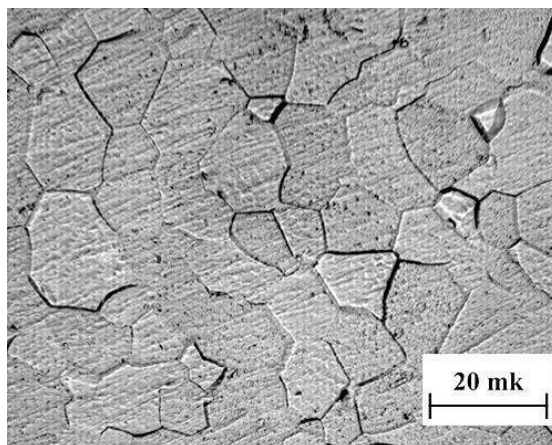
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1. Изолированный полуправильный многогранник в форме тетракайдекаэдра (а), ЗПУ (б) и произвольное её сечение (в), микроструктура сплава Ti-6Al.

Сплав ВТ6 относится к $\alpha+\beta$ -титановым сплавам средней прочности с объёмной долей β -фазы 10-15% в равновесном рекристаллизованном состоянии [6]. Разработка трехмерной модели структурного строения сплава ВТ6 также базируется на стереометрическом и термодинамическом положениях. Первое - заключается в полном заполнении пространства единым для двухфазной $\alpha+\beta$ -структуры сплава изолированным многогранником в форме тетракайдекаэдра, характерного для однофазных структур. Второе - предполагает в условиях высокотемпературного рекристаллизационного $\alpha+\beta$ отжига стремление заполнения β -фазой объемов с максимальным уровнем свободной энергией, т.е. последовательно вершин и ребер изолированного кристаллита (зерна) α -фазы - тетракайдекаэдра в виде непрерывного каркаса в соответствии с мерностью зарождения [1]. Выполнение этих положений достигается усечением вершин и ребер полуправильного многогранника тетракайдекаэдра в объеме, соответствующем объемной доле β - фазы. Компьютерное 3D моделирование, визуализацию построения пространственной модели, необходимые измерения и расчеты выполнены в программном комплексе твердотельного моделирования SolidWorks Education Edition.

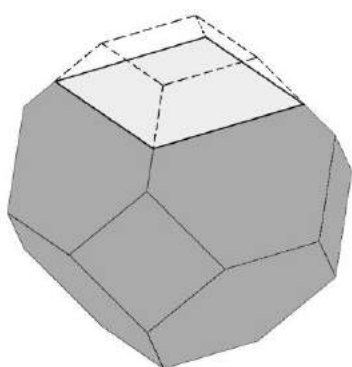
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На первом нижнем уровне 3D моделирования структурное строение однофазной однородной структуры включает: кристаллит (α -зерно) в форме усеченного октаэдра Кельвина и межкристаллитные зоны (границы зёрен) с кристаллографической толщиной кратной межатомному

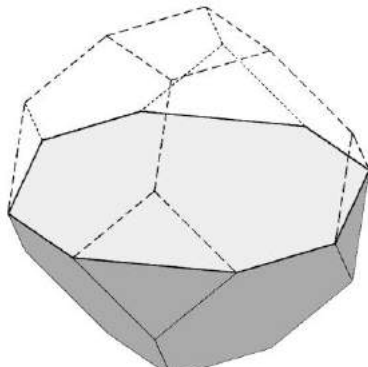
расстоянию титана. Каждая структурная составляющая представляет собой сплошную, однородную, изотропную, деформируемую среду.

Произвольное сечение ЗПУ однофазной равновесной полиэдрической структуры (рис.1в) отображает плоскостную структуру, видимую на плоскости шлифа в оптическом микроскопе и применяемую на практике для расчёта среднего диаметра зерна \bar{d}_α . Как следует из (рис.1в) в плоскостном сечении ЗПУ образуется трёх- восьмиугольные полигоны с различными площадями, размерами углов и их соотношением в каждом многоугольнике. Соотношение между средним диаметром α -кристаллита в трёхмерной модели и в произвольных её сечениях замкнутого объёма гомогенной полиэдрической однофазной структуры составило $D = 1,53 \bar{d}_\alpha$.

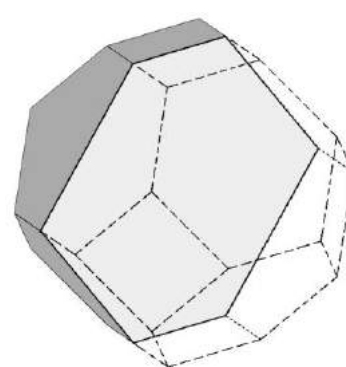
При прохождении частных секущих плоскостей эквивалентных плоскости (001) (параллельных квадратным граням) изолированного тетракайдекаэдра его сечения последовательно меняют свою форму от квадрата до восьмиугольника (рис.2а,б). Сечение изолированного тетракайдекаэдра частными плоскостями эквивалентными (110) в последовательности от центра даёт начальное изображение шестиугольника с последующим изменением формы до восьмиугольника и, наконец, прямоугольника (рис.2в, г). Сечения тетракайдекаэдра плоскостями общего положения дополнительно иллюстрируют многообразие форм получаемых полигонов в плоскостном отображении (рис. 2д, е).



а)



б)



в)

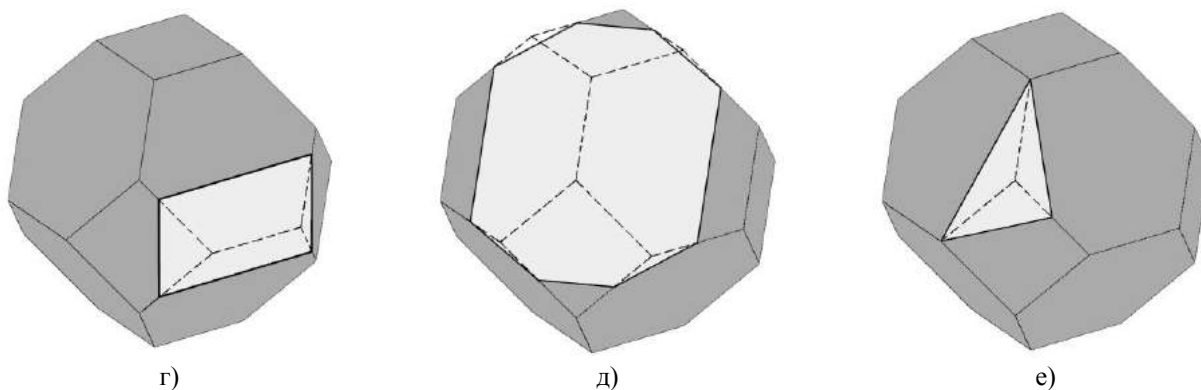


Рисунок 2. Сечения тетракайдекаэдра частными плоскостями эквивалентными плоскости (001) (а, б); (110) (в, г) и плоскостями общего положения (д, е).

Результаты моделирования трехмерной пространственной структуры двухфазного $\alpha+\beta$ -титанового сплава ВТ6 представлены на рис.3.

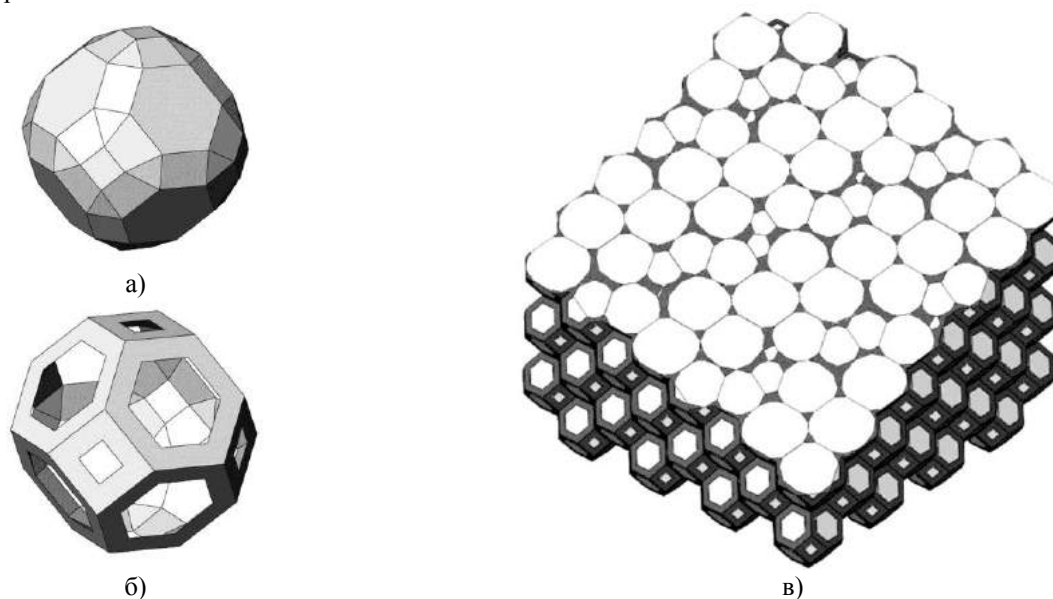


Рисунок 3. Изолированный неправильный многогранник α -фазы в форме «усеченного тетракайдекаэдра» (а), непрерывный каркас β -фазы (б), произвольное сечение ЗПУ (в) двухфазного сплава ВТ6 с 10% объемной доли β -фазы в трехмерном пространстве.

Полученный усечением ребер и вершин тетракайдекаэдра «усеченный тетракайдекаэдр», как изолированный неправильный многогранник (рис.3а) кристаллит (зерно) α -фазы, характеризуется следующими стереометрическими параметрами: общее число вершин – 72; общее число граней – 74, из них гексагональных – 8, квадратных – 6, треугольных – 24, прямоугольных – 12, и трапециевидальных – 24. Отношение поверхности «усеченного тетракайдекаэдра» к поверхности шара равного объема – 1,03.

Непрерывный армирующий изолированный пространственный «каркас β -фазы» (рис.3б) с объемом равным объемной доле β -фазы в сплаве и дополняющий объем «усеченного тетракайдекаэдра» до объема тетракайдекаэдра представляет собой оболочковый многогранник, который содержит 36 ребер в форме треугольной призмы, полученных усечением ребер тетракайдекаэдра и 24 вершины в форме треугольной пирамиды.

Таким образом, в ЗПУ предлагаемой трехмерной модели $\alpha+\beta$ -титанового сплава ВТ6 с изолированным многогранником в форме «сборного тетракайдекаэдра», со-

стоящего из «усеченного тетракайдекаэдра» α -фазы и непрерывного объемного «каркаса β -фазы», (рис.3в) образуются $\alpha\alpha$, $\alpha\beta$ и $\beta\beta$ граничные поверхности. При этом следует различать внутренние и внешние по отношению к «сборному тетракайдекаэдру» граничные поверхности.

Для количественной оценки структуры сплавов введены следующие обозначения пространственных стереологических параметров [7]:

V – объем α -зерна однофазной полиэдрической структуры в форме тетракайдекаэдра, который соответствует объему «сборного тетракайдекаэдра» $\alpha+\beta$ -структуры;

S – площадь поверхности границ α -зерна однофазной полиэдрической структуры соответствует внешним $\alpha\alpha$ и $\beta\beta$ -граничным поверхностям «сборного тетракайдекаэдра»;

$\delta_\alpha = n a_\alpha$ – кристаллографическая толщина α -границы при межатомном расстоянии $a_\alpha = 2,9 \times 10^{-4}$ мкм [8], где n – коэффициент кратности толщины $\alpha\alpha$ - границы межатомному расстоянию;

$V_{гр} = S \delta_\alpha$ – объем границ α -зерна однофазной полиэдрической структуры;

- V_α – объем α -зерна в двухфазной структуре в форме «усеченного тетракайдекаэдра»;
- V_β – объем β -фазы в двухфазной $\alpha+\beta$ структуре в форме непрерывного объемного «каркаса β -фазы»;
- $S_{\alpha\alpha}$ – площадь поверхности границ зерна α -фазы двухфазной $\alpha+\beta$ структуры, находящихся в контакте с соседними зернами α -фазы в ЗПУ;
- $S_{\beta\beta}$ – площадь поверхности граней непрерывного каркаса β -фазы двухфазной $\alpha+\beta$ структуры, находящихся в контакте с соседними гранями β -фазы в ЗПУ;
- $S_{\alpha\beta}$ – площадь поверхности внутренних межфазных $\alpha\beta$ -граней между «каркасом β -фазы» и «усеченным тетракайдекаэдром» в ЗПУ;
- $S_\alpha = S_{\alpha\alpha} + S_{\alpha\beta}$ – площадь внешней и внутренней граничной поверхности «усеченного тетракайдекаэдра» т.е. α -зерна в двухфазной $\alpha+\beta$ структуре;
- $S_\beta = S_{\beta\beta} + S_{\alpha\beta}$ – площадь внешней и внутренней граничной поверхности β -фазы в непрерывном ее «каркасе β -фазы» в двухфазной $\alpha+\beta$ структуре;
- $\delta_\beta = n a_\beta$ – кристаллографическая толщина β -границы при межатомном расстоянии $a_\beta = 2,86 \times 10^{-4}$ мкм, где n -

- коэффициент кратности толщины $\beta\beta$ - границы межатомному расстоянию;
- $V_{\beta\beta} = S_{\beta\beta} \times \delta_\beta$ – объем $\beta\beta$ -границ в ЗПУ;
- $V_{\alpha\alpha} = S_{\alpha\alpha} \times \delta_\alpha$ – объем $\alpha\alpha$ -границ в ЗПУ;
- $\delta_{\alpha\beta} = (\delta_\alpha + \delta_\beta) / 2$ – кристаллографическая толщина межфазной $\alpha\beta$ -границы;
- $V_{\alpha\beta} = S_{\alpha\beta} \times \delta_{\alpha\beta}$ – объем межфазных $\alpha\beta$ -границ в ЗПУ двухфазной $\alpha+\beta$ структуры;
- \bar{d}_α – средний диаметр α -зерна в плоскостном сечении «усеченного тетракайдекаэдра»;
- D – средний диаметр α -зерна в пространственной модели равный диаметру сферы, вписанной по тетрагональным граням тетракайдекаэдра.

Результаты расчетов стереологических параметров пространственной структуры однофазной полиэдрической структуры в форме тетракайдекаэдра и двухфазной в объеме «сборного тетракайдекаэдра» с различным D в микро-, субмикро- и наноструктурном масштабном уровнях (1-100 мкм) и $n=1-5$ приведены на рис.4 и рис.5.

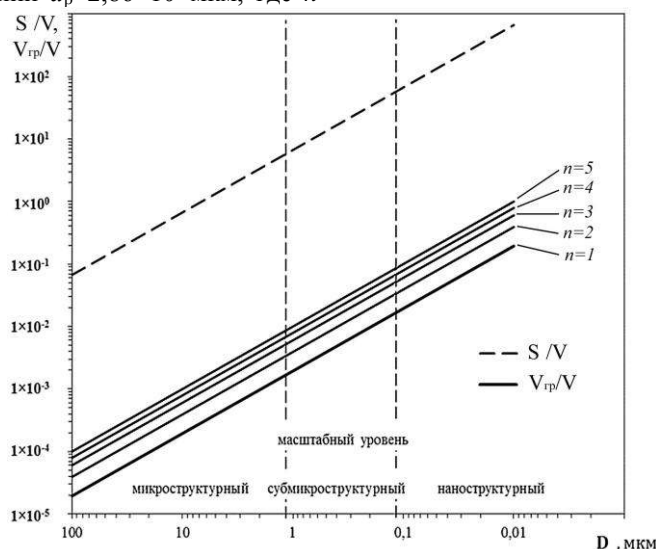


Рисунок 4. Зависимость удельных межграничных поверхностей S/V и объемов $V_{гр}/V$ от диаметра вписанной сферы тетракайдекаэдра для равновесной однофазной полиэдрической структуры титана и α -титановых сплавов.

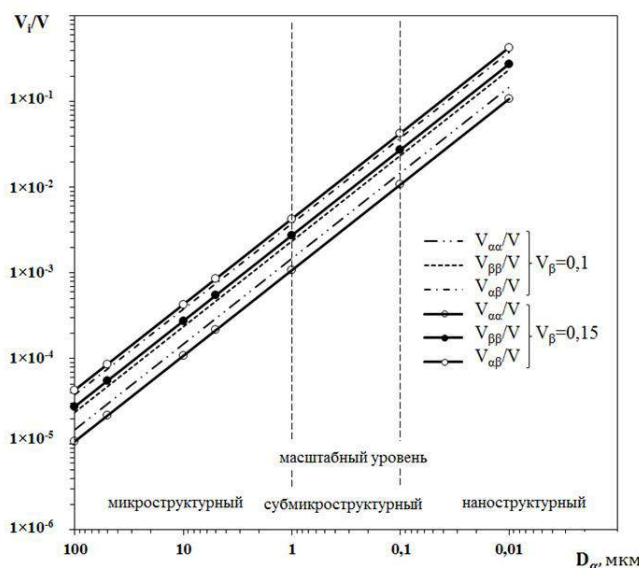


Рисунок 5. Зависимость объемной доли межфазных $V_{\alpha\beta}$ и межграничных $V_{\alpha\alpha}$, $V_{\beta\beta}$ составляющих сплава ВТ6 от величины зерна с $V_\beta=0,1$ и $0,15$, при толщине межграничных $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ и межфазных $\alpha\beta$ прослоек равной двум межатомным расстояниям.

Из проведённых расчётов следует, что удельные межграничные поверхности S/V и объёмы $V_{гр}/V$ гомогенной равновесной полиэдрической структуры возрастают с уменьшением размера действительного зерна D и характеризуются в координатах $\lg S/V - \lg D$ и $\lg V_{гр}/V - \lg D$ линейной зависимостью (рис.4).

Удельная поверхность S/V изолированного многогранника резко возрастает с уменьшением D и, если в ультрамелкозернистом материале при $D=10\text{мкм}$, отвечающего условиям реализации сверхпластической деформации, это отношение 0,67, то при нанометрическом размере зерна $D=100\text{нм}$ и $D=10\text{нм}$ увеличивается соответственно до 67 и 670. Результаты расчётов свидетельствуют, что аналогично изменяются и удельные межграничные объёмы $V_{гр}/V$. Так при толщине межграничной прослойки оцениваемой в два межатомных расстояния $n=2$ и значениях $D=10$; 0,1 и 0,01 мкм $V_{гр}/V$ составляет $3,88 \cdot 10^{-4}$; $3,88 \cdot 10^{-3}$ и $38,8 \cdot 10^{-1}$ мкм⁻¹. Это означает, что при $D=10\text{нм}$ и толщине межграничной прослойки $\delta_\alpha=0,58\text{нм}$ объёмная доля межграничной прослойки составляет 38,8%, а при том же $D=10\text{нм}$ и $n=5$ ($\delta_\alpha=1,45\text{нм}$) – 97,1% (рис.4).

Аналогичные результаты получены нами при 3D моделировании структурного строения $\alpha+\beta$ – титанового сплава ВТ6 с 10% объёмной долей β – фазы, у которого даже при условной расчётной толщине межкристаллитной $\alpha\alpha(\beta\beta)$ и межфазной $\alpha\beta$ прослойке, равной одному межатомному расстоянию α - и β – фаз, суммарная удельная объёмная доля межфазных $V_{\alpha\beta}/V$ и межграничных $V_{\alpha\alpha}/V$ и $V_{\beta\beta}/V$ составляет 28,7% [7]. При толщине межкристаллитных и межфазных прослоек равных двум межатомным расстояниям их суммарная удельная объёмная доля у сплава ВТ6 с $V_\beta=0,1$ возрастает до 76,5%, а у сплава с $V_\beta=0,15$ до 81,5% (рис.5).

Подобное структурное состояние с наноразмерным зерном $D=10\text{нм}$ и объёмной долей межкристаллитных зон до 76-97% либо абсурдно и практически недостижимо, либо представляет собой особое структурное состояние, характеризующее преимущественным кристаллическим структурным состоянием «неравновесной граничной фазы» с непрогнозируемыми на сегодняшний день свойствами и колоссальной термодинамической неустойчивостью.

ВЫВОДЫ

1. Обозначены и рассчитаны стереологические параметры однофазной гомогенной полиэдрической структуры с изолированным многогранником в форме тетракайдекаэдра в 3D модели.
2. Предложена трехмерная модель микроструктурного состояния $\alpha+\beta$ -титанового сплава ВТ6 с объёмной долей β -фазы 10 и 15% в виде

«сборного тетракайдекаэдра», состоящего из кристаллита α -фазы в форме усеченного по вершинам и ребрам тетракайдекаэдра и непрерывного объёмного «каркаса β -фазы», заполняющего усеченные объёмы.

3. Определены основные стереометрические параметры кристаллита α -фазы «усеченного тетракайдекаэдра» и непрерывного объёмного «каркаса β -фазы».
4. Обозначены и рассчитаны стереологические параметры, характеризующие соотношения внутренних и внешних по отношению к «сборному тетракайдекаэдру» кристаллита α -фазы межграничных $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ и межфазных $\alpha\beta$ поверхностей и объёмов.
5. Установлено аналитическое соотношение объёмного диаметра α -зерна с его плоскостным отображением.

Список литературы:

1. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. Часть 1. Термодинамика и общая кинетическая теория. : пер. с англ. / под ред. А.Л. Ройтбурда. М.: Мир, 1978. 806с. [J.W. Christian The theory of transformations in metals and alloys. Second edition. Part 1. Equilibrium and General Kinetic Theory. Oxford : Pergamon Press. 1975. 806p.]
2. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлических систем : пер. с англ. / под ред. В.Н. Быкова. М.: Атомиздат, 1978. 280с. [J.W. Martin, R.D. Doherty Stability of microstructure in metallic systems. Cambridge : Cambridge University Press. 1976. 280p.]
3. Салтыков А.С. Стереометрическая металлография. Учебное пособие для ВУЗов. М.: Металлургия, 1977. 279с.
4. Чернявский К.С. Стереология в металловедении. М.: Металлургия, 1977. 279с.
5. Борисова Е.А., Бочвар Г.А., Брун М.Я. и др. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. М.: Металлургия, 1980, 464с.
6. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009, 520с.
7. Носов В.К., Нестеров П.А., Поляков О.А. Трёхмерная модель микроструктурного строения $\alpha+\beta$ -титанового сплава ВТ6// Материаловедение, №4. 2014. с.26-27.
8. Цвиккер И. Титан и его сплавы. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1979, 512с.

МЕДИЦИНСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Федорова Наталья Ивановна

кандидат технических наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета, г. Уфа

Палло Надежда Сергеевна

магистрант второго года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета, г. Уфа

HOSPITAL INFORMATION SYSTEM BASED ON THE CLOUD COMPUTING

Fedorova Natalia, Candidate of Science, associate professor of Ufa State Aviation Technical University, Ufa

Pallo Nadezhda, master student second year of study of Ufa State Aviation Technical University, Ufa

АННОТАЦИЯ

Целью представленной работы является разработка автоматизированной информационной системы медицинского учреждения. Для осуществления необходимой функциональности и вычислительной мощности с минимальными затратами было принято решение использовать облачные вычисления. Также представлены результаты внедрения разработанной системы.

ABSTRACT

The goal of present work is development of the computer-aided information system of a medical facility. It was decided to use Cloud computing to achieve required functionality and computing power at minimal cost. Also conclusions were made about consequences of introduction of the development system.

Ключевые слова: частное облако; программное обеспечение как услуга; медицинская карта.

Keywords: private cloud; software as a service; medical record.

В настоящее время существенно изменились экономические и социальные условия работы медицинских учреждений. Одновременно продолжается стремительное развитие вычислительной техники и информационных технологий, которые внедряются практически во все отрасли человеческой деятельности [1, с. 20]. Основной функцией медицинского учреждения является оказание медицинской помощи для скорейшего выздоровления пациента. Для этого больной проходит множество этапов. Целью информационных систем медицинского назначения является предоставление медицинским сотрудникам возможности быстрого получения необходимой информации о пациенте, значительное сокращение времени на выполнение бумажной работы, а также информационная поддержка разнообразных задач оказания медицинской помощи населению. Информационная поддержка современного учреждения здравоохранения предполагает регулярное проведение комплекса работ по моделированию и проектированию бизнес-процессов оказания медицинской помощи и медицинских услуг пациентам [2, с. 1]. Однако в большинстве медицинских учреждений России по-прежнему носителями информации являются папки с бумагами. Это обусловлено тем, что существует большое количество медицинских информационных систем (например, MIS Lite, Universe-Медицина, Medwork и др.), и выбрать из них подходящую сложно. Такие системы как правило имеют достаточно большую стоимость. Медицинская помощь оказывается в консультативной поликлинике и стационаре. Это значит, что информационная система должна осуществлять такие функции, как ведение медицинской карты амбулаторного больного и ведение медицинской карты стационарного больного. Сравнительный анализ продукта MIS Lite показал, что в данной системе отсутствует функция ведения карты стационарного больного, а соответственно и связанные с ней функции автоматизации печати выписки и листа временной нетрудоспособности. Таким образом, эта система не поможет значительно облегчить обработку и анализ информации при оказании медицинской помощи в стационаре. Медицинская информационная система Universe-Медицина имеет

множество различных функций, однако они больше предназначены для поликлиники. Использование этого программного продукта не будет способствовать упрощению работы в стационаре, поскольку отсутствуют необходимые функции автоматизации печати выписки, талона и листа временной нетрудоспособности. Система Medwork приспособлена для работы как в поликлинике, так и в стационаре. Она охватывает все основные этапы лечебного процесса и при умелом использовании значительно сокращает время на заполнение медицинских карт, документации, автоматизирует процесс печати необходимых документов. Однако данная система слишком сложна для понимания. Она предназначена для автоматизации медицинских учреждений любого профиля, что говорит о том, что в ней слишком много функций, которые не будут использоваться персоналом, поскольку они просто не нужны. Еще один значительный недостаток медицинской информационной системы Medwork состоит в ее завышенной стоимости. Медицинскому учреждению нет смысла переплачивать за функции системы, которые не будут применяться [3, с. 259].

Поэтому предлагается разработать собственную медицинскую информационную систему, которая будет совмещать в себе все необходимые функции, оставаясь при этом простой и интуитивно понятной для медицинского персонала, а также не будет требовать значительных финансовых вложений. Для решения этих задач автоматизация будет производиться на базе частного облака. Система будет предоставляться в аренду по схеме SaaS (Software as a Service). Ключевым фактором, объясняющим экономическую целесообразность данной модели использования программного обеспечения, является «эффект масштаба» – провайдер SaaS обслуживает единое программное ядро, которым пользуются все клиенты, то есть сотрудники медицинского учреждения, и потому тратит меньшее количество ресурсов по сравнению с управлением отдельными копиями программного обеспечения для каждого заказчика [4, с. 7]. Данное решение позволит значительно снизить затраты медицинского учреждения

на обслуживание автоматизированной информационной системы.

Разрабатываемая медицинская информационная система будет иметь шесть модулей: «Врач приемного отделения», «Лечащий врач», «Заведующий отделением», «Средний медицинский персонал», «Регистратура» и «Пациент». Первый модуль включает в себя следующие функции: фиксация приезда бригады скорой медицинской помощи (при необходимости); внесение в систему сопроводительного листа скорой медицинской помощи (при необходимости); создание и заполнение электронной медицинской карты стационарного больного; ведение электронного журнала отказов; ведение электронного журнала учета особо опасных инфекций; отражение графика работы. Модуль «Лечащий врач» имеет несколько функций: ведение электронной медицинской карты стационарного больного; ведение электронной медицинской карты амбулаторного больного; ведение электронной истории болезни; автоматическое напоминание об оформлении клинического диагноза после трех дней со дня поступления больного и этапного эпикриза каждые десять дней; автоматизация печати выписки и листа временной нетрудоспособности; ведение журнала учета особо опасных инфекций; отражение графика работы; отражение расписания пациентов. Модуль «Заведующий отделением» включает функции: ведение электронной медицинской карты стационарного больного; ведение электронной истории болезни; ведение журнала учета особо опасных инфекций; отражение графика работы. Модуль «Средний медицинский персонал» имеет следующие функции: отражение информации о пациентах и назначенных ему лекарственных средств и процедурах; фиксация полученных данных об артериальном давлении и температуре пациентов; отражение графика работы. Модуль «Регистратура» включает в себя функции создания и заполнения электронной медицинской карты амбулаторного больного и автоматизации печати бланка направления к врачу. Последний модуль «Пациент» отображает электронную медицинскую карту стационарного больного, электронную медицинскую карту амбулаторного больного и расписание врачей [5, с. 224].

Таким образом, разработка автоматизированной информационной системы медицинского учреждения значительно сократит время на заполнение медицинской документации, ускорит процесс нахождения необходимой информации, а также улучшит качество оказания медицинской помощи и ухода за больными за счет более оперативного обмена информацией между медицинскими сотрудниками. Использование описанной системы позволит упростить выполнение главной цели медицинских учреждений – повышение уровня здоровья населения.

Список литературы:

1. Анишин А.В. Принципы построения программно-аппаратных средств автоматизированного рабочего места врача-лаборанта / А.В. Анишин, Ю.С. Арустамян, Т.Г. Сарычева и др. // Клиническая лабораторная диагностика.
2. Блохина С.И. Роль информационных технологий в модернизации медицинского учреждения научно-практического типа / Блохина С.И., Ткаченко Т.Я., Каримова О.Х., Марчук Ю.В. // Государственное учреждение здравоохранения Свердловской области детская клиническая больница восстановительного лечения «Научно-практический центр «Бонум», г. Екатеринбург
3. Информационная система медицинского учреждения. Актуальные проблемы науки и техники. Девятая Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых. Том 1. Информационные и инфокоммуникационные технологии. Сборник трудов / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2014. Палло Н.С., Федорова Н.И.
4. Five Benefits of Software as a Service, J. Maynard, 2007
5. Организация управления предприятием на основе электронного документооборота. 6-я Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2013). Геленджик, Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Федорова Н.И.

УДК 658.286.4:656.3, ББК 38.18-4*9

ВОПРОС О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ШЛАКОВ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Попова Тамара Максимовна

магистр 1 курса ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова»

Кузнецова Наталья Сергеевна

магистр 1 курса ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова»

Загидуллина Алина Ильмировна

магистр 1 курса ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова»

Прокопьева Олеся Сергеевна

магистр 1 курса ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова»

THE QUESTION ABOUT THE EXPEDIENCY OF REENGINEERING OF ROLLING STOCK USED FOR TRANSPORTATION OF HOT SLAG IN THE MINING AND SMELTING ENTERPRISES

Popova Tamara, master of 1 course Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Kuznetsova Nataly, master of 1 course Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Zagidullina Alina, master of 1 course Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Prokopenko Olesya, master of 1 course Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрен вопрос о целесообразности модернизации подвижного состава, занятого на перевозке горячих шлаков, на ОАО «ММК». Проанализированы характерные особенности конструкции думпкаров для перевозки горячих шлаков. Выявлена и обоснована необходимость модернизации подвижного состава. На основе проведенного анализа авторами рассчитан экономический эффект и срок окупаемости предлагаемых мероприятий.

ABSTRACT

This article discusses the feasibility of upgrading the rolling stock used for transportation of hot slag, OJSC "MMK". Analyzed the characteristics of the construction dump cars for transportation of hot slag. Identified and justified the necessary for modernization of the rolling stock. Based on this analysis the authors calculated the economic effect and the payback period of the proposed activities.

Ключевые слова: ОАО «ММК», думпкав, горячие шлаки, модернизация, подвижной состав.

Keywords: OJSC "MMK", dumping car, rich slag, reengineering, rolling stock.

На территории Российской Федерации одним из крупнейших предприятий черной металлургии является открытое акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат» [1].

В 2013 году объем производства ОАО «ММК» в России составил 11,9 млн. тонн стали, 9 млн. тонн слябов и заготовки, 2,4 млн. тонн продукции глубокой переработки, 2,9 млн. тонн угольного концентрата, 11,3 млн. тонн агломерата, 9,6 млн. тонн чугуна. В результате плавки железорудного сырья ежегодно образуется до 8,5 млн. тонн металлургических шлаков [2, с. 24].

Основной объем перевозок сырья, готовой продукции и продуктов переработки стали приходится на железнодорожный транспорт. При этом основная часть перевозимых грузов обладает специфическими свойствами, что

требует для перевозки этих грузов специального подвижного состава. К таким грузам можно отнести чугун, сталь, известь, кислоты, шлаки и др.

Годовой объем переработки шлаков составляет 5 млн. тонн. По технологии, применяемой на ОАО «ММК» в настоящее время, расплавленные металлургические шлаки с доменных и электросталеплавильных цехов, сливаются на шлаковом дворе, перемешиваются с остывшими и отправляются на дальнейшую переработку. При погрузке температура шлака достигает 700-800 градусов, что отрицательно сказывается на состоянии подвижного состава. Процесс слива, перемешивания и погрузки шлака представлен на рисунке 1.



а) слив



б) перемешивание



в) погрузка

Рисунок 1. Процесс слива, перемешивания и погрузки шлака на шлаковом дворе

Постоянное воздействие на вагон высоких температур приводит к высокой степени износа металлических элементов рамы и кузова вагона, а также к появлению усталостных напряжений в местах, поддающихся наибольшему воздействию.

Основной задачей управляющего аппарата является сокращение издержек производства и снижение себестоимости продукции. Так как транспортная составляющая себестоимости готовой продукции достигает 70%, необходимо снижение затрат на перевозку. Одним из мероприятий, позволяющих снизить затраты на перевозку,

является модернизация подвижного состава для перевозки горячих шлаков.

С момента открытия ОАО «ММК» на перевозке горячих шлаков были задействованы думпкары изначально не предназначенные для данного вида груза, поэтому возникла необходимость их модернизации. Применяемый подвижной состав устарел как морально, так и физически. Поэтому этого сегодня возникает необходимость в модернизации думпкаров собственными силами ОАО «ММК». Для этого была изменена конструкция думпкаров модели 7BC-60 – усилены кузов и рама вагона.

В настоящее время на ОАО «ММК» применяются думпкары грузоподъемностью 40 тонн. Данная модель думпकारа в настоящее время не производится, следствием чего возникает проблема ремонта вагона и восстановления оригинальных запасных частей.

Покупка новых думпкаров является нецелесообразной, потому что эти вагоны не пригодны для перевозки горячих материалов по конструктивным особенностям. Во-первых, их конструкции предполагают взаимодействие продольного борта с полом вагона, которое предусматривает их взаимное перемещение при разгрузке и возврате в транспортное положение. При этом зазор между полом и бортом составляет всего несколько сантиметров. При воздействии же высоких температур листовая металл, покрывающий пол кузова, подвергается деформации, и, как следствие, происходит заклинивание борта и невозможность его открытия или закрытия. Во-вторых, металл, покрывающий пол и борта кузова, довольно тонкий, и температурная деформация приводит к нарушению целостности этого покрытия [3, с. 20].

На балансе ОАО «ММК» имеется парк думпкаров модели 7ВС-60, которые могут быть модернизированы

для перевозки горячих шлаков. В данной модели думпकारа механизм разгрузки предусматривает подъем борта кверху, поэтому предлагается проведение модернизации, заключающейся в создании рычажной системы разгрузки (кверху), аналогичной системе разгрузки думпкаров, используемых сегодня на перевозке горячих шлаков. При этом грузоподъемность модернизируемых думпкаров увеличивается на 16 тонн относительно применяемых.

Замена настоящего подвижного состава, занятого на перевозке горячих шлаков, на модернизированные вагоны предполагает изменение структуры транспортного потока внутри ОАО «ММК». Новые вагоны имеют большую грузоподъемность – 56 тонн после модернизации (незначительная снижение грузоподъемности является следствием усиления конструкции вагона 7ВС-60 и изменения механизма разгрузки), следствием чего является уменьшение количества вагонов, задействованных в течение суток на перевозке.

Сравнительный анализ применения модернизированных и используемых думпкаров приведен в таблице 1 [4, с. 57].

Таблица 1

Сравнительный анализ применения модернизированных и используемых думпкаров

Характеристика	Используемый подвижной состав	Модернизированный подвижной состав 7ВС-60
Грузоподъемность, т	40	56
Годовой объем перевозок, т/год	8 500 000	
Суточный грузопоток, т/сут.	23288	
Вагонопоток, ваг/сут.	728	520
Количество вагонов в поезде, шт.	24	
Время оборота поезда, ч	4	
Количество поездов в сутки, шт.	31	22
Парк вагонов, шт.	96	72

На основе анализа сметы на реконструкцию установлено, что на модернизацию одного думпकारа модели 7ВС-60 требуется около 220 000 рублей. Таким образом, капитальные затраты на модернизацию всего парка составят 15 840 000 рублей.

При этом, за счет сокращения количества поездов, ожидается снижение эксплуатационных затрат на силовую энергию, затрат на экипировку локомотива, что позволяет повысить эффективность работы ЖДТ ОАО «ММК». В результате модернизации думпкаров и изменения графика движения поездов, высвобождается один локомотив, который можно задействовать на более занятых железнодорожных районах предприятия.

Таким образом, себестоимость перевозки 1 тонны шлака снизится с 4,25 руб./т до 3,84 руб./т. Экономический эффект от данных мероприятий составит 3 485 000 рублей. Срок окупаемости проекта составит 5 лет. Внедрение данных мероприятий на ОАО «ММК» позволит привести в соответствие состояние подвижного состава требованиям к перевозкам горячих шлаков, что повысит

безопасность движения, снизит загруженность перегонов и грузовых фронтов, что в конечном итоге снизит себестоимость продукции и повысит ее конкурентоспособность на внутреннем и международном рынке.

Список литературы:

1. ОАО «ММК», [Официальный сайт] – Режим доступа свободный – URL: [http://www.mmk.ru/] (дата обращения 08.08.2014).
2. Ежегодный отчет ОАО «ММК» за 2013 год, [Официальный сайт] – Режим доступа свободный – URL: [http://www.mmk.ru/for_investor/annual_reports/] (дата обращения 08.08.2014).
3. Е.П.Дудкин, А.П. Никодимов. Грузовой подвижной состав магистрального и промышленного транспорта. Учеб. пособие. СПб: 2005 – 80 с.
4. Организация перевозок и управление на транспорте. Технология. Ч. 1: Учеб. пособие / под ред. С.Н. Корнилова и А.Н. Рахмангулова. Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2010.

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЛАСТИНЧАТОМУ ТЕПЛООБМЕННИКУ

Силюянова Марина Владимировна

док. т. наук, профессор ГОУ ВПО «МАТИ» - Российский Государственный Технологический Университет К.Э. Циолковского

Попова Татьяна Валерьевна

аспирант ГОУ ВПО «МАТИ» - Российский Государственный Технологический Университет К.Э. Циолковского.

Данилов Максим Алексеевич

Инженер 2 категории ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

METHOD OF PARAMETRIC MODELING OF THE PLATE-TYPE HEAT EXCHANGER

Silyunova Marina, Doctor of Technical science, professor of MATI- Russian State University

Popova Tatiana, Postgraduate student of MATI- Russian State University

Danilov Maxim, Engineer of Central Institute of Aviation Motors

АННОТАЦИЯ

Описан и апробирован метод параметрического проектирования. Рассмотрена структура построения параметрической сборки пластинчатого теплообменного аппарата.

ABSTRACT

A method of parametric modeling was described and tested. The structure of constructing parametric assembly of the plate-type heat exchanger was considered.

Ключевые слова: параметрическое проектирование, пластинчатый теплообменный аппарат.

Keywords: parametric modeling, plate-type heat exchanger.

В настоящее время трудно представить проектные работы без использования компьютерных технологий. Это обусловлено усложнением конструкций авиационных двигателей и летательных аппаратов (ЛА). Основной задачей конструкторских бюро является сведение к минимуму ошибок, допущенных при проектировании сложных технических устройств. Использование систем автоматизированного проектирования позволяет существенно повысить качество проектирования и производительность труда сотрудников при создании новых технических устройств. Использование автоматизированных систем проектирования позволит решать сложные конструкторские задачи в соответствии с современными требованиями по срокам и стоимости. В авиационной отрасли особое внимание уделяется оптимизации конструкции по весовым и прочностным характеристикам, а также оптимизации внешней формы, от которых существенно зависят функциональные и экономические показатели ЛА [1]. Это в свою очередь требует проведения ряда исследований. Несмотря на то, что проблеме совершенствования методов проектирования на этапах разработки посвящено множество работ данная проблема все еще остается актуальной, поскольку в процессе проектирования существует необходимость в объединении множества различных факторов, их анализе и нахождении различных взаимосвязей.

Особо актуальна данная проблема для научно-технических исследовательских организаций и институтов, где при создании инновационных продуктов требуется рассматривать различные геометрические конфигурации одного и того же объекта. Поэтому для таких организаций использование стандартной методики проектирования при разработке инновационных продуктов и проведении расчетных исследований отнимает много времени.

Вторая проблема, которая возникает при разработке элементов двигателей и ЛА, заключается во взаимодействии конструктора и технолога. Изобретательская мысль не всегда успевает воплощаться в средства производства в связи, с чем возникает диссонанс в связке конструктор - технолог. Несогласованная работа конструктора и технолога является одной из причин увеличения срока изготовления деталей, узлов, а соответственно и двигателя в целом.

Сократить время на этапах разработки и доводки изделий, а так же на этапах проведения расчетных исследований становится возможным при применении метода параметрического проектирования.

Отличие обычного двухмерного черчения или трёхмерного моделирования состоит в том, что при использовании метода параметрического проектирования конструктор создаёт математическую модель объектов с параметрами, которые взаимно зависят друг от друга. При изменении одного из параметров происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке и т. п.

На создание параметрических моделей уходит несколько больше временных затрат, чем на обычную 3D-модель, однако потом появляется возможность проводить доводку детали или сборки быстрее в десятки раз. Непараметрическая модель создается быстрее, однако такие модели не обладают преимуществом оперативного изменения размеров.

Решение проблемы несогласованной работы конструктора и технолога исходит из сути параметрического моделирования. При построении моделей элементов конструкции методом параметрического проектирования возможно наложение дополнительных зависимостей, определяющих технологию изготовления детали. Таким образом, конструктор, разрабатывающий параметрическую деталь, тесно взаимодействует с технологом и, зная возможности производства, задает ограничивающие диапазоны зависимостей. Конструкторы, которые будут пользоваться разработанной параметрической деталью, смогут экономить время, и их работа будет контролироваться заданными ранее технологическими зависимостями и параметрами. Основным плюсом при этом, как было замечено ранее, является экономия времени на проектирование, возможность стандартизации, повышение качества и точности при проектировании и выполнении чертежей. Однако, целесообразно создавать параметрические модели тех деталей, которые будут в последствии использоваться многократно, поскольку для создания параметрической модели требуется несколько больше времени и это требует знания технологической базы производства.

Использование подобного метода проектирования создает научно-технологический задел и стимулирует развитие технологического оборудования. В перспективе актуальным будет изготовление деталей по трехмерным моделям, т.е. технологу для изготовления детали необходимо будет написать программу для станка с ЧПУ. Данную технологию используют и сейчас, но в отечественных конструкторских бюро она встречается редко. Применение такой технологии изготовления деталей повышает качество и точность выполняемой детали, а также снижает время изготовления и повышает безопасность производства. Подобную методику проектирования целесообразно применять при изготовлении деталей при помощи трехмерного принтера.

Существует несколько типов параметризации:

- табличная параметризация;
- иерархическая параметризация;
- вариационная (размерная) параметризация;
- геометрическая параметризация.

Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путём выбора из таблицы типоразмеров.

Иерархическая параметризация заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения». В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания. Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок её формирования, но и иерархию её элементов (отношения между элементами) [2].

Вариационная или размерная параметризация основана на построении эскизов (с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей) и наложении

пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами.

Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных. Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения. Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания [2].

Основываясь на данных типах параметризации, разработана параметрическая сборка теплообменной пластины со штампом. Методика параметрического проектирования данной сборки построена на создании дерева параметрических деталей. Данная сборка представляет собой геометрический тип параметризации. Родительской деталью является пластина. При изменении одного из параметров, пластина и зависимые элементы перестраиваются автоматически. Это предполагает создание базового файла, в котором отражены все размеры пластины и оснастки для ее изготовления. Таким образом, в одном файле созданы отдельные твердые тела (модели матрицы, пуансона, пластины и планок), геометрически зависимые между собой. Данные модели являются упрощенными (без сопряжений). Далее из базового файла создается файл параметрической сборки (ПС).

На рис.1 и рис.2 представлен файл ПС теплообменной пластины со штампом. Из файла ПС каждый элемент сборки (ЭС) экспортируется в отдельный файл. Это делается для создания чертежей на каждый ЭС и для расчета каждого из них.

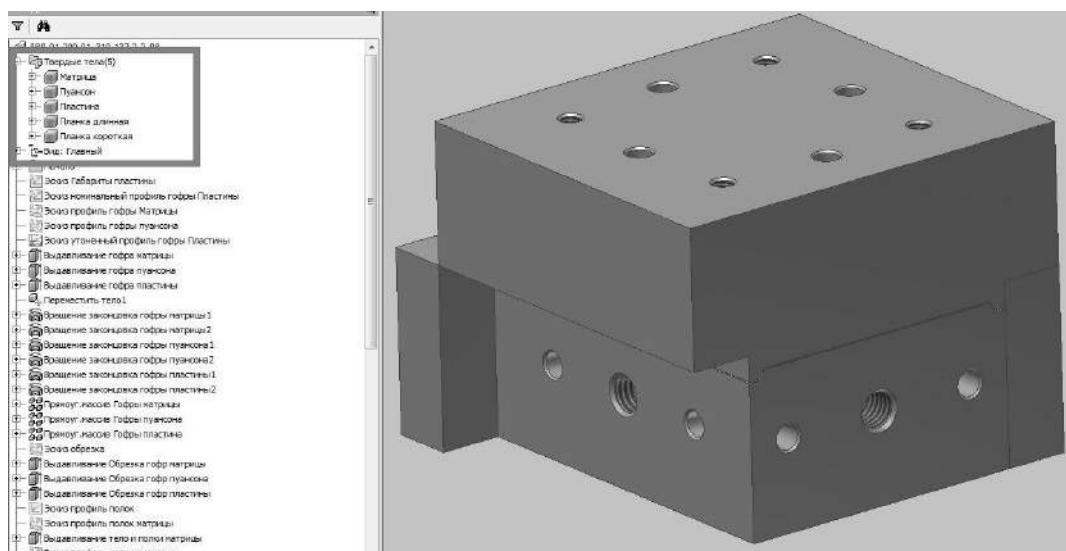


Рисунок 1. Параметрическая сборка оснастки пластины теплообменника

Необходимые операции доработки (сопряжения) проведены после экспортирования ЭС в отдельный файл. Каждый ЭС, как говорилось ранее, связан с базовым файлом и ПС, при изменении размеров в базовом файле, изменения перейдут и в файл ПС, и в файл ЭС, после обновления. При создании модели пластины учтены процессы, которые происходят при создании натурального объекта, так

в модели пластины учитывались места утонения материала при изготовлении. В результате полученная модель пластины, приближена к реальному виду. При расчете теплообменных процессов такая модель пластины даст более точные данные по исследуемым параметрам.

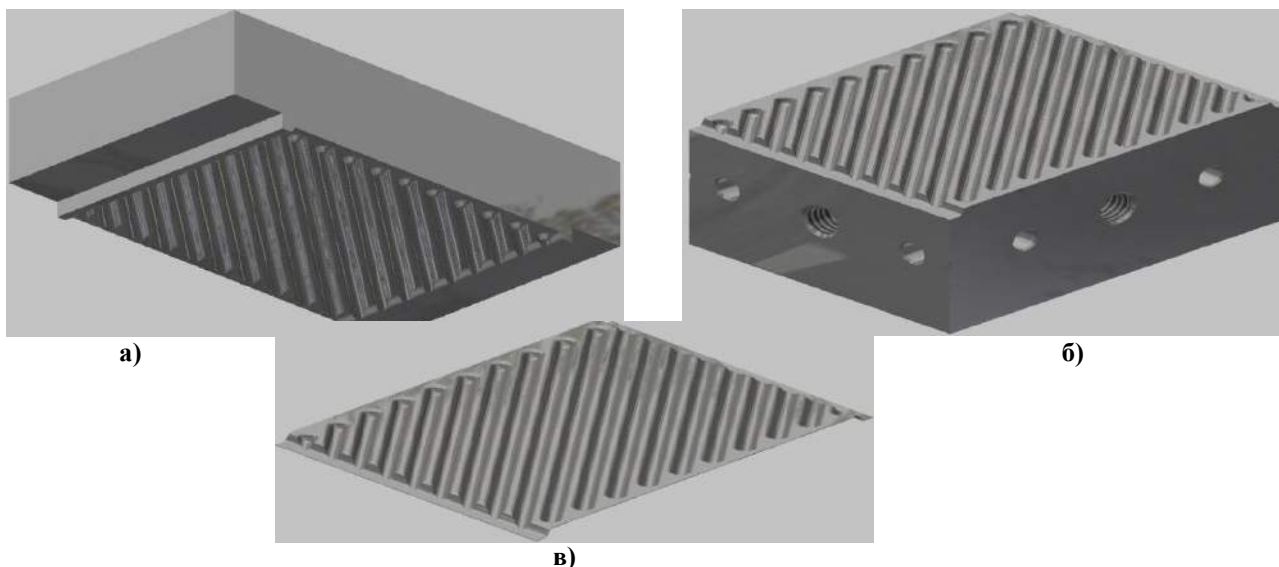


Рисунок 2. Параметрическая сборка: а) пуансон; б) пластина; в) матрица

Базовый файл связан с файлами заготовок оснастки и пластины, что позволяет в любой момент определить размеры, объем и вес заготовок, обновить файл конструкторской документации.

Выводы:

1. Апробирован метод параметрического проектирования на примере пластины теплообменного аппарата. Создана математическая модель пластины и оснастки для ее изготовления.

2. Снижено время проектирования пластины и штампа. Время создания 3D-модели пластины теплообменника и штампа сократилось с 16 - 24 нормо-часов до 3 – 5 минут по сравнению с обычной 3D-моделью.

3. Снижена стоимость проектирования пластины и штампа. Снижение стоимости обусловлено сокращением нормо-часов на проектирование.

4. Снижен риск ошибки при проектировании. Заложены диапазоны используемых параметров основываются на технологических возможностях производства. Взаимная зависимость расположения деталей и автоматическое перестроение смежных элементов исключают неточности при обновлении базового файла и ПС.

Список литературы:

1. Павленко А. П. Применение обобщенных решений для проектирования балочных элементов конструкций самолета и формирования функциональных сплайнов // [HTTP://TEKHNOFERA.COM/](http://TEKHNOFERA.COM/) — Открытый доступ. — Библиотека технических наук. [электронный ресурс] URL: [<http://tekhnosfera.com/primenenie-obobshchennyh-resheniy-dlya-proektirovaniya-balochnyh-elementov-konstruktsiy-samoleta-i-formirovaniya-funktsionnykh-splajnov>]

2. Параметрическое моделирование // [HTTP://RU.WIKIPEDIA.ORG/](http://RU.WIKIPEDIA.ORG/) - универсальная интернет-энциклопедия. [электронный ресурс] — Открытый доступ. — URL:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5]

УДК 621.43

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Сорокина Любовь Александровна

кандидат технических наук, доцент Балаковского института техники, технологии и управления (филиал) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

Разуваев Александр Валентинович

доктор технических наук, профессор Балаковского института техники, технологии и управления (филиал) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

Кельплер Мария Александровна

аспирант ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

RELIABILITY ANALYSIS OF LOW-ENERGY

Lyubov Sorokina, candidate of technical science, Associate Balakovsky Institute of engineering, technology and management (branch) «The Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin. »

Alexander Razuvaev, doctor of technical sciences, Professor Balakovsky Institute of engineering, technology and management (branch) «The Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin. »

Maria Kel'pler, aspirant in «The Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin. »

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается и предлагается алгоритм оценки надежности энергетической установки.

ABSTRACT

the article describes and offers reliability evaluation algorithm of power installation.

Ключевые слова: энергетической установки; условия эксплуатации; вероятность безотказной работы; живучесть шатуна.

Keywords: power installation; operating conditions; the probability of non-failure operation; the persistence of the connecting rod.

Промышленные потребители начали проявлять интерес к собственным автономным энергоисточникам, быстромонтируемым, мобильным, требующим относительно невысоких капитальных вложений. Широкое внедрение объектов малой энергетики в электроэнергетических системах изменяет их функциональные свойства. Вследствие небольших мощностей малые энергообъекты устанавливаются в распределительной сети в непосредственной близости от конкретных потребителей, формируя так называемую распределенную генерацию. Это разгружает как основную, так и распределительную электрические сети, что способствует повышению надежности и дает дополнительные возможности для реализации электроэнергетики. На сегодняшний момент в малой электроэнергетике преобладающими являются дизельные электростанции (ДЭС). Из всех малых электростанций России примерно 95% являются дизельными.

Обработку ДЭС по надежности целесообразно осуществлять с использованием методов статистических исследований, проведение которых только в лабораторных условиях при неизмеримо большом количестве сочетаний факторов, характеризующих условия эксплуатации, оказывается недостаточным. Поэтому важнейшее значение придается организации и совершенствованию методики эксплуатационных исследований. Надежность, в особенности безотказность ДЭС, зависит помимо других факторов от многих производственных факторов и тесно связана с однородностью качества изготовления изделия.

Система получения информации о надежности ДЭС в условиях эксплуатации должна обеспечивать достоверность оценки. Информация о надежности в сфере эксплуатации прежде всего должна содержать сведения об отказах, каждый из которых является следствием совокупности производственных (включая конструктивные) или эксплуатационных факторов.

Важнейшим этапом обработки информации по надежности является математико-статистический расчет ее показателей, основанный на вероятностных методах: вероятность безотказной работы, наработка до отказа, интенсивность и поток отказов по определенной детали, узлу, агрегату. Таким образом, расчет показателей надежности ДЭС, производится отдельно по деталям, узлам и агрегатам. В результате обработки эксплуатационной информации получают ведомости, необходимые для дальнейшего анализа результатов эксплуатации ДЭС в различных условиях, а также для оценки «представительности выборки» перед выполнением вероятностного расчета показателей надежности отдельных деталей, узлов и изделия в целом.

Рассмотрим «вероятность безотказной работы» ДЭС по кривошипно-шатунному механизму (КШМ) на примере шатуна. Механические свойства конструкционных сталей - материала шатунов имеют случайную природу, поэтому прогнозирование живучести шатунов должно носить вероятностный характер. Так как разрушение должно трактоваться как редкое событие, и, следовательно, теоретические выводы должны относиться к событиям малой вероятности, оценку и прогнозирование живучести шатунов целесообразно давать в вероятностном аспекте разрушения по критерию «вероятность безотказной работы» (ВБР).

Для расчета живучести шатунов [1] по критерию ВБР воспользуемся методами теории вероятностей и математической статистики, применив в качестве указанного показателя математическое ожидание (1) наработки до первого отказа (среднюю наработку шатунов до первого отказа), представив её графически (рис. 1)

$$t_{cp} = \frac{1}{N_0} (t_1 \cdot n_1 + t_2 \cdot n_2 + \dots + t_k \cdot n_k) = \sum_{i=1}^k \frac{t_i \cdot n_i}{N_0}, \quad (1)$$

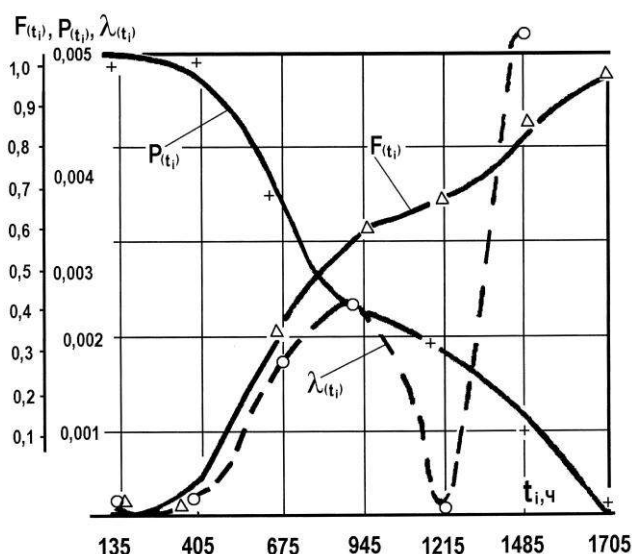


Рисунок 1 Взаимосвязь между вероятностью безотказной работы $P(t_i)$, отказом $F(t_i)$ и статистическим моделированием ресурсов шатуна

С учетом данных, представленных на рис. 1 ВБР шатунов $t_{cp}=5,41 \cdot 10^9$ циклов = 1082 часа.

Живучесть шатунов при их циклическом нагружении в механике разрушения определяются возникновением трещины и ее развитием, характеризуемым коэффициентом интенсивности напряжений (КИН). Так как аналитическое решение указанной задачи применительно к шатунам в литературе отсутствует, для оценки распространения трещины воспользуемся формулой Пэриса, описывающей в механике разрушения зависимость скорости роста трещины от КИН

$$\frac{dl}{dN} = C \cdot \Delta K^m \quad (2)$$

где C и m – величины, зависящие от параметров испытаний и свойств стали; N – число циклов до разрушения; ΔK – изменение интенсивности напряжений за цикл нагружения.

Интегрируя уравнение (2) и вводя допущения относительно значений ΔK , известные из механики разрушения,

$$N = \frac{l_c^{1-\frac{m}{2}} - l_0^{1-\frac{m}{2}}}{c(\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m \left(1 - \frac{m}{2}\right)} \quad (3)$$

где l_c – критическая длина трещины, замеренная непосредственно на шатуне; l_0 – начальная длина трещины; $\Delta\sigma$ – размах напряжений.

Взаимосвязь параметров m и C в (3) для высокопрочной стали можно получить методом прогрессивного анализа в виде уравнения

$$m = -0,49734 \lg C - 1,7314 \quad (4)$$

Рассчитанная в качестве примера по приведенной методике при $l_c=0,0055$ м, $m=2,2$, $C=68,5 \cdot 10^{-10}$, $\Delta\sigma=119$ МПа живучесть шатуна с усталостной трещиной составляет $5,94 \cdot 10^9$ циклов = 1190 часов.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы, живучесть шатуна по критерию «вероятность безотказной работы» ($t_{cp}=1082$ ч.) подтверждается оценкой живучести по критерию появления микротрещин ($N=1190$ ч.), что указывает на относительно низкую эксплуатационную

надежность конструкции и требует разработки дополнительных мер по увеличению ресурса высоконагруженной детали. Из-за отсутствия данных по эксплуатационным характеристикам материала шатунов достоверность оценки живучести по критериям «вероятность безотказной работы» и появления микротрещины нельзя считать достаточно высокой.

Однако, расчетным путем, довольно точно оценивается относительное изменение живучести шатуна. Заключение о живучести конструкции может быть сделано только по результатам статистических данных серии испытаний натуральных однотипных конструкций. Зная же с допустимой вероятностью отказа ресурс, представляется возможным прогнозировать живучесть проектируемых и эксплуатационных шатунов, планировать для них потребность в запасных деталях.

Данное обстоятельство весьма актуально для энергетических установок на базе поршневых двигателей внутреннего сгорания и связано это со спецификой работы его работы – постоянная частота вращений коленчатого вала, обеспечивающую постоянную частоту переменного тока вне зависимости от нагрузки [3,4].

Список литературы:

1. Косырев С.П. Циклическая долговечность шатунов форсированных дизелей. // Надежность и контроль качества, 1987г., №1. С. 37-39.
2. Сорокина Л.А. Остаточные напряжения - резерв прочности нагруженных деталей высокофорсированных дизелей /С.П. Косырев, Л.А. Сорокина, Р.М. Рафиков//Современные технологии в машиностроении -2003: сб. статей VI Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский Дом знаний, -2003.- С. 306-308.
3. Разуваев А.В. Поршневые двигатели внутреннего сгорания с высокотемпературным охлаждением/ А.В. Разуваев // Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, - 2001. -128 с.
4. Разуваев А.В. Совершенствование характеристик энергетических установок на базе двигателей ЧН 21/21 объектов малой энергетики / А.Н. Агафонов, А.В. Разуваев // Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т.- 2006.- 148 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГИПСОЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КОРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА

Руденко Борис Дмитриевич

канд. техн. наук, доцент, СибГТУ, г.Красноярск

CHANGE to TOUGHNESS GIPSOCEMENTNOGO KOMPOZITA ON BASE of the CORTEX DEPENDING ON COMPOSITION

Rudenko Boris Dmitrievich, kand. tehn. sciences, assistant professor, SibGTU, g.Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Экспериментальное изучение влияния состава композита из коры с использованием вяжущих веществ на их свойства, получение математической модели описания прочности получаемого материала. Методы физико-механических испытаний свойств образцов. Получение математической модели описания прочности методом планирования эксперимента.

Наибольшее значение прочности, для условий эксперимента, соответствует следующим показателям: кора от 10 % до 20 %; гипс от 40 % до 60 %; цемента от 10 до 40 %; воды требуется удвоенное количество от массы коры.

Гипсоцементный композиционный материала на основе коры древесины лиственницы получается с прочностью, сопоставимой с прочностью деревобетона.

ABSTRACT

The Experimental study of the influence of the composition kompozita from cortex with is-use astringent on their characteristic, reception to mathematical model of the description to toughness of the got material. The Methods physico-mechanical test characteristic sample. The Reception to mathematical model of the description to toughness by method of the planning the experiment.

The Most importance of toughness, for conditions of the experiment, corresponds to the following factor: cortex from 10 % before 20 %; the gypsum from 40 % before 60 %; the cement from 10 before 40 %; water is required duplicated amount from mass of the cortex.

Gipsocentyu composite of the material on base of the cortex wood larches is got with toughness, comparable woodconcretes with toughness.

Ключевые слова: кора; цемент; гипс; прочность; состав; компоненты; формирование; изменение.

The Keywords: cortex; cement; gypsum; toughness; composition; components; shaping; change.

Сложной проблемой использования отходов переработки древесины являются вопросы утилизации коры. Обуславливается это особенностями ее строения, где наблюдается разновариантность и связей и структурных звеньев [1, с.8], что, соответственно, приводит к значительным отличиям свойств от древесных частиц. Поэтому и формирование физико-механических показателей цементно-древесных материалов из коры будут иметь свои отличия.

Как известно, кора древесины лиственницы [2, с.52] содержит значительные количества водорастворимых экстрактивных веществ. Это обстоятельство накладывает дополнительные трудности совмещения коры и цемента.

Композиционный материал из коры при использовании цемента, имеет название королит, технология которого разработана ЦНИИМОДом. [3, с.103]. Свойства королита соответствуют характеристикам арболита класса до В 3,5 [3, с.105] при некотором перерасходе цемента (до 420 кг/м³). Следует признать, свойства подобных материалов нуждаются в некотором совершенствовании, впрочем, как и их технологические операции изготовления.

В качестве заполнителя в цементно-древесных материалах используются древесные частицы. Форма их разнообразна, поэтому и свойства получаемых композитов различны. Для изготовления арболитов используется дробленка, в производстве ЦСП требуется специально подготовленная стружка, определенным образом располо-

женная в пространстве; для деревобетонов можно применять стружку-отход от деревообработки. Исследование свойств ЦСП из лиственницы рассмотрено в [4, с.83], свойства гипсостружечных композиций представлены [5, с.6], в работе [6, с.90] исследованы вопросы формирования прочности для прямоугольной стружки и цемента, а влияние цементно-древесного отношения на прочность изложены в [7, с.337. 8,с.13].

Все это требует проведения эксперимента по изучению влияния состава композита из коры с использованием вяжущих веществ на их свойства, и особенно вопросы формирования прочности получаемого материала.

Для проведения эксперимента использовалась кора древесины лиственницы, высушенная до воздушно сухого состояния (12 %) и измельченная ударным способом до фракции, проходящей через отверстия сита 1,5 мм, насыпной плотностью 274 кг/м³.

В качестве вяжущего взят портландцемент марки 400 по ГОСТ 10178-85, гипс Г-5 ГОСТ125-79. Для определения физико-механических показателей формовались балочки, размером 4×4×16 см. Определение прочности на изгиб производилось по ГОСТ 310.4-81 после 28 суток твердения цементно-древесного материала в комнатных условиях, определялись также влажность, плотность и водопоглощение.

Для описания свойств композиционного материала используем план Шеффе [9, с.74]. Обработка эксперимента согласно [10, с.86]. Исходные компоненты выбраны в количествах, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Значение псевдокоординат

Наименование	Новые вершины компонентов, %		
	1 (Гипс)	2 (Цемент)	3 (Кора)
1 (Гипс)	80	10	10
2 (Цемент)	40	50	10
3 (Кора)	40	10	50

Так как для исследования взята не вся область существования факторов, а только та, внутри которой получаются приемлемые свойства получаемого композита. Поэтому и новые вершины области эксперимента имеют новые значения, значения псевдокоординат. Результаты эксперимента представлены на рисунках 1, 2, 3, 4.

Полученное уравнение влияния компонентов на прочность имеет вид:

$$Y = 2,01 \cdot A + 1,81 \cdot B + 0,61C + 0,01 \cdot A \cdot B - 0,79 \cdot A \cdot C - 1,99 \cdot B \cdot C \quad (1)$$

Y – прочность при изгибе, Мпа;

A – содержание гипса, м.ч;

B – содержание цемента, м.ч;

C – содержание коры, м.ч.

Статистические характеристики для полученной модели:

R-squared = 97,5105 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 85,0632 percent

Standard Error of Est. = 0,2263

Mean absolute error = 0,0675322

Durbin-Watson statistic = 1,4697 (P=0,2628)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,045455

В таблице 2 приведены значения статистических характеристик для изучаемых компонентов, которые входят в полученное уравнение.

Таблица 2

Статистические характеристики для изучаемых компонентов

Компоненты	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
А:Гипс	2,0197	0,225441		
В:Цемент	1,8197	0,225441		
С:Кора	0,619697	0,225441		
AB	0,00606248	1,03629	0,00585018	0,9963
AC	-0,793938	1,03629	-0,766135	0,5838
BC	-1,99394	1,03629	-1,92411	0,3051

На рисунке 1 – графике поверхности отклика хорошо видны минимум и максимум отклика и можно приблизительно оценить относительные доли компонентов гипсоцементного композита, при которых достигается наибольшая прочность.

Повышение прочности наблюдается для наибольших значений компонентов гипс и цемент варируемого диапазона.

Для точного определения этих долей рассмотрим рисунок 2.

На графике легко видеть, что значение прочности от 1 до 2 МПа лежит вблизи доли гипса и цемента, примерно в одинаковом соотношении наибольшая прочность соответствует наибольшему содержанию этих компонентов. Минимальные значения прочности наблюдаются для наибольшего содержания компонента коры треугольной диаграммы, что объясняется неоптимальными значениями исследуемых факторов для формирования структуры исследуемого конгломерата. Причиной этого снижения

прочности является физическая природа компонентов, т.е. кора в данном случае является пассивным наполнителем.

На рисунке 3 представлены влияние факторов на прочность получаемого композита в прямоугольной системе координат. Данное представление данных позволит рассмотреть влияние каждого из исследуемых компонентов на изучаемое свойство – прочность. Влияние гипса наибольшее, наблюдается небольшое повышение значений прочности для этого компонента и при его содержании равном середине интервала варьирования. Данная картина характерна для процессов формирования оптимальной структуры исследуемого композита с конгломератным типом.

Чтобы использовать эти результаты в дальнейшем, требуется оценить точность предсказаний значений прочности по построенной модели. Как видим на рисунке 4 используемые значения точно соответствуют полученной модели, а дополнительные экспериментальные точки имеют отклонения, соответствующие стандартному отклонению для исследуемого процесса (не более 5 %).

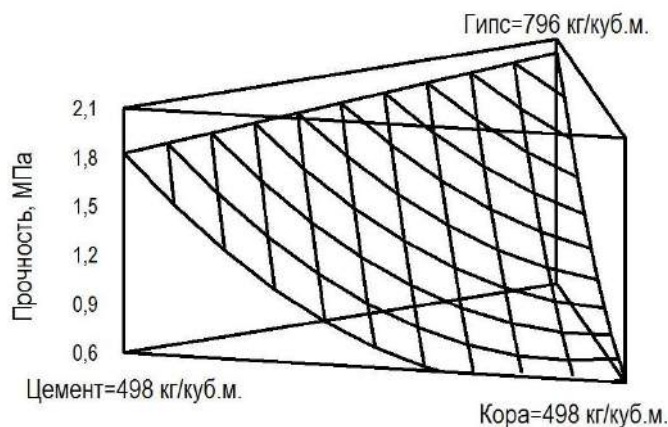


Рисунок 1 – Поверхность отклика

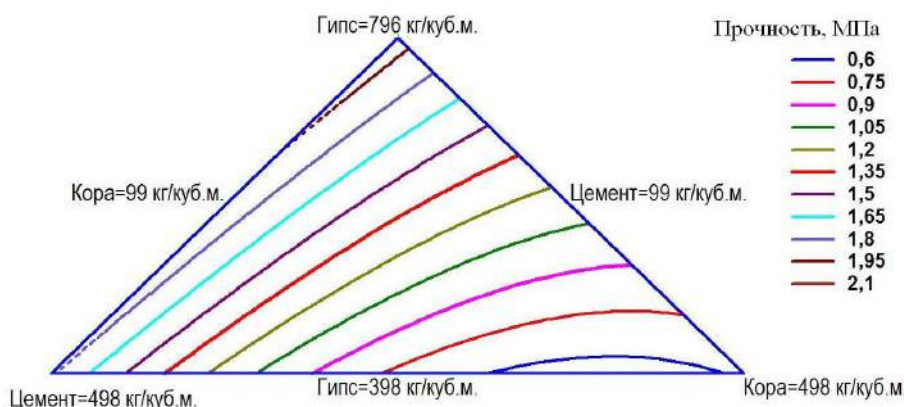


Рисунок 2- Контурная поверхность отклика

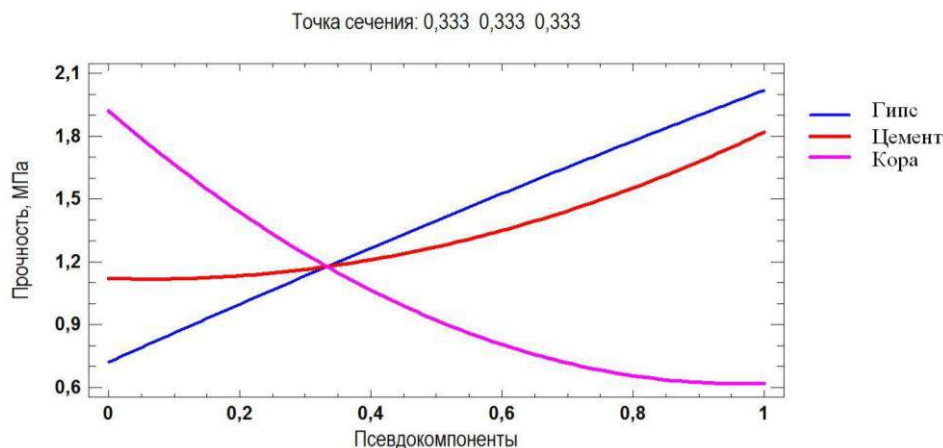


Рисунок 3 – Влияние содержания компонентов на прочность (Координаты точки сечения поверхностью: 0,333; 0,333; 0,333.)

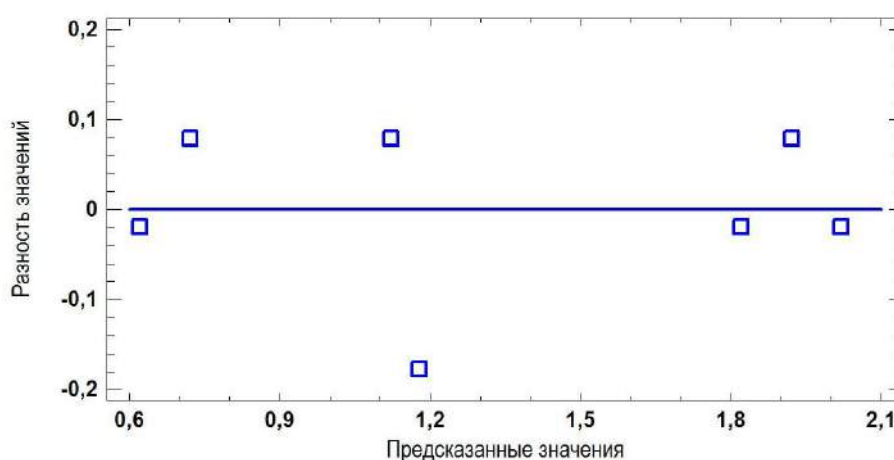


Рисунок 4 – Разность значений прочности предсказанных по модели и опытными данными

Известно, что для получения королита невозможно использовать портландцемент в чистом виде, требуются способы нейтрализации цементных ядов. Таким способом может быть использование гипса для окутывания частиц заполнителя с последующим использованием портландцемента по традиционной технологии. Так как окутывание частиц заполнителя гипсом требуется проводить в технологическом процессе, не требуется использование замедлителей схватывания гипса. Это свойство гипса, быстрое схватывание, в данном случае является полезным и позволяет встроить данную операцию в существующий технологический процесс без изменения общего технологического регламента.

В целом исследования показали, что при изготовлении гипсоцементно композита при соотношении «вода:вяжущее», равном 0,3 или менее того, прочностной потенциал гипса в отличие от более высокого водогипсового соотношения используется не полностью. В этом случае вяжущее, как правило, превращается не в однородную поликристаллическую матрицу, а в дигидрат. Значительно более высоких прочностных показателей гипсовой матрицы, большей ее однородности и площади контактирования с поверхностью стружки достигаются при водогипсовом соотношении, равном 0,4 и 0,5.

Снижение прочностных показателей при соотношении «вода:вяжущее», равном или менее 0,3 объясняется не столько количеством образующегося при отверждении

дигидрата, сколько несостоявшимся растворением кристаллических конструкций с последующим их новым образованием из раствора.

Наибольшие показатели прочности гипсоцементного композита, изготовленного при рассматриваемых технологических параметрах, могут быть достигнуты при использовании гидратной воды в количестве в два, три раза превышающем необходимое для отверждения гипса. В этом случае перед гидратацией капиллярное пространство в вяжущем более чем на половину заполняется капельножидкой водой, в результате чего образуются суспензии с максимальным содержанием сухоого остатка. При водогипсовом соотношении, превышающем 0,5, избыточная вода в процессе отверждения гипса включается в структуру, что приводит к ее ослаблению, а следовательно, и к снижению прочности плит.

В результате проведенных исследований выявлено, использование гипса, как заменителя части цемента позволяет получать композицию с приемлемыми прочностными и водостойкими свойствами. В этом случае не приходится использовать методы и средства борьбы с цементными ядами.

Следует отметить, что использование только цемента с корой не позволяет достичь нужных показателей по физико-механическим свойствам, прочность получается на 60 % меньшая, а показатели водопоглощения на 50 % больше по сравнению с показателями гипсоцементного композита.

Результаты эксперимента показали, что:

1 Наибольшее значение прочности, для условий эксперимента, соответствует следующим показателям: кора от 10 % до 20 %; гипс от 40 % до 60 %; цемента от 10 до 40 %; воды требуется удвоенное количество от массы коры.

2 Диапазон отклонения количественных значений компонентов от оптимального составляет до 10 % (± 5 %). Если сравнивать с точностью дозирования соответствующих устройств в производстве асболита, то там точность колеблется от от < 2 % для воды, гипса, цемента и до < 3 % для древесных частиц, если они дозируются по массе.

3 Гипсоцементный композиционный материала на основе коры древесины лиственницы получается с прочностью, сопоставимой с прочностью деревобетонов.

4 Использование гипса является эффективным способом для нейтрализации вредного действия на цемент «цементных ядов».

5 Формирование свойств получаемого материала соответствует закономерностям формирования свойств материалов с конгломератным типом структуры [11, с.166].

6 Целью дальнейших исследований может быть исследование водостойкости полученных смесей.

Работа выполнена в рамках госзадания по НИР1.9/2 СибГТУ 2014 г.

Список литературы:

- Веретенник Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве. - М.: Лесная промышленность, 1976. – 120 с.
- Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения.-М.: Лесная промышленность, 1986. – 368 с.
- Корогаев Э.И Производство строительных материалов из древесных отходов.- М.: Лесная промышленность. – 168 с.
- Руденко Б. Д. Исследование процесса и разработка технологии цементно-стружечных плит из древесины лиственницы: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05: защищена 17.10.80. – Красноярск, 1980. – 143 с.
- Руденко Б.Д., Ковальчук Т.А. Исследование влияния соотношения компонентов гипсостружечных плит на их прочность. Деревообрабатывающая промышленность. – 2009. - №1. - С. 26-27.
- Руденко, Б.Д. Свойства древесно-цементной композиции при использовании прямоугольной стружки. Лесной журнал. – 2009. - №1. - с 90 – 94.
- Руденко, Б.Д. Влияние цементно-древесного отношения на прочность цементно-древесных композитов. Хвойные бореальные зоны. – 2008. - №3-4. – С.337-339.
- Влияние соотношения древесной стружки на свойства древесностружечных плит на цементном связующем / Yan Jian-min, Yu You-ming, Bao Bin-fu, Qian Jun, Ye Liang-ming, Ma Ling-fei // Zhejiang linye keji = J. Zhejiang Forest. Sci. and Technol. - 2005. - 25, № 5. - С. 13-16.
- Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства: учебное пособие. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1982. – 192 с.
- Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. – СПб: Питер, 1997. – 240 с.
- Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты). – М.: Высш. Школа, 1978. – 309 с.

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

Щукина Татьяна Васильевна

канд. т. наук, доцент Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Шепс Роман Александрович

аспирант, Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

THE IMPACT OF PERMEABILITY ON THE TEMPERATURE OF BUILDING STRUCTURES WITH ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

Schukina Tatyana, Candidate of Science, associate professor of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Sheps Roman, Graduate student of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

АННОТАЦИЯ

Доказывается необходимость регулярного проведения обследований наружных ограждений с целью выявления дефектов и дальнейшего их устранения для осуществления энергоэффективной эксплуатации зданий. Оценено влияние воздухопроницаемости на температурный режим многослойных строительных конструкций, приводящее к снижению теплозащитных показателей.

ABSTRACT

The author proves the necessity of regular surveys of external walls with the purpose of revealing of defects and their resolve to implement energy-efficient buildings. The effect of permeability on the temperature layered building structures, leading to a reduction in heat indicators.

Ключевые слова: энергоэффективность, воздухопроницаение, ограждающие конструкции.

Key words: energy efficiency, the air passage, the building envelope.

Энергоэффективность систем обеспечения микроклимата помещений в первую очередь зависит от состояния наружных строительных ограждений. При относительно хорошем виде облицовочных материалов длительная эксплуатация может вызвать структурное изменение строительных конструкций, особенно если они имеют теплоизоляционный слой. Происходящие образование трещин и усадка утеплителей приводят к негативному уменьшению сопротивления теплопередачи. В этих случаях для оперативного выявления необоснованных утечек

теплоты следует проводить энергоаудиторские обследования с использованием тепловизора. Внешний вид и функциональные возможности данных приборов аналогичны цифровым фотокамерам, а создаваемые изображения, называемые «термограммами», показывают температуру поверхности ограждающих конструкций и позволяют точно определить участки тепловых потерь (смотри рис. 1).

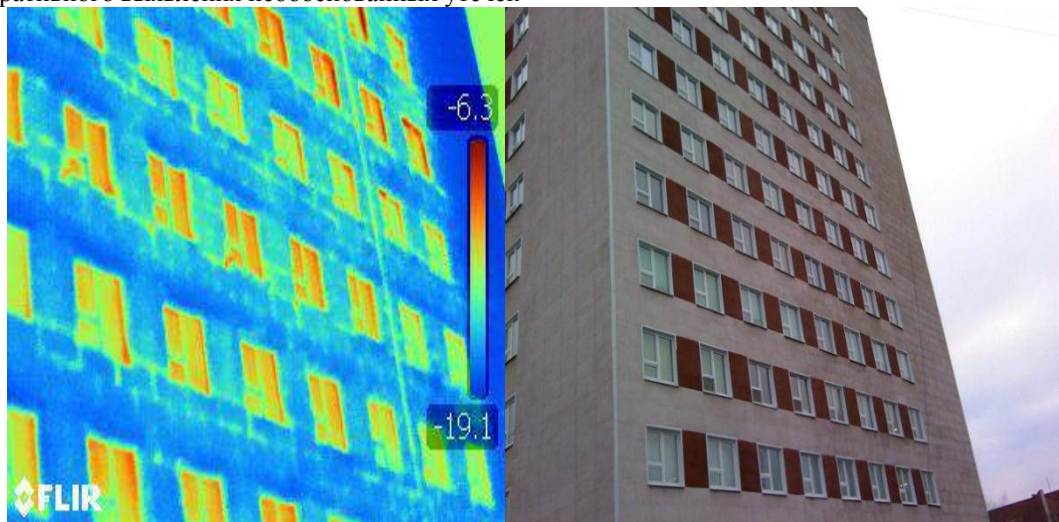


Рисунок 1 Термограмма и фотография, фасада здания БУЗ ВО ВГКБСМП №1 г. Воронеж.

Стоимость такого обследования зависит от общей площади ограждающих конструкций и отапливаемой площади здания. Минимальные затраты на подобные услуги составляют от пятнадцати тысяч рублей. Но несмотря на немалые денежные расходы на проведение энергообследования, его результаты, на основании которых разрабатываются и реализуются мероприятия по устранению дефектов, позволяют экономить до 65-70% затрат на отопление, создавать комфортные условия в помещениях, в случае их отсутствия, а также продлевать срок службы строительных конструкций [1].

Несомненно, длительная эксплуатация негативно влияет на теплозащитные свойства ограждений, но даже на уровне теплотехнического расчета при проектировании

объектов недооценено влияние воздухопроницаемости строительных материалов на микроклимат помещений, кроме светопрозрачных ограждений.

Учтем явление воздухопроницаемости на примере возникаемого температурного поля в вентилируемых фасадах, т.к. они все чаще используются по причине высокой технологичности монтажных работ и эстетическому внешнему виду. В этом случае при незначительном допущении можно принять что ограждение выполнено двухслойным, несущая конструкция которого имеет утеплитель толщиной δ_1 в соответствии со схемой (смотри рис. 2).

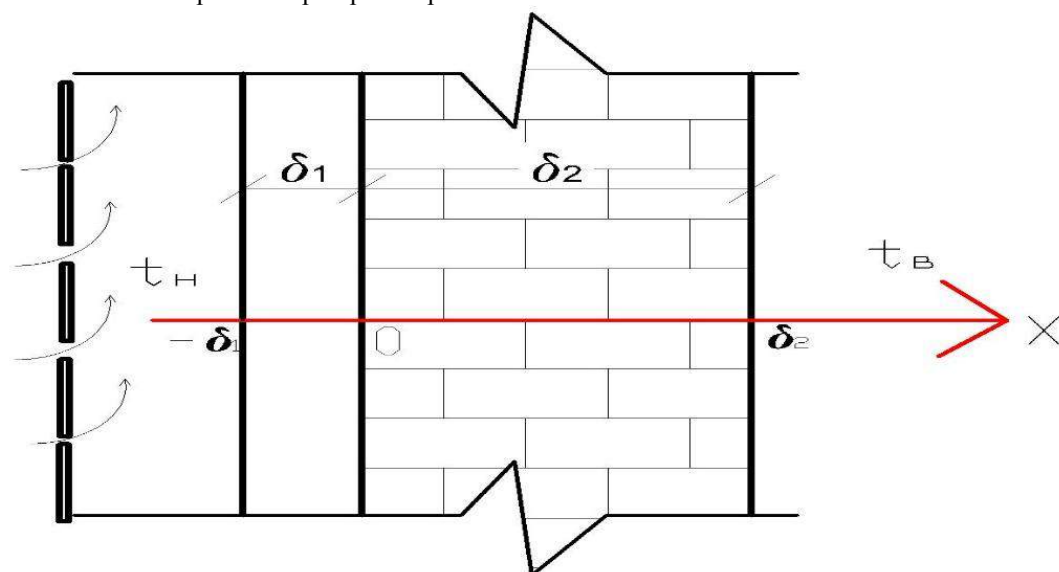


Рисунок 2. Схема наружного двухслойного ограждения: x – координата, м.; δ_1 и δ_2 – толщина тепловой изоляции и несущего слоя.

В этом случае уравнение стационарной теплопроводности для каждого слоя в соответствии с [2] и с учетом инфильтрации воздуха примет вид:

$$\lambda_1 \frac{d^2 t_1}{dx^2} - Gc \frac{dt_1}{dx} = 0 \quad (1)$$

для второго слоя

$$\lambda_2 \frac{d^2 t_2}{dx^2} - Gc \frac{dt_2}{dx} = 0 \quad (2)$$

Где G - количество воздуха проходящего через ограждение, кг/(м²·с); c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1005 Дж/(кг·°С).

Граничные условия:

при $x=0$, $t_1=t_2$;

$$\text{при } x=0, -\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} = -\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x};$$

при $x=-\delta_1$, $t_1=t_{\text{вн}}$;

при $x=\delta_2$, $t_1=t_{\text{вн}}$;

Решением этого уравнения будет система:

$$\begin{cases} t_1 = \frac{Gc}{e^{\lambda_1 x}} \cdot \frac{\lambda_1}{Gc} + c_2 \\ t_2 = \frac{Gc}{e^{\lambda_2 x}} \cdot \frac{\lambda_2}{Gc} + c_4 \end{cases} \quad (3)$$

Тогда выражение для постоянных примет вид:

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{Gc} \cdot \frac{Gc \delta_2 - e^{\lambda_1 (-\delta_1)}}{e^{\lambda_2 \delta_2} - e^{\lambda_1 (-\delta_1)}}; \quad (4)$$

$$c_2 = t_{\text{вн}} - \frac{Gc \delta_2}{e^{\lambda_1 (-\delta_1)}} \cdot Gc; \quad (5)$$

$$c_3 = \frac{\lambda_2}{Gc} \cdot \frac{Gc \delta_2 - e^{\lambda_1 (-\delta_1)}}{e^{\lambda_2 \delta_2} - e^{\lambda_1 (-\delta_1)}}; \quad (6)$$

$$c_4 = t_{\text{вн}} - \frac{Gc \delta_2}{e^{\lambda_2 \delta_2}} \cdot \frac{\lambda_2}{Gc}. \quad (7)$$

Для наглядного результата решим данную задачу: регион строительства – г. Воронеж, утеплитель минеральная вата $\delta_1=0,1$ м., $\lambda_1=0,07$ Вт/(м·°С); несущий слой – силикатный кирпич $\delta_2=0,38$ м., $\lambda_2=0,76$ Вт/(м·°С).

Результаты расчетов приведены на рисунке 3.

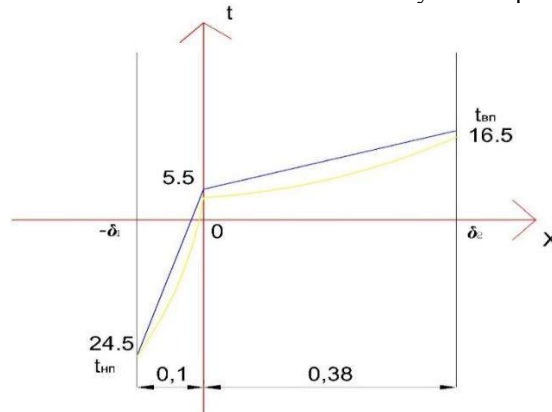


Рисунок 3. Распределение температуры по оси ограждающей конструкции.

Изменение температуры для указанных расчетных условий (рисунок 3) показывает влияние воздухопроницаемости на тепловой режим ограждения при отсутствии дефектов в строительных материалах это влияние незначительно. Но при старении материалов оно может быть усилено за счет образования участков с повышенной воздухопроницаемостью, которую необходимо учитывать при длительной эксплуатации здания.

Список литературы:

1. Л.В. Кузнецова К вопросу о комплексной защите строительных конструкций. /Научно-технический журнал Вестник МГСУ, 2011 №7 – с. 181-186.

2. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
3. "Тепловая защита зданий" СНиП 23-02-2003. Государственный комитете РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОСТРОЙ России). Москва 2004, с. 33.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ФИБРОЙ

Емельянова Инга Анатольевна

доктор техн. наук, проф. Харьковского национального университета строительства и архитектуры

Блажко Владимир Владимирович

канд. техн. наук, доцент Харьковского национального университета строительства и архитектуры

Шевченко Виктория Юрьевна

аспирант Харьковского национального университета строительства и архитектуры

DETERMINATION OF THE BASIC PARAMETERS OF THE PROCESS SETS OF EQUIPMENT FOR PREPARATION AND TRANSPORTATION OF CONCRETE WITH POLYPROPYLENE FIBERS

Emelyanov A. Inga, Dr. Sci. Sciences, prof. Kharkiv National University of Construction and aritektury

Blazhko Vladimir Vladimirovich, PhD. tehn. sciences, associate professor of Kharkov National University of Construction and aritektury

Shevchenko Viktoiya Y. graduate student of Kharkiv National University of Construction and aritektury

АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ работы предлагаемого комплекта малогабаритного оборудования для приготовления и транспортирования фибробетонной смеси с позиций совмещения отдельных операций рабочего процесса. Предложены зависимости для определения основных показателей работы эффективного технологического комплекта оборудования для условий строительной площадки.

ABSSTRACT

The analysis of the proposed sets of small size equipment for the preparation and transportation of fiber-reinforced concrete mixture from the standpoint of combining separate operations working protsesssa. Suggested according to the definition of key performance indicators of effective technological equipment set for the conditions of the construction site.

Ключевые слова: малогабаритный комплект оборудования, производительность, мощность.

Keywords: compact set of equipment, performance, capacity.

Рассматривается процесс приготовления фибробетонной смеси при использовании малогабаритного комплекта оборудования (рис. 1), включающего в себя ленточный питатель 1, который обеспечивает подачу и дозирование исходных компонентов смеси; бункер 2, загружаемый щебнем, песком и цементом, и оснащённый вороши-

телем для поддержания сухих компонентов смеси во взвешенном состоянии; автомат-резчик полипропиленовой фибры 3, обеспечивающий нарезание волокна и его порционную подачу непосредственно в трёхвальный бетоносмеситель 4, растворобетононасос с тарельчатыми клапанами 5, предназначенный для транспортирования готовой фибробетонной смеси [1].

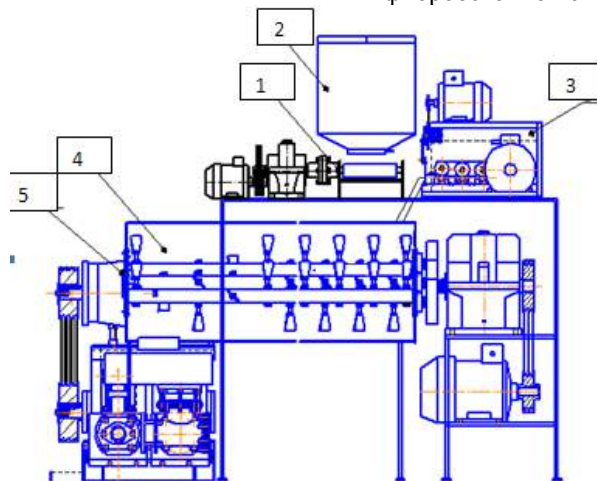


Рис. 1. Технологический комплект оборудования для приготовления и транспортирования бетонной смеси с использованием полипропиленовой фибры.

1 - ленточный питатель; 2- бункер с ворошителем; 3 - автомат-резчик полипропиленовой фибры;

4- трёхвальный бетоносмеситель; 5 - растворобетононасос с тарельчатыми клапанами.

Учитывая, что базовой машиной исследуемого технологического комплекта является трёхвальный бетоносмеситель, анализ его работы начинается со смесителя.

Производительность технологического комплекта оборудования для приготовления и транспортирования бетонной смеси с полипропиленовой фиброй находится исходя из технической производительности базовой машины - трёхвального бетоносмесителя или двухпоршневого растворобетононасоса с тарельчатыми клапанами. Производительность входящего в комплект автомата -резчика полипропиленовой фибры определяется исходя из объёмного содержания фибровых элементов в приготавливаемой смеси, а производительность ленточного питателя - исходя из компонентов, входящих в состав сухой бетонной смеси, поступающей в первую зону смесителя.

Производительность трёхвального бетоносмесителя по объёму, как было определено ранее [3], находится согласно зависимости:

$$P_{\text{мех}} = 3600 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot b \cdot n \cdot z_{\text{л}} \cdot \sin \alpha \cdot \kappa_3^{\text{сп}} \cdot \kappa_6^{\text{II}}; \text{ м}^3/\text{ч}$$

где: D – диаметр вала по торцу лопасти, м;

d – диаметр среднего вала, м;

b – ширина лопасти, м;

$z_{\text{л}}$ – количество лопастей среднего вала;

α – угол установки лопастей, град;

$\kappa_3^{\text{сп}}$ – коэффициент загрузки смесителя относительно среднего вала, $\kappa_3^{\text{сп}} = 0,75$;

κ_6^{II}

– коэффициента возврата бетонной смеси второй зоны.

Для приготовления бетонных смесей с полипропиленовой фиброй предлагается в вышеуказанную зависимость ввести коэффициент объёмного армирования полипропиленовыми волокнами γ_{max} .

С учетом этого коэффициента, объём смеси, который можно приготовить в трёхвальном смесителе следует определять, пользуясь зависимостью:

$$V_{\text{фбс}} = \frac{3600 \cdot \pi (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n}{4} \cdot (1 + \gamma_{max}), \text{ м}^3 \quad (1)$$

где: γ_{max} - коэффициент объёмного армирования полипропиленовыми волокнами (максимально допустимый), значение данного коэффициента находится по формуле:

$$\gamma_{max} = \frac{\pi \cdot d_f^2}{4 \cdot h \cdot l_f} \quad (2)$$

где: d_f^2 - диаметр фибровых элементов, м;

h - высота рабочего пространства машины, в котором осуществляется приготовление фибробетонной смеси, м; ($h = 0,8 B$, где B - габаритный размер смесителя по его высоте, м);

l_f - длина нарезаемых фибровых элементов автоматом - резчиком, м.

В данном случае, коэффициент объёмного армирования, согласно зависимости (1), показывает максимально допустимое доленое количество фибровых элементов, которое нужно ввести в 1 м³ бетонной смеси для получения максимального прироста прочности полученного фибробетона.

Исходя из вышеизложенного, зависимость для определения производительности трёхвального бетоносмесителя при работе на фибробетонных смесях имеет вид:

$$P_{\text{техн фбс}} = \frac{3600 \cdot \pi (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{ср}} \cdot K_B^{\parallel}}{4} \cdot \left(1 + \frac{\pi \cdot d_f^2}{4 \cdot h \cdot l_f}\right), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3)$$

Для определения производительности бетоносмесителя при работе на фибробетонных смесях, выраженную в т/ч, вводится параметр $\rho_{\text{фбс}}$ (средняя плотность бетонной смеси с полипропиленовой фиброй). Тогда зависимость (3) в окончательном варианте приобретает вид:

$$P_{\text{техн фбс}} = 282,6 (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{ср}} \cdot K_B^{\parallel} \cdot \left(1 + \frac{0,78 \cdot d_f^2}{h \cdot l_f}\right), \text{ т/ч} \quad (4)$$

Производительность исследуемого технологического комплекта оборудования также может быть оценена по производительности растворобетононасоса.

Известна зависимость для определения производительности двухпоршневого растворобетононасоса исходя из пропускной способности клапанов машины [4]:

$$P_{\text{техн фбс}} = \frac{0,4 \Delta p}{\mu_{\text{фбс}} \cdot L_{\text{ТП}}} \cdot \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right\}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (5)$$

где: Δp - разность давлений на концах трубопровода, по которому транспортируется бетонная смесь, Мпа;

$\mu_{\text{фбс}}$ - динамическая вязкость фибробетонной смеси;

$L_{\text{ТП}}$ - длина трубопровода, по которому транспортируется фибробетонная смесь м;

R_1 - радиус основания клапана растворобетононасоса, м;

R_2 - радиус седла клапана растворобетононасоса, м.

Так как производительность трёхвального бетоносмесителя и двухпоршневого растворобетононасоса равны между собой, справедливым будет равенство:

$$\frac{0,4 \Delta p}{\mu_{\text{фбс}} \cdot L_{\text{ТП}}} \cdot \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right\} = 282,6 (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{ср}} \cdot K_B^{\parallel} \cdot \left(1 + \frac{0,78 \cdot d_f^2}{h \cdot l_f}\right) \quad (6)$$

Из равенства (2.6) определяется длина трубопровода, по которому транспортируется фибробетонная смесь, поступающая из двухпоршневого растворобетононасоса:

$$L_{\text{ТП}} = \frac{0,4 \Delta p \cdot \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right\}}{282,6 (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{ср}} \cdot K_B^{\parallel} \cdot \left(1 + \frac{0,78 \cdot d_f^2}{h \cdot l_f}\right) \cdot \mu_{\text{фбс}}}, \text{ м} \quad (7)$$

$$L_{\text{ТП}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \Delta p \cdot \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right\}}{(D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_n \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{ср}} \cdot K_B^{\parallel} \cdot \left(1 + \frac{0,78 \cdot d_f^2}{h \cdot l_f}\right) \cdot \mu_{\text{фбс}}}, \text{ м} \quad (8)$$

Согласно рис 1 компоненты сухой бетонной смеси (цемент, песок и щебень) в бетоносмеситель подаются ленточным питателем.

Компоненты смеси попадают на ленту питателя при открытом шибере из бункера питателя, где установлен горизонтальный вал со штырями, обеспечивающий их предварительное перемешивание (Рис. 2).

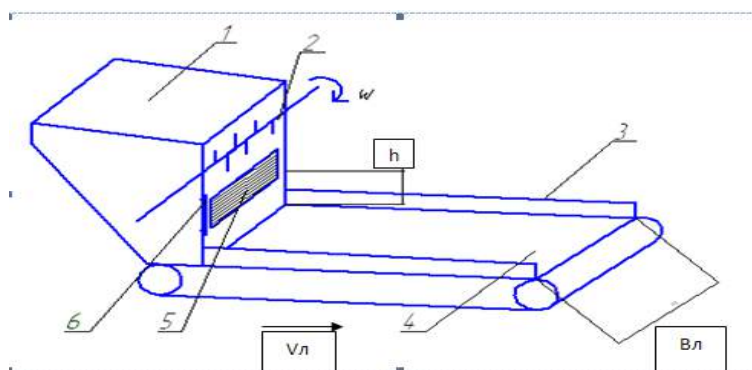


Рис.2 – Схема ленточного питателя.

1 – загрузочный бункер сухих компонентов бетонной смеси; 2 – ворошитель; 3- борта ленточного питателя; 4 – лента питателя; 5 – подвижный шибер; 6 – направляющие вертикального перемещения шибера.

Техническая производительность ленточного питателя определяется согласно зависимости [2].

$$P_{\text{техн пит}} = 3600 \cdot B \cdot h \cdot (0,9 \cdot B_{\text{л}} - 0,05)^2 \cdot V_{\text{л}} \cdot \rho_0, \text{ т/ч}$$

где: B – ширина выходного отверстия бункера питателя, м;

h – высота поднятия шибера, м;

$B_{\text{л}}$ – ширина ленты питателя, м;

$V_{\text{л}}$ – скорость ленты питателя, м/с;

ρ_0 – средняя плотность сухой бетонной смеси без фибры.

Зная зависимость для определения технической производительности ленточного питателя и трёхвального бетоносмесителя при работе оборудования на сухих бетонных смесях, можно определить высоту поднятия шибера в загрузочном бункере при выдаче составляющих на ленту питателя.

$$3600 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_{\text{л}} \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{CP}} \cdot K_5^{\text{л}} = 3600 \cdot B \cdot h \cdot (0,9 \cdot B_{\text{л}} - 0,05)^2 \cdot V_{\text{л}} \cdot \rho_0 \quad (9)$$

Из зависимости (2.9) высота поднятия шибера определяется как::

$$h = \frac{3600 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_{\text{л}} \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{CP}} \cdot K_5^{\text{л}}}{3600 \cdot B \cdot (0,9 \cdot B_{\text{л}} - 0,05)^2 \cdot V_{\text{л}} \cdot \rho_0} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot b \cdot Z_{\text{л}} \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot K_3^{\text{CP}} \cdot K_5^{\text{л}}}{B \cdot (0,9 \cdot B_{\text{л}} - 0,05)^2 \cdot V_{\text{л}} \cdot \rho_0}, \text{ м} \quad (10)$$

Одним из основных параметров работы технологического комплекта оборудования для приготовления и транспортирования бетонной смеси с полипропиленовой фиброй являются мощностные затраты на его работу.

Мощностные затраты на работу технологического комплекта оборудования состоят из суммы мощностных затрат отдельных видов оборудования, входящих в состав данного комплекта: автомата-резчика полипропиленовой фибры, трёхвального бетоносмесителя, двухпоршневого растворобетонасоса, ленточного питателя. Таким образом, зависимость для определения мощности технологического комплекта оборудования имеет вид:

$$N_{\text{ТКО}} = N_{\text{авт.-р}} + N_{\text{бет-см}} + N_{\text{рбн}} + N_{\text{пит}}, \text{ кВт} \quad (11)$$

где: $N_{\text{ТКО}}$ – суммарные мощностные затраты на работу технологического комплекта оборудования, кВт;

$N_{\text{авт.-р}}$ – мощностные затраты автоматом-резчиком полипропиленовой фибры, кВт;

$N_{\text{бет-см}}$ – мощностные затраты трёхвальным бетоносмесителем, кВт;

$N_{\text{рбн}}$ – мощностные затраты на работу двухпоршневого растворобетонасоса, кВт;

$N_{\text{пит}}$ – мощностные затраты ленточного питателя, кВт.

Принципиальная схема подачи и нарезания полипропиленовой нити представлена на рис.2.3. Необходимое количество бабин 1 устанавливается на соответствующие оси, нити с которых, собранные в жгут, подаются по направляющему желобу 3 с ограничительными скобами к парам резиновых роликов 4, 4', 4''. В каждой паре ролики вращаются навстречу друг другу и, при этом захватывают сходящий с бабин жгут, собранный из полипропиленовых нитей, благодаря силам трения. Далее жгут, состоящий из отдельных фибровых элементов, перемещается по лотку 9 соответствующей радиусности и попадает в зону действия ножа 7, возвратно-поступательное движение которого обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом, состоящим из диска 5, закреплённого на валу двигателя, и шатуна 6. Скорости продольного перемещения жгута $V_{\text{пж}}$ и возвратно-поступательного движения ножа $V_{\text{вж}}$ согласовываются таким образом, что фибровые элементы, отрезаемые ножом, имеют заданную длину l_f , соответствующую предъявленным требованиям.

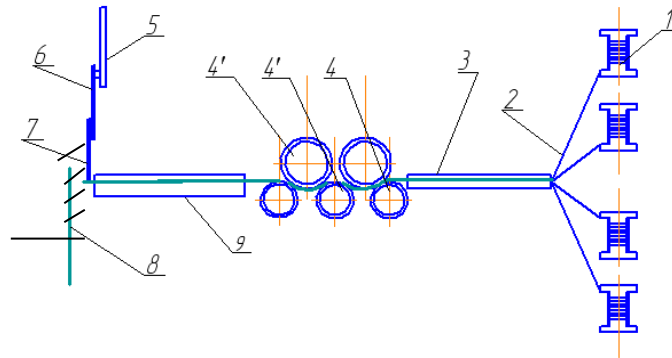


Рис. 3. - Принципиальная схема подачи и нарезания полипропиленовой фибры.

1- бабины с полипропиленовыми нитями; 2 - полипропиленовая нить; 3 - направляющий желоб со скобами; 4, 4', 4'' – резиновые ролики; 5 – диск, закреплённый на двигателе; 6 - шатун; 7 –нож; 8- защитный экран; 9- направляющий лоток.

При работе резчика полипропиленовой фибры мощность затрачивается на процесс подачи фибровых нитей тянущими роликами N_{11} и процесс резания протянутых нитей N_{12} , следовательно общие затраты мощности на работу автомата-резчика определяются согласно следующей зависимости:

$$N_{авт.-р} = N_{11} + N_{12}, \text{ кВт}; \quad (12)$$

$$N_{11} = \frac{F_T \cdot v_B \cdot Z_1 \cdot Z_2}{\eta_1} \quad (13)$$

где: F_T - тяговое усилие механизма подачи полипропиленовой нити; $F_T = Z_2 \cdot T$;

Z_1 – количество нитей в жгуте, протягиваемом роликами. Максимально допустимое количество нитей в жгуте определяется таким образом: объём жгута, состоящий из нитей определенного диаметра, которые протягиваются роликами, должен быть равен половине объёма лотка, по которому жгут направляется к ножу, т.е. $Z_1 = \frac{D_{л}^3}{2d_f^3}$, где $D_{л}$ – диаметр лотка, по которому перемещается жгут, d_f - диаметр одной полипропиленовой нити.

Z_2 – количество точек контакта нитей с поверхностями роликов (для пары цилиндрических роликов ($Z_2 = 3$)).

T – сила, которая расходуется на преодоление трения, возникающего в точке контакта ролика с полипропиленовой нитью, Н;

$$T = F_H \cdot f_{тр}, \text{ Н} \quad (14)$$

F_H – сила нормального давления поверхности ролика на жгут, Н;

$$F_H = \sigma_H \frac{\pi \cdot D_{ж}^2}{4} = 1,27 \cdot \sigma_H \cdot D_{ж}^2$$

где: σ_H – контактное напряжение, МПа;

$f_{тр}$ – коэффициент трения скольжения между контактирующими поверхностями тянущих роликов с полипропиленовыми нитями;

η_1 – КПД, учитывающий затраты мощности приводной частью механизма подачи с учетом потери мощности на преодоление сил трения, возникающих между роликами и нитями в жгуте.

Мощность привода механизма резания полипропиленовых нитей определяется как:

$$N_{12} = \frac{\pi \cdot d_f^2 \cdot Z_2 \cdot r_{ш} \cdot \tau_{ср} \cdot \omega_H \cdot k_{ц} \cdot \sin \alpha}{4 \eta_2}, \text{ кВт} \quad (15)$$

где: d_f – диаметр полипропиленовой нити, м;

$r_{ш}$ – радиус окружности, описываемый шатуном, на котором крепится ножевая пластина, м;

$\tau_{ср}$ – предел прочности полипропиленовой нити на срез ($\tau_{ср} = 0,75 \sigma_H$) МПа;

ω_H – угловая скорость кривошипа, связанного с ножом, c^{-1} ;

$k_{ц}$ – коэффициент цикличности;

η_2 - коэффициент полезного действия ножевой части автомата – резчика;

α – угол, под которым осуществляется резание жгута полипропиленовых нитей.

Таким образом, зависимость для нахождения мощностей затрат на работу автомата-резчика выглядит так:

$$N_{авт.-р} = \frac{F_T \cdot v_B \cdot Z_1 \cdot Z_2}{\eta_1} + \pi \cdot d_f^2 \cdot Z_2 \cdot r_{ш} \cdot \tau_{ср} \cdot \omega_H \cdot k_{ц}, \text{ кВт} \quad (16)$$

Определение затрат мощности на процесс приготовления бетонной смеси с полипропиленовой фиброй в трёхвальном бетономесителе следует производить с определённой корректировкой, а именно:

$$N_{\text{бтн-см}}^{\cdot} = N_{\text{бтн-см}}^{\cdot} \cdot K_1, \text{ кВт} \quad (17)$$

где: K_1 – коэффициент, учитывающий дополнительные мощностные затраты на процесс перемешивания традиционных компонентов смеси с вводимыми в неё полипропиленовыми фибровыми волокнами при непосредственном нарезании их автоматом – резчиком.

$$K_1 = \frac{m_{\text{бс}} + m_{\text{фв}}}{m_{\text{бс}}} \quad (18)$$

где: $m_{\text{бс}}$ – масса бетонной смеси, кг;

$m_{\text{фв}}$ – масса введенных фибровых волокон, кг.

Для определения затрат мощности на процесс транспортирования бетонных смесей с полипропиленовой фиброй при помощи двухпоршневого растворобетоннасоса, оснащенного тарельчатыми клапанами, можно воспользоваться зависимостью [4] с скорректированными данными:

$$N_{\text{прб}} = \frac{\text{Re} \cdot \sin \alpha}{1000 \cdot \eta_{\text{рбн}}} \left(\frac{\rho_{\text{обс}} \cdot \tau_{\text{см}}^2 \cdot R_{\text{мп}}^2}{32 \mu_{\text{фбс}}^2} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{\text{см}}} \right)^4 + \frac{8 \mu \cdot \dot{L}_{\text{мп}} \cdot Q_c}{\pi \cdot R_{\text{мп}}^4} + \frac{8 L_{\text{мп}} \cdot \tau_0}{3 \cdot R_{\text{мп}}} \right) \cdot S_{\text{сеч}} \cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{\text{вак}}}{\rho_{\text{обс}} \cdot g} \right)} \quad (19)$$

где: $\tau_{\text{см}}$, τ_0 – соответственно напряжение сдвига, предельное напряжение сдвига слоя фибробетонной смеси относительно стенки трубопровода;

H – высота столба смеси над всасывающим тарельчатым клапаном насоса, м;

$W_{\text{вак}}$ – разряжение, создаваемое поршнем насоса, МПа;

$\mu_{\text{фбс}}$ – динамическая вязкость фибробетонной смеси.

Мощностные затраты, исходя из конструктивных особенностей данной питателя, состоят из суммы мощности, затрачиваемой на работу горизонтального вала, установленного в бункере питателя N_{21} , и мощности, затрачиваемой на транспортирование компонентов бетонной смеси N_{22} .

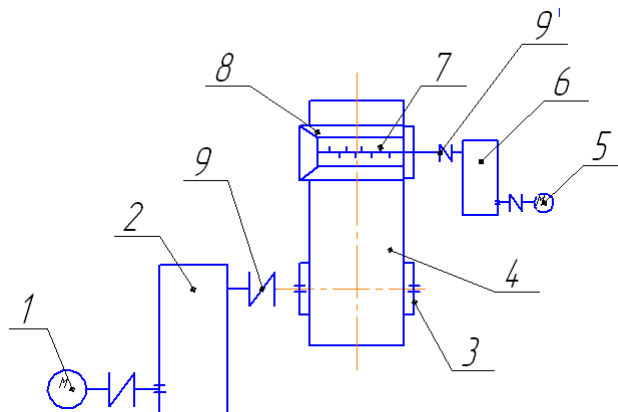


Рис. 4. – Кинематическая схема ленточного питателя с загрузочным бункером и ворошителем.

- 1 – электродвигатель привода ленточного питателя; 2 – редуктор приводной части ленты;
- 3 – приводной барабан питателя; 4 – лента питателя; 5 – электродвигатель привода вала ворошителя;
- 6 – редуктор привода вала ворошителя; 7 – горизонтальный вал ворошителя со штырями;
- 8 – загрузочный бункер; 9, 9' – соединительные муфты.

Таким образом, зависимость для нахождения суммарной затрачиваемой мощности при работе питателя имеет вид:

$$N_{\text{пит}} = N_{21} + N_{22}, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$N_{21} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \omega \cdot \varepsilon}{\eta_1}$$

где: $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент на валу ворошителя, установленного в бункере питателя, Нм;

ω – угловая скорость вращения вала со штырями, с^{-1} ;

ε – общий коэффициент сопротивления сухой бетонной смеси;

η_1 – кпд привода, обеспечивающего вращение горизонтального вала, установленного в бункере питателя.

$$N_{22} = \frac{W \cdot V}{\eta_2}$$

где: W – тяговое усилие в ленте питателя, Н;

V – скорость ленты питателя, м/с;

η_2 – кпд привода, обеспечивающего вращение приводного барабана;

$$N_{\text{пит}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \omega \cdot \varepsilon}{\eta_1} + \frac{W \cdot V}{\eta_2}, \text{ кВт} \quad (21)$$

Таким образом, суммарная мощность, необходимая для работы технологического комплекта оборудования на бетонных смесях с полипропиленовыми фибровыми

включениями, может быть найдена согласно зависимости (9) с учетом конкретных условий работы отдельных видов оборудования и машин, входящих в предлагаемый технологический комплект оборудования при совмещении отдельных операций во времени.

Литература:

1. Емельянова И.А. Бетоносмесители, работающие в каскадном режиме./ И.А. Емельянова, А.И.Анищенко, С.М.Евель, В.В. Блажко, О.В. Доброходова, Н.А. Меленцов// Харьков Тим Паблиш Групп, 2012
2. Емельянова И.А. Определение условий масштабного перехода от опытных образцов машин к созданию промышленных/ И.А. Емельянова, А.И.Анищенко, В.Ю. Шевченко // Современный

научный вестник, серия физика, строительство и архитектура. Вып. №, 2014, с. – 68-77;

3. Емельянова И.А. К построению модели процесса приготовления фибробетонных смесей при использовании технологического комплекта малогабаритного оборудования/ И.А. Емельянова, В.Ю. Шевченко// Науковий вісник будівництва. Вип.70- Харків: ХНУБА, 2013 – с. 586-587;
4. Емельянова И.А, Блажко В.В., Непорожнев А.С., Шевченко В.Ю. «Новые технологические комплекты оборудования для работы в условиях строительной площадки на фибробетонных смесях», Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Вып.13-Брянск: БГТИ, 2011.-с.155-157.

УДК 666.9.01:53-022.532

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ НАНОБЕТОН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Смоликов Андрей Андреевич,

Канд. техн. наук, доцент Белгородского Государственного Университета,

Павленко Вячеслав Иванович,

Докт. техн. наук, профессор Белгородского Государственного Технологического Университета им. В. Г. Шухова,

Шапвалов Николай Афанасьевич,

Докт. техн. наук, профессор Белгородского Государственного Технологического Университета им. В. Г. Шухова,

Тарасова Ольга Валерьевна.

Аспирантка Белгородского Государственного Технологического Университета им. В. Г. Шухова

RADIO-PROTECTIVE NANO-CONCRETE OF NEW GENERATION

Smolikov Andrey, Candidate of Science, associate professor of Belgorod State University, Belgorod

Pavlenko Viyacheslav, Doctor of Science, professor of Shukhov's Belgorod State Technological University, Belgorod

Shapovalov Nikolai, Doctor of Science, professor of Shukhov's Belgorod State Technological University, Belgorod

Tarasova Olga, Post graduate student of Shukhov's Belgorod State Technological University, Belgorod

АННОТАЦИЯ

Цель: получить новый радиационно-защитный бетон с более высокими, чем у аналогов, эксплуатационными свойствами по менее сложной технологии. Метод: взамен бариевого цемента использован портландцемент, а взамен лизардита – хризотил. Результат: Создан радиационно-защитный нано-армированный бетон нового поколения, который по основным технико-экономическим показателям превосходит ранее выпускавшийся аналог. Вывод: Новый нано-армированный бетон рекомендуется для неограниченного применения на объектах ядерно-энергетического комплекса.

ABSTRACT

Objective: To obtain a new radiation-shielding concrete higher than analogs performance properties for a less complex technology. Method: instead of barium cement is used Portland cement, and instead lizardite – chrysotile. Result: Created radiation-protective nano-reinforced concrete of the new generation, which by the main technical and economic indicators exceeds the previously manufactured analog. Conclusion: The new nano-reinforced concrete is recommended for unrestricted use at the facilities of the nuclear industry.

Ключевые слова: биологическая защита ядерных реакторов большой мощности; нанобетон; свойства.

Key words: biological protector of quick reactors; nano-concrete; properties.

1. Введение

При работе ядерных энергетических установок (ЯЭУ) большой мощности выделяется очень большое количество биологически опасных для обслуживающего персонала и окружающей среды ионизирующих частиц и излучений, от которых требуется защита. Неотъемлемой частью любой ядерно-энергетической установки является биологическая защита реактора. Основное назначение биологической защиты реактора – замедление быстрых нейтронов и поглощение замедлившихся и медленных нейтронов, а также поглощение всех видов γ -излучения

как в активной зоне реактора, его технологическом оборудовании, так и в самой защите для обеспечения безопасных условий работы обслуживающего персонала и исследователей, занятых экспериментами на установке [2]. Высокоэффективные материалы биологической защиты ядерных реакторов должны обладать хорошими технологическими и защитными свойствами (содержать водородсодержащие вещества и тяжёлые элементы) и иметь низкую стоимость. Все эти материалы должны быть применены в защите в виде равномерной смеси. Бетон представ-

ляет собой именно такую равномерную смесь из элементов с различными массовыми числами. Бетон нашёл широкое применение в качестве материала биологической защиты ядерных реакторов [1] благодаря хорошим защитным и технологическим свойствам, и малой стоимости.

По условиям эксплуатации АЭС и ЯЭУ в качестве бетона биологической защиты реакторов в настоящее время используют преимущественно особо тяжёлые бетоны различного состава с высокой поглощающей способностью гамма- и нейтронного излучения широкого спектра энергий при длительной эксплуатации при температурах до 300 °С. Поглощающая способность излучений различного вида и энергий у различных бетонов различна, поэтому создание высокоэффективной биологической защиты возможно только при применении соответствующих высокоэффективных поглотителей ионизирующих излучений.

Для эффективного ослабления потоков нейтронов высоких энергий, а также γ -излучения, в состав защиты должны входить материалы с высокой плотностью (большим атомным номером). В качестве дешёвого тяжёлого элемента в защите чаще всего применяют железо (сталь), которое обладает не только высокими защитными свойствами по отношению к γ -излучению, но и по отношению к быстрым нейтронам, поскольку оно имеет большое сечение неупругого рассеяния быстрых нейтронов. После замедления быстрых нейтронов до тепловых энергий они с большой вероятностью поглощаются как ядрами водорода, так и ядрами средних и тяжёлых элементов. Наиболее эффективным замедлителем тепловых нейтронов является водород. Водородсодержащим компонентом в бетоне является вода, химически связанная затвердевшим цементом или входящая в состав заполнителей бетона.

В настоящее время во всём мире в биологической защите реакторной зоны ядерных энергоблоков АЭС с реакторами большой мощности применяется особо тяжёлый железо-барий-серпентинитовый цементный бетон (далее ЖБСЦ бетон), обладающий необходимыми защитными свойствами. Серпентинит – широко распространённая горная порода – обеспечивает при высоких температурах необходимую концентрацию воды в бетонной защите. Этот материал высокотемпературной биологической защиты, благодаря которому тяжёлый железо-серпентинитовый бетон сохраняет работоспособность при высоких температурах, описан во многих работах [4 и др.]. В серпентинитовом бетоне вода сохраняется неограниченно долго при температурах до 450 °С без специального охлаждения.

Технические характеристики применявшегося ЖБСЦ бетона

Для заполнения блоков плитного настила реакторов РБМК в соответствии с ТУ 95-1257-84 из смеси барий-серпентинитового цемента и железного порошка изготавливался ЖБСЦ бетон. Объёмная масса свежееуложенного бетона – $4100 \pm 0,1 \text{ кг/м}^3$. Плотность ЖБСЦ бетона после сушки при температуре $100 \div 120 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет $3800 \pm 100 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии бетона в возрасте 28 суток ~ 20 МПа. Рабочая температура – до 300 °С. При этой температуре в бетоне сохраняется не менее 1 масс. % структурной воды, которая обеспечивает высокие защитные свойства бетона в течение – не менее 30 лет по отношению к тепловым нейтронам.

2. Новый бетон для биологической защиты

В конце 1990-х гг. производство бариевого цемента в нашей стране было прекращено. Вновь организовать производство ЖБСЦ смесей оказалось невозможно, вследствие чего оказался невозможным выпуск ЖБСЦ бетона не только для строительства новых энергоблоков или модернизация существующих, но и для их ремонта. Потребовалось создание новых (альтернативных) бетонов, по эксплуатационным качествам не уступающих ЖБСЦ бетону. В соответствии с техническим заданием ФГУП НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала материал должен производиться только из российского недефицитного, следовательно, недорого сырья и чтобы технология изготовления бетонных блоков различных размеров и формы допускала их производство на существующих заводах бетонных и железобетонных изделий и в условиях РСУ АЭС.

Цель работы – получение нового радиационно-защитного бетона с более высокими, чем у ЖБСЦ бетона, эксплуатационными свойствами и менее сложной технологией.

Метод разработки нового состава. После тщательного анализа состава прототипа – ЖБСЦ бетона, на предмет использования его компонентов по технологическому и функциональному назначению, нами на той же основе железо-серпентинитовых композиций разработан новый состав безусадочного, радиационно-защитного особо тяжёлого железо-магнетито-серпентинитового цементного бетона (далее ЖМСЦ бетон), в котором вместо lizardita (серпентинитового минерала пластинчатой структуры) использован другой минерал – хризотил (волокнистый серпентин), элементарные нановолокна которого имеют диаметр ~ 30 нм, а вместо бариевого цемента использован портландцемент, утяжеленный железорудным концентратом.

На основании выполненных исследований в Белгородском государственном технологическом университете (БГТУ) им. В.Г. Шухова по техническому заданию научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники (ФГУП НИКИЭТ) им. Н. А. Доллежала в полном соответствии с существующими требованиями [5, 6] и нормами [7 и др.] по радиационной безопасности разработана и утверждена ФГУП НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала технология и вся необходимая нормативно-технологическая документация на изготовление бетона из ЖМСЦ смеси и изделий из него.

Технические характеристики нового ЖМСЦ бетона:

В лабораторных условиях получены образцы $^{28}R_{сж}$ до 100 МПа и $^{28}R_{изг}$ до 10 МПа. В производственных условиях из-за недостаточно качественной гомогенизации смеси в промышленных бетоносмесителях прочность бетона на сжатие меньше на 30–50 %, но это значительно выше, чем у имеющихся аналогов [8].

Бетоны, полученные из ЖМСЦ смеси, имеют следующие основные характеристики:

- температура эксплуатации — до 300 °С;
- Объёмная масса свежееуложенного бетона составляет $4300 \pm 100 \text{ кг/м}^3$.
- плотность высушенного при 110 °С бетона — $4000 \pm 100 \text{ кг/м}^3$;
- Прочность при сжатии после 28 сут. твердения ($^{28}R_{сж}$) – $45 \div 60 \text{ МПа}$

- Прочность при изгибе после 28 сут. твердения ($^{28}_{\text{сут.}} R_{\text{изг}}$) – $7 \div 10$ МПа,

- количество химически связанной воды при $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $1 \div 2$ масс. %;

- в процессах подготовительных работ, изготовления бетона и при эксплуатации изделий выделений вредных веществ не происходит;

Исследования защитных свойств ЖБСЦ бетона, используемого для изготовления блоков биологической защиты, и разработанного альтернативного ЖМСЦ бетона показали [9, 10], что величины длин релаксаций для функционалов нейтронного и γ -излучений составляют:

• для ЖБСЦ бетона, см:	• для ЖМСЦ бетона, см:
λ_{γ} (доза) = 9,2	λ_{γ} (доза) = 8,6–8,9
λ_n (б. н.) = 10,8	λ_n (б. н.) = 8,8...9,4
λ_n (доза) = 13,0	λ_n (доза) = 10,0...11,5

Из полученных данных видно, что защитные свойства ЖМСЦ бетона по отношению к γ -излучению лучше, чем у ЖБСЦ бетона, а по отношению к нейтронному излучению заметно превосходят ЖБСЦ бетон, что связано с более высоким содержанием связанной воды в ЖМСЦ бетоне, чем в ЖБСЦ. Длина релаксации быстрых нейтронов и мощности дозы нейтронов в ЖМСЦ бетоне на 10–20 % меньше, чем в ЖБСЦ. Поэтому при замене блоков биологической защиты на настиле плиты реактора РБМК из ЖБСЦ бетона на блоки из ЖМСЦ бетона мощность дозы нейтронов снижается в 1,5–2 раза, т. е. приводит к улучшению радиационной обстановки над реактором.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ЖМСЦ бетона, определённая в соответствии с [3], равна 19,5 – намного меньше предельно допустимого значения (370 Бк/кг).

3. Заключение

Замена лизардита на хризотил упростила технологию подготовки компонентов, ощутимо экономит энергоресурсы и увеличивает прочностные показатели нового бетона.

Организовано промышленное производство эффективного радиационно-защитного ЖМСЦ нанобетона нового поколения с улучшенными эксплуатационными свойствами, который применяется на АЭС России взамен ЖБСЦ бетона. Изготовление смесей для особо тяжёлых радиационно-защитных бетонов и изделий из них может быть организовано в условиях производства любого завода железобетонных изделий или на промышленных полигонах ремонтно-строительных участков с использованием стандартного оборудования. У серийных изделий заводского изготовления из нового ЖМСЦ нанобетона нового поколения предел прочности на сжатие в 2–3 раза больше, чем у изделий из ЖБСЦ бетона.

Энергоемкость, а, следовательно, и себестоимость, ЖМСЦ бетона за счёт использования местного недефицитного сырья и более простой технологии изготовления бетонной смеси ощутимо ниже, чем ЖБСЦ бетона, что весьма существенно для промышленного применения.

Эксплуатационные испытания полностью подтвердили высокие защитные свойства ЖМСЦ нанобетона нового поколения, полученные ранее расчётным путём [12]. Полученные экспериментальные и расчётные данные

можно применять при конструировании радиационной защиты реакторов различного назначения с рабочей температурой до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Вывод:

Новый радиационно-защитный ЖМСЦ наноармированный бетон нового поколения рекомендуется для неограниченного применения на объектах ядерно-энергетического комплекса, потому что по технико-экономическим характеристикам превосходит наиболее качественный на сегодняшний день ЖБСЦ бетон, применяемый в биологической защите реакторов РБМК АЭС, в частности, является более эффективным защитным материалом биологической защиты как по отношению к потокам нейтронов, так и к потокам γ -квантов при температурах до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в атмосфере пароводяной смеси [11], имеет более низкую себестоимость и не представляет никакой радиационной опасности по своей естественной удельной эффективной радиоактивности.

Список литературы:

1. Бетон в защите ядерных установок : Изд. 2. – М: Атомиздат, 1973. – 319 с.
2. Бронштейн И.Э. Радиационная безопасность персонала атомных электростанций. — Л.: Атомиздат, 1988. – 77 с.
3. ГОСТ 30108-94 – Межгосударственный стандарт. Бетоны и изделия строительные. "Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов".
4. Защита от излучений атомно-энергетических установок. – М.: Атомиздат, 1990. – 352 с.
5. Инженерный расчёт защиты атомных электростанций. – М.: Атомиздат, 1976. – 296 с.
6. Кремлёвская Е. А. Атомные электростанции с "быстрыми" реакторами. – М.: ВИНТИ, 1993. – 129 с.
7. "Нормы радиационной безопасности" НРБ-99.
8. Смоликов А. А. Новый радиационно-защитный материал для биологической защиты в ядерно-энергетическом комплексе. // Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения. / Десятые академические чтения РААСН. – Пенза: изд. Казанского ГАСУ, 2006. – С. 363-365.
9. Смоликов А. А. Радиационнозащитные свойства бетона для атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах. // Известия ВУЗов. Строительство. 2009. № 5. С. 37-41.
10. Смоликов А. А., Павленко В. И., Кириак И. И. Свойства особо тяжёлого высокопрочного нанобетона // Физико-химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур (ФММН 2011) : Материалы 5 Международной конференции (12–14 окт. 2011 г. – Харьков, Украина: ХНУ им. В. В. Каразина). Том 1. – С. 261-262.
11. Смоликов А.А., Павленко В.И., Кириак И. И., Колесников Д.А. Новый бетон для биологической защиты ядерных реакторов РБМК // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 2. – С. 55-58.
12. Smolnikov A., Pavlenko V., Shapovalov N., Kuprieva O., Solokha A. Super heavy nano reinforcing concrete for quick neutron reactors // International Journal of research in mechanical engineering and technology (Chandigarh, India). – 2013. – V. 3. – Issue 2. – P. 28-30.

ВЛИЯНИЕ ВЫХАЖИВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И ЕЕ СТАБИЛЬНОСТЬ ПРИ МАЯТНИКОВОМ ШЛИФОВАНИИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН КРУГАМИ АЭРОБОР

Солер Яков Иосифович

канд. техн. наук, доцент Иркутского Государственного Технического Университета

Шустов Андрей Иванович

аспирант Иркутского Государственного Технического Университета

INFLUENCE OF NURSING ON QUALITY OF A SURFACE AND ITS STABILITY AT PENDULAR GRINDING OF HIGH SPEED PLATS WITH AEROBOR WHEELS

Soler Yakov Iosiphovich, Candidate of Science, associate professor of Irkutsk State Technical University

Shustov Andrey Ivanovich, postgraduate student of Irkutsk State Technical University

АННОТАЦИЯ

Установлена целесообразность привлечения статистических методов для изучения процесса шлифования, который носит стохастический характер. Это позволило при равенстве мер положения оптимизировать число выхаживающих проходов по мерам рассеяния. Показана эффективность непараметрического метода статистики в условиях нарушений гомоскедастичности и нормальности распределений. Получены медианные коэффициенты по уточнению ожидаемых средних, предсказанных параметрическими моделями процесса. Даны рекомендации по выбору числа выхаживающих проходов с учетом приоритетов оптимизируемых параметров качества поверхности инструментов.

ABSTRACT

Grinding is a stochastic process, therefore feasibility of using statistical methods is found in the article. Thanks to it the number of nursing motions is optimized for deviation measures with equal position measures. Efficiency of non-parametric statistical method is shown under conditions of failure of homoscedasticity and normality. Median coefficients obtained for verifying the expected average of parametric process models. Guidelines for choosing the number of nursing motions given to the priorities of selected optimized parameters of surface quality of tools.

Ключевые слова: шлифование; статистика; шероховатость; микротвердость; меры положения; прецизионность
Keywords: grinding; statistics; roughness; microhardness; position measure; precision

Введение. Сборный режущий инструмент должен иметь сравнительно низкую стоимость при сохранении гарантированной высокой стойкости. Сказанное, в частности, обеспечивается качеством изготовления быстрорежущих пластин (БП), завершающей операцией которого служит шлифование. Абразивный инструмент является наиболее слабым звеном в технологической системе шлифования, поэтому к нему предъявляются высокие требования. Применение кругов из электрокорунда при шлифовании и заточке БП приводит к нежелательному нагреву их поверхностного слоя до высоких температур и распаду мартенсита с образованием участков пониженной твердости (прижогов). Высокое содержание твердых карбидов в химическом составе быстрорежущих сталей усиливает затупление зерен и дает дополнительное повышение температуры в зоне шлифования [2, с.125]. Применение высокопористых кругов (ВПК) с зёрнами из кубического нитрида бора (КНБ) решает эти проблемы. Твердость зёрен КНБ выше в 3-4 раза. Они обладают повышенной химической и термической стойкостью [4, с.14]. Увеличение размеров и количества пор по сравнению с кругами стандартных структур (номера 6-8) способствует увеличению попадания смазочно-охлаждающей жидкости в зону шлифования и размещению в межзёрненном пространстве большего объема снимаемой стружки, это повышает режущую способность круга, обеспечивает снижение или полное отсутствие структурных изменений в поверхностном слое шлифованного металла. Они позволяют увеличить производительность процесса шлифования за счет сокращения затрат времени на их смену и правку [3, с.247-255]. Сказанное объясняет широкое применение ВПК из КНБ в мировой практике шлифования режущего инструмента (19% от общего объема потребления) [4, с.14]. Шлифование ВПК

АЭРОБОР следует вести на станках повышенной жесткости и точности для предотвращения автоколебаний, отрицательно влияющих на выходные параметры шлифования и износ кругов [3, с.216].

Методика исследования. В рамках данного исследования выбран плоскошлифовальный станок модели 3Е711В с вращением шпинделя по часовой стрелке. Опыты вели при следующих неизменных условиях: ВПК – форма и размеры (ГОСТ 17123-79) 1А1 200×20×76×3, характеристика ЛКВ50 100/80 СТ1 10 К27 100 КФ40 (АЭРОБОР); БП из стали Р9К5 (66–68 HRC); схема шлифования – периферией круга; скорость резания $v_k = 28$ м/с; продольная подача $s_{пр} = 6$ м/мин; поперечная подача $s_n = 4$ мм/дв.ход; операционный припуск $z = 0,1$ мм; глубина резания $t = 0,01$ мм; СОЖ – 5%-ная эмульсия Аквол-6 (ТУ 0258-024-00148845-98), подаваемая поливом на деталь с расходом 7–10 л/мин; количество параллельных наблюдений $n = 30$ ($v = \overline{1; 30}$); БП представлены образцами с размерами $D \times L = 36 \times 30$ мм, которые крепились непосредственно на магнитном столе станка и шлифовались по их торцу. Параметры шероховатости $R_a, R_z, R_{max}, S, S_m$ (ГОСТ 25142-82) измерены с помощью системы на базе профилографа-профилометра модели 252 завода «Калибр», а микротвердость HV (ГОСТ Р ИСО 6507-1 2007) – на приборе ПМТ-3 [8, с.104-105]. Выходные параметры процесса по шероховатости y_{div} информируют о переменных условиях эксперимента индексом « di ». Здесь $d = \overline{1; 2}$ – направление расположения микронеровностей: 1 – параллельно вектору s_n , 2 – параллельно вектору $s_{пр}$. Микротвердость измерена только в направлении $d = 1$, поэтому индекс для

нее опущен. Переменная $i \in [0;2;4;6;8]$ отражает количество выхаживающих проходов, где $i = 0$ соответствует работе без выхаживания.

Для анализа наблюдений y_{div} использованы теоретико-вероятностные подходы, целесообразность которых обусловлена случайным характером геометрической формы зерен, хаотичным их расположением на режущей поверхности ВПК и разновысотностью в радиальном и осевом направлениях. Сказанное ведет к тому, что важнейшие показатели процесса резания: геометрия зерен, толщины среза каждой режущей кромкой и их суммарное количество, участвующее в работе, – представляют собой случайные величины. Для ускорения рутинных вычислений и снижения риска ошибок привлечена программа *Statistica* 6.1.478.0. Интерпретация экспериментальных данных с использованием методов статистики рассмотрена в работах [1, с.251-253; 5, с.24; 6, с.82-83; 7, с.44-45]. Известно, что методы статистики разделяются на параметрические и непараметрические (ранговые). В них в качестве одномерных распределений частот используются: опытные средние $\bar{y}_{di} = y_{di\bullet}$, стандарты отклонений SD_{di} (дисперсии SD^2_{di}), размахи $R_{di} = |y_{\max} - y_{\min}|_{di}$ – для первого направления; опытные медианы \tilde{y}_{di} , квартильные широты $KШ_{di} = |y_{0.75} - y_{0.25}|_{di}$ – для ранговых статистик. Первая величина характеризует меру положения (опорное значение), а вторая и последующие – меры рассеяния (прецизионность). Анализ экспериментальных данных показал, что множества наблюдений не удовлетворяют требованиям гомоскедастичности и нормальности распределений, выполнение которых необходимо для параметрического метода. Это предопределило привлечение ранговых статистик. В таком случае необходимо скорректировать ожидаемые средние, предсказанные параметрическими моделями. С этой целью в работе предложено использовать медианные коэффициенты:

$$K_{Mdi} = m\hat{y}_{di} / \hat{y}_{di\bullet}, d = \overline{1;2}. \tag{1}$$

В (1) $m\hat{y}_{di}$ и $\hat{y}_{di\bullet}$ отражают соответственно прогнозируемые медианы и средние, используемые в качестве мер положения для непараметрического и параметрического методов статистики.

Влияние переменных условий шлифования на опорные значения оценено коэффициентами для каждого направления измерения $d = \overline{1;2}$:

$$K_{d0} = (m\hat{y}_i / m\hat{y}_0)_d, i \in [2;4;6;8]. \tag{2}$$

Количественную оценку стабильности процесса вели по коэффициентам стабильности K_{CT2il} , K_{CTdi} , в которых использованы различные меры рассеяния: SD_{di} ($l = 1$), R_{di} ($l = 2$) и $KШ_{di}$ ($l = 3$):

- при фиксированном $i \in [0;2;4;6;8]$

$$K_{CT2i1} = \left[\frac{(SD)_1}{(SD)_2} \right]_i, \tag{3}$$

- при варьировании $i \in [2;4;6;8]$ и неизменном d

$$K_{CTd1} = (SD)_{d0} / (SD)_{di}, \tag{4}$$

$$K_{CTd2} = R_{d0} / R_{di}, \tag{5}$$

$$K_{CTd3} = KШ_{d0} / KШ_{di}. \tag{6}$$

Если (3) – (6) предсказаны меньше единицы, то прецизионность параметров топографии и микротвердости поверхности БП для базового варианта: $d = 1$ – для (3), $i = 0$ – для (4) – (6) – оказалась выше, чем для альтернативных, а в противном случае – наоборот.

Для повышения надежности работоспособности режущего инструмента необходимо обеспечить снижение всех параметров шероховатости и наибольшее возрастание микротвердости поверхности БП [9, с.42-43].

Результаты исследования и их обсуждение. Статистический анализ наблюдений показал, что для всех изучаемых параметров, кроме продольных средних шагов S_{mli} , стандарты отклонений SD^2_{di} , $d = \overline{1;2}$, $i \in [0;2;4;6;8]$ характеризуются неоднородностью, а кривые плотности распределения удовлетворяют кривой Гаусса лишь для параметров R_{maxli} и S_{mli} . В связи с этим воспользовались непараметрическим методом. Результаты параметрического метода, приведенные параллельно, следует рассматривать в качестве вспомогательной информации, целью которой служит подтверждение их недостаточной мощности «на чужом поле» [10, с.3-13]. На рис. 1,2 представлены описательные статистики на базе параметрического (рис.1) и непараметрического (рис.2) методов статистики для параметра HV при шлифовании с разным числом выхаживающих проходов i , где «квадратом» представлены меры положения: \overline{HV}_i (рис.1) и HV_i (рис.2). Остальные обозначения несут разную смысловую нагрузку. На рис.1 «прямоугольник» ограничивает рассеяние стандартов ошибки $\pm SDE_i$, «усики» – стандартов отклонений $\pm SD_i$.

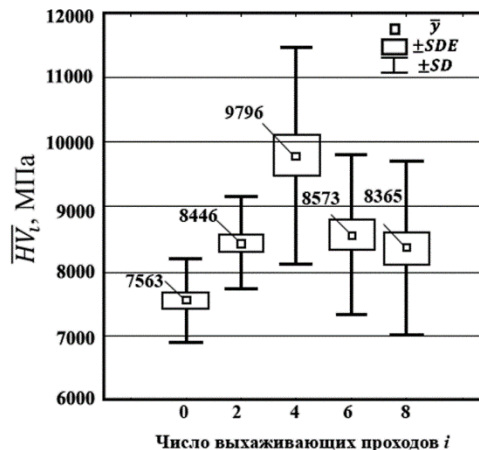


Рисунок 1. Влияние выхаживающих проходов на одномерное распределение частот микротвердости параметрического метода

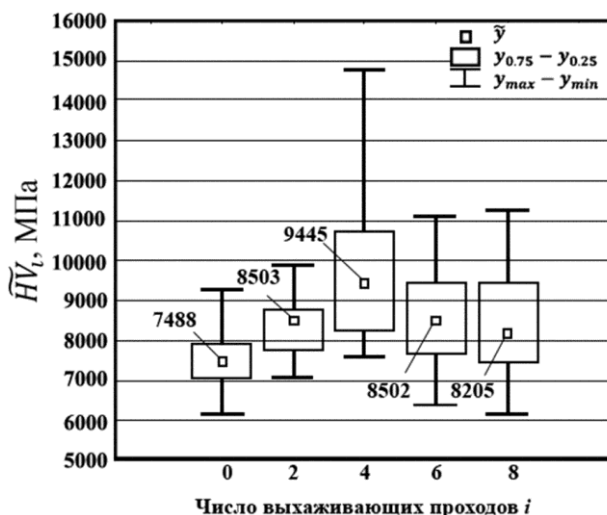


Рисунок 2. Влияние выхаживающих проходов на одномерное распределение частот микротвердости непараметрического метода

На рис. 2 соответственно отображены квартильные широты, включающие 50% наблюдений, и размахи. Медианы и размахи, представленные на одном рисунке, позволили наглядно отобразить асимметричность кривых распределения.

В данном случае все медианы, за исключением HV_2 , расположены ниже середины размаха, что свидетельствует о положительной асимметрии распределения ($As > 0$). Это подтверждено ожидаемыми мерами положения в табл. 1. По опорным значениям наибольшая микротвердость поверхности БП отмечена при числе выхаживаний $i = 4$ (рис.1,2).

Из табл.1 видно, что поперечные высотные параметры превышают продольные аналоги в 4-10 раз, поэтому они приняты в качестве регламентирующих состояние поверхности. Как известно, шаги целесообразно минимизировать, поэтому качество поверхности БП оценивается продольными средними шагами S_{m2i} и поперечными шагами по выступам S_{1i} . Установлено, что по мерам положения выхаживание вызвало наибольшее снижение средних продольных шагов в диапазоне $i \in [0;2]$: mSm_{20} 106,26(125*) и mSm_{22} 61,36(63*). Сказанное способствует уменьшению сил трения и температур в зоне контакта шлифованной БП с обрабатываемым металлом, а также повышению теплопроводности ее рабочих поверхностей [9, с.42-43]. Общепринятая гипотеза о снижении высотных шероховатостей при выхаживании абразив-

ными и нитридоборовыми кругами стандартной пористости [3, с.215; 5, с.25] не подтверждена ввиду высоких режущих свойств ВПК «АЭРОБОР». Так, в аналогичных условиях шлифования кругами $CBN30$ 100/80 СТ1 K27 100 при увеличении числа выхаживаний до $i = 4$ отмечено снижение R_{a1} от 0,235 (0,25*) до 0,144 (0,16*), т.е. на две категориальных величины (КВ) по ГОСТ 2789-73. Полученные в работе результаты по микротвердости позволяют рекомендовать число выхаживаний $i \in [2;4]$: mHV_2 8663,65 и mHV_4 8816,63, увеличение которой снижает интенсивность износа БП и повышает стойкость режущих инструментов.

Оценки стабильности процесса по стандартам отклонений, размахам и квартильным широтам отражены в табл.2 коэффициентами (4) - (6). Установлено, что все одномерные частоты рассеяния по шероховатостям поверхности БП на качественном уровне представлены идентичными оценками. При этом (6) по КШ для шероховатости показал наиболее интенсивное снижение стабильности процесса по сравнению с (4), (5), используемыми параметрическим методом, а по микротвердости больший коэффициент стабильности получен по стандартам отклонений (4). По высотным параметрам наибольшая воспроизводимость процесса показана при $i = 6$, по шаговым при $i = 8$. Обеспечение стабильности процесса особенно важно при шлифовании больших партий БП для режущих инструментов. Из соображений наименьшего снижения производительности число выхаживаний i для микротвердости целесообразно назначать не более двух.

Таблица 1

Влияние выхаживающих проходов на прогнозируемые приоритетные параметры топографии и микротвердости поверхности БП

Параметр	\hat{y}_{di} , мкм	$m\hat{y}_{di}$, мкм	K_{Mdi} (1)	K_{di0} (2)
$i = 0$				
R_{a10} , мкм	0,27(0,32*)	0,29(0,32*)	1,07	1,00
R_{max10} , мкм	1,66(2,0*)	1,71(2,0*)	1,03	
S_1 , мкм	7,36(8*)	7,99(8*)	1,09	
S_{m10} , мкм	62,68 (63*)	64,49(80*)	1,03	
R_{a20} , мкм	0,07(0,080*)	0,08(0,080*)	1,14	

Параметр	\hat{y}_{di} , МКМ	$m\hat{y}_{di}$, МКМ	K_{Mdi} (1)	K_{di0} (2)
R_{max20} , МКМ	0,42(0,50*)	0,43(0,50*)	1,02	
S_{20} , МКМ	5,85(6*)	5,77(6*)	0,99	
S_{m20} , МКМ	115,12(125*)	106,26(125*)	0,92	
HV_0 , МПа	7790,03	7846,22	1,01	
$i = 2$				
R_{a12} , МКМ	0,27(0,32*)	0,28(0,32*)	1,04	0,97
R_{max12} , МКМ	1,65(2,0*)	1,71(2,0*)	1,04	1,00
S_{12} , МКМ	9,39(10*)	9,30(10*)	0,99	1,16
S_{m12} , МКМ	65,57(80*)	65,47(80*)	1,00	1,02
R_{a22} , МКМ	0,03(0,032*)	0,03(0,032*)	1,00	0,38
R_{max22} , МКМ	0,23(0,25*)	0,22(0,25*)	0,96	0,51
S_{22} , МКМ	5,75(6*)	5,73(6*)	1,00	0,99
S_{m22} , МКМ	64,03(80*)	61,36(63*)	0,96	0,58
HV_2 , МПа	8479,62	8663,65	1,02	1,10
$i = 4$				
R_{a14} , МКМ	0,28(0,32*)	0,30(0,32*)	1,07	1,03
R_{max14} , МКМ	1,66(2,0*)	1,75(2,0*)	1,05	1,02
S_{14} , МКМ	9,44(10*)	9,30(10*)	0,99	1,16
S_{m24} , МКМ	64,03(80*)	61,36(63*)	0,96	0,58
HV_4 , МПа	9629,24	8816,63	0,92	1,12
$i = 6$				
R_{a16} , МКМ	0,27(0,32*)	0,28(0,32*)	1,04	0,97
R_{max16} , МКМ	1,65(2,0*)	1,71(2,0*)	1,04	1,00
S_{16} , МКМ	9,39(10*)	9,30(10*)	0,99	1,16
S_{m26} , МКМ	64,03(80*)	61,36(63*)	0,96	0,58
HV_6 , МПа	8517,07	8663,65	1,02	1,10
$i = 8$				
R_{a18} , МКМ	0,27(0,32*)	0,26(0,32*)	0,96	0,90
R_{max18} , МКМ	1,64(2,0*)	1,69(2,0*)	1,03	0,99
S_{18} , МКМ	9,34 (10*)	9,30(10*)	1,00	1,16
S_{m28} , МКМ	64,03(80*)	61,36(63*)	0,96	0,58
HV_8 , МПа	8404,71	8174,33	0,97	1,04
Примечание: «*» - категориальные величины (КВ) по ГОСТ 2789-73				

Таблица 2

Влияние выхаживающих проходов на прецизионность прогнозируемых приоритетных параметров топографии и микротвердости поверхности БП

Параметр	SD_i , МКМ	K_{CTdi1} (4)	R_{di}	K_{CTdi2} (5)	$K_{Шdi}$	K_{CTdi3} (6)
$i = 0$						
R_{a10} , МКМ	0,1435	1,00	0,53	1,00	0,2467	1,00
R_{max10} , МКМ	0,8299		2,88		1,4367	
S_{10} , МКМ	1,6659		6,33		2,9800	
S_{m20} , МКМ	63,2868		320,09		69,4167	
HV_0 , МПа	651,6214		3134,28		827,5000	
$i = 2$						
R_{a12} , МКМ	0,0283	5,07	0,09	5,93	0,0500	4,93
R_{max12} , МКМ	0,2343	3,54	1,01	2,85	0,3700	3,88
S_{12} , МКМ	0,5235	3,18	1,91	3,31	0,7400	4,03
S_{m22} , МКМ	20,8207	3,04	94,25	3,40	22,0100	3,15

Параметр	SD_i , мкм	K_{CTdi1} (4)	R_{di}	K_{CTdi2} (5)	$KШ_{di}$	K_{CTdi3} (6)
HV_2 , МПа	706,2232	0,92	2811,25	1,11	960,3750	0,86
$i = 4$						
R_{a14} , мкм	0,0412	3,48	0,16	3,33	0,0500	4,93
R_{max14} , мкм	0,2383	3,48	0,94	3,06	0,3000	4,79
S_{14} , мкм	0,9711	1,72	3,62	1,75	1,1500	2,59
S_{m24} , мкм	28,6251	2,21	126,64	2,53	26,0700	2,66
HV_4 , МПа	1683,408	0,39	7173,13	0,44	2470,2750	0,33
$i = 6$						
R_{a16} , мкм	0,0245	5,86	0,10	5,33	0,0300	8,22
R_{max16} , мкм	0,1649	5,03	0,64	4,49	0,2300	6,25
S_{16} , мкм	0,6531	2,55	2,80	2,26	0,8700	3,43
S_{m26} , мкм	21,0363	3,01	81,70	3,92	30,8200	2,25
HV_6 , МПа	1243,7702	0,52	4697,45	0,67	1755,0000	0,47
$i = 8$						
R_{a18} , мкм	0,0361	3,98	0,13	4,10	0,0500	4,93
R_{max18} , мкм	0,2381	3,49	0,99	2,91	0,3700	3,88
S_{18} , мкм	0,4576	3,64	1,70	3,72	0,5100	5,84
S_{m28} , мкм	16,8977	3,75	67,13	4,77	13,5900	5,11
HV_8 , МПа	1348,72	0,48	5109,20	0,61	1957,2500	0,42

По результатам исследования все коэффициенты стабильности (3) для высотных параметров и шагам по вершинам, просчитанные по стандартам отклонений, оказались больше единицы: $K_{CT2i1} = 1,13 - 4,12$. Аналогичные результаты получены при работе нитридборовыми кругами нормальной пористости [5, с.25]. По средним шагам при $i = 8$ получены аналогичные результаты по стабильности, а при $i \in [0;6]$ – прямо противоположные: $K_{CT2i1} = 0,26 - 0,79$, при этом наибольшая стабильность процесса предсказана в поперечном направлении при работе без выхаживания ($K_{CT201} = 0,26$).

На основании полученных результатов сформулируем технологические рекомендации. Наибольшая эффективность выхаживания достигнута для средних продольных шагов при $i = 2$. По мерам положения микротвердости поверхности БП число выхаживаний не следует увеличивать более четырех, поскольку оно снижает производительность процесса. В условиях непараметрического метода оценку стабильности процесса следует вести по квартильным широтам. Наибольшая воспроизводимость процесса предсказана по высотным параметрам при $i \in [6;8]$, по средним продольным шагам – при $i = 8$, по микротвердости – при $i \in [0;2]$. Окончательное число выхаживающих ходов следует задавать с учетом приоритетных параметров работоспособности инструментов.

Список литературы:

1. Soler Ya.I., Kazimirov D. Yu. Selecting Abrasive Wheels for the Plane Grinding of Airplane Parts of the Basic of Surface Roughness // Russian Engineering Research, 2010. vol. 30, No. 3. – pp. 251-261.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
3. Зубарев Ю.М., Приемышев А.В. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов. СПб.: Лань, 2010. – 304 с.
4. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабоскин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. СПб.: Политехника, 2007. – 320 с.
5. Солер Я.И., Прокопьева А.В. Исследование влияния выхаживания на микрорельеф пластин Р9М4К8 при шлифовании кругами их кубического нитрида бора // Обработка металлов, 2009. №1 (42). – С. 24-27.
6. Солер Я.И., Шустов А.И. Прогнозирование шероховатости поверхности инструментальных сталей при плоском шлифовании нитридборовыми кругами высокой пористости // Международный научно-исследовательский журнал, 2013. №10(17). Ч.2. – С.81-86.
7. Солер Я.И., Шустов А.И., Филиппова Д.А., Пронин С.А. Оценка режущих свойств кругов нового поколения «Аэробор» по критерию шероховатости при шлифовании плоских деталей основного и вспомогательного производства самолетостроительных предприятий // Вестник ИрГТУ, 2013. №4(75). – С. 43-50.
8. Солер Я.И., Нгуен В.К. Прогнозирование микротвердости пластин Р6М5 при маятниковом шлифовании периферией абразивных кругов различной пористости // сб.тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – С. 101-111.
9. Сулов А.Г., Безъязычный В.Ф., Панфилов Ю.В. [и др.]. Инженерия поверхности. М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
10. Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики. Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1983. – 506 с.

ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ АБРАЗИВНЫМ КРУГОМ ALTOS ПО КРИТЕРИЮ ШЕРОХОВАТОСТИ

Солер Яков Иосифович

Канд. техн. наук., доцент Иркутского государственного технического университета

Нгуен Ван Кань

аспирант Иркутского государственного технического университета

EVALUATION MACHINABILITY FLAT MATERIAL OF TOOL STEELS BY ABRASIVE WHEEL ALTOS CRITERION ROUGHNESS

Soler Iakov, Candidate of Science, associate professor of Irkutsk State Technical University

Nguyen Van Canh, Postgraduate of Irkutsk State Technical University

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено влияние круга ALTOS на меры положения и рассеяния и стабильность процесса формирования высотных параметров микрогеометрии поверхности деталей из инструментальных сталей. Полученные результаты повышают качество изготовления и надежность работы режущих инструментов и штампов.

ABSTRACT

Examined the influence of the wheel ALTOS upon measures of position and dispersion and stability process of the formation high parameter micro-geometry surface of details made of tool steel. The results obtained improve the quality manufacturing and reliability work of cutting tools and stamps.

Ключевые слова: шлифование, параметры шероховатости, статистика, среднее, медиана, мера рассеяния.

Keywords: grinding, roughness, statistics, average, median, measure of position, measure of dispersion.

Геометрическая точность, шероховатость поверхности и физико-механическое состояние поверхностного слоя инструментов во многом зависят от его окончательной механической обработки, которую выполняют шлифованием. Оно удаляет обезуглероженный слой, уменьшает шероховатость поверхности, повышает прочность и стойкость инструмента. Серьезным технологическим недостатком этих инструментальных сталей служит низкая шлифуемость, сопровождаемая высоким тепловыделением в зоне резания вследствие большого содержания карбидообразующих элементов: *W*, *V*, *Mo*, *Cr* и др. На интенсивность теплообразования при шлифовании оказывает значительное влияние абразивный инструмент (6-7)-ой номеров структур, в котором используются зерна из белого электрокорунда. При этом возникают высокие температуры в зоне шлифования, приводящие к появлению прижогов и трещин на обработанных поверхностях. Технологические мероприятия, способствующие снижению температуры, всегда приводят к повышению качества изготовления инструмента. К числу наиболее эффективных мероприятий такого рода следует отнести применение высокопористых абразивных кругов (ВПК) [4, с. 3-7], которые дополнительно повышают эффективность шлифования и качество изготовления инструментов. Фирма Norton (США) разработала новые ВПК ALTOS с зернами марки TG2 и TGX. Последние состоят из смеси волокнистого Sol-Gel корундового абразивного зерна (со средним соотношением его длины *l* к диаметру *d* в пределах 7,5:1) и спеченных керамических корундовых зерен Sol-Gel. Круги ALTOS обладают высокой пористостью и проницаемостью, улучшенным показателем съема припуска при шлифовании труднообрабатываемых сталей, склонных к прижогу, и длительным сроком службы [1, с. 1-3]. На российском рынке эти круги до сих пор отсутствуют и не используются на машиностроительных предприятиях.

Статистические методы анализа экспериментальных данных. Для интерпретации экспериментальных данных в работе использованы статистические подходы, целесообразность которых обусловлена стохастиче-

ской природой процесса шлифования. Все получаемые показатели микрогеометрии поверхности представляют собой случайные величины (СВ) и рассматриваются независимыми множествами $e = \overline{I; n}$:

$$\{y_{ev}\}, v = \overline{1; n}, \quad (1)$$

где число повторений *n* лучше сохранять постоянным (в исследовании *n*=30).

Статистические методы разделяются на два направления: параметрическое и непараметрическое (ранговое), каждое из которых «на своем поле» обладает большей надежностью принятия нуль-гипотезы (*H*₀) [9]. Характеристиками одномерного распределения частот для (1) служат [3, с. 86-99; 9, с. 3-13; 2, с. 3]: средние $\overline{y_e} = y_{e\bullet}$, стандарты отклонений (*SD*_{ei}, размахи $R_e = |y_{\max} - y_{\min}|_e$ – для первого направления; медианы \tilde{y}_e , квартильные широты $KШ_e = |y_{0,75} - y_{0,25}|_e$ – для второго направления. Первая из указанных частот характеризует меру положения (опорное значение), а последующие – меры рассеяния (прецизионность). При различии между $y_{e\bullet}$ и \tilde{y}_e форма кривой распределения имеет асимметрию, которая приближенно вычисляется из выражения [3, с. 99]:

$$As_e = [3(y_{e\bullet} - \tilde{y}_e) / SD]_e. \quad (2)$$

Каждый метод статистики имеет «свое поле» [4, 9] для эффективного применения в технических приложениях. Для параметрического метода необходимо, чтобы (1) обладали свойствами гомоскедастичности (синонимы – однородность и гомогенность дисперсий отклонений) и нормальности распределений. Ранговые статистики не связаны с каким-либо семейством распределений, не используют его свойства и в условиях нарушений гомоскедастичности и нормальности распределений (1) «на своем поле» по эффективности превосходят гауссовского

конкурента. Выбор статистического метода и последующий поиск ожидаемых средних \hat{y}_e и медиан $m\hat{y}_e, e = \overline{1;n}$ изложены в [3, с. 281]. В рамках данного исследования констатируем, что процедура статистической интерпретации (1) включает два последовательно выполняемых этапа: одномерный дисперсионный анализ (ОДА) на предмет установления факта значимого различия между уровнями мер положения, а затем их множественной анализ, завершающийся поиском ожидаемых аналогов. Обработка (1) связана с большим объемом вычислений и проведена в программной среде *Statistica* 6.1.478.0.

Для подтверждения H_0 о нормальном распределении непрерывных СВ в программе имеется возможность воспользоваться статистиками Колмогорова-Смирнова (D) и Шапиро-Уилка (W). Критерий D до сих пор широко используется в технических приложениях. В работе [8, с. 21] была выявлена слабая мощность этого критерия, поэтому в данном исследовании тестирование H_0 для (1) вели по статистике W , которая должна удовлетворять неравенству:

$$\alpha > 0,5. \quad (3)$$

С учетом важности требования по однородности дисперсий в работе привлечены тесты ($q = \overline{1;3}$): 1 – Хартли, Кохрена и Бартлетта, представленные в программе одной группой; 2 – Левене; 3 – Брауна-Форсайта. Во всех случаях гомогенные дисперсии должны удовлетворять неравенству:

$$\alpha > 0,05, \quad (4)$$

где α – надежность принятия H_0 .

Вероятностный характер гипотез не исключает того, что отдельные решения f , принятые по критериям $q = \overline{1;3}$, могут различаться. По этой причине окончательные результаты по гомогенности (H_0) и неоднородности (H_1) дисперсий отклонений приняты из следующих соображений:

$$H_0 \text{ при } f_0 \in [2;3], \quad (5)$$

$$H_1 \text{ при } f_1 \in [2;3], \quad (6)$$

где решению присвоен индекс принятой гипотезы.

Методика исследования. В работе приняты следующие неизменные условия проведения опытов: плоскошлифовальный станок модели 3Г71, круг *Norton* формы 01 с размерами $250 \times 20 \times 76$ и характеристикой *TGX 80 I 12 VCF5*; скорость резания $v_k=35$ м/с; продольная подача $s_{пр}=7$ мм/мин; поперечная подача $s_n=1$ мм/дв.ход; глубина резания $t=0,015$ мм, межпереходный припуск $z=0,15$ мм; СОЖ – 5%-ная эмульсия Аквол-6 (ТУ 0258-024-00148843-98), подаваемая поливом на заготовку (7-10 л/мин); образцы с размерами $D \times H = 40 \times 30$ мм, шлифуемые по торцу без выхаживания; повторение опытов $n=30$. Опускание абразивного инструмента на глубину t вели в промежутки времени, когда продольный стол с заготовкой выходил из зоны резания и смещался в крайнее левое положение относительно оператора. В связи с этим его движение слева направо принято рабочим, а обратное, выпол-

няемое без врезания на глубину t , – выхаживающим, окончательно формирующим микрогеометрию поверхности заготовки по схеме попутного шлифования. Последнее обусловлено тем, что абразивный инструмент имеет вращение по часовой стрелке. Переменные в (1) в условиях эксперимента представлены в виде кода «*dijv*», который удобен при применении статистических методов. В данном случае индекс $d = \overline{1;2}$ отражает направление шероховатости: 1 – параллельно вектору s_n , 2 – параллельно вектору $s_{пр}$. Код $i = \overline{1;6}$ связан с марками шлифуемых сталей, прошедших стандартную термообработку для инструментов: 1 – Р9М4К8, 2 – Р12Ф3К10М3, 3 – Р9К5, 4 – Р6М5, 5 – Р18, 6 – Х12. Сталь $i = \overline{1;5}$ применяются для изготовления быстрорежущих пластин (БП) сборных лезвийных инструментов, а Х12 ($i=6$) – для формообразующих деталей матриц и пуансонов холодной штамповки. Индекс $j = \overline{1;3}$ отражает принятые меры рассеяния в (10)-(12), которые рассмотрены ниже. Параметры шероховатости (ГОСТ 25142-82): (R_a, R_q, R_z, R_{max}) $_{di}$ – измерены с помощью системы на базе профилографа – профилометра модели 252 завода «Калибр».

Влияние непараметрического метода на меры положения оцениваем медианными коэффициентами при неизменных $d = \overline{1;2}, i = \overline{1;6}$:

$$K_{mdi} = (m\hat{y} / \hat{y}_e)_{di}. \quad (7)$$

Оценку шлифуемости сталей $i = \overline{2;6}$ относительно базовой Р9М4К8 ($i=1$) ведем для обеих характеристик одномерного распределения частот (1) при одноименных $d = \overline{1;2}$ [5, с. 131; 6, с. 158; 7, с. 35]:

$$K_{di} = (\tilde{y}_i / \tilde{y}_1)_d, \quad (8)$$

$$\hat{K}_{di} = (m\hat{y}_i / m\hat{y}_1)_d, \quad (9)$$

$$K_{ctdi1} = (SD_1 / SD_i)_d, \quad (10)$$

$$K_{ctdi2} = (R_1 / R_i)_d, \quad (11)$$

$$K_{ctdi3} = (KШ_1 / KШ_i)_d, \quad (12)$$

где индексы $j = \overline{1;3}$ в (10) - (12) отражают принятые меры рассеяния: 1- по SD_{di} (10), 2- по R_{di} (11) – для параметрических статистик; 3 – по $KШ_{di}$ (12) – для ранговых статистик. Если по (8), (9) и (10 - 12) предсказаны: $(K_{di}, \hat{K}_{di}) > 1$ и $K_{ctdij} < 1, j = \overline{1;3}$, то меры положения и рассеяния шероховатостей поверхностей деталей из сталей $i = \overline{2;6}$ превышают аналоги для базовой БП Р9М4К8 ($i=1$) и уступают ей по выбранным критериям стабильности процесса; в противном случае - их превосходят.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты, отображенные в табл. 1, свидетельствуют о принятии H_0 по гомогенности дисперсий для большинства параметров по (5). Более неблагоприятная ситуация сложилась с формой кривой распределения (1).

Таблица 1

Результаты проверки (1) на гомоскедастичность и нормальность распределений

Параметры	Выполнение неравенств						
	(4) – (6)	(3)					
		P9M4K8 (i = 1)	P12Ф3К10М3 (i = 2)	P9K5 (i = 3)	P6M5 (i = 4)	P18 (i = 5)	X12 (i = 6)
$R_{a1i} R_{z1i}$	H_0^{**}	-	-	-	-	-	-
R_{q1i}	H_0	-	-	-	-	-	-
$R_{max 1i}$	H_0	-	-	+	-	-	-
R_{a2i}	H_1^{**}	-	-	-	-	-	-
R_{z2i}, R_{q2i}	H_0^{**}	-	-	-	-	-	-
$R_{max 2i}$	H_0^{**}	+	-	-	-	-	-
Принятие (3), (5)	7	1	0	1	0	0	0

Примечание: «**» – решение принято по двум критериям; «+,-» – принятие и отклонение от нормальности распределения (1) соответственно.

Как видно из табл. 1, общее число анализируемых множеств составило $N=8*6=48$, где 8-количество параметров шероховатости; $i=6$ -марки сталей. При этом (5) принято только в семи случаях шлифования (табл. 1). Один из

них представлен на рис.1 для параметра R_{max1} , влияющего на долговечность инструментов.

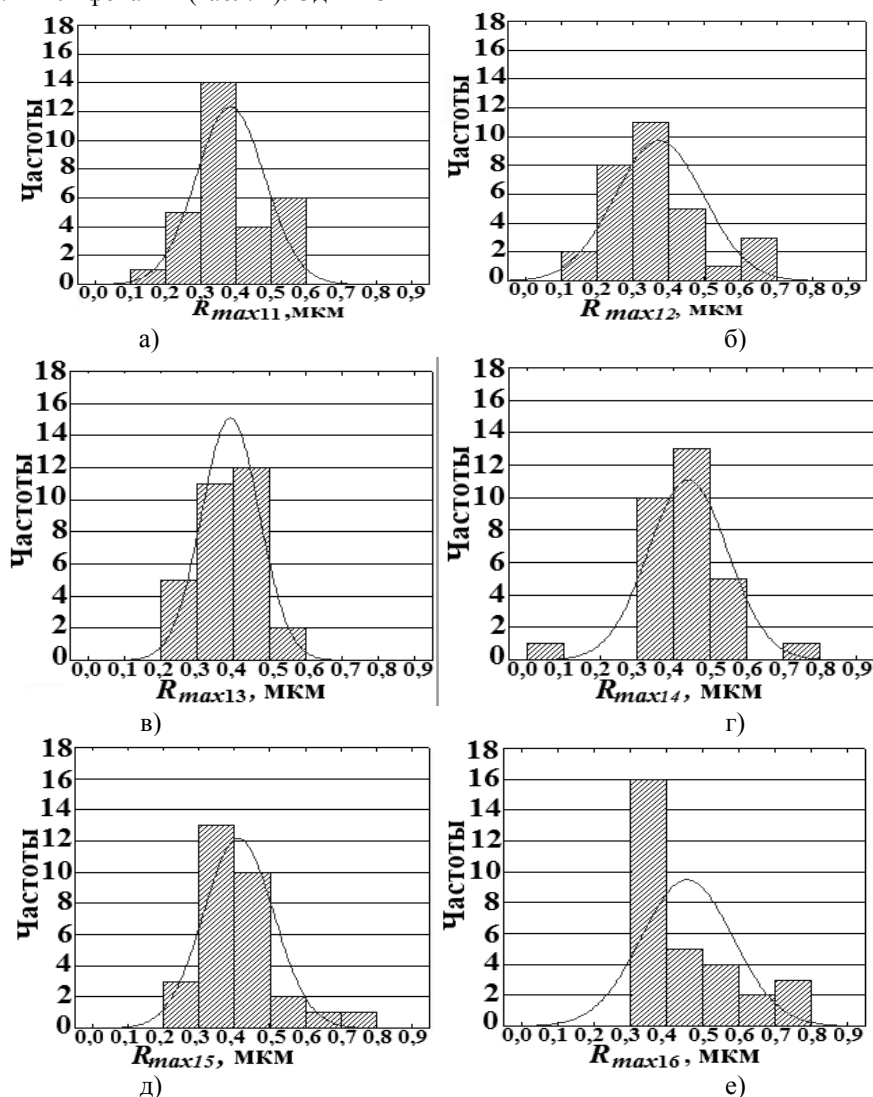


Рисунок 1. Гистограммы с наложением кривых нормального распределения для параметров R_{max1i} при шлифовании деталей из инструментальных сталей $i = \overline{1;6}$

Программой просчитано, что только при шлифовании БП Р9К5 гистограммы можно аппроксимировать кривой нормального распределения с надежностью (3), равный 0,9726 (рис. 1, в). Наименьшее значение $\alpha = 0,0015$ получено при шлифовании штамповой стали (рис. 1, д), гистограмма которой ближе к экспоненциальному (показательному) распределению. Хотя параметрический метод робастен к незначительным отклонениям (1) от нор-

мального распределения, но эти отклонения нигде не оговорены количественно. С учетом изложенного (1) решено оценивать с использованием непараметрического метода. Приводимые параллельно результаты, полученные на базе параметрических статистик, рассматриваем в качестве вспомогательной информацией, позволяющей полнее оценить снижение их надежности «на чужом поле». Исходя из полученных результатов, необходимо предпочтение отдать решению, предсказанным непараметрическим методом [9, с. 19-21].

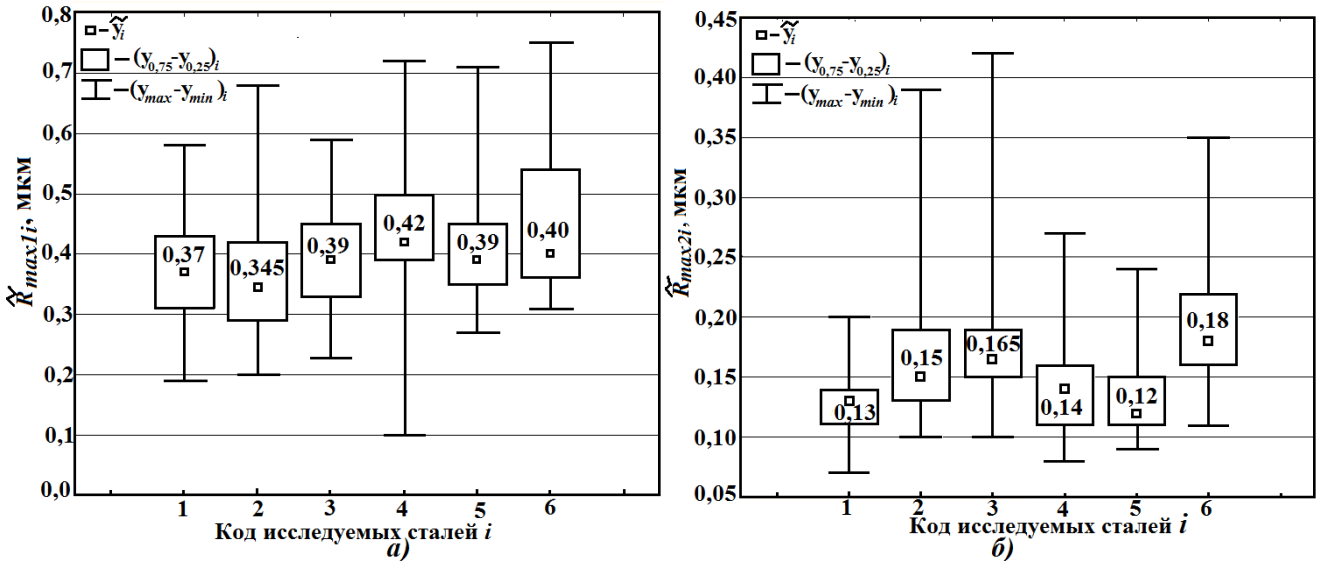


Рисунок 2. Описательные непараметрические статистики R_{max1i} (а) и R_{max2i} (б), $i = \overline{1;6}$

Результаты исследования показали, что корреляционные коэффициенты между поперечными и продольными высотными параметрами шероховатостями при одноименных $i = \overline{1;6}$ предсказанны в диапазоне $\tilde{y}_1 / \tilde{y}_2 = 2 - 4$. Влияние сталей $i = \overline{1;6}$ на анизотропию поверхности не выявлено. Сказанное на рис. 2, а, б иллюстрируют описательные статистики для параметров R_{max1i} и R_{max2i} , представленные тремя мерами распределения частот: $\tilde{y}_{di}, (y_{0,75} - y_{0,25})_{di}$ и R_{di} . По медианам наибольших микронеровностей анизотропия поверхности характеризуется величинами 2,22-3,26. Сказанное предопределило, что высотные шероховатости в поперечном направлении регламентируют эксплуатационные свойства БП и штампов и при оценке их обрабатываемости шлифованием должны учитываться в первую очередь. Расположение на одном рисунке медиан и размахов позволило наглядно оценить ассиметричность (2), которая в большинстве случаев оказалась положительной, за исключением $Ec_{di}=0$, где (di) соответствуют переменным: (1;3), (2;1) и (2;4). В практическом отношении важно, что только в одном случае при шлифовании БП Р9К5 имеет место нормальное распределение (1), а все остальные материалы показали при обработке снижение \tilde{y}_{di} по сравнению с

\tilde{y}_{di} . Изложенное повысило надежность обеспечения категориальной величины (КВ) по ГОСТ 2789-73. Как видно из рис. 2,а, наиболее шероховатая поверхность формируется при шлифовании БП Р6М5 ($i=4$) - $R_{max14} 0,42$. Остальные стали входят в КВ=0,40 мкм с различной надежностью. При этом детали штампов Х12 ($i=6$) находятся в этой КВ без запаса. Из рис.1,е видно, что четырнадцать деталей из операционной партии $n=30$ оказались бракованными. И даже для БП Р12Ф3К10М3 ($i=2$), которые вошли в эту КВ с наибольшим запасом, могут иметь место девять БП с неисправимым браком (рис. 1, б). В табл. 2 представлены опытные и ожидаемые меры положения высотных параметров шероховатости для всех исследуемых сталей только в поперечном направлении, поскольку они являются наибольшими и регламентируют качество поверхности. Проанализируем их с позиций статистики и технологии шлифования. Выявлено, что статистические методы анализа (1) оказывают влияния на опытные значения деталей $i = \overline{1;6}$, представленные опытными и ожидаемыми мерами положения. Наиболее варьируемым от выбора метода статистики оказался параметр R_{max1} . По опытным мерам положения круг *ALTOS* оказал влияние на наибольшую шероховатость поверхности всех шлифуемых сталей, за исключением БП Р9К5. В то же время выявилась целесообразность проведения дополнительного множественного анализа мер положения.

Таблица 2

Оценка шлифуемости сталей по мерам положения высотных параметров шероховатости

Параметр	Сталь i	y_{li}	\tilde{y}_{li}	\hat{y}_{li}	$m\hat{y}_{li}$	K_{Mli} (7)	K_{li} (8)	\hat{K}_{li} (9)
		мкм						
R_{ali}	1	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	1,00	1,00
	2	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	1,00	1,00
	3	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	1,00	1,00
	4	0,07(0,08*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	1,00	1,00
	5	0,06(0,063*)	0,05(0,05*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	0,83	1,00
	6	0,07(0,08*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	0,06(0,063*)	1,00	1,00	1,00
R_{zli}	1	0,22(0,25*)	0,21(0,25*)	0,21(0,25*)	0,21(0,25*)	1,00	1,00	1,00
	2	0,20(0,20*)	0,20(0,20*)	0,21(0,25*)	0,21(0,25*)	1,00	0,93	1,00
	3	0,22(0,25*)	0,23(0,25*)	0,21(0,25*)	0,21(0,25*)	1,00	1,10	1,00
	4	0,29(0,32*)	0,29(0,32*)	0,29(0,32*)	0,27(0,32*)	0,93	1,36	1,29
	5	0,27(0,32*)	0,26(0,32*)	0,29(0,32*)	0,27(0,32*)	0,93	1,21	1,29
	6	0,30(0,32*)	0,28(0,32*)	0,29(0,32*)	0,27(0,32*)	0,93	1,31	1,29
R_{qli}	1	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,00	1,00
	2	0,07(0,08*)	0,07(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,00	1,00
	3	0,08(0,08*)	0,08(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,14	1,00
	4	0,08(0,08*)	0,08(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,14	1,00
	5	0,07(0,08*)	0,07(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,00	1,00
	6	0,09(0,10*)	0,08(0,08*)	0,08(0,08*)	0,07(0,08*)	0,88	1,14	1,00
R_{maxli}	1	0,38(0,40*)	0,37(0,40*)	0,40(0,40*)	0,39(0,40*)	0,98	1,00	1,00
	2	0,37(0,40*)	0,35(0,40*)	0,40(0,40*)	0,38(0,40*)	0,95	0,93	0,97
	3	0,39(0,40*)	0,39(0,40*)	0,40(0,40*)	0,39(0,40*)	0,98	1,05	1,00
	4	0,44(0,50*)	0,42(0,50*)	0,41(0,50*)	0,39(0,40*)	0,95	1,14	1,00
	5	0,41(0,50*)	0,39(0,40*)	0,41(0,50*)	0,39(0,40*)	0,95	1,05	1,00
	6	0,46(0,50*)	0,40(0,40*)	0,42(0,50*)	0,39(0,40*)	0,93	1,08	1,00

Примечание. Стали i : 1 – P9M4K8, 2 – P12Ф3K10M3, 3 – P9K5, 4 – P6M5, 5 – P18, 6 – X12; «*» категориальные величины по ГОСТ 2789-73

Прогнозируемые медианы, как выясилось, отличаются от аналогов средних для всех инструментов $i = \overline{1;6}$. Это отражено (7), который оказался в пределах $K_{Mli} = 0,93 - 0,98$, $i = \overline{1;6}$. При $K_{Mli} = 0,93 - 0,95$, $i = \overline{4;6}$ ожидаемые $m\hat{R}_{maxli}$, $i = \overline{1;6}$ предсказаны меньше аналогов средних на одну КВ, а по опытным средним различие в одну КВ сохранилось только для БП P18 ($i=5$) и детали X12 ($i=6$). При этом для сталей P6M5, P18 и X12 ожидаемые опорные значения медиан оказались меньше аналогов \hat{y}_{li} , $i = \overline{4;6}$ на одну КВ. На втором месте по вариабельности к методу статистики оказался параметр R_{qli} , $i = \overline{1;6}$. Предсказано, что все $m\hat{R}_{qli}$, 0,07(0,08) извлечены из общей генеральной со-

вокупностей и характеризуются (7), равным 0,88. Метод статистики не оказал значимого влияния на параметр R_{ai} , поскольку все меры положения равны $\bar{y}_{li} = \tilde{y}_{li} = \hat{y}_{li} = m\hat{y}_{li} = 0,06(0,63)$ мкм.

С позиций технологии шлифования выявились высокие режущие способности кругов ALTOS. На окончательном этапе шлифования наиболее значимыми являются параметры R_{a1} (R_{q1}) и R_{max1} . По (9) все детали $i = \overline{1;6}$ оцениваются равной шлифуемости, поскольку $\hat{K}_{li} = 1,00$, $i = \overline{1;6}$. При этом по опытному (8) имеют место величины, отличные от единицы. Последнее подтверждает эффективность непараметрического метода изучения (1) по сравнению с параметрическим. По пара-

метру $R_{\max 1}$ в пределах $KB=0,4$ мкм наибольшее снижение предсказано при шлифовании ВП P12Ф3К10М3 - $m\hat{R}_{\max 12} = 0,38$ мкм.

В табл. 3 представлены результаты влияния свойств сталей $i = \overline{1;6}$ на стабильность формирования высотных параметров шероховатости в поперечном направлении при шлифовании кругом *TGX 80 I12 VCF 5 (ALTOS)*. Анализ полученных данных ведем в условиях приоритетного отношения к квартильным широтам (КШ) и полученным на их базе коэффициентам. Установлено, что в поперечном направлении, регламентирующем состояние микрорельефа поверхности, преимущества по КШ_{li} ($i = \overline{1;6}$), содержащим информацию по рассеянию 50%-тов наблюдений (1), имеют стали P6M5 ($i=4$) и P18 ($i=5$), о чем свидетельствуют коэффициенты стабильности: $K_{\text{ст}143} = 1,09 - 2$ для параметров

R_{a14} , R_{z14} и $R_{\max 14}$, $K_{\text{ст}153} = 1,2 - 1,94$ для параметров R_{a15} , R_{z15} и $R_{\max 15}$. По снижению коэффициентов $K_{\text{ст}1i3}$, $i = \overline{1;6}$, отражающих снижение воспроизводимости процесса, шлифуемые марки сталей следует расположить в следующем порядке: (P6M5, $i=4$, P18, $i=5$), P9K5 ($i=3$), P9M4K8 ($i=1$), P12Ф3К10М3 ($i=2$) и X12 ($i=6$). БП P18 и P6M5 характеризуются одинаковой шлифуемостью по параметрам R_{a1} и R_{q1} . По результатам исследования параметрические коэффициенты стабильности (10), (11) используются «на чужом поле», что привело к принятию следующего ошибочного решения: наибольшая воспроизводимость процесса отдана БП P9K5; на втором месте расположились БП P18 и P9M4K8, а БП P6M5 опустились на третью позицию. Наибольшее расхождение (12) показали оценки (11) получены по размахам распределений, поскольку в большинстве случаев (1) не аппроксимируются кривой Гаусса.

Таблица 3

Оценка шлифуемости сталей по мерам рассеяния

Параметр	Сталь i	SD_{li}	R_{li}	ИКШ _{li}	$K_{\text{ст}lij}$		
		мкм			$j=1$ (10)	$j=2$ (11)	$j=3$ (12)
R_{ai}	1	0,018	0,07	0,02	1,00	1,00	1,00
	2	0,021	0,07	0,03	0,87	1,00	0,67
	3	0,013	0,06	0,02	1,40	1,17	1,00
	4	0,017	0,08	0,01	1,06	0,88	2,00
	5	0,016	0,06	0,01	1,13	1,17	2,00
	6	0,021	0,07	0,04	0,85	1,00	0,50
R_{zi}	1	0,047	0,19	0,09	1,00	1,00	1,00
	2	0,058	0,26	0,07	0,81	0,73	1,29
	3	0,046	0,20	0,08	1,02	0,95	1,13
	4	0,063	0,39	0,06	0,74	0,49	1,50
	5	0,060	0,23	0,07	0,78	0,83	1,29
	6	0,080	0,28	0,10	0,58	0,68	0,90
R_{qi}	1	0,022	0,09	0,02	1,00	1,00	1,00
	2	0,026	0,09	0,04	0,85	1,00	0,50
	3	0,017	0,07	0,02	1,27	1,29	1,00
	4	0,022	0,11	0,02	1,00	0,82	1,00
	5	0,020	0,08	0,02	1,10	1,13	1,00
	6	0,024	0,08	0,04	0,90	1,13	0,50
$R_{\max i}$	1	0,097	0,39	0,12	1,00	1,00	1,00
	2	0,123	0,48	0,13	0,79	0,81	0,92
	3	0,079	0,36	0,12	1,23	1,08	1,00
	4	0,108	0,62	0,11	0,90	0,63	1,09
	5	0,098	0,44	0,10	0,99	0,89	1,20
	6	0,126	0,44	0,18	0,77	0,89	0,67

Примечание. Стали i : 1 – P9M4K8, 2 – P12Ф3К10М3, 3 – P9K5, 4 – P6M5, 5 – P18, 6 – X12;

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Показана целесообразность привлечения статистических методов при изучении топографии шлифованных деталей. В частности, при равенстве мер положения они позволяют отдать предпочтение шлифуемости деталей по прецизионности.

2. Выявлены высокие режущие способности кругов *Norton TGX 80 I12 VCF 5 (ALTOS)* при шлифовании плоских деталей из инструментальных сталей.

3. Проанализированы возможности оценки стабильности процесса шлифования по квартильным широтам, стандартам отклонения и размахам. Показано, что в условиях приоритетного использования непараметрического метода статистики наиболее адекватным оказался коэффициент стабильности $K_{сдi3}$ (12), содержащий информацию по рассеянию 50%-тов наблюдений для рангового метода.

4. Установлено, что круг *TGX 80 I12 VCF 5 (ALTOS)* предпочтительно использовать по мерам положения и рассеяния для шлифования БП из высоколегированных марок: Р9М4К8 ($i=1$) и Р9К5 ($i=3$). Дополнительно он обеспечивает снижение шероховатости БП Р12Ф3К10М3 ($i=2$) и повышение стабильности шлифования БП Р6М5 ($i=4$) и Р18 ($i=5$).

Список литературы:

1. Orhac X., Jeevananthan M., Krause R. et al. Patent WO2007040865A1 PCT/US2006/033438. Abrasive tools having a permeable structure/ - Pub. 12.04.2007.
2. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

Часть 2. Основной метод определения повторяемости воспроизводимости стандартного метода измерений. Введен впервые 2002-01.11. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. - 58с.

3. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. М.: Статистика, 1976. - 598 с.
4. Палей М.М., Дибнер Л.Г., Флид М.Д. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1988. - 298с.
5. Солер Я.И., Нгуен В.Л., Нгуен Ч.К. Прогнозирование точности формы плоских деталей из закаленных сталей при маятниковом шлифовании периферией абразивного круга // Международный научно-исследовательский журнал, 2013. - №12 (19). - Ч.1. - С. 128-134.
6. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. - 409 с.
7. Солер Я.И., Нгуен В.Л., Гуцол И.А. Статистические подходы к микрорельефу плоских деталей из закаленной стали 08X15H5Д2Т при маятниковом шлифовании высокопористыми кругами из кубического нитрида бора и синтеркорунда // Вестник ИрГТУ, 2014. - №4 (87). - С. 33-40.
8. Солер Я.И., Каменская Л.Г., Шумейкина И.М.. Прогнозирование микротвердости пластин Р9М4К8 при плоском шлифовании кругами «Аэробор» // Перспективные технологии получения и обработки материалов: межвуз. сб. тр.; под ред. С.А. Зайдеса. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. - С. 20-25.
9. Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики / пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1983. - 506 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДИЗАЙН-ПРОЕКТОВ

Федорова Наталья Ивановна

канд. техн. наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа

Тростинская Анна Вячеславовна

магистрант 2-ого года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа

INFORMATION SUPPORT IN DEVELOPMENT OF THE DESIGN-PROJECT

Fedorova Natalia Ivanovna, Candidate of Science, associate professor of Ufa State Aviation Technical University, Ufa

Trostinskaya Anna Vyacheslavovna, master student second year of study, Ufa State Aviation Technical University, Ufa

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается информационная поддержка при анализе психологических предпочтений заказчика архитектурных и дизайнерских проектов, рассматриваются различные цветовые решения и их оптическое воздействие на людей с разными темпераментами, предлагается разработка экспертной системы.

ABSTRACT

In this paper considers information support analysis of the customer's psychological preferences of architectural and design projects, considers the various colors and their optical effects on people with different temperaments, are encouraged to develop an expert system.

Ключевые слова: информационная поддержка принятия решений; дизайн-проект; психологическая совместимость; экспертная система.

Keywords: information support for decision-making; design project; psychological compatibility; expert system

Введение

При разработке проектов, таких как, дизайн-проект, проект загородного дома, не всегда учитываются психологические особенности клиента, его индивидуальность, запросы и потребности. Архитектурная мастерская

представляет собой небольшую организацию, основной функцией которой является разработка дизайн-проектов [6]. В связи с высоким уровнем конкуренции архитектурные мастерские вынуждены постоянно улучшать качество разрабатываемых проектов. Поэтому все более важным

становится учет психологических особенностей и потребностей заказчика. Сегодня большое количество людей часами, днями, месяцами ищут дизайнерские решения для своих комнат, квартир, домов. И при этом такие временные и финансовые затраты не всегда приводят к желаемому результату. Заказывая дизайн-проект у профессионального архитектора-дизайнера, клиент не получает каких-либо гарантий. Полученный результат может быть далек от замыслов и предпочтений заказчика. Приняв работу, клиент часто остается в смятении, чувствуя психологический дискомфорт в своем «новом» интерьере. Разработка подобного проекта – это трудоемкий процесс, который связан, в том числе, и с различными аспектами психологии.

1. Особенности функционирования архитектурной мастерской

Основной функцией архитектурной мастерской является разработка дизайн-проектов, которая включает в себя подбор различных отделочных материалов, техники, сантехнического и электротехнического оборудования, текстиля, аксессуаров, предметов мебели, декора, живописи. Разработка подобных проектов – это трудоемкий процесс, который состоит из трех основных этапов: планировочный, стилевой и технологический. Разработке дизайн-проекта предшествует этап разработки эскизного проекта. Эскизный проект – это первый этап в создании интерьера. Основная задача эскизного проекта – это создание прообраза будущего дизайна квартиры, офиса или любого другого помещения. При разработке эскизного проекта разработчик определяет основные стилевые и цветовые решения и идеи будущего интерьера, а заказчик в свою очередь получает представление об основных чертах будущего интерьера. После утверждения эскизного проекта начинается разработка дизайн-проекта, который состоит из следующих разделов: строительная документация, электротехническая документация, сантехническая документация, документация по отделке помещений, документация по установке оборудования мебели, приборов

и предметов интерьера [8]. Проект создается посредством специальных компьютерных программ, которые позволяют спроектировать дизайн любого помещения до мельчайших деталей. Существует большое количество таких программ. Профессиональные архитекторы и дизайнеры как правило используют такие программы, как *AutoCAD*, *ArchiCAD*, *3D Studio MAX* и др. Программа *ArchiCAD* предназначена для моделирования и черчения архитектурных проектов [5]. Основным предназначением продукта *AutoCAD* является создание чертежей, при этом начертить можно абсолютно любой предмет – дизайн-макет каркаса мебели или схему кухни [2]. Программа трехмерного моделирования и анимации *3D Studio MAX* позволяет создавать компьютерный дизайн квартиры или офиса, моделировать предметы мебели [3]. *Google SketchUp* позволяет моделировать интерьер и создавать любые трехмерные объекты [1]. Также существуют программы интерьерного дизайна от производителей мебели *IKEA Home Planner* или Столплит, которые позволяют создать интерьер с мебелью от данного производителя. Существующие автоматизированные системы подбора мебели и других элементов архитектуры и дизайна не учитывают психологические особенности клиента, а только предоставляют электронные каталоги интернет-магазинов или типовые предметы интерьера. Основные временные затраты на разработку приходятся на определение стиля, цветовых решений интерьера, а в условиях современной конкуренции время является ключевым фактором.

2. Психология восприятия цветов в дизайне интерьеров

Каждый цвет определенным образом воздействует на человека. Правильно подобранное цветовое решение делает интерьер более привлекательным, облегчает работу и повышает производительность труда человека [4]. В таблице 1 представлены основные используемые цвета и их влияние на человека.

Таблица 1

Психология цвета в дизайне интерьера

Цвет	Оптическое воздействие	Психологическое воздействие	Где применять
Желтый	Оптически делает помещение просторным, если тон светлый. Если тон интенсивный – стена зрительно «придвигается»	Располагает к коммуникабельности	Кухня Детская Загородный дом
Оранже-вый	Оптически сужает пространство	Возбуждающий, активизирующий, агрессивный цвет	Кухня Гостиная Детская
Красный	Приближается к наблюдателю, вызывает подавление, стеснение в пространстве	Возбуждающий, согревающий, активный, энергичный, активизирует все функции организма	Гостиная Кухня Столовая
Фиолетовый	Оптически сужает пространство	Одновременно успокаивает и бодрит, наводит на длительные размышления о смысле жизни	Кухня Детская Ванная
Синий	Оптически – уменьшает помещения, делает их зрительно ниже	Успокаивающее воздействие	Гостиная Прихожая Спальня

Цвет	Оптическое воздействие	Психологическое воздействие	Где применять
Зеленый	Нейтральный, габариты комнаты не компенсирует	Компенсирует перепады настроения, успокаивает и рассеивает негативный настрой	Гостиная Офис Детская Столовая Прихожая
Черный	Визуально отдаляет объект и уменьшает его. поглощает свет, уменьшая окружающее пространство	Деловое, серьезное и тяжёлое	Ванная Кухня Гостиная
Белый	Расширяет пространство	Светлое, ясное, лёгкое	Гостиная Офис Ванная
Бежевый	Нейтрален	Пассивно-нежный	Спальня Гостиная Офис Прихожая

Неповторимость психики каждого человека связана с особенностями физиологического строения и развития организма, с различными внешними воздействиями социальной среды. Темперамент – динамическая характеристика личности во всех ее действенных проявлениях и чувственная основа характера. Преобразуясь в процессе формирования характера, свойства темперамента переходят в черты характера, содержание которого неразрывно связано с направленностью личности. Цвета различным образом влияют на людей с разными темпераментами. К примеру, меланхолики предпочитают сине-голубые цвета. Синий и голубой дают меланхолику гармонию, расслабление, удовлетворённость. Компенсирующими цветами для такого человека является палитра красного, оранжевого и жёлтого спектра. Она способна расшевелить статичных меланхоликов, дать импульс к действию, активизировать их [7].

Таким образом, при разработке проектов жилых помещений цвет приходится учитывать наряду с большим количеством других факторов, поэтому архитектору-проектировщику необходимо оказывать информационную поддержку.

3. Оказание информационной поддержки архитектору

Предлагается разработать экспертную систему, предназначенную для оказания информационной поддержки при анализе психологических предпочтений заказчика архитектурных и дизайнерских проектов. В данной экспертной системе будут использоваться экспертные знания архитекторов и инженеров различных специализаций, дизайнеров и психологов [9]. Экспертная система позволит пользователю на основе результатов краткого психологического тестирования получить некоторые рекомендации по разрабатываемому проекту: стиль интерьера, цветовые решения помещений, которые включают в себя психологическое и оптическое воздействие, а также сочетание с другими цветами и рекомендации по применению в помещениях. Системой также будут предлагаться рекомендации в зависимости от типа темперамента – это предпочтения в цвете и компенсирующие цвета. Кроме этого, будут предложены различные рекомендации по использованию различных отделочных и строительных материалов, рекомендации, связанные с установкой электро-технического и сантехнического оборудования.

Заключение

В результате разработки и внедрения экспертной системы архитектурной мастерской упростится процесс создания дизайнерских решений. Применение информационных технологий в деятельности архитектурной мастерской значительно упростит и ускорит процесс разработки дизайн-проектов, позволит улучшить качество обслуживания клиентов, что важно в условиях конкуренции на современном рынке дизайнерских услуг.

Список литературы:

- 3D редактор любителей и профессионалов в дизайне и проектирование [Электронный ресурс]. – Режим доступ. - URL: <http://sketchup.ru>
- Возможности программы AutoCAD для проектирования и выпуска рабочей документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.autodesk.ru/products/autocad/features/all/gallery-view>
- Программное обеспечение для 3D-моделирования и анимации [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/features/all/gallery-view>
- Помощь в выборе цвета – Dulux [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.dulux.ru/help>
- Проектирование в ArchiCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.graphisoft.ru/archicad/archicad/design>
- Проектирование и дизайн интерьера. Устройство архитектурного бюро [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.trds.ru/article/proektirovanie-zagorodnyx-domov/buro.html>
- Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. СПб: Питер, 2000. – С. 181-207, 496-512.
- Частный дизайнер интерьера Екатерина Агева [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.ae-interiors.ru>
- Черняховская Л.Р. Информационная поддержка принятия решений в оперативном управлении деловыми процессами предприятия [Текст] / Л.Р. Черняховская, Н.И. Федорова, Р.И. Низамутдинова // Вестник УГАТУ: Научный журнал УГАТУ. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2011. – Т. 15, № 2 (42). - С. 172-176.

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Тюренков Александр Сергеевич

аспирант Уральского государственного университета путей сообщения

THE VENTILATION SYSTEM OF TRACTION ELECTRIC MACHINES

Tyurenkov Alexander, graduate student of Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены системы вентиляции тяговых двигателей магистральных электровозов, а также рассмотрены возможные причины отказов тяговых двигателей электровозов 2ЭС6.

ABSTRACT

This article describes the ventilation system traction motors electric locomotives, as well as the possible causes of failures traction motors of electric locomotives 2ES6.

Ключевые слова: системы вентиляции, тяговый двигатель.

Keywords: ventilation system, traction engine.

В процессе работы тяговых электрических машин (ТЭМ) все возникающие в них потери превращаются в тепловую энергию. Часть этой энергии отдается в окружающую среду, часть идет на повышение температуры узлов машины. Возможность реализации наибольшей мощности в течение продолжительного времени определяется условиями нагревания ТЭМ. Эту задачу в основном решают с

помощью вентиляции – продувания охлаждающего воздуха через машину. Вентиляционный воздух воспринимает тепло нагретых частей машины и охлаждает их.

Несмотря на многообразие различных систем вентиляции (рис. 1) ТД электровозов, имеющие значительную мощность, выполняются с независимой групповой вентиляцией, при которой от одного вентилятора охлаждаются ТД одной тележки или секции электровоза.



Рис. 1 – Классификация систем вентиляции

Они имеют аксиальную вентиляцию с параллельным осевым движением воздуха по каналам якоря и в межкатушечном пространстве (рис. 2). Воздух обычно поступает со стороны коллектора. В целях улучшения защиты

ТД от загрязнения и увлажнения часто применяют полузамкнутый цикл циркуляции воздуха при котором часть воздуха проходящего через двигатель опять поступает в смесительную камеру, а часть выходит в атмосферу.

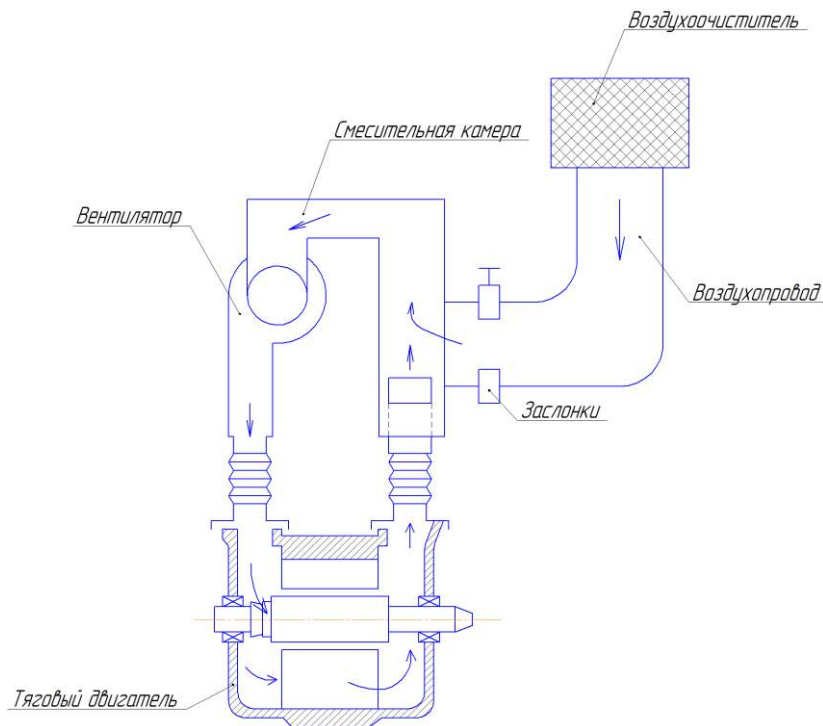


Рис. 2 – Система полузамкнутой независимой вентиляции

Условия работы ТД практически исключают возможность использования других более эффективных систем охлаждения (водяного, масляного, криогенного). Однако, на зарубежном электроподвижном составе (ЭПС) известны попытки использования жидкостного охлаждения ТД. Так в 1993 г. Австрийское отделение Adtranz (ныне Bombardier Transportation Austria), разработало для вагонов трамвая с низким уровнем всей площади пола специальный вид тягового привода. Он базируется на трехфазном асинхронном двигателе с внешним ротором и жидкостным охлаждением, который приводит во вращение одно колесо.

Развивающаяся экономика страны требует повышения объемов и качества перевозок. С этой целью в ноябре 2006 года был выпущен грузовой электровоз 2ЭС6 – вы-

сокоэффективный современный грузовой двухсекционный восьмиосный электровоз постоянного тока с коллекторными ТД. Но в ходе эксплуатации были выявлены серьезные проблемы с ТД электровоза.

На рис. 3 приведена статистика отказов по видам оборудования. Из диаграмм видно, что самое большое количество отказов 42% приходится на электрооборудование локомотива, 23% на ТД. Таким образом ТД является одним из уязвимых узлов электровоза.

На рис. 4 показаны основные причины выхода из строя ТД. Большую долю причин выхода из строя ТД составляют: повреждение конуса коллектора, прогар коллектора, короткое замыкание якорной цепи. Выше перечисленные неисправности обусловлены неудовлетворительными потенциальными условиями на коллекторе ТД и сложными тепловыми режимами работы изоляции.



Рис. 3 – Статистика отказов электровозов серии 2ЭС6 за 2012 г

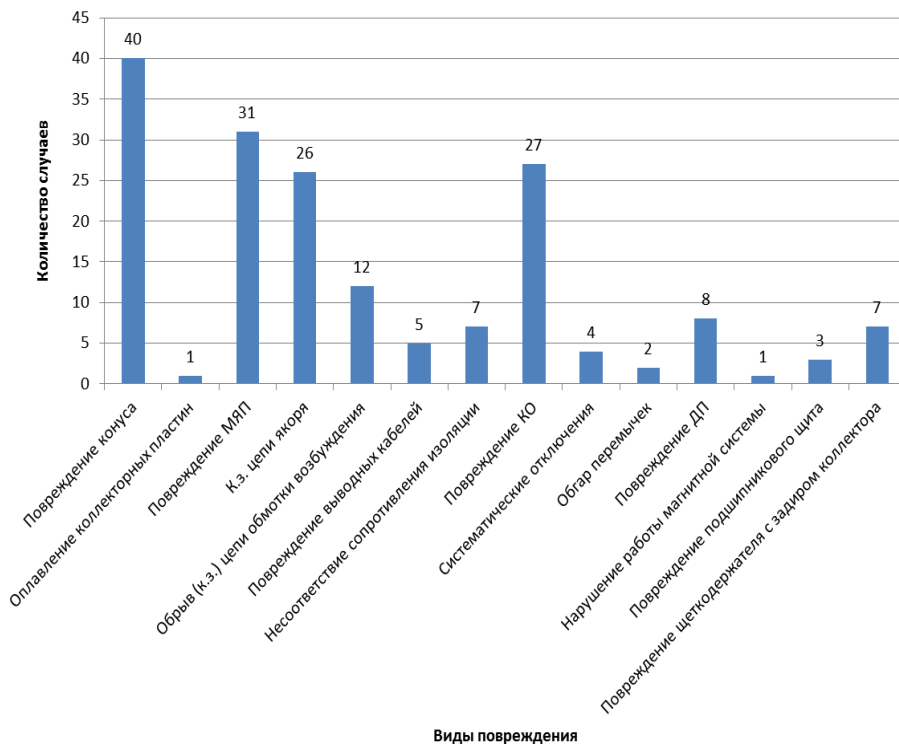


Рис. 4 – Распределение причин выхода из строя ТД в 2012 г

На кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС был произведен поверочный расчет основных конструктивных параметров и рабочих показателей машины.

Было выявлено, что в номинальном режиме работы двигателя (расход воздуха 75 м³/мин, ток якоря 540 А) температура якорной обмотки достигает 172 °С (рис. 5). Как видно из графика, при максимальном расходе воздуха при повышении тока якоря до 560 А температура якорной

обмотки превышает допустимую температуру для класса изоляции «Н» равную 180 градусам. Из графика зависимости температуры от расхода воздуха видно, что при понижении объема воздуха до 60 м³/мин температура меди превышает допустимую. Объем поступающего воздуха может быть уменьшен за счет неправильной регулировки жалюзи, засоренности фильтра, отсутствия или неисправности сопрягающего суфле.

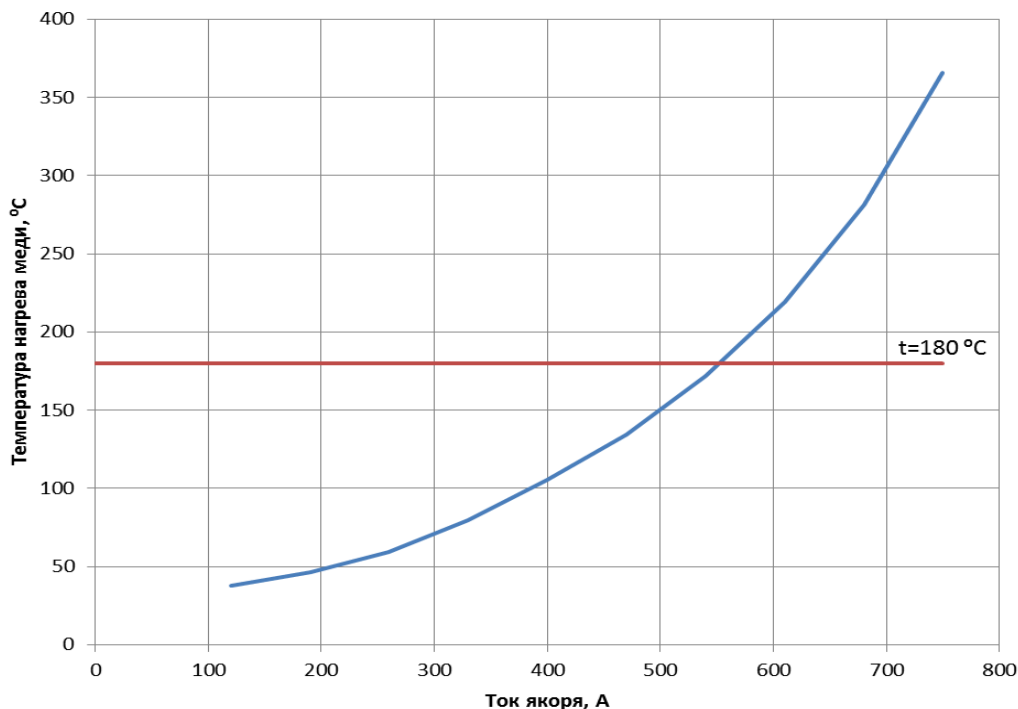


Рис. 5 – Зависимость температуры обмотки якоря от тока якоря, при объеме охлаждающего воздуха Q = 75 м³/мин

Тепловой расчет компенсационной обмотки (КО) показал, что при токе в 600 А температура меди превышает допустимую для изоляции класса «Н» (рис. 6). В

номинальном режиме работы температура при любом расходе воздуха не превышает критическую.

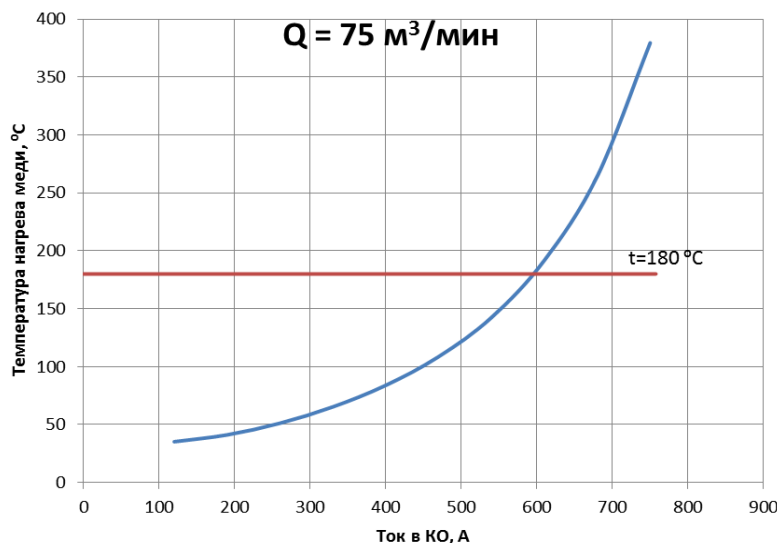


Рис. 7 – Зависимость температуры КО от тока якоря

Стоит отметить, что еще одной причиной, которой нет на других локомотивах, может быть система автоматического регулирования скорости вращения вентилятора охлаждения ТД. Скорость вращения вентилятора на электровазоне 2ЭС6 зависит от значения тока в цепи ТД и при понижении его объем охлаждающего воздуха резко снижается. При этом ввиду тепловой инерционности меди, при многочасовой работе с повышенными токами температура меди сохраняет свое значение и машина работает с пониженным расходом охлаждающего воздуха и критическими температурами меди обмоток, что может привести к пробоям изоляции, прогарам конусов якорей и межвитковым замыканиям.

В связи с этим целесообразно выполнить пересчет требуемого объема воздуха, а также усовершенствовать алгоритм управления скоростью вращения мотор-вентиляторов.

Список литературы:

1. Захарченко Д. Д. и др. Тяговые электрические машины и трансформаторы: уч. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1991. – 295 с.
2. Алексеев А. Е. Тяговые электрические машины и преобразователи: уч. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1977. – 465 с.
3. Тяговые электродвигатели электровазонов / В. И. Бочаров, В. И. Захаров, Л. Ф. Коломейцев, Г. И. Колпахчан, М. А. Комаровский, В. Г. Наймушин, В. И. Седов, И. И. Талья, В. Г. Щербаков, В. П. Янов; Под. ред. В. Г. Щербакова. – Новочеркасск: Агентство Наутилус, 1998. – 672 с.: ил.

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Мещеряков Виктор Николаевич

доктор техн. наук, зав. кафедрой электропривода, профессор Липецкого государственного технического университета, г. Липецк.

Усов Сергей Васильевич

аспирант кафедры электропривода Липецкого государственного технического университета, г. Липецк.

NEW DIRECTIONS IN DEVELOPMENT OF THE INDUCTION MOTOR DRIVE

Mesherekov Viktor, Doctor of Science, Head of Electrical Drive department, professor of Lipetsk State Technical University, Lipetsk.

Usov Sergej, Postgraduate student of Electrical Drive department of Lipetsk State Technical University, Lipetsk.

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются преимущества и недостатки принципа прямого управления моментом (ПУМ), применение трехуровневых инверторов для электроприводов с ПУМ, отмечены перспективные направления развития систем с ПУМ.

ABSTRACT

In article advantages and lacks of a principle of a Direct Torque Control (DTC), application of three-level inverters for electric drives from DTC are considered, perspective directions of development of systems from DTC are noted.

Ключевые слова: прямое управление моментом (ПУМ), система управления, трехуровневые (многоуровневые) инверторы.

Keywords: Direct Torque Control (DTC), system control, three-level (multi-level) inverter.

В настоящее время регулируемый электропривод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором стал главным типом промышленного электропривода. Регулирование параметров (скорость, момент, магнитный поток) в динамических и статических режимах работы двигателя стало возможным, благодаря применению векторного подхода к построению систем управления электроприводами.

Прямое управление моментом (ПУМ) – Direct Torque Control (DTC) является развитием векторного подхода к построению систем управления асинхронным двигателем. Задачей прямого управления моментом является обеспечение быстрой реакции электромагнитного момента двигателя на управляющее воздействие [2, с. 153].

В основе принципа ПУМ лежит выражение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{k_1}{\omega L_2} |\overline{\Psi}_1| \cdot |\overline{\Psi}_2| \cdot \sin \vartheta, \quad (1)$$

где $\overline{\Psi}_1$ – пространственный вектор потокосцепления статора,

$\overline{\Psi}_2$ – пространственный вектор потокосцепления ротора,

ϑ – угол между векторами потокосцепления статора и ротора.

Для управления моментом, с учетом того, что постоянная времени ротора асинхронного двигателя велика, принимают модуль потокосцепления ротора величиной неизменной. Если поддерживать постоянство модуля потокосцепления статора, то электромагнитный момент двигателя можно изменить так быстро, как быстро можно изменить угол ϑ , поворачивая вектор потокосцепления статора.

Воздействие на вектор потокосцепления статора определяется из уравнения равновесия напряжения статорной цепи в неподвижной системе координат, предполагая, что активное сопротивление статора пренебрежимо мало:

$$\overline{U}_1 = \frac{d}{dt} \overline{\Psi}_1, \quad (2)$$

где \overline{U}_1 – пространственный вектор напряжения статора.

Таким образом, изменяя вектор напряжения, можно поворачивать вектор потокосцепления статора и изменять угол ϑ , воздействуя этим на значение момента двигателя [2, с. 154-155]. Для поворота вектора потокосцепления статора используют шесть фиксированных не нулевых пространственных вектора напряжения, переключение между которыми осуществляется в зависимости от текущего положения и значения вектора потокосцепления статора, текущего значения момента.

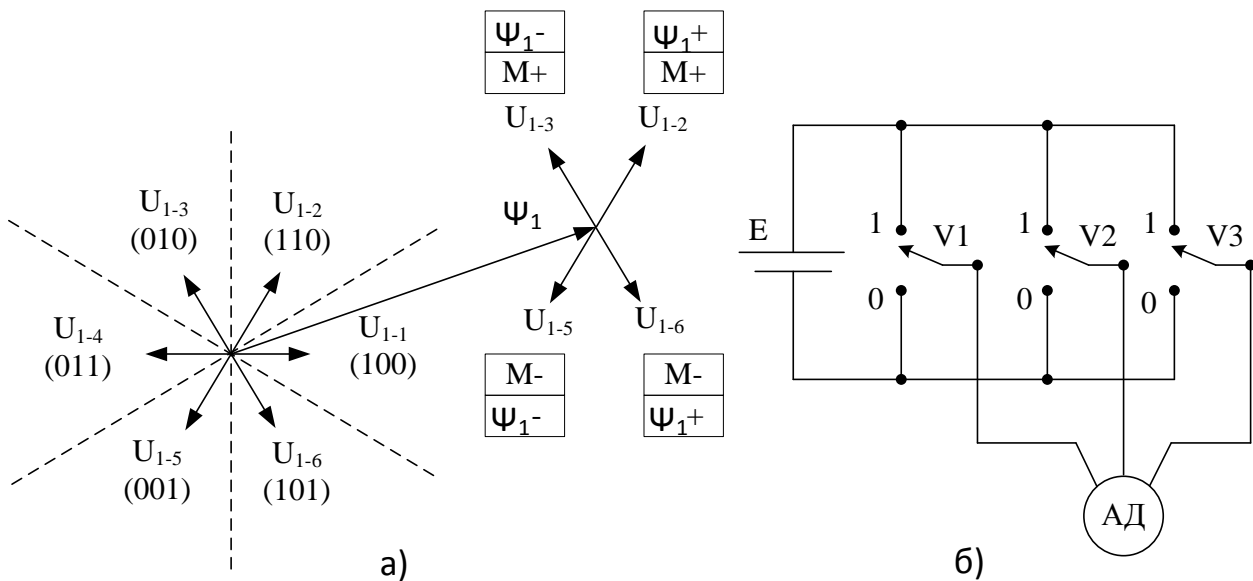


Рисунок 1. Принцип прямого управления моментом
 а) диаграмма включения векторов напряжений;
 б) структурная схема подключения фаз двигателя к инвертору.

На рис. 1а приведена диаграмма включения шести фиксированных пространственных векторов напряжения, которые реализуются при различном подключении фаз к разным полюсам инвертора. Положение ключей V_1, V_2, V_3 для создания каждого вектора напряжения приведены в скобках. Ключи V_1, V_2, V_3 на рис. 1б изображены схематично и отражают состояние сборок на IGBT транзисторах.

На рис. 1а приведен пример для регулирования параметров асинхронного двигателя (электромагнитный момент M , потокосцепление статора Ψ_1) при нахождении вектора Ψ_1 в первом секторе. Для изменений параметров необходимо создать пространственный вектор напряжения в зависимости от текущего режима работы двигателя.

Регулирование в системах ПУМ осуществляется с помощью релейные (гистерезисные) регуляторы момента и потока. Функциональная схема управления двигателем основанная на ПУМ с релейными регуляторами момента и потока, приведена на рис.2.

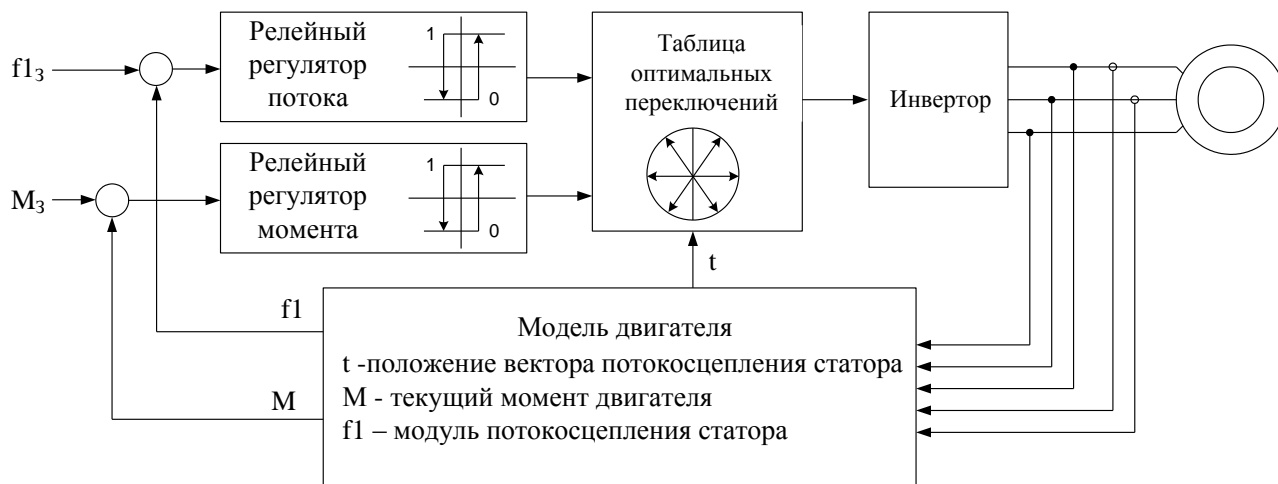


Рисунок 2. Функциональная схема системы ПУМ

Основными достоинствами систем ПУМ по сравнению с системами векторного управления на базе инверторов с широтноимпульсной модуляцией (ШИМ) является:

- отсутствие вычислений связанных с прямым и обратным преобразованием величин для вращающихся и неподвижных систем координат;
- отсутствие ШИМ и промежуточных контуров тока в системе управления.

Все это позволяет применять простые алгоритмы управления, что ощутимо сказывается на быстродействии системы. Электропривод с ПУМ обрабатывает задание на момент за 1-2мс, при векторном управлении с ШИМ - 10мс.

В системе ПУМ повышенные требования предъявляются к модели двигателя в отношении точности расчета текущих значений потока статора и момента. Удовлетворительное качество переходных процессов обеспечивается только в том случае, если погрешность оценки сопротивления статора не превышает 5%. При погрешности 10% система теряет работоспособность. Это ставит новые задачи для развития алгоритмов управления систем ПУМ [1, с. 86-99].

Недостатком систем ПУМ является наличие пульсаций в электромагнитном моменте вследствие дискретности переключения векторов. Одним из перспективных направлений по решению данной задачи является применение многоуровневых инверторов напряжения в системе ПУМ.

Принцип многоуровневых инверторов (рис.3б) заключается в том, что в звене постоянного тока существует несколько уровней напряжения, переключение между которыми позволяет для систем ПУМ изменить количество и величину фиксированных ненулевых пространственных векторов напряжения.

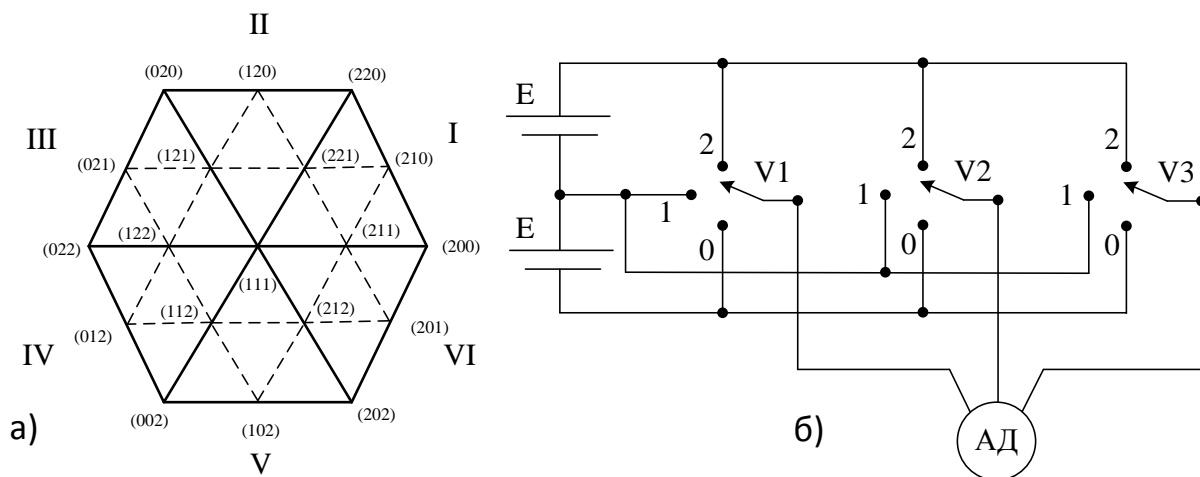


Рисунок 3. Трехуровневый инвертор с ПУМ

- а) диаграмма векторов напряжений;
 б) структурная схема подключения фаз двигателя к трехуровневому инвертору.

На рис.3а. приведена диаграмма пространственных векторов для трехуровневого инвертора [3, с. 66-67].

На концах пространственных векторов, которые возможно создать при использовании трехуровневого инвертора, в скобках обозначены положения ключей. Как видно из диаграммы, возможно создание шести основных

векторов с концами в вершинах шестиугольника, шести средних векторов с концами в середине сторон шестиугольника и шесть малых векторов, концы которых лежат на центральных участках основных векторов. Такое мно-

гообразии пространственных векторов напряжения позволяет плавно изменять вектор потокосцепления статора и тем самым сгладить пульсации.

Для реализации полного управления пространственным вектором напряжения используют пространственную векторную модуляцию (Space Vector Modulation, DTC-SVM), то есть переключают векторы близлежащие к заданному вектору с определенной частотой и определенной длительностью, рассчитанные системой управления. Шесть основных векторов делят всю рабочую область на шесть секторов (I-VI), которые в свою очередь делятся на четыре зоны каждый. Система управления по модели двигателя определяет, в какой зоне находится текущий пространственный вектор, и по определенным законам переключает стандартные векторы, образующие вершины зоны.

Использование многоуровневых инверторов совместно с новыми алгоритмами управления для систем ПУМ позволяют сглаживать пульсации электромагнитного момента.

Наиболее перспективными для развития систем управления скоростью асинхронного двигателя с применением принципа ПУМ является использование релейных регуляторов совместно с многоуровневыми инверторами

напряжения. Исследование этих систем и разработка новых алгоритмов управления - это одна из актуальных задач современного электропривода, характеризующегося повышенными требованиями к быстродействию регулирования параметров и оптимизации алгоритмов управления.

Список литературы:

1. Народицкий А. Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. СПб.: ООО НПО «Санкт-Петербургская Электротехническая компания», 2004. – 128с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272с.
3. Mascarenhas M. M. B. P. Speed Control of Induction Machine based on Direct Torque Control Method. Faculdade de Ciencias e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://run.unl.pt/bitstream/10362/9957/1/Mascarenhas_2013.pdf]

ОСНОВНЫЕ ВЛИЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ КОРРОЗИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

Бектурганова Гюльмира Каировна

Кандидат химических наук, Заведующая лабораторией физико-химических исследований РГП «КазИнМетр», г. Астана

Веретельников Никита Викторович

Эксперт 1 категории РГП «КазИнМетр», г. Астана

Адамбаева Корлан Самбеталиевна

KEY FACTORS AFFECTING CORROSION OF INTERNAL SURFACE OF PIPES

*Bekturganova Gulmira, PhD, Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research RSE "KazInMetr", Astana
Veretelnikov Nikita, Expert 1 category RSE "KazInMetr", Astana, Adambayeva Korlan, Astana*

АННОТАЦИЯ

Сероводородное растрескивание труб является причиной разрушения трубопроводов, и утечки нефтепродуктов. Сероводородное растрескивание сталей является следствием наводороживания и снижения пластических свойств металла в процессе электрохимической коррозии в присутствии сероводорода.

В качестве предложения по снижению рисков предлагается усовершенствованная конструкция трубы.

В связи с высокими требованиями к качеству изготовления оборудования, предназначенного для сред, содержащих сероводород, большое внимание должно быть уделено методам контроля.

ABSTRACT

Hydrogen sulfide cracking tube is the cause of damage to the pipeline, and oil spills. Hydrogen sulfide cracking of steels is the result of hydrogen absorption and reduce the plastic properties of the metal in the process of electrochemical corrosion in the presence of hydrogen sulfide.

As a proposal to reduce the risks offered improved design of the pipe.

Due to the high quality standards of manufacturing equipment designed for environments containing hydrogen sulfide, great attention should be paid to the methods of control.

Ключевые слова: сероводород, растрескивание сталей, коррозия, трубопровод.

Keywords: hydrogen sulfide, cracking steel, corrosion, conduit.

С открытием и освоением нефтегазовых месторождений в составе продукции скважин которых содержится сероводород, проблема защиты металлоконструкций от сероводородной коррозии встала со всей остротой.

Впервые с проблемами, связанными с эксплуатацией труб в средах с повышенным содержанием сероводорода, столкнулись в середине прошлого века при разработке нефтегазовых месторождений в США и Канаде. Ряд аварий на месторождениях обнаружил очевидную необхо-

димость создания нормативной документации, регламентирующей требования к материалам, пригодным для эксплуатации в «кислых» средах.

Влияние сероводорода на сталь выражается в сероводородном растрескивании под напряжением (СРН) и водородным растрескиванием (ВР) типа расслоения. Кроме того, в средах в присутствии влаги происходит электрохимическая в т. ч. сплошная локальная коррозия внутренней поверхности труб и оборудования.

Низшим пределом концентрации сероводорода в газах, при котором возникают вышеуказанные виды коррозии, принято считать концентрации, обуславливающие при рабочем давлении в трубопроводе парциальное давление сероводорода PH_2S более 300 Па [1 с. 5].

Сероводородное растрескивание сталей является следствием наводораживания и снижения пластических свойств металла в процессе электрохимической коррозии в присутствии сероводорода.

Этот вид разрушений появляется в форме водородного растрескивания (ВР) с возникновением видимых визуально трещин и мелких расслоений во многих, расположенных в плоскостях параллельных поверхности трубы [1

с. 12], постоянно растущих по величине под напряжением металла и без напряжения.

Процесс сероводородного коррозионного растрескивания относится к процессам, идущим по электрохимическому механизму, необходимым условием протекания которого является наличие в металле растягивающих напряжений (извне приложенных или остаточных) при одновременном воздействии на металл коррозионной среды.

Упрощенная схема процесса сероводородного коррозионного растрескивания с учетом всех стадий сложного механизма представлена на рис. 1.



Рис. 1. — Схема процесса сероводородного растрескивания.

В качестве предложения по снижению рисков предлагается усовершенствованная конструкция трубы.

Одним из основных предлагаемых изменений, вносимых в конструкцию, является замена трубы из углеродистой стали на трубу из материала, не подверженного коррозии (нержавеющая сталь, полимерный материал, керамика, силикатноэмалевые покрытия стальных труб и фитингов). Обоснованность такой замены не ставится под сомнение при производстве предизолированных труб для продуктопроводов химических и добывающих отраслей промышленности, трубопроводов горячего водоснабжения, подверженных интенсивной внутренней коррозии [1 с. 11]. В тоже время весьма ограниченный ассортимент производимых из нержавеющей сталей и полимерных материалов труб (мелкие и средние диаметры), особенности монтажа и высокая для большинства потребителей стоимость не позволяют надеяться, что данная конструкция в обозримом времени получит доминирующее положение [2 с. 1].

Сложившаяся на данный момент ситуация подсказывает, что решение проблемы повышения надежности следует искать в области взаимного пересечения интересов как производителей, так и потребителей предизолированных труб. Основные меры по улучшению:

- меры по повышению надежности конструкции «труба в трубе» должно быть простыми и дешевыми;
- технология должна быть легко реализуема в существующей промышленной поточной технологической цепи;
- правила монтажа предизолированных труб улучшенной конструкции не должна принципиально отличаться от ранее разработанных правил.

Для предотвращения сероводородного коррозионного растрескивания нефтезаводского оборудования рекомендуется применять стали с пределом текучести не более 540 МПа и твердостью не более 22 НRc, стойкие к водородному растрескиванию.

Имеется положительный опыт защиты от сероводородного расслоения оборудования нефтеперерабатывающих заводов в результате применения сталей, стойких к водородному растрескиванию.

Углеродистые и низколегированные стали, легированные кальцием и редкоземельными металлами, с содержанием серы не более, 0,01 % обладают удовлетворительной стойкостью к водородному растрескиванию. Стойкость стали зависит от соотношения в ней содержания Са и S.

Влияние содержания серы и кальция на стойкость сталей к водородному растрескиванию

В качестве стали, характеризующейся повышенной стойкостью к сероводородному коррозионному растрескиванию, рекомендуется сталь марки 20ЮЧ с повышенными техническими требованиями в отношении содержания серы и фосфора, чистоты и формы неметаллических включений, качества металла. Использование полностью раскисленных добавками кремния сталей, горячекатанных и отожженных материалов, а также ограничение применения кипящих, полуспокойных и автоматных сталей уменьшает вероятность водородному растрескиванию [2 с. 5].

При изготовлении оборудования необходимо избегать или свести к минимуму холодную пластическую деформацию при гибке, штамповке в холодном состоянии, затяжке болтов, резке ножницами и др. Для снятия остаточных технологических напряжений рекомендуется проводить термическую обработку (высокий отпуск при 620 °С) готового оборудования из углеродистых и низколегированных марок сталей.

Для предотвращения растрескивания сварных соединений рекомендуется ограничение твердости сварных швов ниже 200 НВ и проведение термической обработки для снятия остаточных сварочных напряжений.

При проектировании и монтаже необходимо предотвратить возникновение высоких напряжений в металле [2 с. 11].

Для оборудования, работающего в средах, способных вызвать сероводородное коррозионное растрескивание, недопустима сварка сталей разного класса (например, углеродистых ферритно-перлитных и легированных аустенитных сталей), а также применение аустенитных электродов для сварки низколегированных перлитных сталей. Надежность сварных аппаратов и трубопроводов определяется также качеством сварных соединений и особенно качеством корня шва, контактирующего с сероводородсодержащей средой. Нередки случаи нарушения технологии сварочно-монтажных работ, приводящие к ухудшению качества сварных соединений. Поэтому одной из мер, направленных на повышение коррозионной стойкости, является тщательное соблюдение существующей технологии сварки и контроля качества изготовления оборудования. Это позволит значительно сократить число дефектов, инициирующих сероводородное растрескивание, и тем самым повысить надежность сварных конструкций в среде сероводорода.

В связи с высокими требованиями к качеству изготовления оборудования, предназначенного для сред, содержащих сероводород, большое внимание должно быть уделено методам контроля, обеспечивающим высокое качество сварных соединений. Для этого широко применяют рентгеновское или γ -просвечивание, ультразвуковой контроль, контроль капиллярным методом, методом магнитных потоков рассеивания, контроль с помощью газов и жидкостей. Контроль качества поверхности корневой части швов труб с внутренней стороны может осуществляться с помощью эндоскопов. Для контроля сварных соединений труб с трубными досками разработана специальная методика рентгеновского просвечивания. Магнитный порошковый метод и металлографический метод отпечатков позволяют выявлять поверхностные трещины в сварных соединениях труб и теплообменников, вызванные растрескиванием под напряжением.

Особенно важные и ответственные элементы оборудования можно изготавливать из материалов, стойких к сероводородному коррозионному растрескиванию: стали марки 10X17H13M3T, монель-металла (НМЖМц 28-2,5-1,5), нимоника (ХН78Т, ХН80Т), хастеллоя В (Н70М27Ф) и хастеллоя С (0X15H55M16B), стеллитов (30—31% Cr, 2,0—13,0% W, 0,35—2,5 % C, остальное Co). Все эти сплавы дороги и дефицитны. Более экономично использование соответствующих биметаллических материалов [3 с. 14].

Для защиты оборудования от сероводородного коррозионного растрескивания можно рекомендовать защитные покрытия, футеровки, которые уменьшают коррозионное поражение оборудования. Однако известные покрытия не обеспечивают 100 %-й защиты от наводороживания металла. Для защиты от коррозии используют специальные порошковые эпоксидные материалы, нанесенные на грунтованную и покрытую полиамидом 11 поверхность, эпоксидную шпатлевку ЭП-00-10, торкрет-бетонную футеровку. Широкое внедрение лакокрасочных покрытий сдерживается из-за сложности и трудоемкости нанесения составов на внутреннюю поверхность, высоких требований подготовки поверхности для обеспечения хорошей адгезии, необходимостью ограничения температуры пропарки < 100 С (мягким паром); необходимостью применения токсичных материалов, осторожности при транс-портировке и монтаже.

Эффективной мерой предотвращения расслоения металла является использование для изготовления нефтеаппаратуры биметалла с плакирующим слоем из стали 08X13. Защита от водородного расслоения путем применения биметалла (ВСтЗсп или 16ГС + 08X13) успешно использовалась на практике в средах с рН > 6. В агрессивных средах кислого характера сталь 08X13 подвергается заметной коррозии и наводороживанию, что приводит в особо кислых средах к коррозии плакирующего слоя или его отслоению от основного металла [3 с. 46].

Для защиты оборудования от сероводородного коррозионного растрескивания широко используют химико-технологические методы снижения коррозионной агрессивности среды. При скорости коррозии стали от 0,02 до 0,05 мм/год расслоение может происходить после 10—12 лет эксплуатации, а при более высокой скорости коррозии — после срока от 6 мес до 2 лет. Однако следует иметь в виду, что в присутствии стимуляторов наводороживания (цианиды, мышьяк, селен, сурьма) процесс водородное растрескивание значительно ускоряется даже при очень низких скоростях сероводородной коррозии.

Список литературы:

1. Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов // изд.2, 2003, 783 с.
2. Харина И. Л., Гутарева А. С., Морозова Т. В. Стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания низколегированной стали высокой чистоты для трубопроводов сероводородсодержащих сред. Россия, г. Москва, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», 25 с.
3. Никифорова В.М., Рябченков А.В., Решеткина Н.А. Исследование стойкости сталей к коррозионному растрескиванию в насыщенном растворе сероводорода. В кн.: Влияние коррозионных сред на прочность стали. М.: Машгиз, 1955, № 77, с.25-35.

ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ ПО ЗАПАЗДЫВАЮЩИМ НЕЙТРОНАМ

Борисов Валерий Федорович

генеральный директор ООО «Авроатом»

Виноградов Александр Леонидович

канд. техн. наук, главный инженер ОАО «Моринсис-Агат-КИП»

OPERATIVE DIAGNOSTICS TECHNOLOGY OF FUEL ELEMENT CLADDING TIGHTNESS ON DELAYED NEUTRONS

Borisov Valery Fedorovich, General manager JSC Avroatom

Vinogradov Alexandr Leonidovich, Candidate of Science, chief Engineer JSC Morinsis-Agat-KIP

Аннотация

В статье описан способ контроля герметичности оболочек ТВЭЛ, основанный на регистрации запаздывающих нейтронов продуктов деления, вышедших через дефекты оболочки ТВЭЛ в теплоноситель. Способ позволяет повысить оперативность и надежность контроля на начальном этапе развития разгерметизации оболочек ТВЭЛ.

Abstract

The paper describes the method to monitor the leak tightness of fuel rods cladding based on detection of delayed fission products neutrons leaking through the fuel rods cladding defects to the coolant. The method allows to improve the efficiency and reliability of monitoring at the initial stage of the fuel rods cladding failure.

Ключевые слова: атомная электростанция, ТВЭЛ, регистрация нейтронов продуктов деления.

Keywords: Nuclear Energy Plant, Fuel Elements, Detection of Fuel Fission Products.

During operation of NEP (nuclear energy plant) one of the most important tasks is to monitor the state of the fuel elements of the active zone (core). All currently existing control methods are based on detection of fuel fission products in the coolant that have accumulated during the operation of the reactor plant and fall into the coolant when fuel element cladding tightness is broken. The most widely known and exhaust from a methodological point of view, are sampling methods when analysis of the sample is carried out under laboratory conditions [1]. The main drawback of these methods is low efficiency (several hours) of the results connected with long procedures of aliquots sampling and preparation of counting samples. Moreover, often there are technological and regulatory restrictions for sampling and thus in these cases, the basic equipment control is not feasible at all. Recently the loop control systems of coolant activity control have been developed and found application by nuclear facilities. The most famous ones are gamma - spectrometric installations (technological gamma – spectrometers), which allow to obtain on-line data on radionuclide composition of the coolant within several minutes [2]. Despite the fact that such spectrometers operate constantly when the reactor is at work and are not tied to technological regimes, their efficiency is reduced because of sensitivity to the influence of external and internal (present in a controlled environment) background gamma - radiation. It results in the need to accommodate such detection devices at significant distances from the reactor

facility and to conscious increase of the controlled environment delivery time. Coolant activity control systems (installations) on delayed neutrons based on detection of neutrons, appearing when fission products, which contain the nuclei of delayed neutron precursors, get into the coolant (when cladding tightness is broken), are devoid of the above drawbacks and thus can provide the best efficiency [3]. When poor tightness appears, the system operated continuously during the test registers in a short time a significant increase (surge) of neutron activity in the coolant, which then remains at this higher level.

According to the physicochemical properties fission products, which are the nuclei – precursors of delayed neutrons, can be divided into two groups:

–Gaseous fission products, penetrating through microcracks (gas leaks), and radioactive noble gases entrained by the coolant (krypton and xenon isotopes) with their decay products (isotopes of rubidium and cesium);

–Volatile fission products - water-soluble isotopes of tellurium, iodine, bromine, etc., penetrating through the open cracks by diffusion and carried away at direct contact with the coolant.

Detection efficiency on delayed neutrons of the fission products’ “bundle”, which emerged from the active zone (core), depending on the time of delivery to the detection point is distributed as indicated in Table 1.

Table 1

Relative delayed neutron detection efficiency of delivery time.

First group								
Delivery time to the point of detection, s	0	5	10	15	20	25	30	40
Comparative effectiveness of registration, %	100	19,2	6,3	3,6	2,7	2,2	1,9	1,1
Second group								
Delivery time to the point of detection, s	0	5	10	15	20	25	30	40
Comparative effectiveness of registration, %	100	28,6	12,3	7,3	5,2	3,9	3,1	2,5

In addition to fission products - delayed neutron precursors, the background neutron sources are present in the coolant, the main one of them is the nitrogen isotope ^{17}N ($T_{1/2} \sim 4.2$ s), which is formed in the reactor active zone (core) on fast neutron reaction $^{17}\text{O} (n, p) ^{17}\text{N}$. Radiation power of neutrons by nitrogen-17 nuclei directly at the core outlet is

equal to the amount of 3.9×10^3 neutrons $\text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$. Neutron detection efficiency fall of ^{17}N depending on the time of delivery to the detection point is reflected in Table 2 (Figure 1 shows the isotopes activity decay of the first and the second groups, as well as nitrogen).

Table 2

Neutron detection efficiency fall of nitrogen, depending on the time of delivery to the detection point

Delivery time to the point of detection, s	0	5	10	15	20	25	30
Comparative Effectiveness of registration, %	100	43,8	19,2	8,4	3,7	1,6	0,7

Figure 1 shows the isotopes activity decay of the first and the second groups, as well as nitrogen-17. Thus, by placing detection blocks on pipelines of the first contour, where the transportation of coolant is about 1.5-2.0 s and the highest possible value of the signal from delayed neutrons is provided, as well as by applying special methods of the desired signal isolation, one can implement an effective method of fuel elements' claddings tightness control in online mode.

To implement the capability of monitoring the neutrons from fission products two problems should be solved:

– to single out an operating signal from the fission products at the external background, determined by the radiation from the reactor assembly surface;

– to single out an operating signal from the fission products at the internal background, determined by "noise" component of the nitrogen isotope ^{17}N and thermal neutrons from the external background coming through the window logger of detection unit.

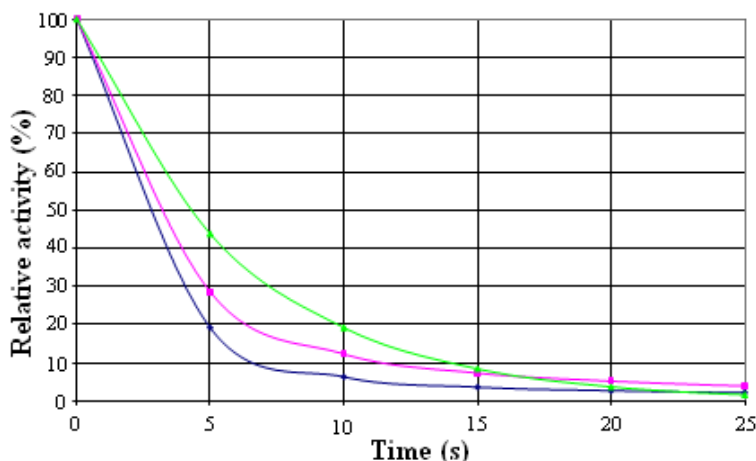


Figure 1. Isotopes activity decay of the first and the second groups, as well as nitrogen ^{17}N in the coolant, —first group, —second group, —of nitrogen.

Taking into account the above it is expedient to use the fission chamber with uranium radiator as a neutron-flux monitor.

Using the chamber with a U^{235} radiator allows to solve two problems:

–to reduce the influence of the external background contribution from fast and intermediate neutrons on the parameters of the operating signal, because the sensitivity of uranium radiator chamber is reduced in proportion $1/V$, where V - velocity of the neutrons.

–to provide high radiation immunity in gamma radiation fields up to $\approx 2.0\text{-}3.0 \times 10^6$ r/hr.

Placement of the fission chamber in the detection unit consisting of borated polyethylene with wall thickness of 50.0 mm and cadmium 3.0 mm thick with opening width of 10 mm and length equal to the length of chamber radiator will significantly reduce the signal from thermal neutrons scattered in the external environment. It is necessary to place the first detector unit at the first circuit coolant piping at the core outlet, and to place the second detector unit at the distance of 300-500 cm from the first detector block, and at distance of about 50 mm from the piping heat insulation.

According to preliminary estimates the thermal neutron flux density of the background is not more than $(0.2\div 1.0) \times 10^5$ neutrons/ sm^2s at the location of fission chambers. Thus, if camera KHK15-1 (KNK15-1) is used as a neutron detector where the sensitivity is 0.5 pulses/per flux unit, we can expect that the count rate will be $F_{\text{ext.}} \approx (1.0 - 5.0) \times 10^4$ 1/s depending on the distance from the piping.

To exclude the contribution from the internal background associated with "noise" component of the nitrogen isotope ^{17}N , and from thermal neutrons of the external background penetrating through a registration opening of detection unit, it is proposed to put two detection units along one of the pipings, at the reactor inlet and reactor outlet. Two channels for neutron flux recording are organized. Signals from both channels, proportional to the counting rate, arrive to the subtractor input.

If coolant flow rate in the pipeline is approximately 5.0 - 6.0 m/s, then the transport time between the two sensors will be approximately 1.0 s, and during movement of the coolant from the first sensor to the second sensor the coolant activity associated with the "noise" component of ^{17}N isotope will decrease by not more than 20% (see Fig.1) of initial value.

This decrease in activity at measurements, leading to small differences in the measured parameter (count rate) is easily compensated by hardware due to conversion ratio (which is inversely proportional to decrease in activity ^{17}N) in one of the channels. By subtracting the measured value of the first sensor from the second one, at the output we receive the difference of count rates, which dispersion is equal to double dispersion of the measured parameters. Count rate dispersion of the differential signal from external and internal neutron sources is approximately equal to 1.0×10^2 1/s. This count rate value is background.

If the count rate value of the differential signal exceeds not less than twice the value associated with the count rate determined by the background signal, this value corresponds to the sensitivity threshold of this method.

Using this method for measuring the neutron flux from precursors, it is possible to provide operational control of the fuel element cladding depressurization point.

Despite the fact that this method does not quantify the extent of depressurization, and only determines the depressurization point and follows its development, in conjunction with the other existing methods of control it increases the efficiency and reliability of control at an early stage of appearing the depressurization sign. The monitoring

time of depressurization point is only determined by the transport time for coolant delivery from the active zone (core) to the installation location of neutron flux detectors and, in this case, does not exceed some seconds.

Список литературы:

М.П. Шальман, В.И. Плютинский, Контроль и управление на атомных электростанциях. М., Энергия, 1979, с. 114-115.

В.В. Коняшов, патент №1101044 РФ, G21C 17/04, 17/06//Bulletin № 31, 2001.

В.Ф. Борисов, С.А. Гутов, патент №2349976 РФ, G21C17/04//Bulletin № 8, 2009

REFERENCES

1. M.P. Shalman, V.I. Pilutinski, Control of nuclear plants. M., Energy, 1979, p. 114-115.

2. V.V. Konyashov, Patent № 1101044 RF, G21C 17/04, 17/06//Bulletin № 31, 2001.

3. V.F. Borisov, S.A. Gutov, Patent № 2349976 RF, G21C17/04//Bulletin № 8, 2009.

4. УДК 658.286.2

5. ББК 39.18 – 4*3

АНАЛИЗ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Загидуллина Алина Ильмировна

Кузнецова Наталья Сергеевна

Попова Тамара Максимовна

Прокопьева Олеся Сергеевна

магистры 1 курса ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова»

ANALYSIS OF CONTROL VEHICLES FOR THE CARRIAGE OF GOODS BY MINING AND METALLURGICAL PRODUCTION

Zagidullina Alina, Kuznetsova Nataly, Popova Tamara, Prokopeva Olesya, masters of 1 course Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ существующих автоматизированных систем контроля местоположении подвижного состава, направления его движения, операций, производимых с ним. В результате анализа приводится сравнительная характеристика наиболее распространенных систем контроля движения подвижного состава - системы оптического считывания номеров вагонов и автомобилей и системы радиочастотной идентификации подвижного состава. Они различными средствами реализации поставленных перед ними целей, свои преимущества и недостатки. При этом выбор конкретной системы зависит от объема перевозок, условий перевозки грузов, свойств груза и прочих условий производства.

ABSTRACT

This article seeks to analyze the existing automated control system of rolling stock location, direction of motion, operations performed with it. An analysis of the author gives a comparative description of the most common systems control movement of rolling stock - optical character reading rooms cars and trucks, and radio frequency identification of rolling stock. These various means of implementing their goals, their advantages and disadvantages. The choice of a particular system depends on the traffic volume and conditions of carriage of goods, properties of the cargo, and other conditions of production.

Ключевые слова: контроль движения подвижного состава, оптическое считывание номеров, радиочастотная идентификация.

Keywords: control of movement of vehicles, optical reading rooms, RF identification.

Основой функционирования любого производства, в том числе и горно-металлургического, является своевременная и достоверная информация о подвижном составе, перевозимом сырье, оборудовании и т.д. [1, с. 21]. Появление неточностей, ошибок при передаче, приеме и обработке информации в некоторых случаях может привести к существенным экономическим потерям. Чтобы умень-

шить их число, необходимо повысить уровень автоматизации получения и передачи первичной информации о местоположении подвижного состава, направлении его движения, операциях, производимых с ним.

Начиная с середины прошлого века, во всем мире велись разработки систем автоматического считывания информации с подвижного состава [2, с. 9]. Каждая из систем имела свои преимущества и недостатки.

Применяемые способы считывания информации [3, с. 15]:

- ✓ считывание информации с применением статических магнитных полей;
- ✓ использование радиоактивных способов считывания информации;
- ✓ применение излучений светового и инфракрасного диапазонов;
- ✓ считывание информации с кодовой пластины путем пропуска сквозь неё света;
- ✓ способ считывания информации, основанный на акустическом отражении;
- ✓ считывание информации с использованием лазера;
- ✓ ферромагнитный принцип считывания информации;
- ✓ многочастотный радиоответный принцип считывания;
- ✓ индукционная система автоматического считывания вагонов;
- ✓ радиоэлектронный принцип считывания;
- ✓ оптическая система автоматического списывания номеров подвижного состава;
- ✓ световое излучение различного диапазона;
- ✓ спутниковый мониторинг транспорта.

Учитывая специфику работы горно-металлургических производств, свойства перевозимых грузов, и объемов перевозок, наибольшее применение нашли две системы считывания информации с подвижного состава:

- системы оптического считывания номеров вагонов (ОСН);
- системы радиочастотной идентификации подвижного состава (РИ).

Остальные способы контроля подвижного состава не нашли столь широкого применения конкретно на горно-металлургических производствах из-за магнитных свойств металлосодержащих грузов, которые оказывают негативное влияние на показания приборов, в основе ко-

торых лежит использование магнитных полей, ферромагнитный и индукционный принципы действия. Столь популярный в современных условиях спутниковый мониторинг транспорта, хоть и имеет ряд неоспоримых преимуществ, но не обеспечивает необходимых условий для контроля за поездами на промышленных линиях горно-металлургических предприятий, так как одним из главных условий стабильного функционирования спутниковой системы является размещение на движущемся объекте антенны, которая должна находиться на прямой видимости со спутником. В этом случае кроны деревьев, тоннели, здания и другие сооружения создают помехи, что приводит к потере или искажению сигнала [4, с. 89]. Данные системы применяются лишь для особо ценных, небольших по объему перевозок (например, золотосодержащие породы, алмазы и драгоценные камни, драгметаллы и т.д.).

Первой наиболее распространенной системой является система оптического считывания номеров (ОСН), предназначенная для распознавания номеров грузовых вагонов и автомобилей, представленных на поступающих с аналоговых видеокамер(ы) серий видеокадров с изображением фрагментов проходящего вагона или автомобиля.

Для системы ОСН имеется возможность существенного повышения эффективности контроля состояния параметров, как поезда, так и отдельного вагона за счет использования дополнительного оборудования:

1. Оснащения дополнительной тепловизионной камерой позволяет автоматически определять уровень разлива железнодорожных цистерн;
2. Оснащение участка пути, находящегося в зоне контроля, весами измеряется масса поезда;
3. Установка по обе стороны железнодорожного полотна пары оптических датчиков позволяет безошибочно определять направление движения и подсчет вагонов в поезде.

Принципиальная схема реализации системы ОСН и размещение ее элементов представлены на рисунке 1.

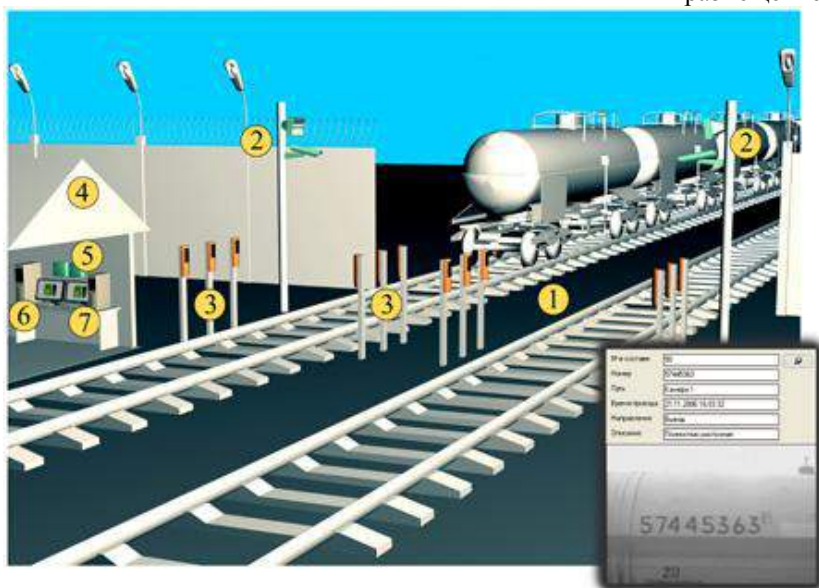


Рисунок 1. Элементы системы оптического считывания номеров вагонов

Взаимосвязь элементов систем ОСН обеспечивается применением автоматизированной системы управления (АСУ). В настоящее время на рынке существуют несколько организаций осуществляющих разработку данных АСУ [5, 6, 7].

- 1 – зона контроля;
- 2 – телекамера;
- 3 – оптические датчики и/или тепловизионная камера;
- 4 – пост контроля;
- 5 – контроллер оптических датчиков;
- 6 – сервер распознавания;
- 7 – рабочее место оператора.

При этом суть общей схемы работы системы ОСН сводится к следующему:

В зоне контроля устанавливаются телекамеры на расстоянии 1,5 – 20 м и дополнительное оборудование для видеосъемки движущихся вагонов, подсчета количества

вагонов, определения направления их движения. А тепловизионная камера определяет уровень взлива цистерн.

На посту контроля размещено все необходимое оборудование системы – сервер распознавания, рабочее место оператора, контроллер оптических датчиков, источник бесперебойного питания.

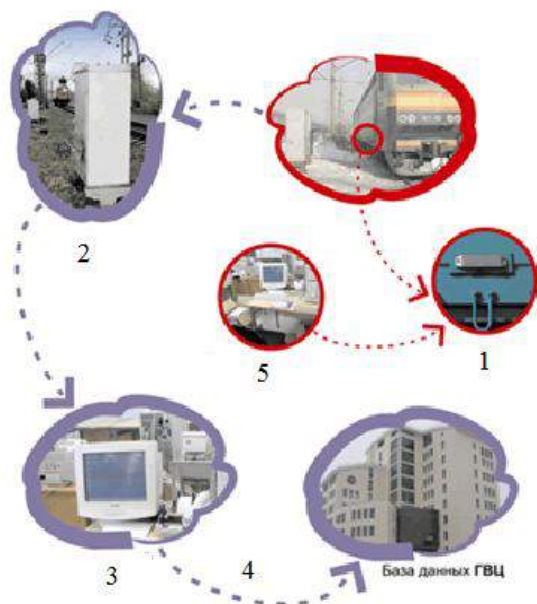
Сервер распознавания и обработки номеров представляет собой отдельный компьютер, решающий задачи видеонаблюдения и регистрации полученной информации.

Автоматизированное рабочее место оператора работает под управлением аппаратно программного комплекса, благодаря чему оператор контрольно – пропускного пункта имеет возможность контролировать как процесс прохождения состава, так и управлять различными средствами безопасности, установленными на этом пункте.

Таким образом, система обеспечивает автоматизацию производства учета вагонов и грузоперевозок, весового контроля, контроля уровня взлива цистерн, осмотра грузовых вагонов.

Второй наиболее распространенной системой является система радиочастотной идентификации подвижного состава (РИ), предназначенная для отслеживания местоположений вагонов в пределах железнодорожной транспортной сети предприятия и автомобилей в пределах установленного маршрута движения. Система содержит оборудование для определения местоположения подвижного состава, установленное на железнодорожном вагоне или автомобиле, считываемую электронным способом метку, прикрепленную к подвижному составу для идентификации придорожным устройством считывания меток, и оборудование связи локомотива. Оборудование связи установлено в локомотиве и выполнено с возможностью осуществления связи с оборудованием определения местоположения каждого железнодорожного вагона, с целью идентифицировать локомотив, вагоны и поезд.

Принципиальная схема реализации системы РИ и размещение ее элементов представлены на рисунке 2.



- 1 - кодированный бортовой датчик;
 2 - пункт считывания;
 3 – концентраторы;
 4 - канал связи;
 5 - Пункт кодирования датчиков.

Рисунок 2. Элементы системы радиочастотной идентификации вагонов

Кодированный бортовой датчик предназначен для установки на подвижном составе и содержит информацию о каждом его объекте. Кодированный бортовой датчик устанавливается на подвижных средствах наземного транспорта и содержит информацию об объекте идентификации. Использование датчика не требует наличия источника электропитания, относится к категории RW-датчиков (с возможностью перепрограммирования).

Аппаратура пункта считывания представляет собой двухканальную систему опроса параметров проходящего мимо устройства подвижного состава: высокочастотный канал опроса установленных на локомотивах и вагонах датчиков и низкочастотный канал фиксации моментов прохождения колёс состава и включает в себя:

- облучающую и считывающую аппаратуру, состоящую из считывателя и антенны,
- контроллер подсчёта осей колёсных пар,
- холодостойкий модем с блоком питания,
- два устройства фиксации колёсных пар,

- двухканальную систему сетевого питания,
- обогреватель пункта считывания.

Концентратор дорожного уровня принимает данные с линейного уровня, обрабатывает и передаёт в систему управления перевозками.

Состав концентратора линейного уровня:

- персональная ЭВМ с операционной системой и платами расширения последовательных портов (опционально);
- модемы в количестве пунктов считывания, обслуживаемых данным концентратором;
- программное обеспечение системы идентификации;
- программное обеспечение передачи данных.

Канал связи осуществляет связь между концентратором и считывателем, которые подключаются к модемам по последовательному асинхронному интерфейсу.

Пункт кодирования датчиков состоит из:

- персональной ЭВМ с программным обеспечением цикла программирования датчика;
- автоматизированного рабочего места и программного обеспечения цикла контроля установки датчика на ПС и обмена информацией с системой передачи данных;
- программатора датчиков разработки ОЦВ;
- ручного считывающего устройства;
- принтера штрих-кода;
- радиомодема.

Монтаж оборудования осуществляется с помощью — кронштейна, на который монтируется датчик; — заклепочника; — вытяжных тяговых заклепок.

Взаимосвязь элементов систем РИ обеспечивается применением автоматизированной системы управления (АСУ), разработку которых ведут в том числе и российские компании [8, 9, 10].

Сравнительная характеристика системы ОПН и системы РИ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение систем контроля движения подвижного состава

Характеристика	Системы оптического считывания (ОСН)	Системы радиочастотной идентификации (РИ)
Объект	Предприятие горно-металлургического производства, на котором интенсивно используется железнодорожный и автомобильный транспорт для перевозки различных грузов и оборудования.	
Цель	Повышение экономической безопасности предприятия за счет контроля местоположения положения подвижного состава при движении материальных потоков.	
Задачи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение направления движения и подсчет вагонов; 2. Видеосъемка вагонов и сохранение изображения в архиве; 3. Распознавание номеров вагонов, сохранение этих номеров в базе данных с возможностью редактирования; 4. Отображение и хранение видеoinформации о вагонах с некорректно распознанными номерами; 5. Ведение статистики об общем количестве вагонов на территории предприятия. 6. Отделение локомотива из общего числа вагонов в поезде; 7. Формирование отчетов по необходимым критериям. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контроль перемещения подвижного состава; 2. Организация модулей въезда / выезда подвижного состава с/на территории предприятия; 3. Проверка правильности передвижения подвижного состава по маршруту; 4. Мониторинг "зон риска"; 5. Поиск подвижного состава; 6. Оперативный учет объектов; 7. Контроль подлинности объектов; 8. Повышение трудовой дисциплины персонала.
Средства	<ol style="list-style-type: none"> 1 – Телекамера; 2 – оптические датчики и /или тепловизионная камера; 3 – пост контроля; 4 – контроллер; 5 – сервер распознавания; 6 – рабочее место оператора. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 - Кодовый бортовой датчик; 2 - пункт считывания; 3 – концентраторы; 4 - канал связи; 5 - пункт кодирования 6 - оборудование, для установки датчика.
Недостатки	<ol style="list-style-type: none"> 1) Наличие различных начертаний цифр; 2) Разнообразии цветовых сочетаний цифры и фона; 3) Искажения номеров, вызванные неперпендикулярностью оси зрения к плоскости поверхности с номером; 4) Разнообразный характер загрязненной поверхности объекта; 5) Необходимость работы как при искусственном, так и естественном освещении. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Необходимость оборудования каждой единицы подвижного состава радиочастотной меткой; 2) Радиочастотные метки имеют низкую механическую защиту; 3) Метки уязвимы к взлому, пока разработчики стандартов шифрования не обеспечивают метки достаточно устойчивой защитой.

Таким образом, с увеличением объема перевозок и номенклатуры перевозимых грузов возникает необходимость контроля движения материальных потоков с целью повышения экономической эффективности и безопасности движения. На сегодняшний день существует множество

способов контроля движения подвижного состава, однако большинство их непригодны для применения на горно-металлургических предприятиях в силу специфики перевозимых грузов и условий их перевозки. Наиболее опти-

мально из рассмотренных систем являются системы оптического считывания номеров вагонов и автомобилей и системы радиочастотной идентификации подвижного состава, при этом выбор конкретной системы зависит от объема перевозок, условий перевозки грузов, свойств груза и т. д.

Список литературы:

1. Жан В., Бруней П. Спутниковое позиционирование для железной дороги и автомобилей // Общий обзор железных дорог. – 1999. - № 6.
2. Трубецкой К.Н., Пыталев И.А., Рыльников А.Г. Автоматизированные системы управления качеством рудопотоков на карьерах // Маркшейдерский вестник. - 2013. - №6
3. Попсуев А.В., Чанцев К.А. Автоматизация считывания информации с движущегося подвижного состава. // Промышленный транспорт. - 1976. - №5.
4. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимир Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами / Под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. СПб.: Наука, 2007. 306 с.: ил.

5. Официальный сайт систем безопасности АПК «Бастиион», СКУД Elsys – Режим доступа свободный – URL: [http://www.trevog.net/] (дата обращения 08.08.2014).
6. Официальный сайт интегрированных интеллектуальных систем Консорциум ИНТЕГРА – С - Режим доступа свободный – URL:[http://www.integra-s.com/] (дата обращения 08.08.2014).
7. Официальный сайт ОАО НПП Альфа-Прибор - Режим доступа свободный – URL:[http://www.alfa-pribor.ru/] (дата обращения 08.08.2014).
8. Официальный сайт ООО «Веском» - Режим доступа свободный – URL:[http://www.ves-com.com/] (дата обращения 09.08.2014).
9. Официальный сайт ЗАО «Инфосел» - Режим доступа свободный – URL:[http://infocell.ru/] (дата обращения 09.08.2014).
10. Официальный сайт ЕКЦ ЗАО «ОЦВ» - Режим доступа свободный – URL:[http://www.zpu-center.ru/] (дата обращения 09.08.2014).

УДК 631.22.01

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

¹Зиганшин Булат Гусманович, ²Гайнутдинов Рамиль Рушанович,

³Кашапов Ильдар Ильясович, ⁴Нуриахметов Тимур Рашидович

¹д-р техн. наук, профессор; ^{2,3,4}инженеры

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань

WAYS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF VACUUM PUMPS FOR DAIRY MACHINES

¹Ziganshin Bulat, ²Gainutdinov Ramil,

³Kashapov Ildar, ⁴Nuriakhmetov Timur

¹Doctor of Technical Sciences; ^{2,3,4}engineers

Kazan State Agrarian University, Kazan

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается актуальная проблема энергосбережения в сельскохозяйственном производстве. Приводятся направления повышения эффективности вакуумных насосов для доильных установок. На основе анализа критериев эффективности работы предложены и описаны технические решения, позволяющие повысить энергетическую эффективность вакуумных насосов. Внедрение предлагаемых решений позволит понизить потребность в энергии на молочных фермах.

ABSTRACT

The article deals with the problem of energy saving in agriculture. Ways of increasing the efficiency of vacuum pumps for dairy machines are presented. On the basis of analysis of criteria of operational efficiency engineering solutions for improving energy efficiency of vacuum pumps are described. Implementation of the proposed solutions will reduce energy use of dairy farms.

Ключевые слова: энергосбережение; критерий эффективности; двухроторный вакуумный насос.

Key words: energy saving; efficiency criterion; dual rotor vacuum pump

Одним из приоритетных направлений развития экономики страны является энергосбережение, что подтверждается принятием соответствующих законодательных актов, как на федеральном [7], так и на республиканских [5] уровнях. В частности, целью программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года» является «снижение к 2020 году энергоёмкости валового регионального продукта на 40 процентов относительно уровня 2007 года и 30,8 процентов относительно 2010 года» [5].

Реализация данной программы в области сельского хозяйства предполагает сокращение расхода всех

видов энергии при условии сохранения или роста объема производства. Это представляется возможным, в частности, путем внедрения энергетически эффективных технических средств и технологий в различные производственные процессы получения сельскохозяйственной продукции.

Основными потребителями энергии в молочном животноводстве являются молочные фермы. Основная часть объема потребления энергии складывается из нужд энергии для машинного доения, первичной обработки, механизированного приготовления и раздачи кормов.

Эффективность работы доильных установок и технологического процесса доения во многом зависят от стабильности вакуумного режима в технологических линиях. Проведенный анализ российских и зарубежных исследований свидетельствует о том, что даже небольшие флуктуация уровня вакуума в вакуумпроводе ведет к увеличению числа заболеваний маститом, приводит к снижению их продуктивности и ухудшению качества молока [1, 6, 8].

Стабильность вакуумного режима в системе определяется работой вакуумной системы доильной установки и главным образом ее вакуумным насосом. В настоящее время в доильных установках используется широкий спектр вакуумных насосов различных конструкций. Преимущественно это насосы объемного типа (ротационные, двухроторные, водокольцевые). При выборе типа насоса, его конструктивно-технологических параметров должны учитываться следующие требования [2, с. 42]: низкая энергоемкость; низкая материалоемкость; стабильность вакуумного режима; низкий уровень шума; надежность; простота конструкции и технического обслуживания; экологичность.

Вместе с тем, для удовлетворения указанных требований, при конструировании и проектировании насосов для доильных установок следует принимать во внимание критерии эффективности насоса (рисунок 1).

Критерий надежности в контексте вакуумного насоса для доильных установок подразумевает наличие таких качеств как долговечность, ремонтпригодность и безотказность. Это связано с высокими потерями в случае внезапного отказа или длительного простоя доильной установки. Долговечность насоса связана с износостойкостью рабочих органов насосов, обеспечением соответствующего режима смазывания трущихся поверхностей.

Критерий производительности насоса определяется такими показателями как стабильность уровня вакуума, возможность плавного изменения производительности вакуумного насоса для соответствия нагрузке, а также подбор корректного типоразмера насоса.

Под экологичностью вакуумного насоса понимается минимизация выбросов в окружающую среду вместе с выхлопом смазочного материала, снижение уровня шума.

Энергоемкость процесса определяется характером рабочего процесса (с внутренним сжатием или без него, либо с частичным внутренним сжатием – насосы ВНЧС), особенностями конструкции, наличием механических и тепловых потерь.

Материалоемкость конструкции насоса обуславливается используемыми материалами, особенностями конструкции и габаритами насоса.



Рисунок 1. Критерии эффективности вакуумного насоса

Эксплуатационные издержки связаны с уровнем потребления энергии, затратами на ремонт и техническое обслуживание, запасными частями, расходом смазочного материала и износостойкостью деталей насоса. Совокуп-

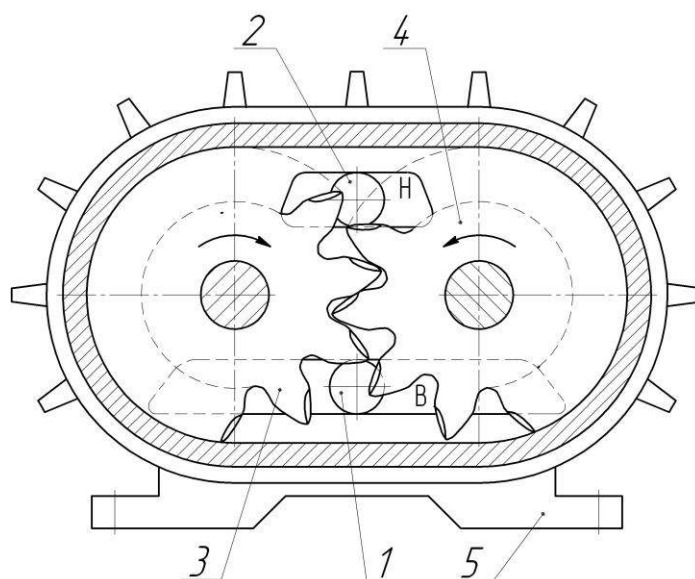
ность данных показателей позволяет судить об эффективности работы вакуумного насоса для доильных установок в целом.

В целях повышения эффективности вакуумных насосов, нами разработан ряд технических усовершенствований их конструкций. В частности запатентованы

несколько конструкции вакуумных насосов [3, 4], позволяющие снизить энергоемкость процесса откачки.

Одна из новых перспективных конструкций вакуумных насосов изображена на рисунке 2. Она представляет собой двухроторный шестеренчатый насос, который состоит из корпуса, двух роторов, впускного и выпускного патрубков, полостей нагнетания и всасывания.

Работа насоса происходит следующим образом. При вращении роторов в полости всасывания зуб одного ротора выходит из впадины другого, освобождая ее объем. Вследствие такого расширения, впадины роторов заполняются газом (воздухом). При дальнейшем повороте роторов газ, находящийся во впадинах, переносится в полость нагнетания. В полости нагнетания зуб одного ротора входит во впадину другого, в результате чего происходит уменьшение ее объема и вытеснение газа в нагнетательное окно.



1 – впускной патрубок; 2 – выпускной патрубок; 3, 4 – ведущий и ведомый роторы; 5 – корпус; Н – полость нагнетания; В – полость всасывания

Рисунок 2. Насос двухроторный вакуумный шестеренчатый

Предлагаемое техническое решение позволяет уменьшить вредный объем, переносимый в полость всасывания и таким образом снизить затраты энергии. Данная цель достигается путем выполнения разгрузочных канавок на тыльной поверхности у вершины каждого зуба, через которые сжатый газ, находящийся в защемленном межзубовом пространстве, вытесняется обратно в полость нагнетания.

При вхождении зуба во впадину газ выдавливается из вредного объема в полость нагнетаний через канавки, находящие у вершины зуба. Вытеснение газа через разгрузочную канавку заканчивается тогда, когда зуб полностью войдет во впадину. Для удлиненных роторов целесообразно иметь несколько параллельных разгрузочных канавок. Выполнение разгрузочных канавок у вершины зуба на тыльной его стороне снижает перетечки газа из вредного объема в полость всасывания и тем самым уменьшаются затраты энергии.

Другая конструкция [4] направлена на сокращение перетечек газа из полости нагнетания в полость всасывания путем установки регулируемых уплотнений. Разработка (рисунок 3) состоит из корпуса 1, ведущего 2 и ведомого 3 роторов, механизма синхронного вращения 10,

Отличительной особенностью всех двухроторных шестеренчатых насосов с любым числом зубьев является возникновение вредного объема в межзубовом пространстве, образованном зубьями, находящимися в зацеплении. Газ во вредном объеме переносится обратно в полость всасывания, снижая тем самым производительность и негативно влияя на другие параметры насоса. Это является одним из существенных препятствий на пути применения насосов данного типа для газов. В отличие от гидравлических шестеренчатых насосов, в вакуумном насосе во вредном объеме находится газ более высокого давления, чем на всасывании и имеет более высокую температуру в результате термодинамического процесса сжатия. Поэтому в вакуумном насосе вредный объем более значительно ухудшает его характеристики и приводит к дополнительным затратам энергии.

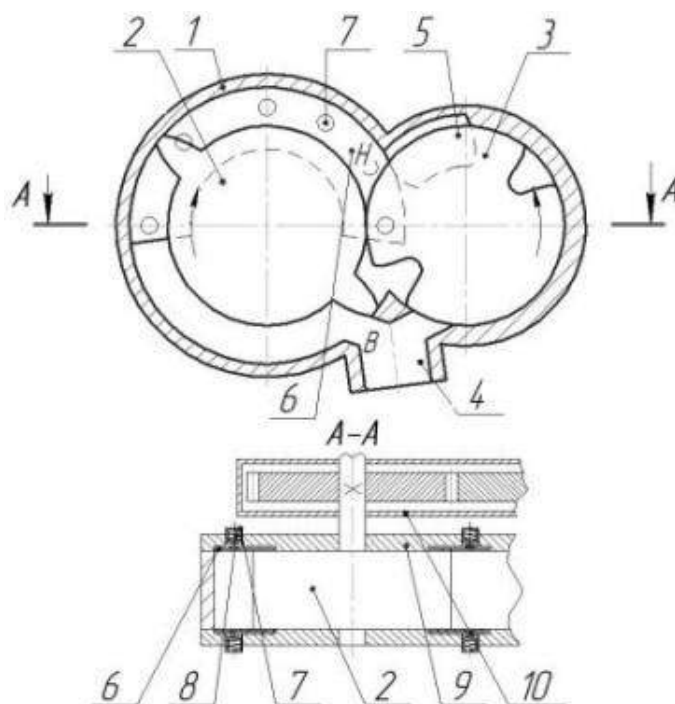
всасывающего 4 и нагнетательного 5 окон, торцевых регулируемых уплотнений 6, торцевых крышек 9, регулировочных винтов 7 и пружин 8.

Принцип работы насоса следующий. При синхронном вращении роторов в указанном стрелкой направлении в полости всасывания «В» зуб выходит из впадины и, тем самым, происходит увеличение объема, в результате чего увлекается некоторый объем газа через всасывающее окно 4. Газ, содержащийся во впадинах, переносится в полость нагнетания «Н», где сжимается и вытесняется через нагнетательное окно 5. В насосе данной конструкции наибольшие перетечки газа из полости высокого давления в полость низкого давления происходят в зоне сопряжения роторов между полостью всасывания и нагнетания через радиальные зазоры, а также через зазоры между торцевыми крышками и зубом ведущего ротора и ведомым ротором в зоне сжатия. Объем перетечек газа зависит от геометрической формы, длины и высоты зазоров.

Наиболее простой способ уменьшения перетечек газа – установка регулируемых уплотнений. В этом случае уменьшается высота зазора. В разработанной конструкции в полости сжатия газа ведущего ротора в обеих торцевых крышках, а также в зоне сопряжения ведущего

и ведомого роторов, установлены регулируемые уплотнения серповидной формы 6, гарантирующие минимальный зазор между ведущим ротором и торцевыми крышками в полости сжатия, в зоне сопряжения ведущего и ведомого роторов. Уплотнения выполнены из антифрикционного

материала. Регулирование зазора осуществляется перемещением уплотнений винтом 7. Установка торцевых уплотнений серповидной формы в зоне сопряжения роторов и в зоне нагнетания уменьшает перетечки газа из полости нагнетания в полость всасывания и, тем самым, снижает энергопотребление насоса.



1 – корпус; 2 – ведущий ротор; 3 – ведомый ротор; 4 – всасывающее окно; 5 – нагнетательное окно; 6 – торцевое уплотнение; 7 – винт регулировочный; 8 – пружина; 9 – торцевые крышки; 10 – механизм синхронного вращения

Рисунок 3. Схема вакуумного насоса с торцевыми уплотнениями

Вышеописанные конструкция вакуумного насоса, а также и другие конструкции насосов, разработанные на кафедре машин и оборудования Казанского государственного аграрного университета, позволяют сделать вывод о возможности улучшения характеристик процесса машинного доения, тем самым снизив себестоимость и повысив качество молочной продукции.

Список литературы:

1. Богдан И.Д. Новые разработки для машинного доения коров в стойлах // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №1. – С 18–21.
2. Волков И. Е., Зиганшин Б. Г. Совершенствование вакуумных средств механизации в молочном животноводстве. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2006. – 276 с.
3. Патент РФ на полезную модель 127837. Двухроторный вакуумный насос / Б. Г. Зиганшин, И. И. Кашапов, Р. Р. Гайнутдинов, Т. Р. Нурияхметов, Р. Р. Лукманов, И. Н. Гаязиев, А. А. Мустафин, А. Р. Валиев; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ. – № 2012152736/06. Заявл. 06.12.2012; опубл. 10.05.2013. – Бюлл. № 13. – 3 с.
4. Патент РФ на полезную модель 127136. Насос вакуумный двухроторный / Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Лукманов, Р. Р. Гайнутдинов, Т. Р. Нурияхметов, И. И. Кашапов, И. Н. Гаязиев, А. А. Мустафин, А. Р. Валиев; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ. – № 2012152764/06. Заявл. 06.12.2012; опубл. 20.04.2013. – Бюлл. № 11. – 4 с.
5. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 29 июля 2010 г. №604 об утверждении долгосрочной целевой программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года».
6. Система мероприятий по профилактике мастита у коров при машинном доении / В.А. Париков и др. // Труды X Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных, первичной обработке и переработке молока. – М.: ГОСНИТИ, 2002. – С. 269–272.
7. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
8. Mein G.A., Reinemann D.J., Schuring N., Ohnstad I. Milking Machines and Mastitis Risk: A Storm in a Teatcup. Proceedings of the 43rd annual meeting of the National Mastitis Council, USA, 2004.