СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

МЭИ

Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский энергетический институт (технический университет)

Филиал Московского энергетического института (технического университета) в г. Волжском

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЮЖНОГО РЕГИОНА

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
25 - 28 сентября 2007г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский энергетический институт
(технический университет)

Филиал Московского энергетического института
(технического университета)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЮЖНОГО РЕГИОНА

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ
НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
25 – 28 сентября 2007 года

Сборник научных статей

ВОЛЖСКИЙ **Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)»** **2008**

УДК 621.3+621.37[(043.2)]
ББК 65.304.14

Организационный комитет:

Скибицкий Н.В. (председатель), Бибин Е.А., Васильев П.Д., Гончарова Л.К., Грошев А.И., Капля Е.В., Кузеванов В.С. (сопредседатель), Малюк В.В., Муха Ю.П., Раменский П.П. (сопредседатель), Шевчук В.П., Шилин А.Н.

Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона: Межрегиональная научно-практическая конференция, г. Волжский, 25-28 сентября 2007 г. / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2007. – 191 с. Издательство: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008.

ISBN 978-5-94721-043-9

В сборник вошли статьи, отражающие основное содержание докладов, представленных на конференции, в которых освещены актуальные проблемы развития измерительной техники в теплоэнергетике, электроэнергетике, электротехнике и электромеханике. Рассмотрены проблемы математического моделирования, информационных технологий и управляющих систем в энергетике. Обсуждены также проблемы внедрения интеллектуальных технических и программных средств автоматизации. Публикуемые материалы предназначены для научных работников, инженеров и аспирантов. Материалы могут быть полезны студентам старших курсов технических вузов при выборе тематики бакалаврских работ, дипломных проектов и магистерских диссертаций. Сохранена авторская редакция.

Печатается по решению Учебно-методического совета филиала ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском.

УДК 621.3+621.37[(043.2)]
ББК 65.304.14

ISBN 978-5-94721-043-9

© Авторы, 2008
© Издательство филиала ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008

ВВЕДЕНИЕ

В период с 25 по 28 сентября 2007 года в городе Волжском проходила межрегиональная научно-практическая конференция «Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона». В рамках конференции были проведены краткосрочные курсы повышения квалификации метрологов промышленных предприятий Волгоградской области.

В конференции приняло участие более 100 человек. Из них 19 человек – иногородних, представляющих научное сообщество городов: Волгоград, Воронеж, Москва, Иваново и др.

Конференция проводилась по 4-м секциям.

По секции **«Теплоэнергетика»** было заслушано 12 докладов, основные из которых были посвящены проблемам внедрения интеллектуальных измерительных систем на тепловых электрических станциях. Одной из важнейших проблем признано супервизорное управление нагрузками на тепловых электрических станциях.

В секции **«Электроэнергетика»** было заслушано 9 докладов, основные из которых были посвящены проблемам внедрения интеллектуальных измерительных систем при передаче электроэнергии на большие расстояния и учету потребления электроэнергии на предприятиях Южного региона. Здесь одной из важнейших проблем признана адаптация существующих и разработка новых систем контроля и учёта электроэнергии.

В секции **«Химия и экология»** было заслушано 4 доклада, посвященные проблемам внедрения интеллектуальных измерительных систем, таких как хроматографы, кондуктометры, газоанализаторы и др. Здесь одной из важнейших проблем признаны адаптация существующих и разработка новых систем контроля и учёта выбросов в окружающую среду.

В секции **«Машиностроение и металлургия»** было заслушано 18 докладов, основные из которых были посвящены проблемам внедрения интеллектуальных

измерительных систем в машиностроительных и металлургических технологических процессах и производствах. Важнейшими проблемами признаны: скорейшее внедрение супервизорного управления нагрузками отдельных крупномасштабных узлов (печи, станы) предприятий, внедрение современных систем учета электроэнергии и систем контроля и учета выбросов в окружающую среду.

Важным событием конференции явился «Круглый стол», на котором обсуждались шаги реального взаимодействия науки и производства. На круглом столе были заслушаны 3 доклада. Все они посвящены различным сферам взаимодействия производства и вузовской науки. Здесь одной из важнейших проблем признана адаптация молодых специалистов к условиям современного производства и новых способов управления производством.

СЕКЦИЯ № 1
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Руководитель секции: ***Грошев А.И.***
канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Приступа Ю.В.***
инженер кафедры ПТЭ
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

КОНЦЕПЦИЯ ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖКХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Кузеванов В.С. – д-р техн. наук, профессор
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Терентьев Г.Ф. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Система жизнеобеспечения промышленного предприятия и любого города в целом есть, как правило, результат стихийного, часто волюнтаристского и очень редко – планомерного, научно обоснованного развития [1, 2]. Необходимые условия жизни в городах и на предприятиях создаются опосредованно через функционирование ряда систем жизнеобеспечения: водоснабжения и водоотведения, переработки отходов, отвода и очистки поверхностных вод, озеленения и т.п. Россия по некоторым направлениям, таким, как водоснабжение и канализация, ландшафтная архитектура, занимает достойное место в мире. Однако в области переработки отходов, комплексного водоиспользования, управления качеством городской среды делаются только первые шаги.

Среди инженерных систем объектов ЖКХ и промпредприятий важное место принадлежит системам отвода и очистки вод бытового водопотребления и сточных вод в городе и на предприятиях. Анализ водоиспользования в городах и на предприятиях показывает отсутствие или слабое использование технологий вторичного использования воды для технических нужд из систем водоотведения и промстоков.

В современных условиях роль чистой воды и рационального ее использования возрастает, и вода, как и воздух, становится дорогим ресурсом Земли. Осознание этого фактора и прямая экономическая целесообразность привели к тому, что в последнее время ведущими научными школами – НИИТП, ЦНИИМАШ, Российский университет дружбы народов – разработан ряд целевых технологий водосбережения. Одним из элементов реализации водосбережения на объектах ЖКХ города и промпредприятиях может стать применение технологии плазменной очистки загрязненных вод, разработанной учеными Российского университета дружбы народов (РУДН) [3].

Основой концепции водосбережения на объектах ЖКХ и промпредприятиях является исключение использования питьевой воды для сантехнических нужд и перевод этих систем на оборотное водоснабжение. Оборотное водоснабжение при этом базируется на децентрализованной очистке в системах водоотведения и промстоков объекта. В этом случае часть объемов воды водоотвода и промстоков после очистки по технологии РУДН используется для технических нужд объекта ЖКХ или предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гухман Г.А.* Системы жизнеобеспечения городов / Журнал «Энергия», № 12. – М.: Наука, 2006. – С. 45-47.

2. *Пупырев Е.И.* Системы жизнеобеспечения городов. – М.: Наука, 2006.

3. *Бахар В.П., Зайка А.Б., Кузнецов В.В., Святкин И.Я.* Технология плазменной очистки загрязненных вод / Журнал «Энергия», № 12. – М.: Наука, 2006. – С. 28-33.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Грошев А.И. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Закожурникова Г.С. – ассистент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Основным методом промышленного производства карбида кремния является способ, предложенный Ачесоном, заключающийся в восстановлении SiO_2 углеродом в электрической керновой печи сопротивления.

В промышленных керновых печах сопротивления синтез кремния идет в слое реакционной шихты, состоящей в основном из кварцевого песка и нефтяного кокса с добавкой древесных опилок и поваренной соли. Одна из схем расположения продуктов реакции представлена на рис. 1.

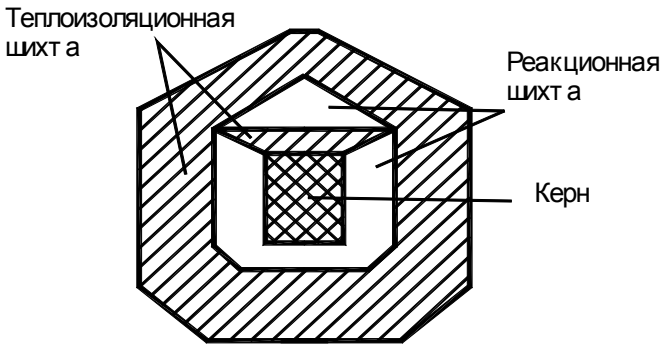


Рис. 1. Расположение продуктов реакции до процесса плавки

В ходе процесса максимальная температура (2800-2900 ºС) достигается в электропроводном керне, который готовится из графита.

Зона непосредственного тепловыделения расширяется в радиальном направлении, что способствует увеличению толщины слоя SiC.

По окончании процесса в печи образуются продукты, располагающиеся концентрическими зонами вокруг керна и отличающиеся своим химическим и фазовым составом (рис. 2).

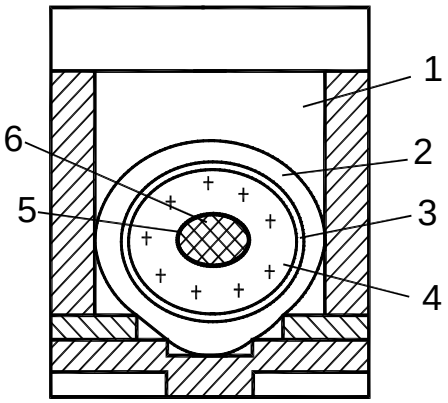


Рис. 2. Расположение продуктов реакции по окончании процесса плавки

Внешняя зона 1 (рис. 2) представляет собой непрореагировавшую шихту (смесь кварцевого песка и углерода). Изменения в зоне 1 связаны лишь с удалением влаги и летучих из углеродистого материала и опилок. Зона 2 – силоксикон (частично прореагировавшая шихта). Этот слой снаружи рыхлый, рассыпчатый, а внутри спекшийся и более прочный. Зона 3 – «аморф» – мелкокристаллический карбид кремния. Зона 4 – крупнокристаллический карбид кремния – основной продукт. Зона 5 – графит, зона 6 – керн.

Протекающие при этом химические реакции можно представить суммарным уравнением

$$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO.$$

По мере удаления от керна температура снижается, и в различных зонах печи наблюдаются промежуточные реакции. Сначала образуется моноокись кремния по реакции

$$SiO_2 + C = SiO + CO,$$

которая восстанавливается углеродом до кремния

$$SiO + C = Si + CO,$$

а затем пары кремния вступают во взаимодействие по реакции

$$Si + C = SiC.$$

Одновременно происходит образование SiC непосредственно путем восстановления моноокиси кремния углеродом

$$SiO + C = SiC + CO.$$

Механизм образования карбида кремния существенным образом зависит от температуры.

При температурах более 1 500 ºС начинается испарение и диффузия кремнезема со свободных поверхностей зерен кварца. Пары SiO_2 и SiO диффундируют через пары шихты и осаждаются на частицах углерода. Реакция восстановления с выделением окиси углерода и образования карбида кремния происходит между твердым углеродом и кремнеземом, адсорбированным на его поверхности.

В местах контакта твердых частиц SiO_2 и углерода реакция происходит лишь в начальной стадии, так как слой SiC прерывает этот контакт. Поэтому определяющую роль при синтезе SiC играет взаимодействие твердого углерода с газообразной моноокисью кремния. Дальнейший ход образования SiC лимитируется диффузией атомов углерода и кремния через слой карбида кремния.

Образование SiC ведет к повышению теплопроводности шихты и прогреву слоев в зоне, прилегающей к керну, до 2 700 ÷ 2 800 ºС. Переход SiC в газовую фазу осуществляется по реакциям:

$$SiO + 2SiO_2 = 3SiO + CO,$$

$$SiC + SiO_2 = 2Si + CO.$$

Последняя реакция идет в наиболее горячей части печи, а образовавшийся газообразный кремний диффундирует в область более низких температур, где эта реакция идет в обратном направлении:

$$2Si + CO = SiC + SiO,$$

что содействует переносу SiC через газовую фазу и росту крупных кристаллов карбида кремния.

Необходимо отметить, что наблюдается определенная корреляция между температурой синтеза SiC в промышленной печи и его политипным составом. Следует иметь в виду, что снижение температуры в промышленной печи сопротивления имеет место по мере удаления от керна к периферии. Но при этом изменяется состав газовой среды, газопроницаемость шихты, скорость кристаллизации SiC, а также кинетические параметры процесса, которые влияют на формирование того или иного политипа.

В образцах SiC, синтезированных при температуре ниже 2 100 ºС, в основном присутствует кубическая β-модификация.

В промышленных образцах SiC и карбидокремниевых материалах, полученных при температурах выше 2 200 ºС, присутствует в основном α-SiC с преобладанием политипа 6H; ему сопутствуют в меньших количествах политипы 15R и 4H.

На выход продукта существенным образом влияет динамика температурного режима, однако экспериментальных данных по температурным полям для промышленных печей практически не существует.

В работе Каца И.С. проанализированы существующие экспериментальные работы по установлению природы силицирующего агента в диапазоне 1 800-2 000 °С в засыпке, состоящей из кварцевого песка и нефтяного

кокса. В результате этого анализа была поставлена задача – исключить противоречия в предыдущих работах, чтобы выяснить механизм образования силицирующего агента и уточнить данные о лимитирующей стадии в процессе карбидообразования применительно к конкретным условиям работы промышленной печи.

Для выяснения механизма образования SiO в условиях промышленной печи и лимитирующей стадии протекающего в ней процесса проведены опыты, при которых образцы шихты нагревали до 1800 и 1900 °С со скоростью 100 °С в час. В качестве сырья применяли нефтяной кокс крупностью 2 мм и кварцевый песок крупностью 0,1-0,3 мм. Образцы, состоящие из 9,2 г кремнезема и 5,5 г углерода, то есть имевшие стехиометрический состав, помещали в тигли из рекристаллизованного карбида кремния, а последние устанавливали внутрь графитовой емкости, обогреваемой снаружи. После достижения заданной температуры нагрев прекращали, и образцы остывали со скоростью около 100 °С в час. Таким образом, были воспроизведены все условия промышленной печи, за исключением направления нагрева образца, который осуществляли извне.

При нагреве шихты от 1800 до 1900 °С количество углерода в твердом продукте практически не изменилось. В то же время остаток кремнезема израсходован почти полностью, и сократилось количество карбида кремния в продукте. Это означает, что в интервале 1800-1900 °С доступ кремнезема к углероду прекратился, и происходило только взаимодействие кремнезема с оболочкой карбида кремния, покрывающей поверхность частиц углерода.

Образование карбида кремния сопровождается перегонкой SiO от центра печи к её периферии, что приводит к повышению концентрации силицирующих паров в периферийных зонах шихты, вследствие чего возрастает скорость реагирования углерода и уменьшается зауглероженность первоначально образующегося карбида кремния.

При увеличении температуры керна-нагревателя до 2300 °С контактирующий с ним карбид кремния разлагается. Разложение стимулируется наличием в продукте свободного углерода. В данном случае действует известная закономерность топокинетики, по которой разложение кристаллов автокаталитически ускоряется в местах контакта с посторонней фазой.

Пары кремния, полученные при разложении карбида кремния, отходят радиальными потоками от керна и силицируют избыточный углерод в последующих слоях продукта. Перекристаллизация β-SiC → α-SiC, которая происходит через газовую фазу при температуре 2000-2300 °С, облегчает проникновение паров кремния к поверхности частиц углерода.

Если в первой половине процесса медленно увеличивают мощность печи, то прилегающая к керну шихта нагревается с малой скоростью. Соответственно, происходит более полное превращение кварца в кристобалит, обладающий пониженным равновесным давлением паров кремнезема. Кроме того, испарение кремнезема в течение более длительного промежутка времени происходит при

невысоких температурах. В результате снижается скорость испарения кремнезема и повышается полнота его поглощения углеродистым материалом. Образующийся в прикерновой зоне продукт получается менее зауглероженным, его разложение уменьшается, а выход продукта увеличивается на 5 %.

Однако анализ имеющихся экспериментальных и теоретических работ показывает, что механизм образования карбида кремния в промышленной печи детально не изучен. Не имеется достаточно надёжных данных: по влиянию температурных режимов плавки в пределах 2600 °С около керна; по динамике температурного нагрева и охлаждения; по влиянию состава реагирующей шихты; по влиянию газовыделений от печи на образование карбида кремния.

Авторами были проведены эксперименты по определению температурных полей промышленной печи (завода). Для первого экспериментального исследования было установлено две термопары (хромель-алюмель) на расстоянии 30 и 60 см от керна (рис. 3).

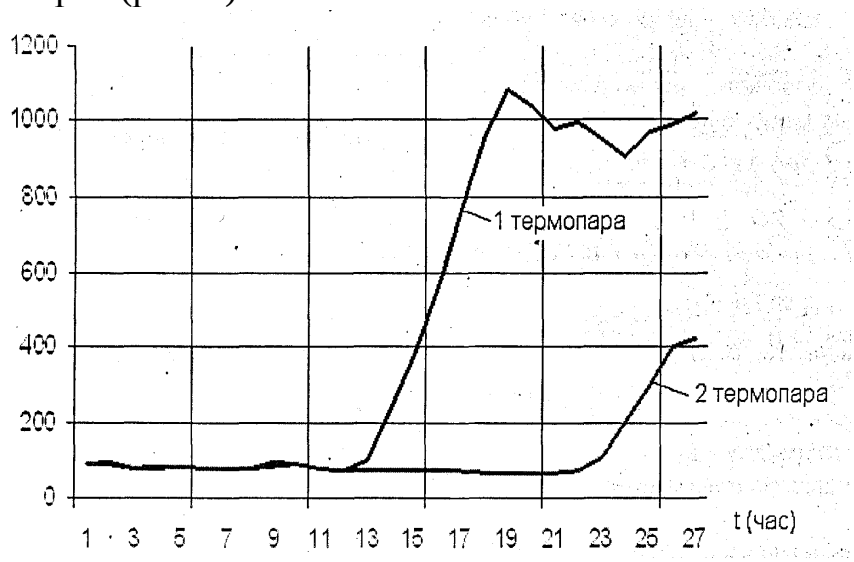


Рис. 3. Распределение нестационарного температурного режима в процессе плавки

Данные термопары могут выдерживать эксплуатацию до ~1300 °С. Эксперименты показали, что термопара 1 указывает значительное увеличение температуры зоны (30 см) до 1100 °С после 12 часов плавки, а после 18 часов плавки температура очень плавно изменяется, практически остаётся неизменной. Термопара 2 указывает, что температура остаётся постоянной до 22 часов процесса плавки, а затем повышается до 400 °С.

Данный эксперимент показал, что образование карбида происходит в зоне промышленной печи на расстоянии 0 ÷ 25 ÷ 30 см от керна. Однако динамика процесса образования карбида кремния в зависимости от температурных полей по данным измерениям не может быть исследована. Необходимо установить термопары на расстоянии ~1 и ~15 см от керна, что позволит установить динамику процесса разогрева реакционной печи.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРОВ ХОЛОДА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Гришин С.С. – доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В южных регионах России промышленные системы вентиляции и кондиционирования воздуха (КВ) в летний период являются значительными потребителями энергии. Экономии дорогостоящего холода можно достичь за счет возобновляемых источников, таких, как холод зимнего периода и ночного прохладного воздуха. Для более рационального использования энергии, необходимой для кондиционирования, имеет смысл переходить на потребление так называемой ночной электроэнергии. Перечисленные меры позволяют сократить пиковое потребление энергии. С целью сокращения пикового энергопотребления, использования возобновляемых источников в системах КВ применяют энергохранилища для аккумуляции холода (или теплоты). Основными видами этих устройств являются аккумуляторы явной теплоты и теплоты физического (фазового) перехода. В первых накопление холода (теплоты) осуществляется за счет охлаждения (нагрева) теплоемких сред. Это галечные или водяные аккумуляторы. Их преимущество – простота конструкции. Однако они имеют большие габариты, особенно для крупных энергосистем. Обычно это водяные резервуары, рассчитанные на суточный режим работы, вырабатывающие свой запас к концу дня (холодохранилища) и ночи (теплохранилища).

В настоящее время все больше внимания уделяется вторым из вышеперечисленных аккумуляторов – аккумуляторам теплоты фазового перехода (АФП). Они более эффективны и используют скрытую теплоту плавления и кристаллизации веществ. Аппараты на основе АФП обладают большей энергоемкостью, а процесс нагрева и охлаждения теплоносителя в большей степени приближен к изотермическому процессу. Применительно к АФП можно говорить о холодохранилищах, использующих в качестве рабочего вещества лед (льдоаккумуляторы), и аккумуляторах, использующих иные вещества как органического, так и неорганического происхождения.

Для работы льдоаккумуляторов используют холодильную машину, которая производит лед в ночное время, когда потребность в электроэнергии минимальна. Накопленный лед плавится в течение дня. Полученная холодная вода используется для охлаждения в системах кондиционирования воздуха. Льдоаккумуляторы занимают меньший объем по сравнению с водяными аккумуляторами той же холодильной мощности, так как холодоаккумулирующая способность льда много выше.

Примером сезонного использования аккумуляторов холода может служить система льдоаккумулирования для кондиционирования, примененная в одном

из административных зданий штата Нью-Йорк. Льдоаккумулятор глубиной 7,5 м и площадью более 11 тыс. м^2 расположен снаружи здания. Аккумулирование льда осуществляется в зимнее время с помощью наружного воздуха. В это время года покрытие с хранилища снимается, и аккумулятор остается открытым. В него подается вода, пока он весь не заполнится льдом. Затем он закрывается изолированным куполом. Летом холодная вода, образовавшаяся при таянии льда, закачивается из хранилища в СКВ. Мощность льдоаккумулятора составляет по холоду 700 МВт. Этого количества хватает для охлаждения здания в течение всего летнего периода. Система потребляет всего 10 % энергии, необходимой для обычной СКВ той же производительности, но без льдоаккумулятора.

Рабочим веществом для неледяных АФП могут служить неорганические (различные кристаллогидраты солей и их смеси) и органические вещества (парафины, органические кислоты и пр.). Достоинства органических веществ – сохранение однородности в течение многократных циклов плавления-затвердевания; недостатки – малое количество теплоты фазового перехода и низкая теплопроводность, токсичность, возгораемость. Преимущества неорганических веществ – большое количество теплоты фазового перехода, малая стоимость, доступность; недостатки – расслоение состава на компоненты и переохлаждение расплава, предшествующее его кристаллизации, достигающее 10-15 °С и более. Снижение переохлаждения достигается введением кристаллообразующих добавок, например, для глауберовой соли $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ такой добавкой, снижающей переохлаждение до 1-3 °С, является $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$. В таблице приведены некоторые аккумулирующие вещества и их теплофизические характеристики. При выборе вещества прежде всего нужно учитывать его температуру и теплоту физического перехода, а также возможную токсичность.

Таблица

Теплофизические свойства аккумулирующих веществ

Вещество	Температура фазового перехода, $t_ф$,°С	Теплота фазового перехода, q, кДж/кг	Теплопроводность, т/(м·К)		Теплоемкость, кДж/(кг·К)		Плотность, Кг/м	
			λ_1	λ_2	t_1	t_2	ρ_1	ρ_2
Этилен карбонат	36,4	142,4	–	0,206	1,34	1,52	1 426	1 330
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O \cdot$	30-36	200,0	0,60	0,700	1,85	3,10	1 425	1 482
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32,4	232,0	–	–	1,76	3,31	1 457	–
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	29,0	189,8	–	0,561	1,42	2,09	1 802	1 562
$CH_3(CH_2)_{16}CH_3$	28,0	240,0	0,35	0,150	2,7	2,70	853	777
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (77 %) + + KNO_3 (23 %)	20	120,0	0,62	0,860	1,7	3,00	1 690	1 740
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (85 %) + + NaCl (15 %)	17,79	84,0	–	–	–	–	–	–
Клатраты (теплый лед): хладагенты (R=11, R=12, R=21) + H_2O	5-10	282,0	–	–	–	–	–	–
Примечание. Индекс 1 означает твердую фазу, индекс 2 – жидкую								

Наиболее распространенной конструкцией АФП является емкость с герметичными контейнерами, заполненными аккумулирующим веществом, между которыми пропускается теплоноситель. В режиме зарядки теплоноситель, например холодный воздух, контактирует с веществом, которое охлаждается и твердеет. В режиме разрядки горячий воздух охлаждается за счет поглощения его теплоты веществом при плавлении.

При проектировании СВ и КВ с использованием АФП выбирают схему установки, тип аккумулирующего вещества, размеры конструкции. Способ включения АФП зависит от различных факторов, но более всего – от характера аккумулируемого источника холода. Схема с аккумулятором естественного ночного холода представлена на рис. 1, *а*. АФП установлен на входе воздухозаборного тракта системы. Ночью контейнеры АФП охлаждаются прохладным ночным воздухом, а в дневное время воздух проходит две ступени охлаждения: в АФП и оросительной камере кондиционера. Эта схема целесообразна для районов со значительной суточной амплитудой колебания температуры воздуха ΔT = 16-20 °С, например для юга Средней Азии.

Схема на рис. 1, *б* отличается от предыдущей режимом регенерации. Ночью прохладный воздух забирается через отдельную шахту, дополнительно охлаждается в оросительной камере, проходит через АФП, переводя его вещество в твердое состояние. Схема обладает большой глубиной охлаждения воздуха и гибкостью в эксплуатации. Предпочтительное применение – сухие районы с умеренной величиной ΔT = 10-15 °С, к которым можно отнести большую часть Волгоградской области. Эта схема позволяет расширить рабочий перепад температур перед АФП.

Еще одним общедоступным косвенным источником холода летом является ночная электроэнергия, когда провал графика электронагрузки значительно ниже, чем днем. В этот период свободную электроэнергию целесообразно использовать для работы холодильных машин, холод которых может быть накоплен в АФП. Схема такой системы изображена на рис. 1, *в*.

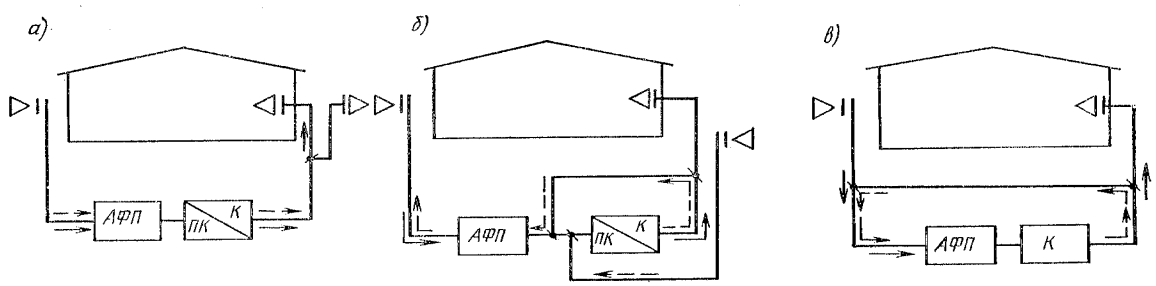


Рис. 1. Схема установки АФП в системах вентиляции и кондиционирования:
ПК – приточная камера; К – кондиционер; – – → – режим зарядки; ⟶ – режим разрядки

Ночью АФП заряжается холодным воздухом, циркулирующим между ним и воздухоохладителем или оросительной камерой кондиционера, потребляющего искусственный холод. Днем воздух охлаждается аналогично

схеме 1, *а*. Экономия достигается за счет снижения мощности холодильных машин. Эта схема универсальна по отношению к климатическим районам, но наиболее целесообразна для районов с малым ΔT = 7-9 °С, например побережья Черного и Каспийского морей.

При работе с АФП могут возникнуть трудности, связанные с особенностями поведения аккумулирующих веществ:

1) компоненты АФП при многократных превращениях могут расслаиваться. Расслоение устраняют применением небольших контейнеров и введением гелеобразующих добавок, например селикагеля;

2) между подвижной границей фаз и поверхностью теплообмена в процессе работы наблюдается рост термического сопротивления, ухудшающего процесс передачи теплоты. Для преодоления этого недостатка в рабочее вещество утапливают теплопроводящие ребра или матрицы (металлические сетки, опилки);

3) при переходе из одного фазового состояния в другое происходит изменение рабочего объема вещества. Для устранения этого момента в рабочее вещество АФП помещают эластичные вкладыши.

Вещество АФП помещают в контейнеры. Это могут быть пакеты в виде пластин, продольно и поперечно омываемые цилиндры и шары. Для обеспечения максимального количества накопленной теплоты при минимальных энергозатратах и наибольшей компактности наиболее целесообразны контейнеры в форме «пластин» и продольно омываемых цилиндров. Рекомендуемая при этом скорость движения воздуха должна составлять 4-7 м/с. Для оболочки контейнеров можно использовать металл, пластмассы, полиэтилен, керамику, стекло.

При разработке конструкций АФП следует учитывать, что в первых по ходу движения воздуха контейнерах вещество будет изменять свое агрегатное состояние быстрее, чем в последних. Поэтому к моменту завершения работы АФП в последних контейнерах вещество может оказаться частично не отработавшим. Устранить этот недостаток можно организацией встречного движения воздуха с обоих концов контейнера с АФП и ступенчатым уменьшением толщины контейнеров по ходу одностороннего движения воздуха. Этот вариант изображен на рис. 2.

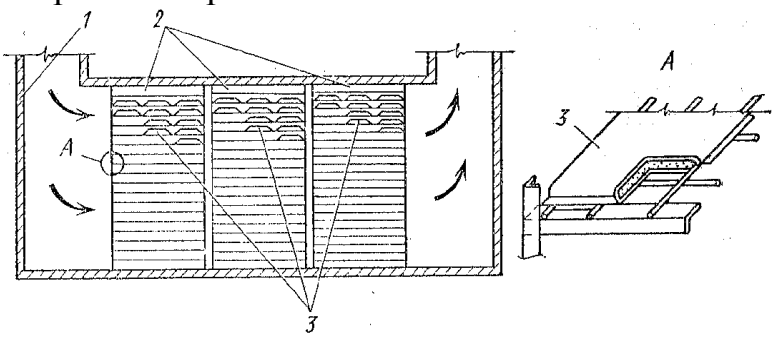


Рис. 2. Аккумулятор теплоты фазового перехода

В корпусе 1 размещены блоки решетчатых стеллажей 2, на которых уложены герметичные полиэтиленовые пакеты с рабочим веществом 3.

Толщина набора пакетов по ходу движения воздуха уменьшается ступенчато от блока к блоку, поэтому к моменту окончания каждого периода работы АФП вещество более равномерно уменьшает свое агрегатное состояние по всему объему устройства. Вместо стеллажей можно использовать фигурные скобообразные сетки-опоры. На них укладываются пакеты с рабочим веществом, а образовавшиеся модули устанавливают друг на друга.

Задачей теплотехнического расчета АФП с плоскими контейнерами является определение конструктивных размеров аппарата – длины вдоль движения воздуха X, толщины контейнеров с аккумулирующим веществом H_0, высоты каналов для прохождения воздуха h, ширины аппарата l.

Пусть через аппарат проходит V м^3/с воздуха. Днем в процессе разрядки в течение времени $\tau_р$ средняя температура воздуха на входе в аппарат $t_{вх}$. Температура охлажденного воздуха по мере разрядки аппарата растет, но даже в конце разрядки она не должна быть выше расчетной температуры приточного воздуха $t_{вых}$, определяемой построением процессов обработки воздуха в h-d диаграмме. В расчетах используется безразмерная температура $\theta_{вых} = (t_{вых} - t_ф)/(t_{вх} - t_ф)$, где $t_ф$ – температура фазового перехода аккумулирующего вещества.

Конструктивные размеры АФП вычисляются по формулам:

$$H_0 = 2a\left[\sqrt{\frac{1}{Bi^2} + 2\tau} - \frac{1}{Bi}\right];$$

$$X = \frac{a^2}{S\,t\,l} - \left[\frac{Bi\,(H_0 - 2\xi_k)}{2a} - \ln\frac{H_0}{2\xi_k}\right];$$

$$\tau = \frac{\lambda(t_{вх} - t_ф)}{p q_{эф} a^2}\tau_р,$$

где $a = \sqrt{\frac{l\,h}{2}}$ – определяющий размер воздушного канала высотой h и шириной l; $\xi_k = \frac{H_0\theta_{вых}}{2}$ – толщина слоя плавления к концу периода на выходе из канала.

В процессе расчета конкретного периода работы (зарядки или разрядки) должны учитываться теплофизические свойства растущей фазы; $q_{эф}$ – эффективная теплота фазового перехода (с меньшей точностью можно воспользоваться значением q из таблицы теплофизических свойств аккумулирующих веществ); $Bi = \frac{\alpha\,a}{\lambda}$; $St = \frac{\alpha}{\upsilon\,c}$ – критерий Био и Стантона; υ, α – скорость воздуха и коэффициент теплоотдачи; c – объемная теплоемкость воздуха.

Количество контейнеров N в фронтальном сечении определяют по формуле $$N = \frac{V}{\upsilon l h}.$$

Рассмотрим в качестве примера АФП, работающий в условиях колебания температуры воздуха ΔT = 12 ºС, применяемый для охлаждения V = 3 м^3/с воздуха в течение $\tau_р$ = 6 ч = 21 600 сек. Расчетная средняя температура на входе в аппарат $t_{вх}$ = 32 ºС, на выходе $t_{вых}$ = 27 ºС. Аккумулирующее вещество $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O + KNO_3$ с $t_ф$ = 23 ºС, $q_{эф}$ = 131,2 кДж/кг, λ' = 0,8 – средняя теплопроводность при разрядке, ρ = 1 715 кг/м^3 – средняя плотность аккумулирующего вещества при разрядке, λ = 0,86 Вт/(м·К) – теплопроводность жидкой фазы, c = 1 168 Дж/(м^3 кг) – объемная теплоемкость воздуха. Примем υ = 7 м/с, l = 1 м, h = 0,01 м.

Коэффициент теплопередачи, вычисленный по критериальным зависимостям, равен α = 29,1 Вт/(м^2 К). Вычисления дают: Bi = 2,39; St = 0,00356; $\theta_{вых}$ = 0,444; a = 0,0707 м; τ = 0,138; $\xi_к$ = 0,00795 м. Тогда вычисляемые значения H_0 = 0,036 м; X = 1,88 м. Количество контейнеров во фронтальном сечении N = 43.

Для того, чтобы выяснить, что дает применение АФП в СВ и СКВ, был сравнен вариант с АФП с базовым вариантом использования СКВ с холодильным оборудованием, включающим компрессорные поршневые машины, оборотное водоснабжение и баки-аккумуляторы. Хладосети отсутствуют. В обоих вариантах рассматривался кондиционер производительностью 39 870 м^3/ч мощностью 17 кВт и система воздуховодов протяженностью 70 м. Рабочий режим односменный. В рассмотренном варианте АФП представлял собой полиэтиленовые пакеты с аккумулирующим веществом, уложенные на металлические проволочные сетки. Обшивка АФП – сталь толщиной 1 мм и 100 мм плиты пенопласта.

Днем обработка воздуха двухступенчатая: в АФП и затем в камере орошения кондиционера, работающей в адиабатическом режиме. Длительность работы системы 893 ч.

Экономический эффект в системе с АФП складывается из экономии капитальных затрат за счет установки вместо холодильной машины более дешевого АФП или снижения ее установленной мощности, а также из экономии текущих затрат. Срок службы контейнеров принят 10 лет. Однако даже при сроке службы 5 лет экономический эффект уменьшается всего на 15-20 %.

Значительная доля общего эффекта обусловлена экономией текущих затрат, что определяется высокой стоимостью сэкономленного искусственного холода. За один год работы систем эта величина составляет порядка 25 ГДж для умеренного значения ΔT = 12 ºС по схеме рис. 1, *б*.

Стоимость самого АФП определяется, главным образом, стоимостью аккумулирующего вещества. Вариант с использованием более дорого вещества $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ делает стоимость самого АФП примерно вдвое дороже по сравнению с $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ и добавкой KNO_3.

Проведенный экономический анализ подтвердил целесообразность применения АФП и климатического районирования применимости той или иной схемы по суточной амплитуде колебаний температуры наружного воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха / Под редакцией *Л.Д. Богуславского*. – М.: Стройиздат, 1990.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Добринский Л.К. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Угроза нехватки невозобновляемых источников энергии, распространившаяся в 1973 году, а также увеличение зависимости от импорта топлива привели к возрождению исследований, направленных на использование возобновляемых источников энергии.

В американской национальной лаборатории Сандиа разработан прототип солнечной энергетической установки, конкурирующей с традиционными источниками электричества. Многосегментное стальное десятиметровое зеркало поворачивается вслед за солнцем и концентрирует его излучение на генераторе-двигателе Стирлинга мощностью в 25 кВт с замкнутым циклом. Срок окупаемости такой установки 3 ÷ 4 года.

Недавно в германском городе Людвигсхафене построен необычный дом, в котором изобретатели концерна BASF в штукатурку включили миллионы восковых капсул диаметром в сотую долю миллиметра. Запасая тепло в жаркие дни, воск в холодные дни твердеет, отдавая тепло. Один дюйм «микрокапсульной штукатурки» по теплоизоляции равен кирпичной кладке в 10 дюймов.

Дерево в мировом энергетическом балансе не превышает 3,5 %, а в России – даже 1 %. Количество же древесины на Земле увеличивается: общий годовой прирост в лесах планеты равен примерно 5,5 млрд. $м^3$, что в 1,5 раза больше объема лесозаготовок. На топливо идут отходы древесины, опилки, даже листва и хвоя – это топливные брикеты, спрессованные под давлением 150 атмосфер. После этого резко увеличивается теплоотдача такого топлива. Например, брикеты из опилок в 3 ÷ 4 раза превосходят каменный уголь. В Швеции в настоящее время на таком топливе работает более 200 районных ТЦ. А в такой индустриальной стране, как США, потребление древесных отходов в энергетике в ближайшие 30 лет увеличится более чем в 2,5 раза!

Специалистами российского НПО «Энергомаш» из древесных отходов получен диметиловый эфир, теплотворная способность которого на 48 % больше, чем у метанола и на 15 % – чем у этанола, а по экологической безопасности он превосходит все традиционные виды моторного топлива.

Университет провинции Альберта из Канады разработал и предлагает способ получения небольших количеств энергии из проточной воды. «Электрокинетическая батарейка» проста. При прохождении молекул воды через тысячи мельчайших каналов происходит поляризация положительно и отрицательно заряженных ионов воды. «Благодаря этому естественному разделению и накапливается электрический потенциал», – говорит профессор Дэниэл Квок. Миниатюрный насос, нажатый несколько раз, может обеспечить энергией калькулятор, сотовый телефон и т.п.

Североамериканский континент не перестает удивлять остальной мир. Сенатор штата Канзас Бил Бланчард подал в суд на второй закон термодинамики. «Я бы не хотел, чтобы мой ребенок рос в мире, идущем к тепловой смерти и растворению в вакууме», – говорит сенатор. Демонстранты в штатах Канзаса, Теннеси, Оклахомы, Миссисипи убеждены, что в замкнутых системах без обмена с внешней средой возможны только процессы распада. Но даже в США физические процессы не останавливаются.

Несколько лет назад Руд Тайлархан из Окриджской национальной лаборатории сообщил, что он и его коллеги на новом уровне воспроизвели эксперименты по низкотемпературной термоядерной реакции. Статья в журнале «Физикал ревью» описывает стадии эксперимента. В емкости с ацетоном были возбуждены ультразвуковые колебания определенной частоты, и емкость непрерывно облучалась потоком нейтронов. По показаниям датчиков, количество нейтронов вокруг не уменьшалось, как это можно было бы предположить в случае, если бы часть их просто поглощалась жидкостью, а, напротив, возрастало!

Но это могло случиться лишь в том случае, если в жидкости началась реакция синтеза атомов, приведшая к выбросу дополнительного количества тепловых нейтронов, или, другими словами, пошла некая разновидность термоядерной реакции синтеза элементов.

Если на практике дело «пойдет на лад», то у нас останется для потомков большое количество нетронутого угля и нефти.

За последние 30 лет в США и странах Европы были зарегистрированы десятки тысяч заявок на изобретения в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Канадские инженеры создали надувную ветроэнергетическую установку в виде привязного аэростата оригинальной формы, который может подниматься на высоту нескольких сот метров. Аэростат вращается на специальном подвесе, выполняя роль ротора электрогенератора, энергия снимается по кабель-тросу.

Суровый и загадочный космос также может быть источником энергии. Если спутник и космическую станцию связать тросом, проводящим электричество, образуется электродинамическая связка, которая может работать как электрический генератор. Ионосфера, проводящая электричество, замыкает цепь и возникает непрерывный ток, который может служить источником энергии для бортовых систем. Низкоорбитальный спутник с привязью в 20 км

может генерировать мощность около 40 кВт. Реализующие этот проект итальянское космическое агентство и НАСА встретили ряд трудностей. Но некоторые исследователи считают, что к середине нынешнего века орбитальные электростанции смогут снабжать энергией даже наземных потребителей, перебрасывая ее по микроволновому лучу.

Современные проблемы энергетики вызвали к жизни поистине титанические искусственные сооружения. В декабре прошлого года в южной Австралии вступила в строй ветроэнергетическая наземная установка высотой 1 км. Другого искусственного сооружения такой высоты нет на Земле.

Заменить газ и нефть ветром и солнцем – вот задача ближайшего будущего. В Германии порядка 10 тыс. домов оборудовали солнечными фотоэлементами на крышах. А что же у нас в России?

«Словно вспыхнуло второе солнце». Такое впечатление оставляет изобретение специалистов Всероссийского НИИ электрификации сельского хозяйства. Изобретатели этого НИИ создали двухслойные фотоэлементы, и теперь они улавливают свет верхней и нижней поверхностями. Удвоение светового потока дает возможность при площади концентратора в 4 $м^2$ получить мощность около 200 Вт, что достаточно для работы телевизора, приемника и другого электронного аппарата.

Бесконечность грядущего готовит нам новые открытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы Интернета и журнала «Юный техник».

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ МАСЛОВАННЫ ПОДШИПНИКА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Гриценко А.Н. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Староверов В.В. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Горчаков А.М. – доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

1. Необходимость создания системы регулирования давления в маслованне

При эксплуатации гидрогенератора в опорном подшипнике (подпятнике) вертикального вала агрегата, расположенного в маслованне, вследствие тепловыделений в трущихся элементах подшипника, происходит образование масляных паров, которые в виде масляного тумана накапливаются в маслованне, что приводит к повышению давления в ней выше атмосферного. А вследствие имеющихся неплотностей между вращающимся валом гидрогенератора и лабиринтным уплотнением происходит выброс масляных паров в окружающее

пространство гидроагрегата, что загрязняет атмосферу машинного зала электростанции, а конденсирующиеся пары масла оседают на элементах конструкции гидрогенератора (например, на электрообмотках статора и ротора), вызывая преждевременный выход их из строя.

Для изменения знака градиента газового давления в маслованне необходимо понизить давление (создать определенный вакуум) внутри маслованны.

2. Создание опытной установки системы регулирования давления в маслованне

В результате проведенных расчетов были созданы опытные эжектор и маслоотделитель, которые позволили провести необходимые исследования на действующем гидрогенераторе Волжской ГЭС и подобрать режимы управления уровнем давления в маслованне.

Снижение давления в маслованне достигается путем отсоса из нее части масляно-воздушной смеси. Отсос смеси осуществляется эжектором, затем она направляется к маслоотделителю, установленному на крышке маслованны. В маслоотделителе масляно-воздушная смесь конденсируется в капли масла, которые сливаются обратно в маслованну. После прохождения газовой смеси через вторую ступень маслоотделения чистый воздух выбрасывается в атмосферу.

Снижение давления в маслованне допускается до такого уровня, при котором не должна наблюдаться деформация крышки маслованны, в противном случае произойдет нарушение нормальной работы опорного подшипника вертикального вала гидрогенератора.

3. Разработка промышленной системы регулирования давления газовой смеси в маслованне

По результатам опытных исследований был разработан рабочий проект системы регулирования давления, позволяющий выполнить модернизацию масляной ванны гидрогенератора, включающую в себя:

1) установку дополнительных уплотнений между корпусом и крышкой маслованны;

2) доработку лабиринтного уплотнения вращающегося вала гидрогенератора, расположенного на стакане крышки маслованны.

4. Расчет системы эжектора

Постановка задачи. Рассчитать все основные геометрические размеры газоструйного эжектора с диффузором.

Исходные данные: рабочая среда – воздух; эжектируемая среда – масляно-газовая смесь со свойствами воздуха; $P_р$ = 102 кПа; $T_р$ = 300 °К; $P_н$ = 100 кПа; $T_н$ = 350 К; $R_{возд} = R/\mu$ = 83,14/28,9 = 287 Дж/кг·К; $P_с$ ~ 101 кПА. Коэффициент инжекции u= 6. Расчетная производительность инжекции $V_н$ = 0,02 м^3/с.

По исходным данным определим массовую производительность потоков, циркулируемых через проточную часть эжектора:

эжектируемый поток: $G_н = (P_н V_н)/ (RT_н)$.

рабочий поток: $G_р = G_н / u$.

смешанный поток: $G_с = G_р + G_н$.

Определим отношение удельных объемов циркулируемых потоков, температуру смешанного потока $T_с$, степень расширения рабочего потока П:

$$\upsilon_н / \upsilon_р = (P_р T_н) / (P_н T_р);$$

$$T_с = (T_р + u T_н) / (1 + u);$$

$$\upsilon_с / \upsilon_р = (P_р T_с) / (P_с T_р);$$

$$\Pi = P_н / P_р = 100/102 = 0{,}98 > 0{,}528 = \Pi_*.$$

Знак сравнения с критическим числом указывает, что режим истечения рабочего потока является докритическим (дозвуковым).

Определим значения газодинамических функций λ, ε, q, τ воздуха по задаваемой величине степени расширения рабочего потока Π. Все они функционально зависят от Π. Эта зависимость выражается формулами:

$$\lambda = \lambda_{макс}\sqrt{1-\Pi^{(K-1)/K}}; \qquad \lambda = \lambda_{макс}\sqrt{\frac{K+1}{K-1}}; \qquad \varepsilon = \Pi^{1/K};$$

$$q = \lambda_{макс}\left(\frac{\Pi}{\Pi_*}\right)^{\frac{1}{K}}\sqrt{1-\Pi^{\frac{(K-1)}{K}}}; \qquad \tau = \Pi^{\frac{(K-1)}{K}}.$$

$\lambda = \omega_{р1}/a$ – приведенная скорость;

$\varepsilon = \rho/\rho_*$ – приведенная плотность;

$q = \omega_{р1}\rho/a\,\rho_*$ – приведенная масса;

$\omega_{р1}$ – скорость истечения рабочего потока из сопла;

a – расчетная скорость звука в критическом сечении сопла;

ρ – плотность рабочего потока на выходе из сопла;

ρ_* – расчетная плотность рабочего поток в критическом сечении сопла;

$\omega_р\,\rho$ – массовая скорость рабочего потока на выходе из сопла;

$a\,\rho_*$ – расчетная массовая скорость рабочего потока в критическом сечении сопла.

Скорость звука $$a = \sqrt{\frac{2KRT_р}{(K+1)}}.$$

Функциональные зависимости Π, ε, q, $\tau = f(\lambda)$ приведены на рис. 4.1.

Оптимальные соотношения площадей в инжекторе $(f_3/ f_{р1})_{опт}$ вычисляются по формуле

$$\left(\frac{f_3}{f_{р1}}\right)_{опт} = \frac{-в + \sqrt{в^2 - 4ас}}{2а}.$$

Предварительно определим значения величин *а*, *в*, *с*.

Для условия $\frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{н}}} \geq \frac{1}{\Pi_{\text{р}*}}$, соответствующего нашим данным, значения величин будут:

$$a = \varphi_1 \varphi_2 q;$$

$$в = -\left\{\varphi_1\varphi_2 + 2\varepsilon\left[\left((1/\varphi_3) - 0{,}5\right)\frac{\upsilon_{\text{с}}}{\upsilon_{\text{р}}}(1+u)^2 - \left(\varphi_2\varphi_4 - 0{,}5\right)\frac{\upsilon_{\text{н}}}{\upsilon_{\text{р}}}u^2\right]\right\};$$

$$c = 2\left(\frac{\varepsilon}{q}\right)\left(\frac{1}{\varphi_3} - 0{,}5\right)\frac{\upsilon_{\text{с}}}{\upsilon_{\text{р}}}(1+u)^2.$$

где φ_1 = 0,95; φ_2 = 0,975; φ_3 = 0,9; φ_4 = 0,925 – рекомендованные коэффициенты скоростей в соответствующих сечениях инжекторов с гладкой поверхностью проточной части при $d_{\min} = d_{\text{р}*} > 5$ мм.

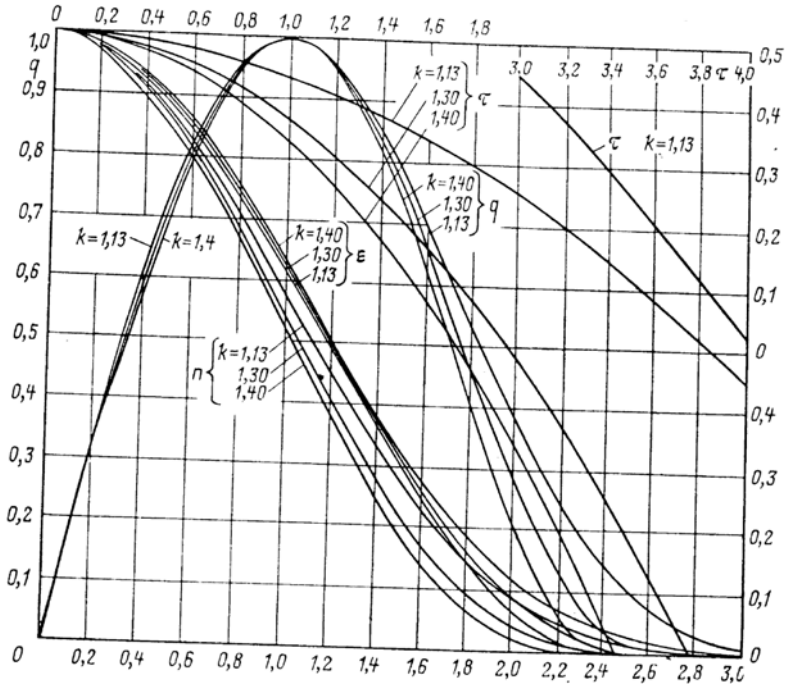


Рис. 4.1. Газодинамические функции

Определим отношение площадей $f_3/f_{\text{н}2}$:

$$n = \frac{f_3}{f_{\text{н}2}} = \frac{\dfrac{f_3}{f_{\text{р}*}}}{\left(\dfrac{f_3}{f_{\text{р}*}}\right) - \left(\dfrac{1}{q}\right)}.$$

Определим достижимое давление сжатия по формуле

$$\frac{\Delta P_{\text{с}}}{P_{\text{н}}} = \frac{K}{2(K+1)}\,\frac{1}{\Pi}\,\frac{\varphi_1^2\varphi_2^2\lambda^2}{\left[\left(\frac{1}{\varphi_3}-0{,}5\right)\frac{\upsilon_{\text{с}}}{\upsilon_{\text{р}}}(1+u)^2-(\varphi_2\varphi_4-0{,}5)\frac{\upsilon_{\text{н}}}{\upsilon_{\text{р}}}\,n\,u^2\right]};$$

$$\Delta P_{\text{с}} = \left(\Delta P_{\text{с}} / P_{\text{н}}\right) P_{\text{н}}.$$

Тогда $$P_{\text{с}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{с}}.$$

Определим основные размеры эжектора.

Расчетная и конструктивная схемы эжектора приведены на рис. 4.2.

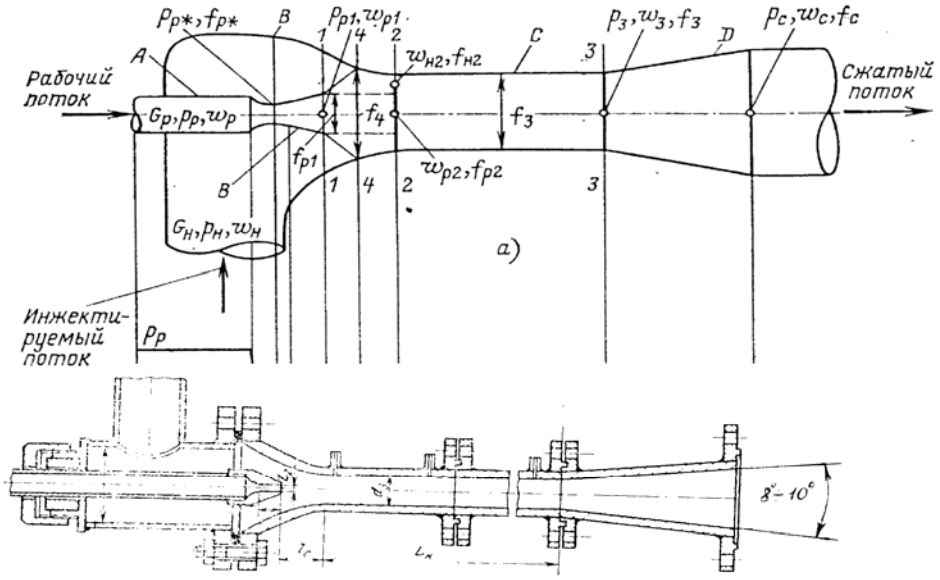


Рис. 4.2. Расчетная и конструктивная схемы эжектора:

а – схема струйного аппарата; *б* – конструктивная схема эжектора;
А – рабочее сопло; *В* – приемная камера; *С* – камера смешения; *D* – диффузор

По найденным соотношениям площадей определим диаметры проходных сечений инжектора. Предварительно определим скорость истечения $\omega_{\text{р}1}$ и объёмную производительность рабочего потока на выходе из сопла из условия неразрывности адиабатного потока: $\omega_{\text{р}1} = \lambda\, a$; $V_{\text{р}1} = V_{\text{р}}\,(P_{\text{р}}/P_{\text{н}})^{1/K}$.

Тогда $f_{\text{р}1} = V_{\text{р}1} / \omega_{\text{р}1}$. Скорость сжатого газа на выходе в сопло $\omega_{\text{р}}$ выбираем из условия заторможенного потока $\omega_{\text{р}} \approx (0 \div 1)$ м/с. Тогда $f_{\text{р}} = V_{\text{р}} / \omega_{\text{р}}$ – входная площадь сечения. По найденным площадям определим диаметры проходных сечений: $d = \sqrt{4}\,f / 3{,}14$.

Диаметр свободной струи d_4 на расстоянии $l_{\text{с}1}$ от выходного сечения сопла определяется по формуле $d_4 = 1{,}55 d_1(1 + u)$, а расстояние $l_c = (0{,}37 + u)\, d_1/4{,}4\, a$, где a – опытная константа и для упругих сред $a = (0{,}07 \div 0{,}09)$, а $d_1 = d_{\text{р}1}$.

Остальные длины участков конструктивно показаны на рисунке 4.2, *б*.

В сводной таблице приведены результаты расчетов, выполненных на компьютере в программе *Exel*. Полученные величины могут быть скорректированы при изменении входных параметров работы эжектора, но в режиме дозвукового истечения рабочего потока, так как приведенные зависимости соответствуют этому режиму.

Таблица

Сводная таблица результатов расчета эжектора

$P_р$, кПа	110	$K_р = K_н =$	1,4	$\varphi_1 = 0{,}95$	$G_н$, кг/с	0,003488	$V_н / V_р$	1,283333
$T_р$, К	300	m, г/моль	29	$\varphi_2 = 0{,}975$	$G_р$, кг/с	0,000581	$V_с / V_р$	1,254117
$P_н$, кПа	100	$P_с$, кПа	100,2413	$\varphi_3 = 0{,}9$	$G_с$, кг/с	0,004069	$\boldsymbol{a}$, м/с	316,7671
$T_н$, К	350	$V_н$, m^3/с	0,0035	$\varphi_4 = 0{,}925$	$T_с$, К	342,8571	$П = P_н/P_р$	0,909091
$u = G_н/G_р$	6	$R = R/m$	286,6897		$V_р$, m^3/с	0,000455	$П$ *	0,528282
					$V_{р1}$,m^3/с	0,000487	$\lambda = w/\boldsymbol{a} =$	0,401478
0,92625	$= a$	$F_3 / F_{р1} =$	31,97294	$\Delta P_с/P_н$	0,002413		$\lambda_{max} =$	2,44949
–36,4014	$= b$	$F_3/F_{н2} = n =$	1,032286	$\Delta P_с$	0,241285		$\varepsilon =$	0,934187
70,16459	$= c$			$P_с$	100,2413		$\tau =$	0,973136
Определение основных геометрических размеров эжектора							$q =$	0,591627
$W_{р1}$, м/с	127,1749	$F_{р1}$, mm^2	3,825975		$d_{р1}$, mm	2,207681		
		F_3, mm^2	122,3277		d_3, mm	12,48325		
$W_р$, м/с	0,23	$F_р$, mm^2	1976,285		$d_р$, mm	50,17529		
		$F_{н2}$, mm^2	118,5017		$d_{н2}$, mm	12,28648		
$L_{с1}$, mm	2,556896	$L_{с2}$, mm	11,47009	$\alpha = 90^o$	d_4, mm	23,95333		

α – угол конуса перед смесительной камерой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соколов Е.Я.*, *Зингер Н.М.*, Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. *Мясников В.Е.* Пароводяные эжекторы. – СПб.: Элмор, 1997.

ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ОПРЕСНЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ

Гриценко А.Н. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Наращивание мощностей промышленной индустрии определяет увеличение потребления энергоресурсов. Современное производство тепловой и электрической энергии сопровождается использованием значительного количества пресной воды и сбросом в природу больших объёмов сточных вод разного уровня загрязнённости.

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству воды, используемой в электротехнологических комплексах для подпитки котлоагрегатов и парогенераторов тепловых электростанций, природную исходную воду подвергают специальной физико-химической обработке. В результате чего образуется значительное количество высокоминерализованных сбросных

вод, оказывающих влияние на окружающую среду. Поэтому всё большее признание получают такие проектные решения, которые позволяют минимизировать отрицательные воздействия и/или обеспечить замкнутый цикл производства. Вопрос получения пресной воды из морских и высокоминерализованных сточных вод является особенно актуальным для стран с жарким климатом и ограниченными природными ресурсами пресной воды.

Использование парокомпрессионных аппаратов в установках получения пресной воды нашло широкое применение в зарубежной и отечественной практике [1]. Так, например, французской фирмой «SIDEM» в ОАЭ современная опреснительная установка производительностью 5 000 м^3/сутки выполнена на базе горизонтально-трубных плёночных испарителей, оборудованных пароструйными компрессорами [2].

В российской теплоэнергетике нашли применение многоступенчатые испарительные установки (МИУ) на базе вертикально-трубных испарителей, работающие в условиях повышенных давлений, а в области опреснения морских солоноватых вод – работающие в условиях вакуума дистилляционные опреснительные установки (ДОУ). Анализ опыта эксплуатации указанных термодистилляционных установок в России и других странах СНГ изложен в обзорной статье [3] и статье [4]. Бесспорным преимуществом рассматриваемых установок является получение пресной воды высокого качества. Однако скрытая теплота парообразования воды в испарительно-конденсационных процессах оказывает существенное влияние на удельное энергопотребление в данных установках на единицу массы выработанного дистиллята. Данное свойство насыщенной воды сохраняется в широком диапазоне давлений, при котором возможна работоспособность промышленного оборудования. Поэтому вопрос о снижении энергопотребления в данных типах установок затруднителен и является весьма актуальным.

Предложена к рассмотрению опреснительная установка (система), работающая на базе теплового насоса. Принципиальная схема такой установки показана на рисунке.

Состав опреснительной установки

Оборудование установки состоит из теплового насоса, функционирующего по обычной схеме одноступенчатого парокомпрессионного цикла; колонны увлажнения воздуха (КУВ); колонны осушки воздуха (КОВ); двух накопительных ресиверов – один для минерализованной (солёной), один для пресной воды (РСВ) и (РПВ); питательных насосов ПН-1 и ПН-2; воздуходувки с регулируемой производительностью; трубопроводов и технологической арматуры. Всё оборудование установки образует четыре функциональных контура: контур теплового насоса, отдельные контуры циркуляции минерализованной и пресной воды, контур циркуляции паровоздушной смеси.

Работа установки

Функционирование составных контуров установки определяет протекание тепломассообменных процессов в основном технологическом оборудовании – КУВ и КОВ, конденсаторе и испарителе блока теплового насоса. Рабочим телом установки, посредством которого производится конечный продукт, является влажный воздух при атмосферном давлении, циркулирующем в контуре паровоздушной смеси.

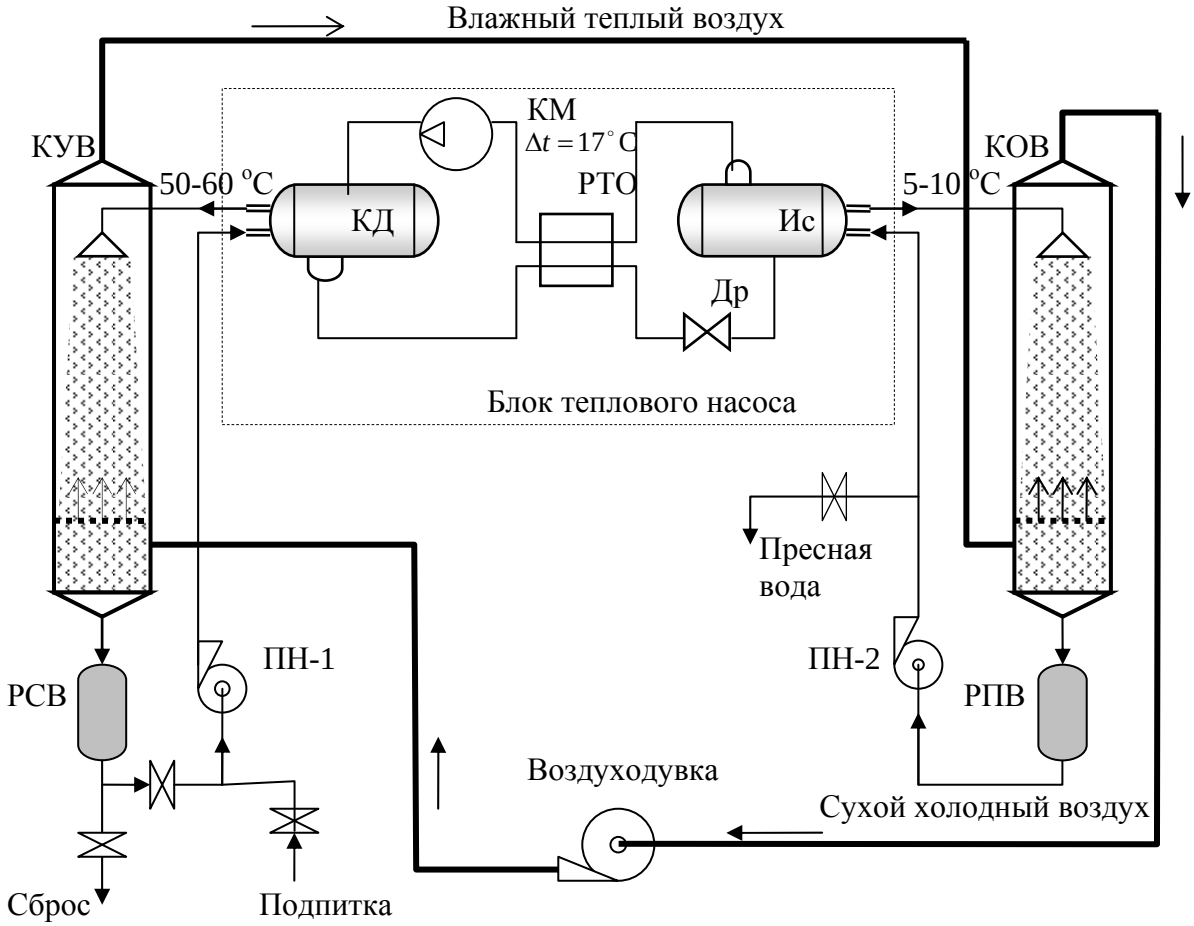


Рис. Принципиальная схема опреснительной установки:

КМ – компрессор; КД – конденсатор; РТО – регенеративный теплообменник; Ис – испаритель; Др – дроссельный вентиль; КУВ – колонна увлажнения воздуха; КОВ – колонна осушки воздуха; ПНСВ – питательный насос солёной воды; ПНПВ – питательный насос пресной воды; РСВ – ресивер соленой воды; РПВ – ресивер пресной воды.

Подпитка рабочего тела водяным паром осуществляется в КУВ за счёт противоточного движения и испарения горячей минерализованной воды, подаваемой из конденсатора теплового насоса через разбрызгиватель, и сухого воздуха. Для увеличения поверхности непосредственного контакта воздуха с водой в рабочую зону колонны введены лёгкие шарообразные предметы с

пористой поверхностью, например керамзит, образующие псевдоожиженный слой рабочего объёма увлажнения. Размер этих предметов подобран таким образом, чтобы они не проваливались через нижнюю ограничительную сетку в колонне и не уносились вертикальным потоком воздуха, движущегося вверх через колонну за пределы рабочей зоны.

Во второй колонне – КОВ – организован аналогичный тепломассообмен противоточного движения воздуха и холодной пресной воды, поданной из испарителя теплового насоса через разбрызгиватель. В результате конденсации воды из влажного нагретого воздуха количество циркулирующей пресной воды в контуре увеличивается, что позволяет периодически удалять избыточную её массу.

Чем выше разница температур рабочих зон в КУВ и КОВ, тем больше «производительность» влажного воздуха по опреснению воды. Но температурный режим рабочих зон КУВ и КОВ задаётся возможностями термодинамического цикла работы теплового насоса и эффективностью его функционирования в заданном диапазоне температур конденсации и кипения используемого хладагента. В принципе температурные режимы работы колонн опреснительной установки ограничены лишь диапазоном температур жидкой воды при атмосферном давлении. И при достижении верхней температуры, равной температуре кипения воды, контур циркуляции паровоздушной смеси может быть ликвидирован вообще, КУВ заменяется парогенератором, а КОВ – контактным водяным конденсатором. Однако все опреснительные установки с увеличенной температурой минерализованной воды имеют недостаток – выпадение минералов солей на теплообменных поверхностях, что значительно увеличивает их термическое сопротивление и ухудшает процессы теплообмена. Поэтому оптимальным значением верхней температуры можно принять температуру порядка 50-60 ^{o}C. Для этой температуры, в качестве примера, можно подобрать одноступенчатый парокомпрессионный цикл работы теплового насоса на фреоне-21. Термодинамические показатели и удельные характеристики цикла работы теплового насоса рассчитаны и определены по данным h, lgP-диаграммы фреона-21 [5] и сведены в таблицу.

Таблица

Вид хладагента	Температура, ^{o}C		Давление, бар		Температура перегрева хладагентата	Удельная теплота, кДж/кг		Удельная работа сжатия хладагента	Коэффициент трансформации тепла
	конденсации	кипения	конденсации	кипения		конденсации	кипения		
Ф-21	70	3	6,76	0,8	17	235	182	53	4,43

Тепловой насос в предложенной опреснительной установке обеспечивает «перенос» теплоты конденсации водяных паров с низкого температурного уровня рабочей зоны КОВ на высокий температурный уровень рабочей зоны КУВ, используемой для испарения минерализованной воды. При этом затрата энергии осуществляется лишь на привод функционирования теплового насоса. Согласно приведенным характеристикам работы теплового насоса (табл.) энергия привода оказывается в четыре раза меньше «переносимой» теплоты конденсации-испарения воды. Этот фактор определяет энергосбережение при производстве дистиллята, а также актуальность предложенной установки.

Расчёт рабочих параметров и размеров основного технологического оборудования выполняется по стандартным методикам с использованием диаграммы влажного воздуха.

Проведённые ранее лабораторные испытания стенда предложенной опреснительной установки показали высокую эффективность её применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мелинова Л.В., Подберёзный В.Л.* Анализ влияния компрессии вторичного пара на технико-экономические показатели термодистилляционных установок / Вторая Нижневолжская научно-практическая конференция «Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов». – Волжский: Филиал «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2005. – С. 93.

2. *Greco N., Durante A., Murat F.* SIDEM. «Application of the Multiple Effect Process at Low Temperature to a Large Sea Water Desalination Plant» // IDA WORLD CONFERENCE ON DESALINATION AND WATER REUSE «WATER THE CHALLENGE JF THE 90's». August 25-29. – 1991. – WASHINGTON: D.C. technical proceeding Vol. 1.

3. *Мелинова Л.В., Подберёзный В.Л.* Анализ опыта эксплуатации различных типов опреснительных установок / Вторая Нижневолжская научно-практическая конференция «Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов». – Волжский: Филиал «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2005. – С. 98.

4. *Авербух Я.Д., Филлипов С.Н.* Термодинамический анализ дистилляционной установки с центробежным термокомпрессором // Водоснабжение и санитарная техника. – 1986. – № 3. – С. 8-11.

5. Техника низких температур. Атлас под редакцией *И.П. Усюкина*. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 244 с.

ПРОЕКТ ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖКХ

Терентьев Г.Ф. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Закожурников С.С. – студент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В настоящее время расходы питьевой воды в г. Волжском постоянно возрастают из-за расширения промышленного производства и сферы ЖКХ. Поэтому поиск путей водосбережения является актуальным [1].

Основой концепции водосбережения на объектах ЖКХ и промышленных предприятиях является использование очистки загрязнённых вод водоотведения для полива парковых насаждений и участков озеленения.

В этих условиях использование эффективных технологий очистки сточных вод приобретает всё большую актуальность. В последнее время ведущими научными школами – НИИТП, ЦНИИМАШ, Российским университетом дружбы народов (РУДН) разработаны эффективные технологии водоочистки. Одним из путей водосбережения в условиях г. Волжского является внедрение системы использования сточных вод после очистки для полива участков озеленения ЖКХ. Внедрение систем частичного водооборота сточных вод в системе водоотведения ЖКХ может базироваться на основе разработок экологического факультета РУДН по технологии плазменной очистки загрязнённых вод. На рисунке представлена принципиальная схема модулей очистной установки на основе плазменной технологии [2].

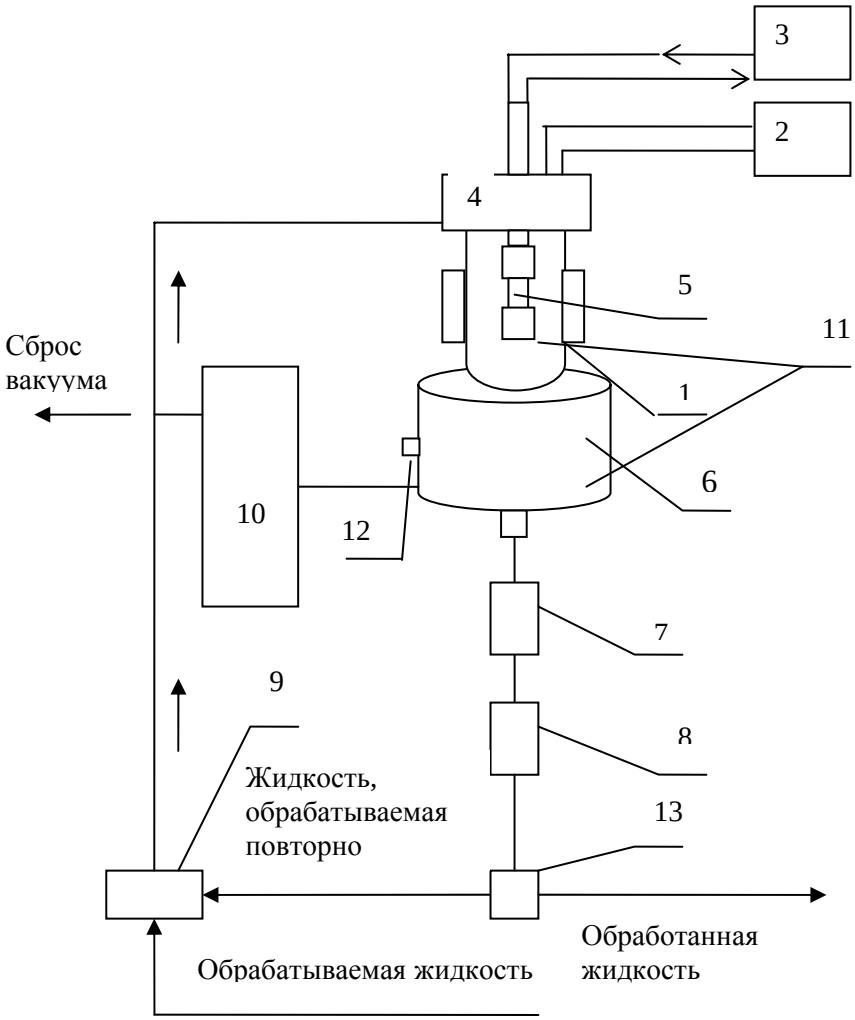


Рис. Принципиальная схема модуля очистной установки:

1 – реактор; 2 – система электропитания, контроля и управления; 3 – система охлаждения анода; 4 – коллектор с форсунками; 5 – анод; 6 – резервуар для сбора обработанной воды; 7 – насос для откачки обработанной воды из резервуара; 8 – фильтр; 9, 13 – клапаны; 10 – вакуумная система; 11 – датчики контроля температуры; 12 – датчик давления

Метод плазменной очистки воды по критерию «эффективность – стоимость» является наиболее эффективным.

Рассмотрим систему использования загрязненных вод водоотведения после очистки на установке плазменной технологии для полива зелёных насаждений на территории Волжского филиала МЭИ (ВФ МЭИ). По статистическим данным (2005-2007 гг.) на полив территории озеленения ВФ МЭИ затрачивается питьевой воды 1 000-1 200 м^3 в год, водоотведение составляет 2 200-2 600 м^3 в год. Стоимость питьевой воды составляет 6,59 руб/м^3, стоимость водоотведения 11,03 руб/м^3. Внедрение системы очистки загрязненных вод водоотведения для полива территории озеленения позволит сократить использование питьевой воды и снизит водоотведение на 50 %. Разработка проекта системы полива для ВФ МЭИ показала, что за счёт снижения водоотведения можно получить экономию 6 500-7 700 рублей в год. Этот результат получен на расчёте минимальной себестоимости.

При расчете принять:

• стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 1,34 руб.;

• стоимость модуля очистки сточных вод производительностью 0,15 т/ч составит 70 000 руб.;

• продолжительность эксплуатации модуля – 7 лет;

• время работы модуля в течение суток – 23 часа;

• количество дней в году – 360.

В этом случае стоимость очистки 1 т вод водоотведения составит

$$10 \text{ кВт/ч} \cdot 1{,}34 \text{ руб.} + 70\,000 \text{ руб.}/0{,}15 \text{ т} \cdot 23 \text{ ч} \cdot 360 \text{ дней} \cdot 7 \text{ лет} = 8{,}05 \text{ руб.}$$

Таким образом исключение затрат на оплату питьевой воды на полив составляет 6,59 руб/м^3 плюс затраты на сокращение водоотведения 11,03 руб/м^3, то есть суммарно 17,61 руб/м^3. Себестоимость очистки воды водоотведения для полива составляет 8,05 руб/м^3. В результате получаем экономию 9 руб/м^3, что составляет порядка 9 000 рублей в год.

Разработанный проект системы водосбережения может быть эффективно использован для полива парковых зон города и участков озеленения при школах, учебных заведениях и офисных зданиях города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гухман Г.А.* Системы жизнеобеспечения городов / Журнал «Энергия», № 12. – М.: Наука, 2006. – С. 45-47.

2. *Бахар В.П., Заика А.Б., Кузнецов В.В., Святкин И.А.* Технология плазменной очистки загрязнённых вод / Журнал «Энергия», № 12. – М.: Наука, 2006. – С. 28-33.

ОЦЕНКА РЫНКА МОНТАЖНЫХ РАБОТ И УСЛУГ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ» В 2007-2012 ГГ.

Грошев А.И. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Литвинов С.А. – аспирант АБиК при МФ РФ

Организации сугубо монтажного профиля не смогут обеспечить выполнение инвестиционной программы ОАО РАО «ЕЭС России». Это связанно в первую очередь с тем, что в течение длительного времени в России не было значительного энергетического строительства, обеспечивающего гарантированную загрузку для крупных региональных специализированных монтажных организаций.

Авторами предполагалось обязательное участие в программе ремонтных структур, обслуживающих дочерние зависимые общества ОАО РАО «ЕЭС России», а также монтажных компаний, не работающих в традиционной энергетике. При этом основой подхода являлось предположение о том, что предприятия-исполнители инвестиционной программы, за редким исключением, обладают слабой мобильностью и привязаны к географическим регионам постоянной дислокации: Центр, Сибирь, Северо-Запад, Юг, Урал, Волга.

Для оценки общего рыночного ресурса использовались данные ОАО «ЦКБ Энергоремонт» за 2002 г., данные ОАО «ГВЦ Энергетики», а также результаты опросов монтажных и ремонтных структур.

Баланс спроса и предложения вычислялся исходя из доступного рыночного ресурса. Для расчета доступного рыночного ресурса использовалась экспертная оценка загрузки организаций, а также результаты опросов, телефонных переговоров. В расчете использовалась следующая статистика: загрузка монтажных организаций на объектах нового строительства Холдинга – 50 %; загрузка ремонтных структур – 10 %.

При проведении расчетов потребности в монтажных ресурсах использовались фактические затраты труда на монтаж оборудования ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2, ТЭЦ-Луч (Белгород), Сочинской ТЭС. Затраты труда определены на основании укрупненных сметных норм, разработанных институтом «Теплоэлектропроект». Для определения пиковой потребности затрат труда использовалась методика Лиссажу.

В таблице приведена усредненная потребность Холдинга в монтажных организациях в целом по годам строительства 2007-2012 гг.

Таблица

Бизнес единица	**Усредненная потребность 2007-2012гг., чел**	**Общий рыночный ресурс, чел.**	**Доступный рыночный ресурс, чел.**	**Удовлетворенность спроса (усредненная потребность/ доступный ресурс) "–" недостаток ресурсов "+" избыток ресурсов**
Центр				
БЕ-1	4 160	67 028	9 000	54 %
БЕ-2	425			95 %
Холдинг	4 585			49 %
Сибирь				
БЕ-1	201	24 920	2 542	92 %
БЕ-2	2 399			6 %
Холдинг	2 600			–2 %
Северо-Запад				
БЕ-1	1 902	14 682	2 648	28 %
БЕ-2	0			100 %
БЕ-1, Холдинг	1 902			28 %
Юг				
БЕ-1	**721**	**22 256**	**2 929**	**75,39%**
БЕ-2	**464**			**84,16%**
Холдинг	**1 185**			**59,56%**
Урал				
БЕ-1	2 776	40 035	3 100	10 %
БЕ-2	3 752			–21 %
Холдинг	6 528			–111 %
Волга				
БЕ-1	241	12 633	1 700	86 %
БЕ-2	760			55 %
Холдинг	1 001			41 %
ВСЕГО по ОЭС:				
БЕ-1	10 002	181 554	21 919	54 %
БЕ-2	7 800			64 %
Холдинг	17 801			19 %

Наглядно картину соотношения потребности и доступного рыночного ресурса Холдинга по годам реализации инвестиционной программы демонстрирует график № 1, а также графики баланса по объединенным энергосистемам № 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f .

График №1

Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.

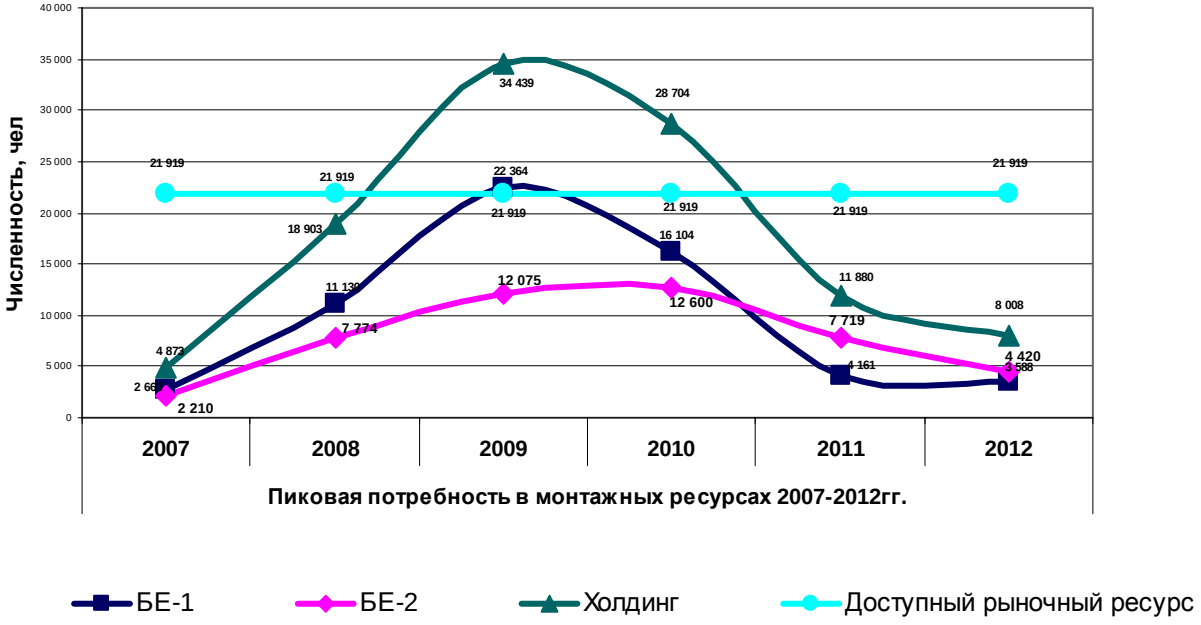
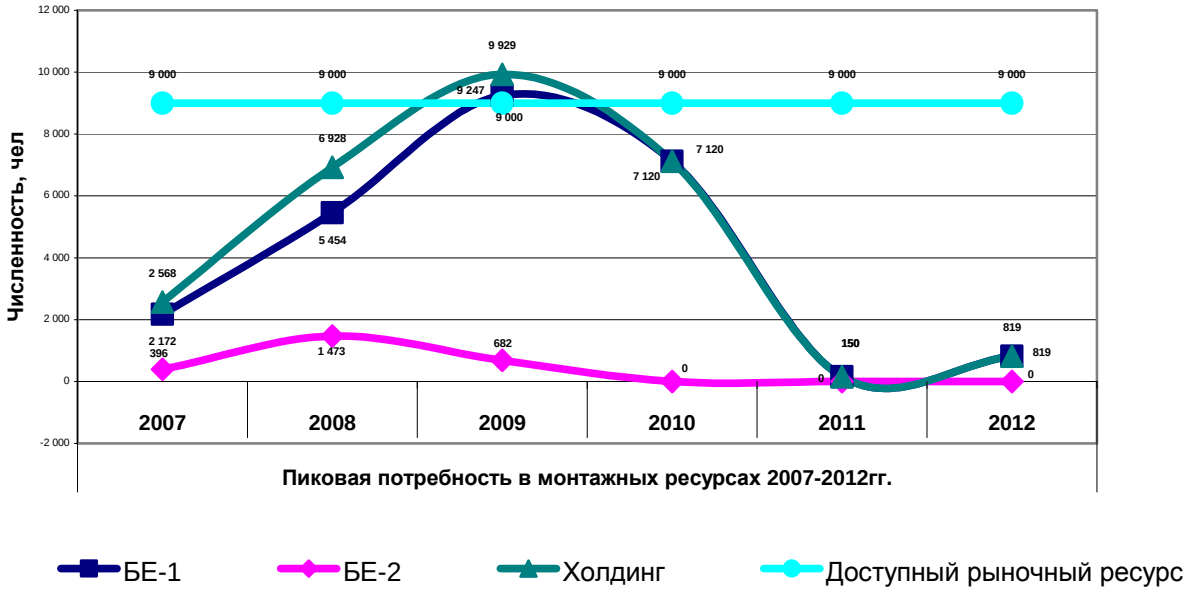


График №1а

Центр

Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.



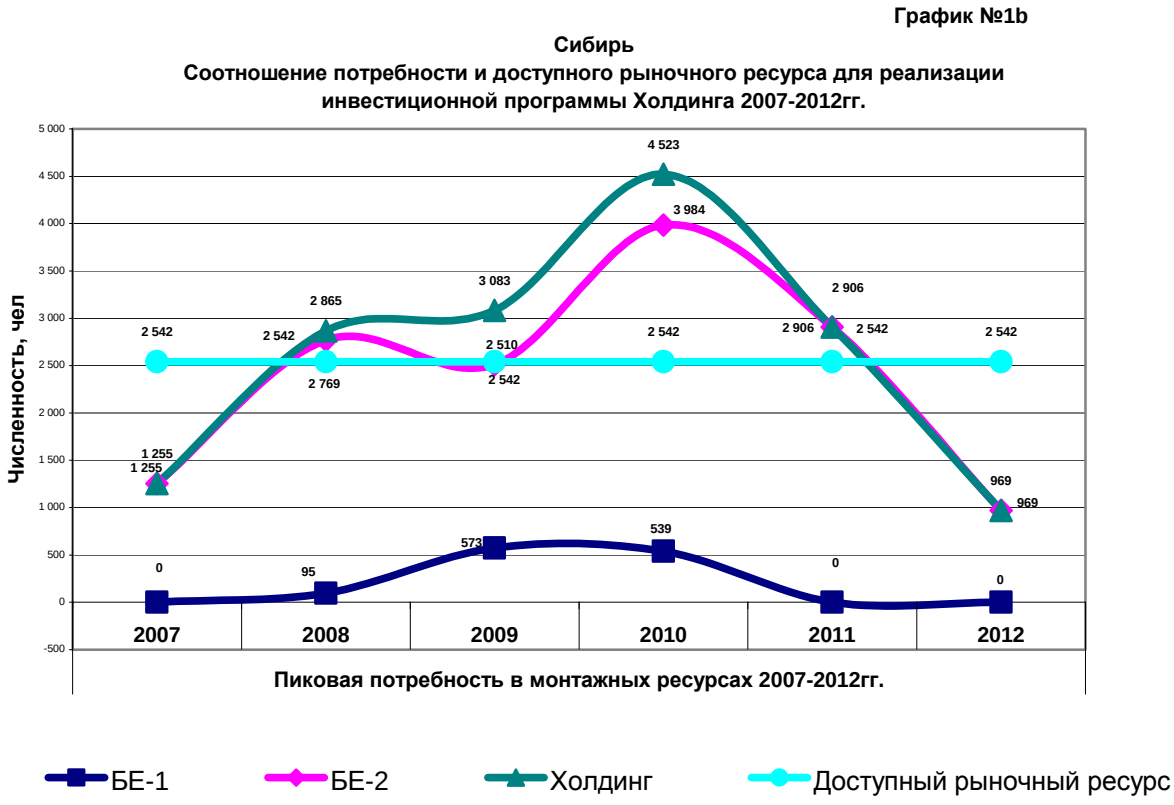


График №1b
Сибирь
Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.
Численность, чел
5 000
4 500
4 000
3 500
3 000
2 500
2 000
1 500
1 000
500
0
-500
4 523
3 984
3 083
2 865
2 906
2 542
2 542
2 542
2 510
2 542
2 542
2 906
2 542
2 542
2 769
1 255
1 255
969
969
539
573
0
95
0
0
2007
2008
2009
2010
2011
2012
Пиковая потребность в монтажных ресурсах 2007-2012гг.
БЕ-1
БЕ-2
Холдинг
Доступный рыночный ресурс

График №1с
Северо-Запад
Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.
Численность, чел
6 000
5 000
4 000
3 000
2 000
1 000
0
5 184
4 093
2 648
2 648
2 648
2 648
2 648
2 648
1 241
778
116
0
2007
2008
2009
2010
2011
2012
Пиковая потребность в монтажных ресурсах 2007-2012гг.
БЕ-1, Холдинг
Доступный рыночный ресурс

График №1d

Юг

Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.

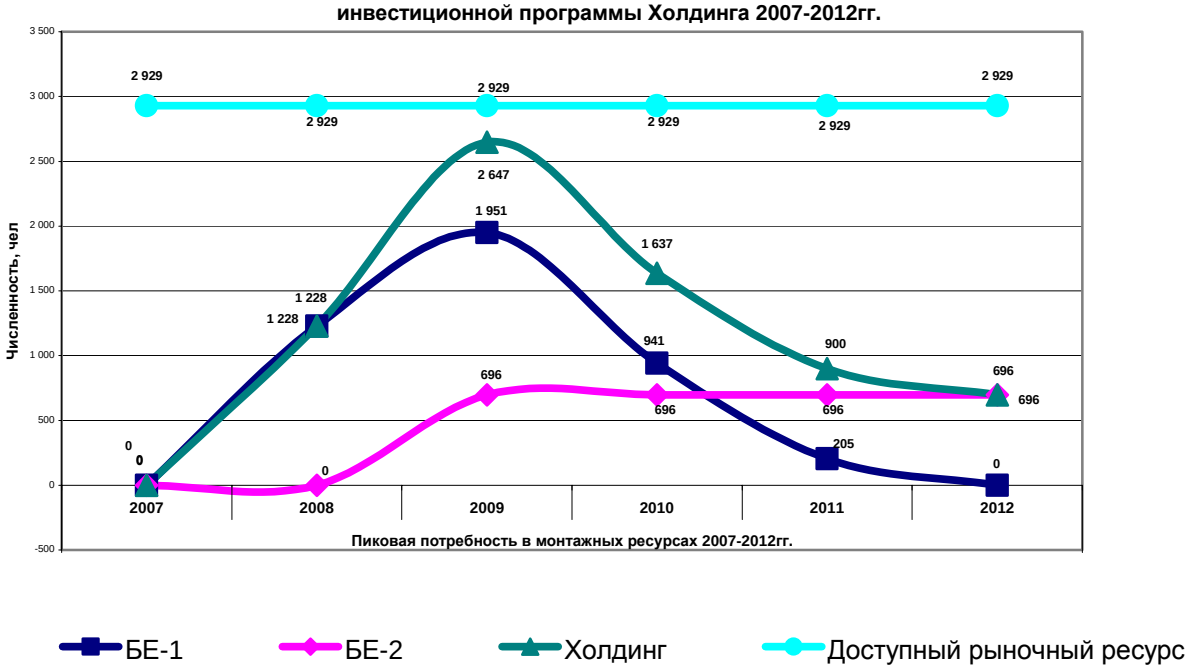
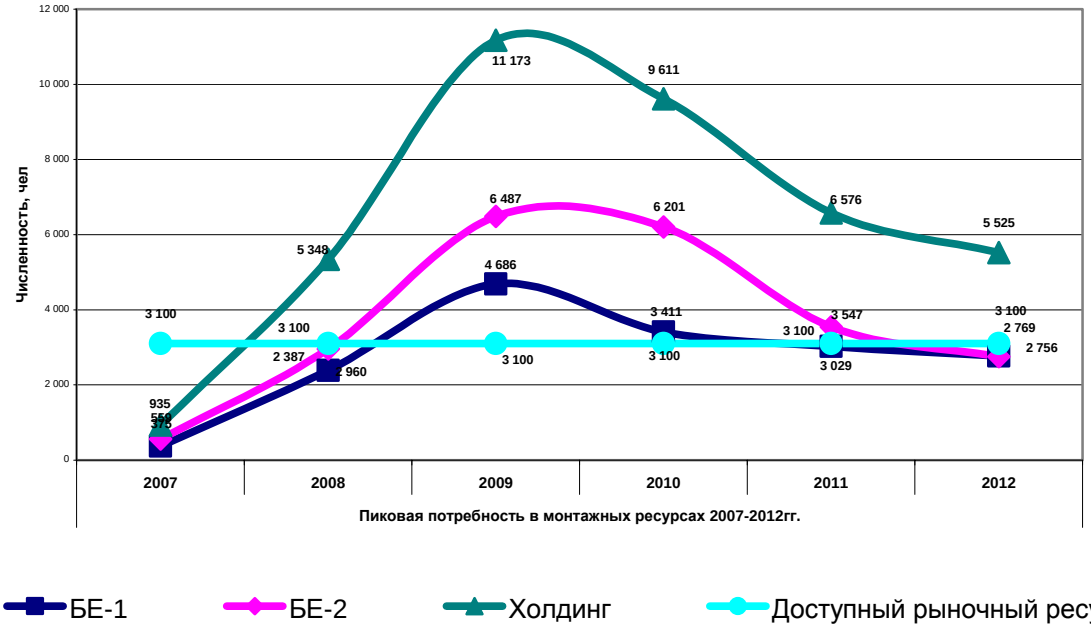
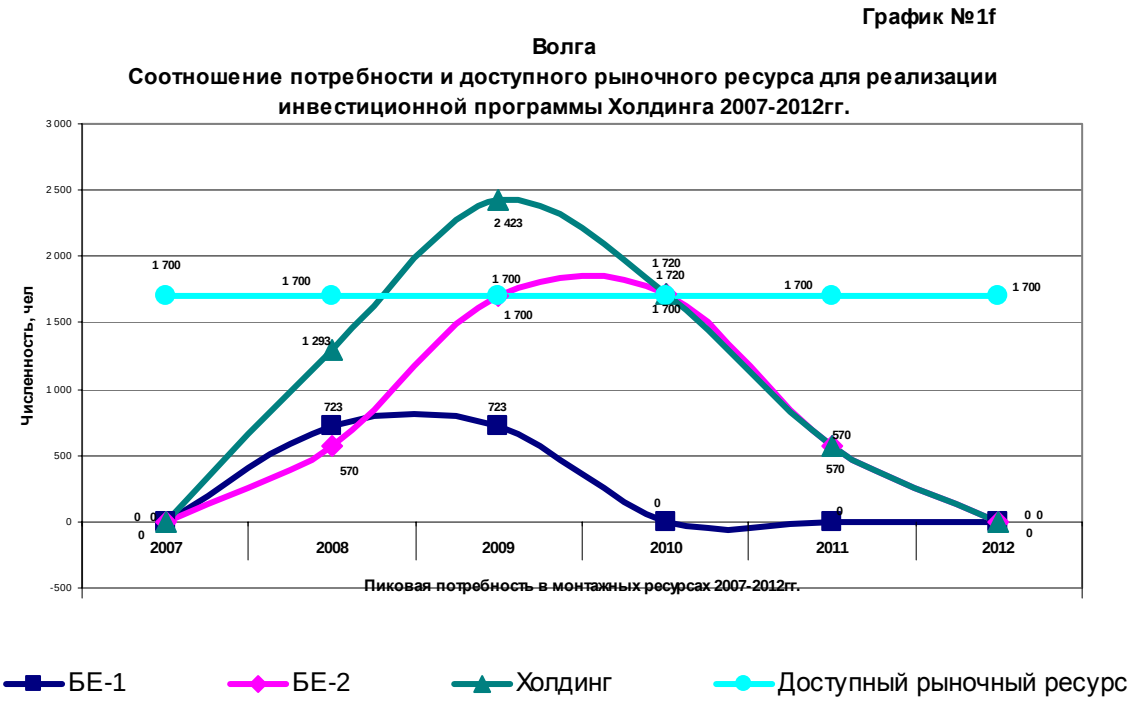


График №1e

Урал

Соотношение потребности и доступного рыночного ресурса для реализации инвестиционной программы Холдинга 2007-2012гг.





Таким образом, дефицит ресурсов в целом по Холдингу ожидается в объединенных энергосистемах Сибири, Северо-Запада, Урала. Пик дефицита приходится на 2009 г. и составляет порядка 57 % от доступного ресурса по Холдингу.

Центр: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга в целом сбалансирован, имеется небольшой дефицит в 2009 г. порядка 10 % Холдингу. Указанный дефицит не является критичным, так как монтажные организации легко смогут нарастить численность в указанном диапазоне.

Сибирь: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга не сбалансирован, пик дефицита приходится на 2010 г. и составляет порядка 57 % от доступного ресурса. Целесообразно заключение долгосрочных соглашений с региональными монтажными и ремонтными структурами, гарантирующих постоянную загрузку организаций на долгосрочный период.

Северо-Запад: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга не сбалансирован, пик дефицита приходится на 2009 г. и составляет порядка 96 % от доступного ресурса по Холдингу. Целесообразно заключение долгосрочных соглашений с региональными монтажными и ремонтными структурами, гарантирующих постоянную загрузку организаций на долгосрочный период, а также привлечение иностранных монтажных организаций, например ОАО «Центроэнергомонтаж» (Беларусь), имеющих обширный положительный опыт работы, в том числе на условиях генерального подряда на объектах энергетики.

Юг: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга полностью удовлетворяется, имеется небольшой профицит в 2009 г. порядка 10,6 % от доступного ресурса;

Урал: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга не сбалансирован, пик острого дефицита приходится на 2009 г. и составляет порядка 260 % Холдингу. Целесообразно заключение долгосрочных соглашений с региональными монтажными и ремонтными структурами, гарантирующих постоянную загрузку организаций на долгосрочный период, привлечение монтажных структур Юга, а также привлечение иностранной рабочей силы из Китая, Турции, Румынии и т.д.

Сибирь: Спрос на монтажные работы и услуги со стороны инвестиционной программы Холдинга не сбалансирован, пик дефицита приходится на 2009 г. и составляет порядка 42 % от доступного ресурса. Целесообразно заключение долгосрочных соглашений с региональными монтажными и ремонтными структурами, гарантирующих постоянную загрузку организаций на долгосрочный период.

В целом по Холдингу для безусловного выполнения инвестиционной программы целесообразно осуществить генеральное планирование загрузки монтажных организаций по годам строительства путем заблаговременного заключения долгосрочных соглашений, а также провести предварительные переговоры с монтажными предприятиями стран СНГ.

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ДЕАЭРАЦИИ

Пивченко А.В. **–** старший преподаватель
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Процесс деаэрации является сложным физико-химическим процессом, для которого пока не предложено строгой математической модели. В работе [1] сделана попытка концептуального подхода к вопросу математического моделирования процесса деаэрации. Скорость деаэрации зависит от многих факторов (начальная концентрация растворенного газа, его парциальное давление, площадь поверхности массообмена, характер движения парогазовой среды, характер движения жидкости, температурный фактор и т.д.). Автор вводит понятие *кинетической функции* применительно к нестационарному процессу деаэрации, которая характеризует интенсивность конкретного процесса в текущий момент времени и универсальную кинетическую функцию. Эта универсальная кинетическая функция инвариантна к любому нестационарному процессу, если он протекает при постоянных определяющих факторах. Ниже попытаемся более подробно изложить предложенную концепцию, привести описание серии предполагаемых экспериментов и порассуждать о том, что дальше делать с этими результатами.

Лабораторный опыт проводится при постоянных давлении и температуре. Деаэрируемая вода, насыщенная растворенным углекислым газом, покоится

на открытой горизонтальной поверхности. Над поверхностью – атмосферный воздух. Парциальное давление углекислого газа равно его парциальному давлению в атмосфере. Внешний подогрев отсутствует. Ни воздух, ни вода не подвергаются принудительной циркуляции.

Вводится функция $w_{(t)}$, характеризующая избыточность текущей концентрации растворенного газа по отношению к равновесной концентрации. Здесь t – текущее время, с.

$$w_{(t)} = \frac{\text{текущая концентрация - равновесная концентрация}}{\text{начальная концентрация - равновесная концентрация}}$$

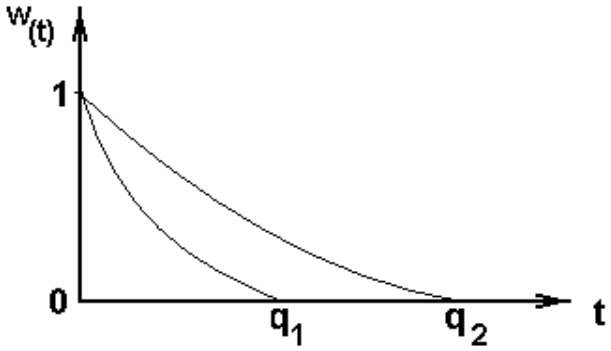


Рис. 1. Зависимости избыточности концентрации растворенного газа по отношению к равновесной концентрации для двух процессов деаэрации, характеризующихся различными условиями протекания процесса.

Функция принимает значение, равное 1 в начальный момент времени, и равное 0, когда концентрация газа в растворе сравняется с равновесной концентрацией.

В процессе эксперимента периодически проводятся измерения остаточной концентрации, определяется текущее значение функции $w_{(t)}$. Полученная таким образом зависимость $w_{(t)}$ является естественной характеристикой процесса. Каждому различному сочетанию условий проведения эксперимента будет соответствовать своя зависимость $w_{(t)}$, поэтому вводится понятие *универсальной кинетической характеристики процесса деаэрации*.

Пусть q – время достижения равновесного состояния, с. Выразим время в безразмерных единицах как отношение текущего времени t ко времени достижения равновесного состояния q, обозначив безразмерное время x:

$$x = \frac{t}{q}.$$

В качестве универсальной кинетической характеристики процесса предлагается принять функцию $w_{(x)}$. Есть серьезные основания предполагать, что для подавляющего большинства процессов деаэрации эта функция инвариантна относительно условий проведения эксперимента (естественно, если

эти условия постоянны во времени). Впрочем, это утверждение еще предстоит окончательно проверить на опыте.

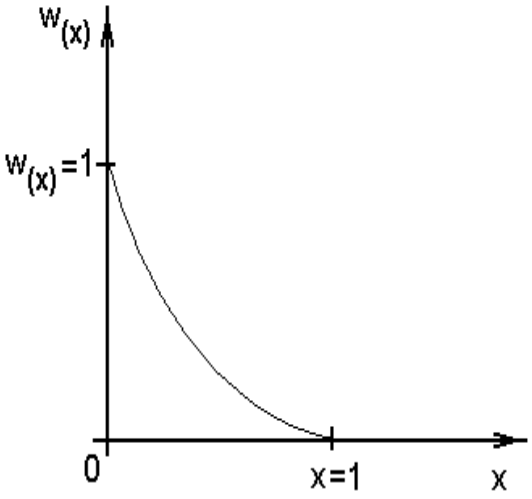


Рис.2. Универсальная кинетическая характеристика

Что же дает введение универсальной кинетической характеристики?

Если экспериментально подтвердится ее инвариантность относительно условий проведения процесса, то это позволит для построения кинетической характеристики ограничиться определением времени наступления равновесного состояния. Это также позволит набору параметров, определяющих условия протекания процесса, поставить в соответствие одну величину, а именно время наступления равновесного состояния.

Для нестационарного процесса деаэрации критериями, определяющими время наступления равновесной концентрации, могут быть: начальная концентрация, равновесная концентрация, отношение площади поверхности к объему жидкости, температура парогазовоздушной среды, температура воды, парциальное давление газа, критерии Рейнольдса для воды и для парогазовоздушной среды. Эти критерии приведены нами с некоторой избыточностью. Так, например, равновесная концентрация есть функция парциального давления и температуры, и ее можно было бы из приведенного перечня исключить. Но иногда проще определить равновесную концентрацию, чем парциальное давление.

Следующим этапом исследований должен стать ряд экспериментов по определению времени наступления равновесной концентрации при разнообразных значениях перечисленных выше критериев с тем, чтобы накопить данные для выражения времени достижения равновесной концентрации как функции от этих критериев.

Поскольку в различных типах деаэраторов процесс движения деаэрируемой воды организован по-разному, следующим шагом должна стать интерпретация данных, полученных для подвижной горизонтальной водной

поверхности применительно к подвижной пленке, стекающей с вертикальной (или наклонной) поверхности, что имеет место в деаэраторах пленочного типа, а также применительно к подвижной капле и к вертикально падающей струе.

Следует отметить, что описанный эксперимент (или серия экспериментов) является периодическим процессом, деаэратор же является аппаратом непрерывного действия.

Для непрерывного стационарного процесса деаэрации характерно непрерывное изменение концентрации, температуры и других параметров вдоль всего пути движения деаэрируемой жидкости. Тем не менее, можно разбить рабочее пространство деаэратора на ряд достаточно узких зон, внутри которых принимать определяющие параметры постоянными и изменяющимися дискретно от зоны к зоне с достаточно малым шагом дискретности. В то же время для конкретных конструкций можно выделить некоторые зоны с достаточно выраженной дискретностью параметров.

Концентрация газа в деаэрируемой воде на выходе из выделенной зоны зависит от остаточной концентрации в предыдущей зоне, скорости деаэрации и времени нахождения в выделенной зоне. Покажем, как она определяется.

Пусть рабочая зона деаэратора разделена на n зон. В первой по ходу зоне заданы определяющие параметры, в том числе:

$C_{\text{Н}1}$ – начальная концентрация в первой зоне;

S_1 – размер зоны вдоль основного направления потока;

V_1 – скорость потока вдоль оси S.

Время пребывания в зоне для различных фрагментов воды, в зависимости от конструкций деаэраторов, может оказаться неодинаковым. Поэтому возможно осреднение этого времени на основе законов теории вероятности. В самом простейшем случае оно может быть определено так:

$$t_1 = \frac{S_1}{V_1}.$$

По определяющим параметрам находим время достижения равновесной концентрации для первой зоны q_1. Стоит подчеркнуть, что время достижения равновесной концентрации в зоне выступает лишь в роли некой функции, характерной для каждой зоны. Равновесного состояния здесь реально наступить не может, поскольку время пребывания в зоне много меньше величины q.

По величине q_1 находится безразмерное время для первой зоны

$$x_1 = \frac{t_1}{q_1}.$$

Используя универсальную кинетическую характеристику $w_{(x)}$, находим значение функции w_1 для первой зоны.

Далее найдем текущую концентрацию, которая соответствует времени пребывания в 1-й зоне. Она и будет являться концентрацией на выходе из зоны.

Как было показано выше

$$w = \frac{C_{\text{Т}} - C_{\text{Р}}}{C_{\text{Н}} - C_{\text{Р}}},$$

где $C_{\text{Р}}$ – равновесная концентрация; $C_{\text{Н}}$ – начальная концентрация; $C_{\text{Т}}$ – искомая текущая концентрация.

Таким образом, концентрация газа на выходе из 1-й зоны

$$C_{\text{Т}1} = w_1 (C_{\text{Н}1} - C_{\text{Р}1}) + C_{\text{Р}1}.$$

Аналогичным образом поступаем со второй и последующими зонами. Для второй зоны начальная концентрация $C_{\text{Н}2} = C_{\text{Т}1}$. И так далее. Получаем поле концентраций. Можем получить и поле скоростей деаэрации. Поле скоростей позволит проанализировать конструкцию деаэратора на предмет эффективности зон с тем, чтобы, внеся изменения в конструкцию, повысить ее эффективность. Так, например, можно увеличить время пребывания деаэрируемой жидкости в зонах, где скорость деаэрации максимальна.

Для решения конкретной задачи необходимо детально изучить закономерности параметров вдоль всего движения деаэрируемого потока, правильно усреднить их в пределах выбранной зоны, получить их описание в виде функций от координаты или в табулатурной форме. Задача решается численными методами с применением вычислительной техники.

И последнее. В практике эксперимента широко применяется моделирование процессов аналогичными процессами. Например, моделирование процесса горения частицы процессом растворения.

Так как непосредственные эксперименты по деаэрации достаточно сложны, требуют наличия специального оборудования, то целесообразно рассмотреть возможность моделирования процесса деаэрации процессом испарения. В качестве примера можно рассмотреть процесс испарения водно-спиртового раствора. На первый взгляд может показаться, что аналогия здесь отсутствует, ведь растворимость газа в воде ограничена и с ростом температуры падает. Спирт же имеет неограниченную растворимость в воде. Но это справедливо лишь для температур, которые ниже температуры кипения спирта (78,3 $^{\circ}$C). При температурах, превышающих его температуру кипения, спирт будет вести себя как растворенный в воде пар (читай – газ), то есть будет удаляться из раствора, и его концентрация будет стремиться к равновесной концентрации. Поиск подходящих аналогов среди жидкостей можно продолжить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Терентьев Г.Ф.* Концепция математического моделирования процесса деаэрации воды на тепловых электрических станциях. XXVI Российская школа по проблемам науки и технологий. Краткие сообщения. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 392 с.

К ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ СФЕРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ИДЕАЛЬНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

Шоричев А.В. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В статье [1] рассматривается взаимодействие вращающихся сферических объектов в идеальной потенциальной жидкости. Полученные зависимости (1) позволяют оценить силы и моменты, действующие на сферические объекты в процессе их взаимодействия, анализировать их перемещения и вращения в жидкости (рис. 1). При некоторых допущениях зависимости сводятся к виду, изоморфному зависимостям, описывающим взаимодействия другой природы, что позволяет использовать принципы аналогового моделирования для исследования взаимодействий другой природы.

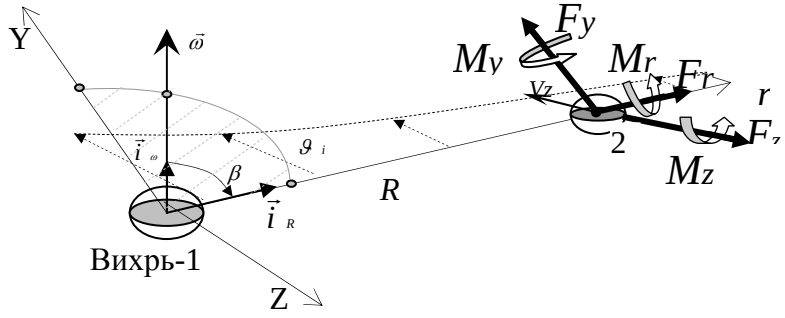


Рис. 1

$$
\left.
\begin{aligned}
F_r &= m_0\left(\frac{\partial V_r}{\partial t}\right)_0 - \frac{2n\,m_0\,\tilde{J}_1^2\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{R^{2n+1}} + \frac{3m_0\,\tilde{J}_1\,\tilde{J}_2\,(\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_y)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi R^n r_0^{n+1}};\\
F_y &= m_0\left(\frac{\partial V_y}{\partial t}\right)_0 - \frac{2m_0\tilde{J}_1^2\left(\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{R^{2n+1}} - \frac{3m_0\tilde{J}_1\tilde{J}_2\ \ (\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_R)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi\ R^n\ r_0^{n+1}};\\
F_z &= m_0\left(\frac{\partial V_z}{\partial t}\right)_0 - \frac{C_z m_0\tilde{J}_1^2\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{2r_0R^{2n}};\\
M_r &= \frac{C_z m_0\tilde{J}_1^2 r_0\left(\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{12R^{2n+1}};\\
M_y &= -\frac{C_z m_0\tilde{J}_1^2 r_0\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{12R^{2n+1}};\\
M_z &= \frac{m_0\tilde{J}_1^2 r_0^2\left(\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{6R^{2(n+1)}}.
\end{aligned}
\right\}
\qquad (1)
$$

где $\tilde{J}_1$ – интенсивность сферического вихря-1; $\tilde{J}_2$ – интенсивность сферического вихря-2; m_0 – масса сферического вихря; R – расстояние от центра вихря до рассматриваемой точки пространства; r_0 – радиус сферической частицы (вихря); C_z – безразмерный коэффициент. Данный коэффициент учитывает форму обтекаемого тела и свойства жидкости и определяется, как правило, экспериментально.

Анализ уравнений (1) и результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1) Если процесс взаимодействия установившийся $\left(\frac{\partial V_y}{\partial t}\right)_0 = 0$, то в зависимости от соотношения параметров, вихри под действием силы $F_r = m_0\left(\frac{\partial V_r}{\partial t}\right)_0 - \frac{2n\, m_0\, \tilde{J}_1^2 \left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{R^{2n+1}} + \frac{3m_0\, \tilde{J}_1\, \tilde{J}_2\, (\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_y)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi R^n r_0^{n+1}}$ могут притягиваться друг к другу, отталкиваться, или же не взаимодействовать (F_r = 0) (рис. 2).

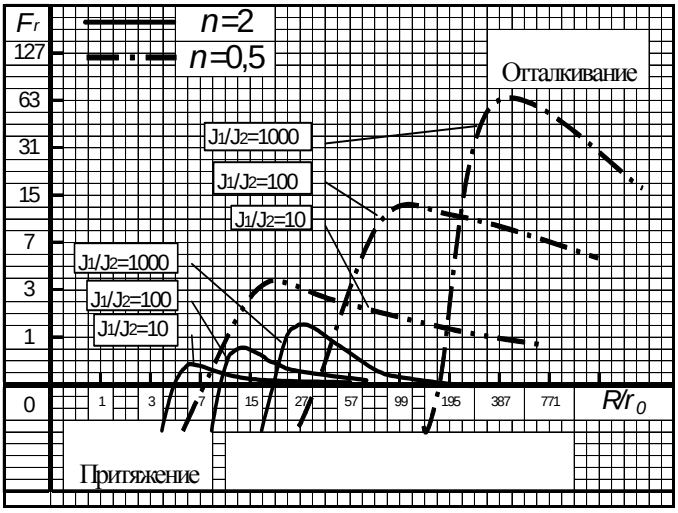


Рис. 2

Рассматривая установившиеся взаимодействия двух систем, состоящих из множества сферических вихрей одинаковой интенсивности и массы при n = 0,5 и пренебрегая третьим членом уравнения $\frac{3m_0\, \tilde{J}_1\, \tilde{J}_2\, (\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_y)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi R^n r_0^{n+1}}$, можно получить [2]

$$F_r = \frac{2\,\tilde{J}_0^2}{3m_0}\,\frac{m_1\, m_2}{R_0^2},$$

где $\frac{2\,\tilde{J}_0^2}{3m_0} = \text{const}$; m_1 – масса одной системы; m_2 – масса другой системы; R_0 – расстояние между центрами систем.

Данное уравнение является изоморфным закону всемирного тяготения. Рассматривая установившиеся взаимодействия двух систем, состоящих из множества сферических вихрей с одинаковой интенсивностью, массой и радиусами при n = 2 и пренебрегая вторым членом уравнения $\frac{2n\,m_0\,\tilde{J}_1^2\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{R^{2n+1}}$, можно получить [2]

$$F_r = \frac{3m_0}{2\pi r_0^3}\,\frac{Q_1 Q_2}{R_0^2},$$

где $\frac{3m_0}{2\pi r_0^3} = \text{const}$; $Q_1 = N\,\tilde{J}_0$; $Q_2 = M\,\tilde{J}_0$; N, M – количество сферических вихрей в одной и другой системах. Данное уравнение является изоморфным закону Кулона.

2) Значение силы $F_y = m_0\left(\frac{\partial V_y}{\partial t}\right)_0 - \frac{2m_0\tilde{J}_1^2\left(\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{R^{2n+1}} - \frac{3m_0\tilde{J}_1\tilde{J}_2\ \left(\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi\ R^n\,r^{n+1}}$

также зависит от соотношения параметров взаимодействующих вихрей. Под действием данной силы сферические вихри, если не учитывать третий член уравнения $\frac{3m_0\tilde{J}_1\tilde{J}_2\ \left(\vec{i}_{\omega_2}\vec{i}_R\right)\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|}{2\pi\ R^n\,r^{n+1}}$, стремятся занять положение в плоскости, перпендикулярной вектору угловой скорости вращения $\vec{\omega}$ более мощного вихря.

3) В результате действия силы $F_z = m_0\left(\frac{\partial V_z}{\partial t}\right)_0 - \frac{C_z m_0\tilde{J}_1^2\left|\vec{i}_{\omega_1}\vec{i}_R\right|^2}{2r_0R^{2n}}$ сферические вихри перемещаются по направлению векторов индуцированных скоростей (рис. 1) при установившемся движении $F_z \neq 0$ в том случае, когда индуцированная сферическим вихрем скорость ϑ_i на расстоянии R_0 и скорость движения частицы в этом же направлении V_z не равны (коэффициент $C_z \neq 0$).

4) Действия моментов в основном проявляются в том случае, когда угол $\beta \neq \pi/2$. Под действием моментов сферические вихри стремятся занять такое положение в пространстве, при котором векторы угловых скоростей $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ коллинеарные.

5) Полученные уравнения (1) в рамках идеальной потенциальной жидкости позволяют более эффективно анализировать и исследовать процессы взаимодействия сферических вихрей с использованием ЭВМ по сравнению с численными методами [3].

6) При некоторых допущениях выражения приводятся к виду, изоморфному выражениям, описывающим другие физические явления, поэтому результаты и выводы, полученные при исследовании взаимодействия сферических вихрей, можно переносить и на другие физические явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шоричев А.В.* Гидромеханическая модель взаимодействия сферических объектов в жидкости / Всероссийская научно-практическая конференция «Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов». Сборник статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2007.

2. *Шоричев А.В.* Гидромеханическая модель взаимодействия сферических частиц / V Качинские чтения, сборник статей. – Волгоград: Качинское ВВАУЛ, 2000. – С. 112-120.

3. Computational fluid mechanics and heat transfer. Dale *A. Anderson, John C. Tannehill, Richard H. Pletcher* (*Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен). Том 1-2 / Перевод с английского *С.В. Сенина, Е.Ю. Шальмана*. Под редакцией *Г.Л. Подвидза*. – Москва: Мир, 1990. – 726 с.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Староверов В.В. **–** канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Закожурникова Г.С. – ассистент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Все процессы окружающего нас мира протекают во времени. Не являются исключением и термодинамические процессы, происходящие в энергетических устройствах, в частности объемного типа, таких, как двигатели внутреннего сгорания и компрессоры (рис. 1).

В практике проектирования и эксплуатации таких устройств встречаются случаи, когда рабочий процесс, в силу ряда причин, бывает недостаточно эффективным. При этом возникают вопросы: каковы причины неисправности, что можно предпринять для ее устранения, какие меры будут наиболее эффективными? При решении таких задач незаменимым средством является система контроля параметров энергетического устройства, позволяющая в кратчайшие сроки и с высокой точностью оценивать наибольшее количество параметров, характеризующих этот процесс.

В этой связи разработка системы контроля параметров представляет собой актуальную задачу. Схема одного из вариантов такой системы представлена на рис. 2.

Важнейшим элементом такой системы является пьезоэлектрический преобразователь механической величины (давления) в электрический сигнал. Для получения надежного сигнала в условиях изменения рабочих давлений и

температур в диапазоне 0…15 МПа и 0-2 500 К, происходящих во времени с высокой скоростью, датчик должен обладать следующими характеристиками:

– безинерционностью;
– термической стабильностью;
– широкой полосой пропускания измеряемых частот сигнала;
– линейностью преобразования механической величины в электрическую;
– компактностью и удобством монтажа и др.

Этим требованиям в наибольшей степени отвечает пьезоэлектрический преобразователь.

Схема одного из вариантов конструкции такого преобразователя представлена на рис. 3.

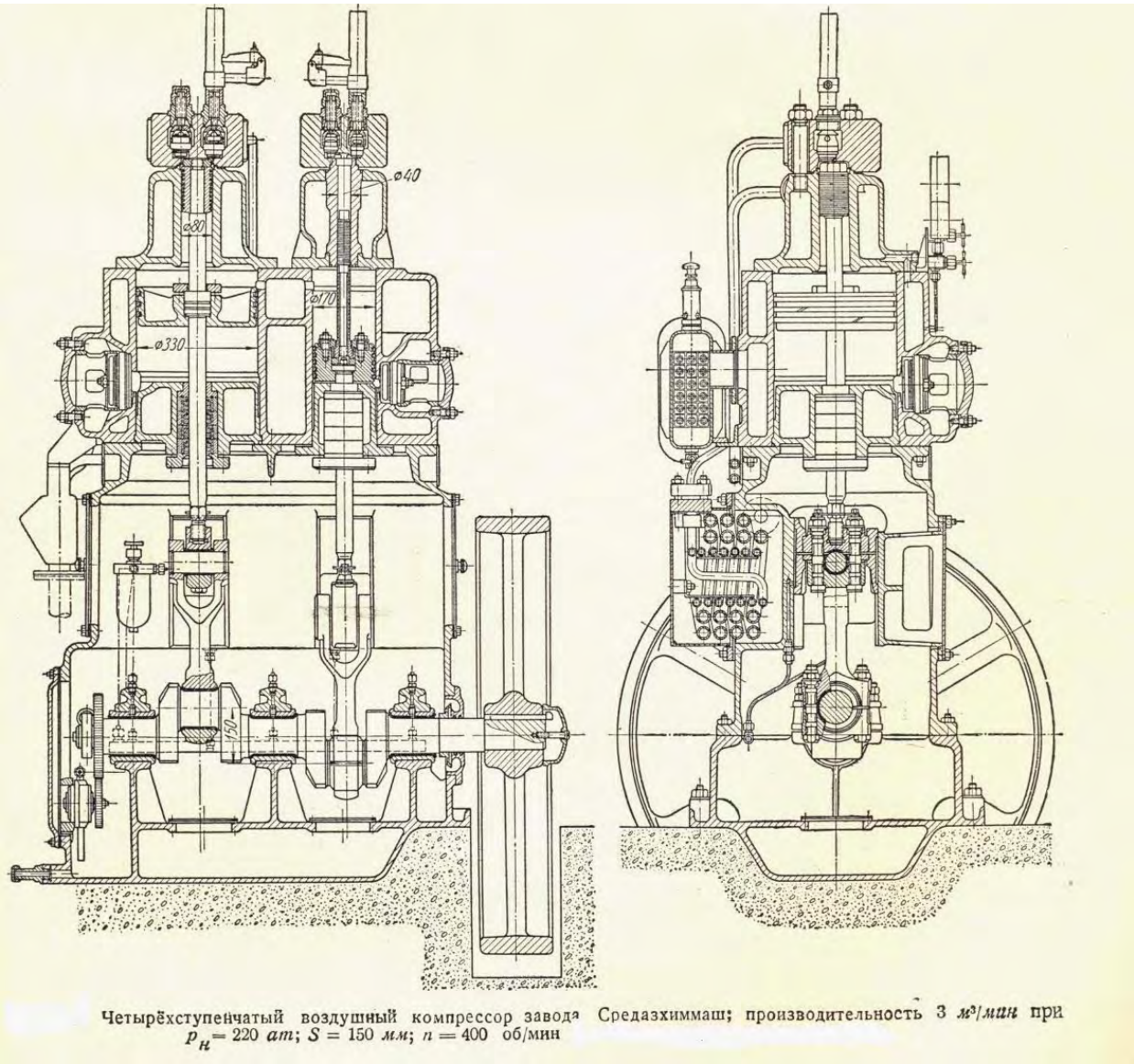


Рис. 1. Общий вид поршневого компрессора

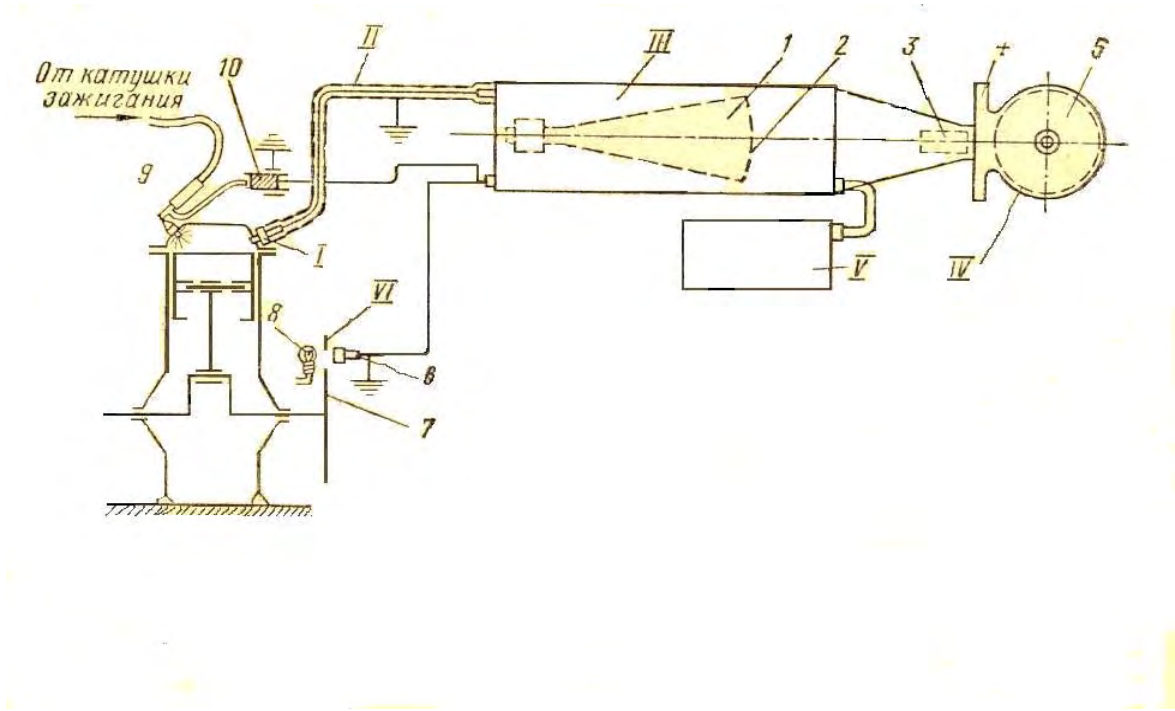


Рис. 2. Схема электронного индикатора с пьезоэлектрическим датчиком:

1 – двухлучевая катодная трубка; 2 – флуоресцирующий экран; 3 – фотообъектив; 4 – кассета фотоприставки; 5 – вращающийся барабан с фоточувствительным материалом; 6 – фотоэлемент; 7 – вращающийся диск с отверстиями для отметок мертвых точек; 8 – лампа; 9 – защита от помех; 10 – отметчик момента зажигания.

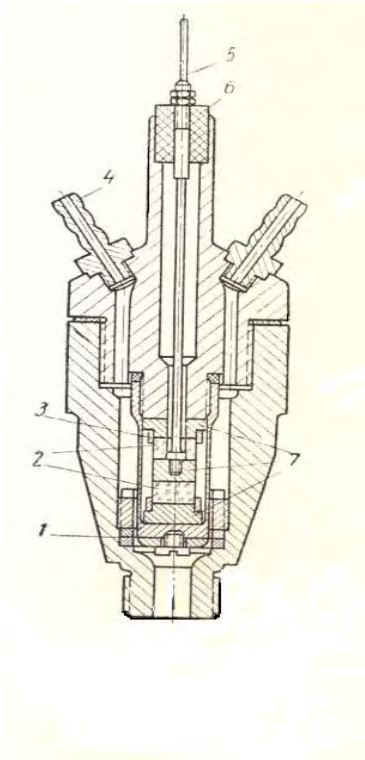


Рис. 3. Пьезоэлектрический преобразователь давления:

1 – мембрана; 2 – кварцевые пластины; 3 – центрирующие кольца; 4 – штуцеры подвода и отвода охлаждающей жидкости; 5 – электрод; 6 – изолятор; 7 – контактные пластины

Рассматриваемая система позволяет регистрировать исследуемые процессы как протекающие во времени, так и в функции угла поворота кривошипа коленчатого вала объёмной машины (рис. 4), а также получать свернутую индикаторную диаграмму в координатах «давление – объём» рабочего пространства (рис. 5.).

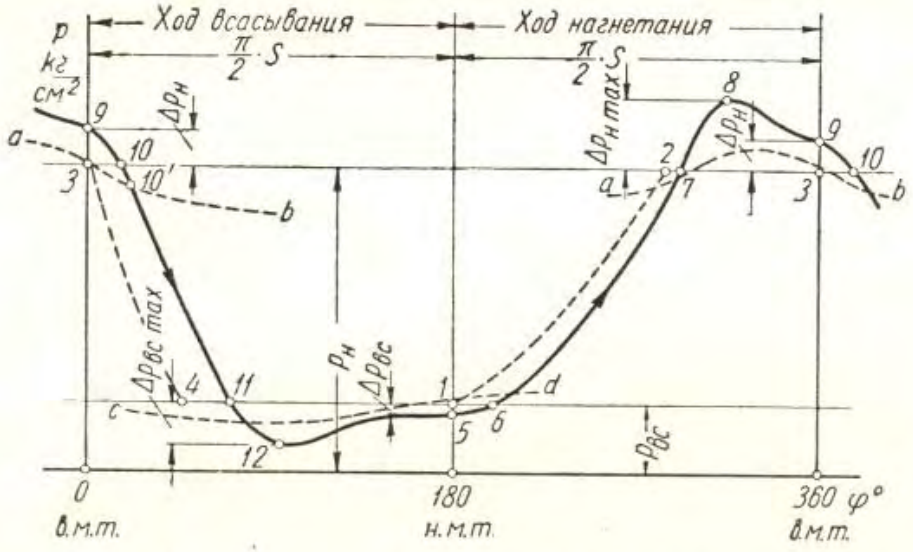


Рис. 4. Развернутая индикаторная диаграмма компрессора

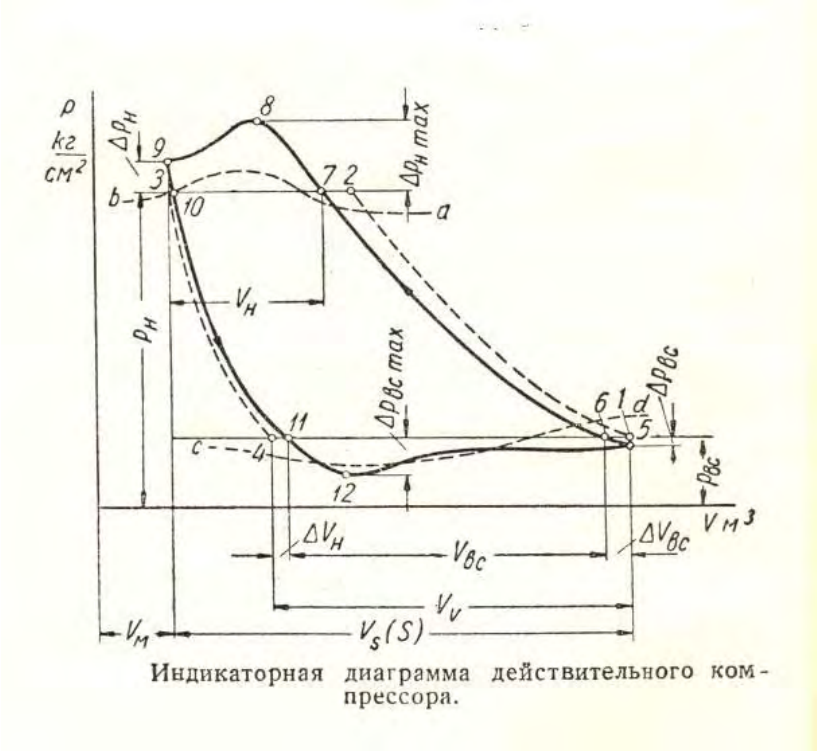


Рис. 5. Свернутая индикаторная диаграмма компрессора

Анализ индикаторных диаграмм позволяет исследовать изменения рабочего процесса энергетических машин при работе на различных режимах, при различных способах регулирования. На рис. 6 представлены индикаторные диаграммы поршневого компрессора при регулировании путем закрытия всасывающего трубопровода магистрали, а на рис. 7 – путем подключения дополнительного объёма вредного пространства. Такие диаграммы позволяют четко выявлять имеющиеся в рабочем процессе недостатки и устанавливать причины их возникновения.

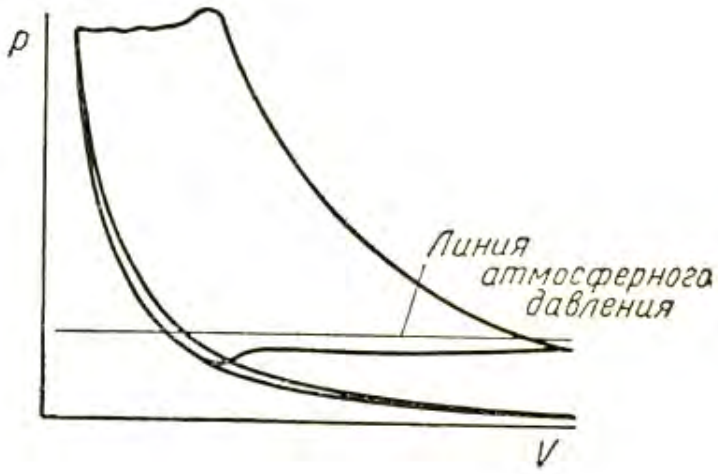


Рис. 6. Индикаторная диаграмма поршневого компрессора при регулировании закрытием всасывающего трубопровода

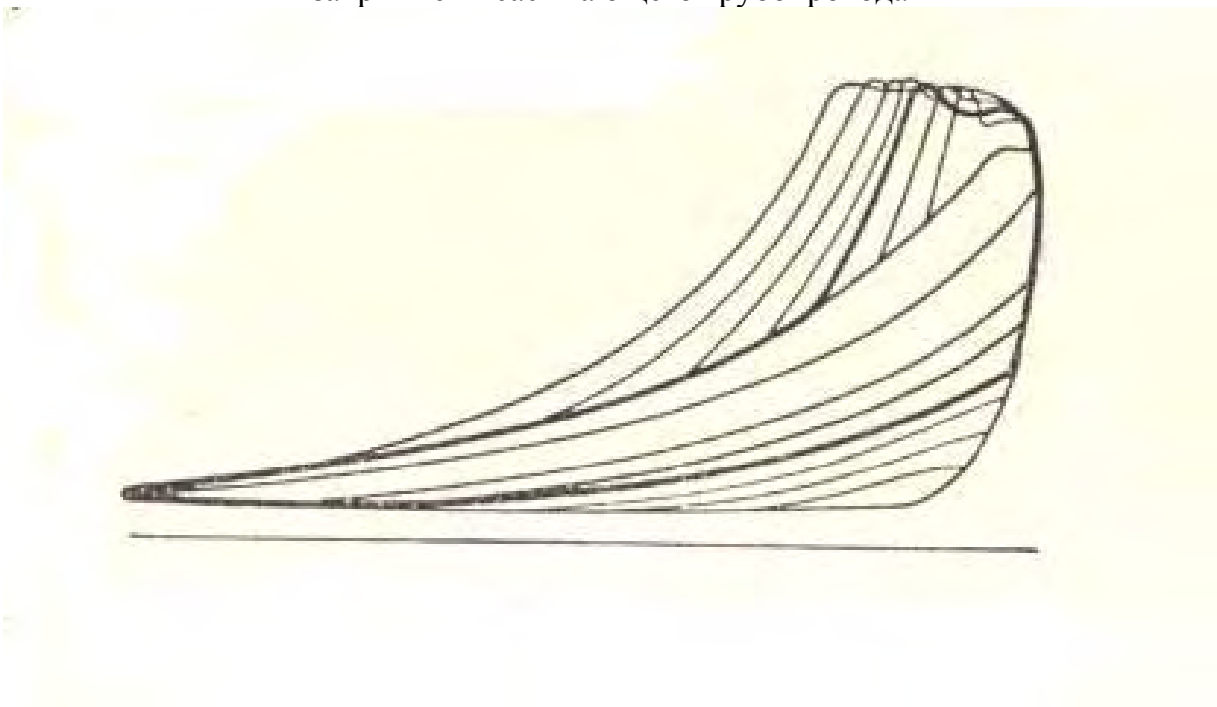


Рис. 7. Семейство индикаторных диаграмм, полученных путем подключения дополнительного объёма вредного пространства

Таким образом, предлагаемая система является очень удобным и наглядным средством оперативного контроля и исследования рабочих процессов энергетических машин объёмного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Райков И.Я.* Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.

2. *Сороко-Новицкий В.И.* Испытания автотракторных двигателей. – М.: МАШГИЗ, 1950. – 378 с.

3. *Черкасский И.М.*, *Калинин Н.В.*, *Кузнецов Ю.В.*, *Субботин В.И.* Нагнетатели и тепловые двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 384 с.

СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТА

Шевчук В.П. – д-р техн. наук, профессор
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Еремин Д.В. – аспирант МЭИ (ТУ), г. Москва

Увеличение на современном производстве объемов информации, подлежащей обработке, повышение степени автоматизации управления, усложнение технологических процессов привело к необходимости контролировать все более и более сложные параметры технологических и производственных процессов, так называемые технико-экономические показатели. Особенностью этих показателей является то, что зачастую не существует датчиков или приборов, позволяющих непосредственно получить их значения, в связи с чем оценка значения технико-экономического параметра осуществляется посредством косвенных измерений.

Для паровых барабанных котлоагрегатов наиболее ценным, с точки зрения экономичности и эффективности работы объекта в целом, является обобщенный теплоэнергетический показатель КПД. Видоизмененная его модель, показывающая отношение измеренного полезного тепла, выделенного объектом, к математической модели найденного при помощи статистических функций, представлена ниже.

Коэффициент эффективности для модели, представленной на рисунке, определяется формулой

$$Э = \frac{Y1\ Y5\ i(Y6)}{\int X1(t)h11(t-\tau)d\tau \int X2(t)h25(t-\tau)d\tau\, i(Y6)},$$

где $X1$ – расход газовоздушной смеси; $X2$ – расход питательной воды; $Y1$ – температура перегретого пара на выходе из котельного агрегата; $Y5$ – расход перегретого пара; $i(Y6)$ – энтальпия при давлении перегретого пара;

$h11$ – переходная характеристика по каналу «Расход газа – Температура пара»; $h25$ – переходная характеристика по каналу «Расход питательной – Расход перегретого пара».

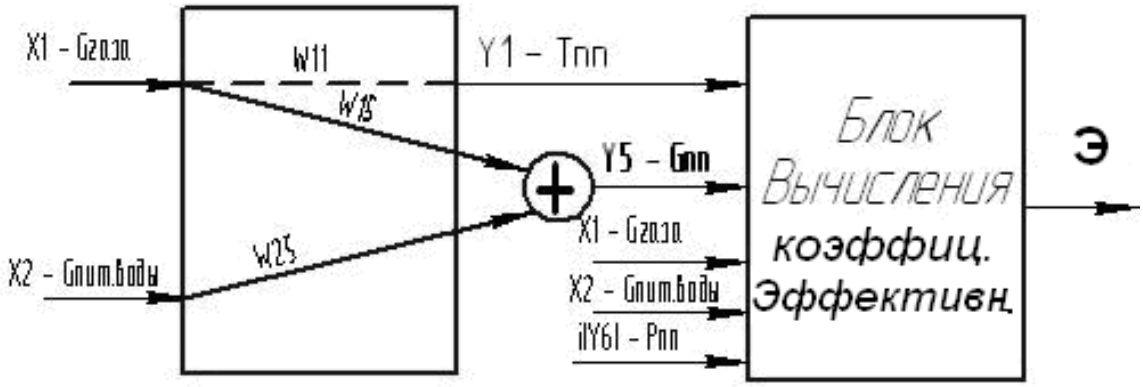


Рис. Модель расчета коэффициента эффективности работы котлоагрегата

Использование предложенного критерия эффективности котлоагрегата позволит как поддерживать значение этого параметра, заданное по теплотехническим испытаниям, при работе котла в базовом режиме на общую паровую магистраль, так и регистрировать этот важный технико-экономический параметр в реальном времени при различных режимах работы объекта. Также возможно применение данного параметра для управления ремонтами по состоянию группы котлов, работающих на общую магистраль, при этом одним из критериев вывода котла или его элементов в ремонт будет его коэффициент эффективности работы.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО РАБОТЫ

Шевчук В.П. **–** д-р техн. наук, профессор
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Грошев Н.А. **–** начальник смены цеха ТАИ
ВПП филиал «Волгоградская генерация» ОАО «ЮГК ТГК-8»
Чибирев А.В. – мастер 1-й категории эл. цеха
ВПП филиал «Волгоградская генерация» ОАО «ЮГК ТГК-8»

В настоящее время остро встала проблема регулирования турбогенератора не только на основании основных технологических параметров, но и по максимальным показателям эффективности работы, что приводит к необходимости поиска различных методов, обеспечивающих увеличение эффективности производства электрической энергии и тепла. Одним из таких решений является метод повышения коэффициента полезного действия энергетического блока, составной частью которого является турбогенератор.

Основной задачей является разработка системы контроля и управления, основанной на обобщенном показателе эффективности работы турбогенератора, а в частности – введение нового технологического параметра.

Для достижения поставленной цели в качестве объекта управления выбрана турбина паровая типа ПТ-65/75-130/13.

Начальным и основным этапом построения математического описания объекта является построение структурной схемы. На основе проведенного анализа следует сказать, что турбоагрегат, как объект управления, представляет собой сложную динамическую систему.

Для определения показателя эффективности выбраны следующие каналы: расход острого пара (X_1) – электрическая мощность на выводах генератора (Y_1), расход острого пара (X_1) – давление пара в производственном отборе (Y_2), расход острого пара (X_1) – давление пара в теплофикационном отборе (Y_3).

На основании данных входных и выходных параметров была разработана структура математической модели турбогенератора (рис. 1).

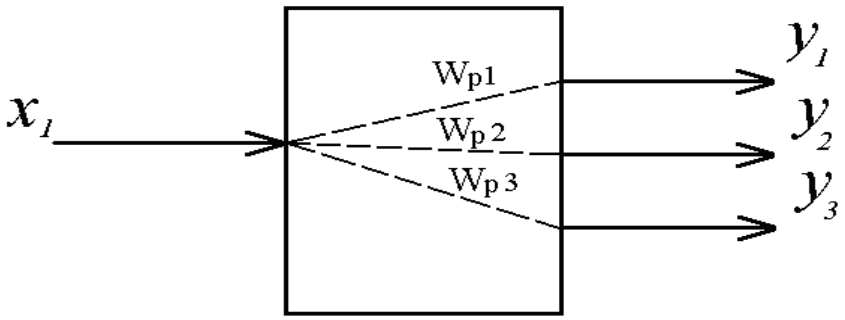


Рис. 1. Структура математической модели турбогенератора

Из рис. 1 видно, что турбоагрегат, как и любой реальный объект, сложен в своих свойствах и проявлениях и недоступен для абсолютного познания, поэтому приходится прибегать к моделям, представляющим относительно простой аналог реального объекта. При построении моделей сложных явлений принимают во внимание лишь самое главное для цели исследования, отбрасывая множество несущественных деталей. В результате получается упрощенное, а значит и пригодное для практического использования представление реальности, которое и называется моделью.

В ходе дальнейшего изучения объекта и поиска обобщенного критерия эффективности работы турбоагрегата из схемы взаимосвязей между входными и выходными величинами исключен ряд величин, несущественных для цели исследования. Учитывая, что параметры отборов пара изменяются при постоянной электрической мощности, мы исключим эти связи, так как их влияние несущественно.

Структурная схема объекта управления показана на рис. 2.

Передаточная функция, показанная на рис. 2, составляет математическое описание турбоагрегата, которое возможно непосредственно использовать для поиска алгоритмов управления, ориентированных на обобщенный показатель качества.

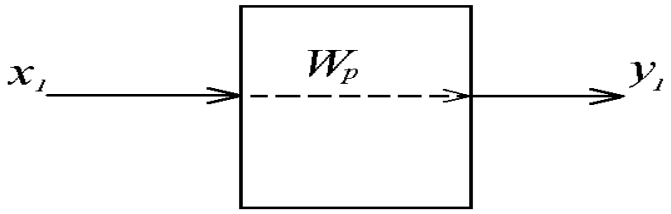


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

Наличие передаточных функций (аналитических выражений) в описании объекта определяет природу создаваемых моделей, которые по типу подобия разделяются на физические и математические модели теплоэнергетических объектов. Создаваемая модель может быть также основана на физическом подобии процессов в объекте-оригинале. Однако применение физических моделей затруднительно в случае сложных теплоэнергетических объектов с разнообразными химическими и физическими превращениями. Поэтому для отображения явлений в объекте были выбраны математические модели.

Как было указано выше, аналитическое математическое описание объекта управления достаточно сложно и в большинстве случаев отличается от реального поведения объекта из-за множества упрощений и допущений при аналитическом описании. Поэтому модели будем искать экспериментальным способом, опираясь на теоретическое описание.

Так как экспериментальное исследование динамики проводится по каналу «расход пара – электрическая мощность» при стабилизированных значениях остальных выходных параметров, то общая структурная схема может быть преобразована в схему объекта с одним входом и одним выходом.

Классическим экспериментом по идентификации линейного объекта управления является подача по интересующему каналу единичного ступенчатого воздействия и регистрация значений изменяющегося выходного сигнала. Полученную таким образом экспериментальную переходную характеристику называют *кривой разгона* (рис. 3). В этом случае задача поиска передаточной функции объекта управления сводится к аппроксимации кривой разгона некоторой аналитической переходной характеристикой, соответствующей по тем или иным соображениям динамике исследуемого объекта. В качестве критерия выбора предполагаемой аналитической переходной характеристики могут выступать «сходство» ее графика с кривой, соединяющей экспериментальные точки, сведения о качественном характере протекающих в объекте процессов, рекомендации литературных источников и т.д.

Аппроксимированная кривая была получена путём минимизации среднеквадратического отклонения экспериментальной кривой от теоретической, для чего были получены аппроксимирующие зависимости для каждого канала объекта. Поэтому кривая разгона аппроксимируется с момента времени снятия разгонной характеристики.

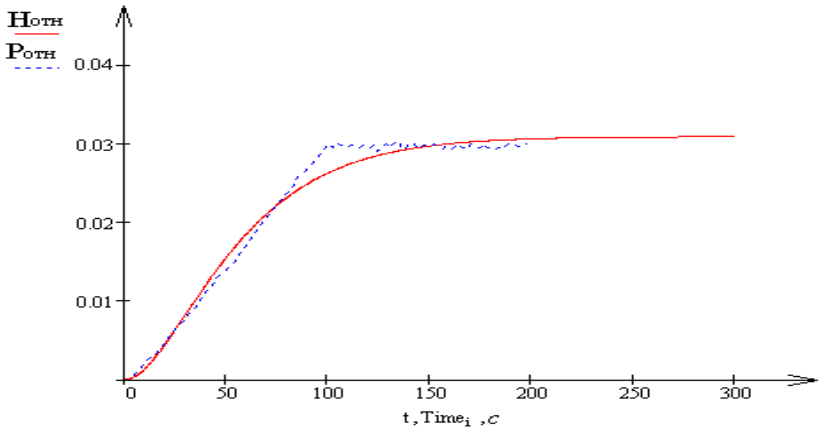


Рис. 3. Кривая разгона в относительных единицах

Результаты активного эксперимента, полученные аппроксимацией кривых разгона с учетом транспортного запаздывания соответствующих каналов, сведены в таблицу.

Таблица

Результаты активного эксперимента

Передаточная функция по каналу	Вид передаточной функции
$W(p)$	$Wot(p) = \dfrac{0{,}031}{(29{,}612p+1)\cdot(29{,}447p+1)}$

Один из наиболее простых обобщенных критериев говорит о том, что для обеспечения экономичности процесса выработки электроэнергии необходимо минимизировать отношение расхода пара к соответствующей ему выработке электрической мощности.

Эффективность использования пара в турбине определяется несколькими основными факторами:

– качество пара перед стопорными клапанами;

– глубина вакуума непосредственно в конденсаторе;

– КПД каждой ступени рабочего колеса турбины.

Полнота передачи потенциальной энергии рабочим колесам турбины определяется эффективностью работы турбоагрегата (ЭР).

Поэтому другой способ регулирования экономичности работы объекта управления состоит в поддержании максимальной эффективности работы турбины или сведении к минимуму потерь, сопровождающих процесс выработки электроэнергии.

В настоящее время, учитывая рост научно-технического прогресса, а вследствие этого, создание более быстродействующих и надежных приборов измерения и обработки информации на основе цифровой техники, в качестве критерия управления предлагается использовать обобщенный показатель экономичности работы турбоагрегата – ЭР турбины.

ЭР турбины зависит не только от изменения основных технологических параметров, но и во многом зависит от времени года, при этом максимум ЭР может варьироваться. Результат этого варьирования представлен на рис. 4.

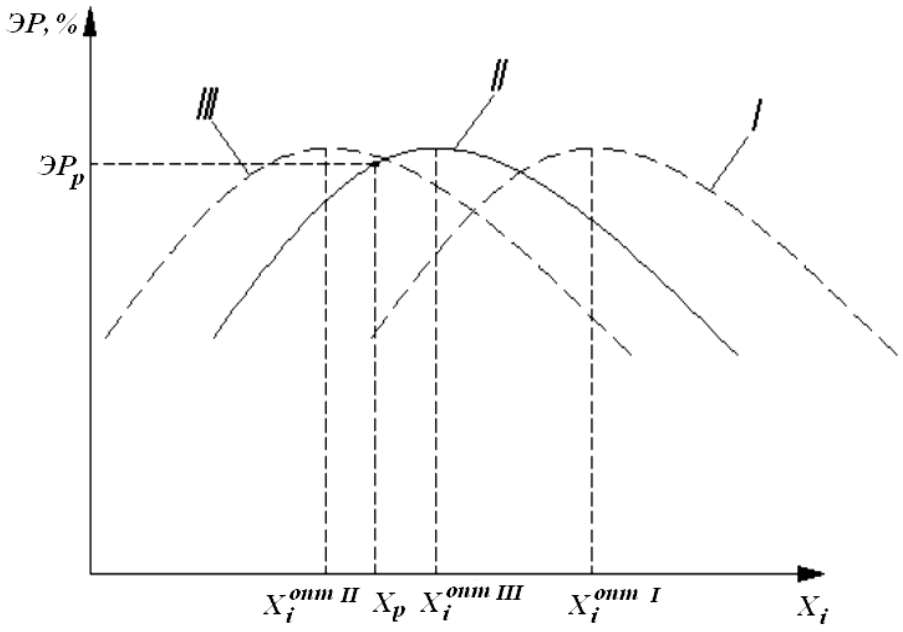


Рис. 4. Варьирование КПД турбоагрегата

Методика расчета принятого критерия управления реализована при помощи обратного теплового баланса турбоагрегата.

Метод обратного баланса состоит в том, что часть располагаемого количества пара в процессе работы турбины неизбежно теряется и составляет паровые потери. Распределение пара, поступающего в рабочие цилиндры, на полезно используемую работу и потери положено в основу составления теплового баланса турбины.

Анализ причинно-следственных связей в турбине позволил выделить основной входной параметр, который оказывает существенное влияние на процесс создания крутящего момента, а следовательно, и на эффективность работы турбоагрегата. Таким параметром является расход пара на турбину. С помощью этого параметра и будет рассчитываться формула для определения реального ЭР.

При этом важно, чтобы было возможно управлять этим технологическим параметром, и необходимо составить такой алгоритм управления, который позволил бы его стабилизировать.

В рамках данной работы разрабатывается алгоритм управления объектом по ЭР, модель которого представлена на рис. 5.

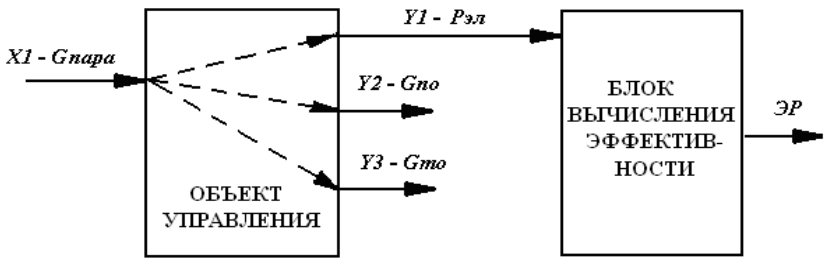


Рис. 5. Модель управления турбоагрегатом по ЭР

Эффективность работы для модели, представленной на рис. 5, определяется формулой (1), где $X1$ – расход пара; $Y1$ – вырабатываемая мощность; h – переходная характеристика:

$$ЭР = \frac{Y1}{\int X1(t)h(t-\tau)d\tau}. \quad (1)$$

Итак, зависимость данного критерия от основного входного параметра (расход пара) носит экстремальный характер с дрейфом во временной области. На основании этого предлагается применять экстремальное регулирование обобщенного показателя турбоагрегата градиентным (безмодельным) методом. При этом на вход регулятора будут поступать сигналы расхода пара и показателя эффективности работы. Использование данного алгоритма обеспечит правильность функционирования всей установки в целом при стабилизации мощности (рис. 6).

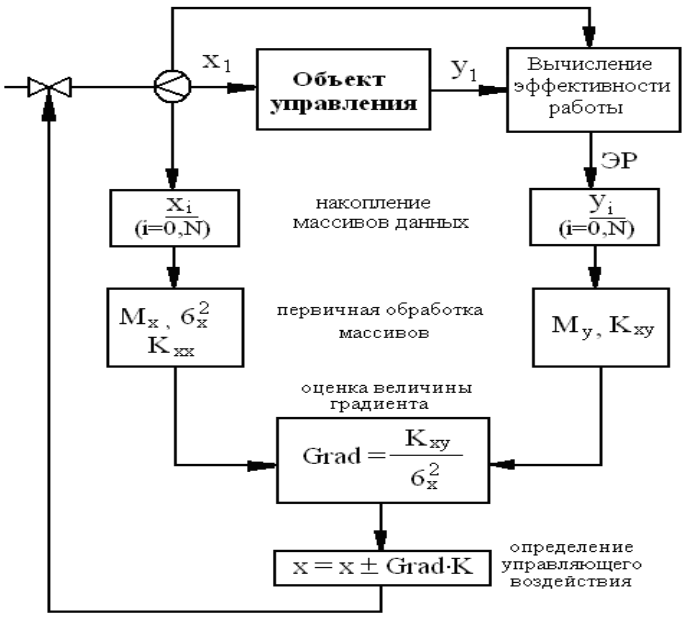


Рис. 6. Структурная схема экстремального алгоритма управления

Основной задачей экстремального управления является нахождение оптимума критерия управления. Таким критерием в данной работе является обобщенный относительный показатель эффективности работы турбоагрегата. На рис. 7 изображены графики изменения основных технологических величин процесса управления, смоделированного в программном пакете VisSim.

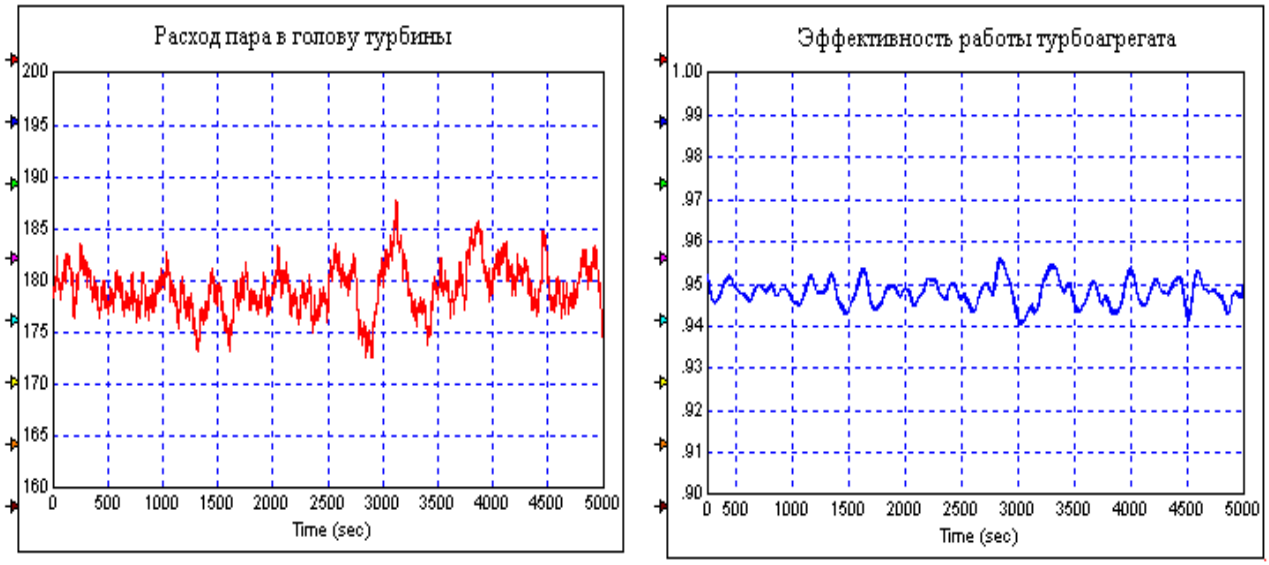


Рис. 7. Результаты моделирования процесса управления
в программном пакете VisSim

Управляющее воздействие представляет собой не что иное, как произведение градиента и настроечного коэффициента, полученного экспериментально-аналитическим методом. Управляющее воздействие влияет на расход пара, от которого в целом зависит изменение значения эффективности работы. Оно достигает своего оптимума при значении 94,9 % и колеблется в незначительных пределах. Это объясняется неточностью определения значения экстремума эффективности работы, а также погрешностью, вносимой измерительным каналом. Приведенные на рис. 7 графики говорят об удовлетворительном качестве регулирования. Это объясняется малыми величинами перерегулирования и колебаний выходного сигнала.

В настоящий момент ведутся работы по созданию виртуального и реального приборов, отображающих эффективность работы турбоагрегата.

В дальнейшем планируется разработка системы автоматического управления, поддерживающая на должном уровне обобщенный показатель эффективности работы.

СЕКЦИЯ № 2
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Руководитель секции: ***Васильев П.Д.***
канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Либина О.А.***
инженер кафедры ЭОП
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Васильев П.Д. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Такташев Р.Н. – студент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Большинство задействованных в данное время в народном хозяйстве трансформаторов имеют масляное (естественное или принудительное) охлаждение. Основным параметром, характеризующим возможность работы трансформатора в определенном режиме, является температура охладителя. При эксплуатации обычно оперируют двумя значениями температур: верхних слоев масла и наиболее нагретой точки.

Принцип работы масляного трансформатора с естественной циркуляцией охладителя основывается на физическом явлении снижения плотности масла при его нагреве. Масло поднимается в верхнюю часть бака трансформатора, омывая и, соответственно, охлаждая обмотки. В верхней части происходит охлаждение масла. Для увеличения эффективности охлаждения масла используют радиаторы.

В работе исследовалось функционирование системы охлаждения масляного трансформатора с естественной циркуляцией масла. Система охлаждения имеет радиаторы. Таким образом, тепло отводится через боковые стенки бака трансформатора и радиаторы, установленные на боковой поверхности бака.

Численное моделирование проводилось с использованием пакета *Fluent*. Режим течения масла внутри бака – ламинарный. Выбор ламинарного режима течения обусловлен чрезвычайно малой скоростью движения масла (несколько миллиметров в секунду). Температура окружающей среды 30 ºС, обмоток – 90 ºС.

Дискретизация уравнений производилась при помощи метода контрольного объема. Расчеты производились в декартовых координатах. Результаты расчета показали неудовлетворительное охлаждение обмоток трансформатора маслом в пространстве между самими обмотками. Результаты исследования могут использоваться при проектировании систем охлаждения масляных трансформаторов.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Васильев П.Д. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Ветлицын Ю.В. – инженер ЭТЛ МУП «Водоканал»

Вопрос оптимизации режимов работы существующих насосных станций и модернизации устаревшего технологического оборудования необходимо решать с учётом требования снижения издержек на эксплуатацию технологического оборудования.

Целью настоящей работы является постановка задачи оптимизации и выявление элементов, позволяющих оптимизировать режимы работы системы водопроводно-канализационного хозяйства.

Построение модели исследуемой системы

Существующие в настоящее время системы водопроводно-канализационного хозяйства могут быть представлены следующей функциональной схемой (рис. 1):

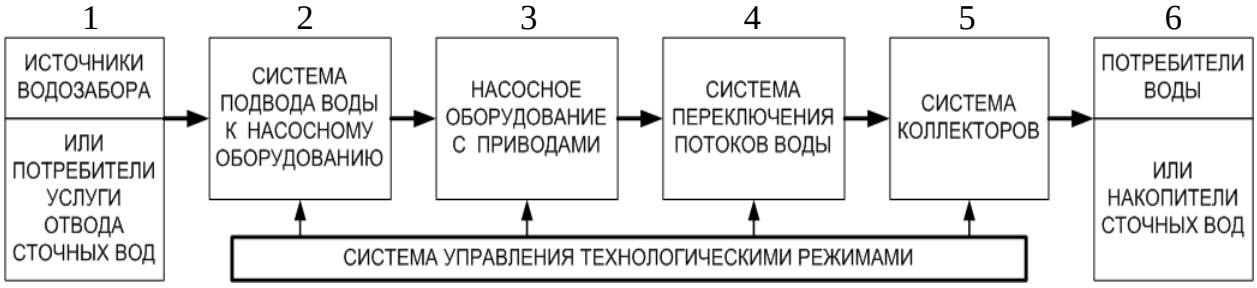


Рис. 1. Функциональная схема технологической цепочки ВКХ

В представленной системе существуют два практически неуправляемых блока, параметры которых определяются деятельностью потребителя услуг предприятия ВКХ. Потребности блока 6 «Потребители воды» с параметрами Q_6 – необходимый расход воды и H_6 – необходимый напор воды определяют работу системы подачи воды. Потребности блока 1 «Потребители услуги отвода сточных вод» с параметром Q_1 – необходимый объём стоков в единицу времени (расход) определяют деятельность системы возврата в природную среду сточных вод.

Функциональные блоки:

2 – «Система подвода воды к насосному оборудованию»;

3 – «Насосное оборудование с приводами»;

4 – «Система переключения потоков воды»;

5 – «Система коллекторов».

Эти блоки являются управляемыми в системе ВКХ, и их элементы должны использоваться при оптимизации режимов работы.

Декомпозиция управляемых функциональных блоков

Функциональный блок 2 может быть разделён на следующие элементы:

– ограничитель притока воды;

– резервуар;

– ограничитель разбора воды из резервуара.

Декомпозиция блока 2 представлена на рис. 2.

Рис. 2. Система подвода воды к насосному оборудованию

Оптимальная работа «Системы подвода воды» может быть оценена следующими критериями: ΔQ_2 – разность притока и разбора воды в единицу времени; G_2 – рабочий объём резервуара (разность между полным объёмом и пожарным запасом); F_2 – удобство эксплуатации, ремонтопригодность и эксплуатационные издержки в стоимостном выражении; C_2 – объём инвестиций на модернизацию.

Функциональный блок 3 может быть разделён на большое количество элементов, в зависимости от размеров насосной станции и насыщенности её оборудованием. Обобщённый вариант декомпозиции блока 3 представлен на рис. 3.

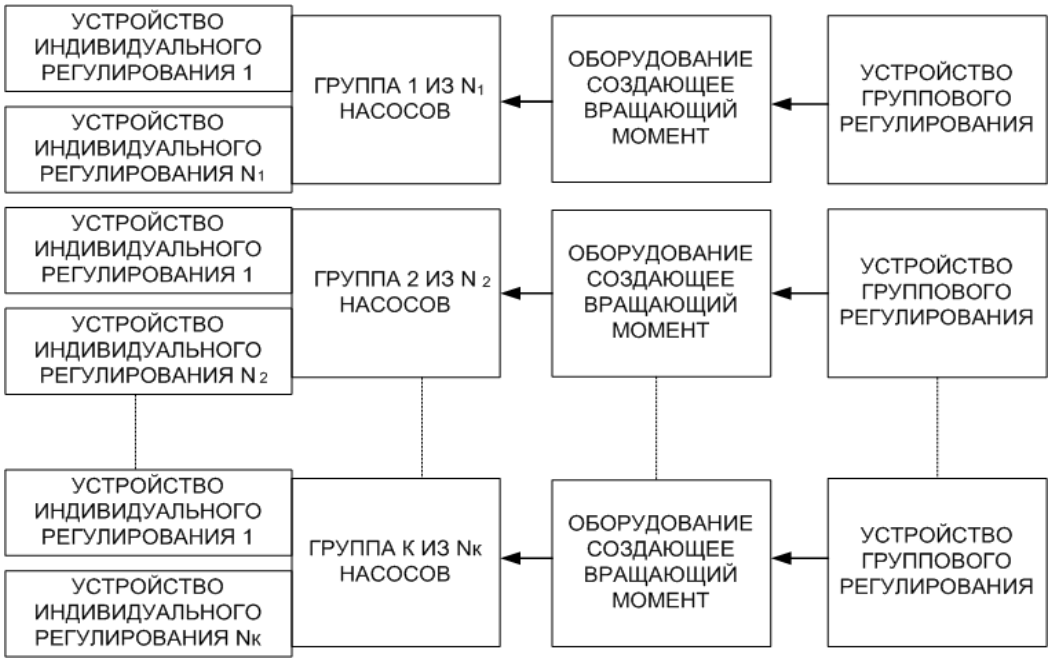


Рис. 3. Система насосного оборудования с приводом

Система содержит следующие элементы:

– группы насосов с параметрами Q_i – производительность и H_i – напор одного насоса; число групп – К, число насосов в группе – $N_к$;

– оборудование, создающее вращающий момент (электродвигатели), с параметром W_i – потребление энергии;

– устройство индивидуального регулирования частот вращения для i-го насоса, характеризующееся параметрами ΔQ_i – диапазон изменения производительности, ΔH_i – диапазон изменения напора, ΔW_i – изменение потребления энергии i-го насоса;

– устройство группового регулирования частот вращения для $N_к$ насосов, характеризующееся параметрами группы $\Delta Q_к$ – диапазон изменения производительности, $\Delta H_к$ – диапазон изменения напора, $\Delta W_к$ – изменение потребления энергии к-й группы насосов.

Оптимальная работа «Системы насосного оборудования с приводами» оценивается следующими критериями: Q_3 – производительность системы; H_3 – напор, создаваемый системой; W_3 – потребление энергии; V_3 – скорость настройки и точность выполнения системой заданного расхода и напора; F_3 – удобство эксплуатации, ремонтопригодность и эксплуатационные издержки в стоимостном выражении; C_3 – объём инвестиций на модернизацию.

Функциональный блок 4 возможно разделить на следующие элементы:

– индивидуальные ограничители параметров i-го насоса;

– переключатели потоков воды от i-го насоса к j-му коллектору;

– ограничители параметров j-го коллектора.

Декомпозиция блока 4 представлена на рис. 4.

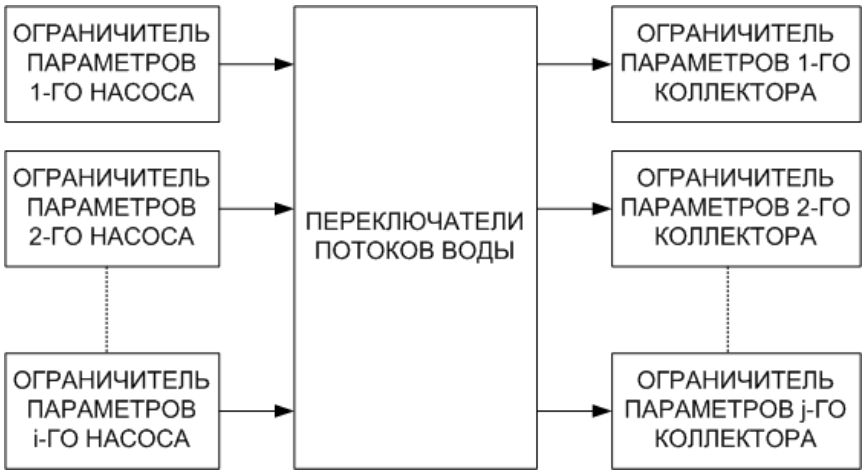


Рис. 4. Система переключения потоков воды

Оптимальная работа «Системы переключения» может оцениваться следующими критериями: V_4 – скорость настройки и точность выполнения системой заданного расхода и напора по каждому коллектору; F_4 – удобство эксплуатации, ремонтопригодность и эксплуатационные издержки в стоимостном выражении; C_4 – объём инвестиций на модернизацию; ΔQ_4 – потери производительности; ΔH_4 – потери напора; W_4 – затраты энергии.

Функциональный блок 5 подразделяется на четыре типа элементов [1]:
– коллекторы со статическим напором без регулирующей ёмкости;
– коллекторы со статическим напором и регулирующей ёмкостью;
– коллекторы с регулирующей ёмкостью и свободным напором;
– коллекторы без регулирующей ёмкости со свободным напором.

Каждый коллектор характеризуется индивидуальным параметром Q_{5j} – расхода и H_{5j} – напора воды. Оценка оптимальной работы «Системы коллекторов» производится по следующим критериям: ΔQ_5 – потери воды в единицу времени; ΔH_5 – потери напора; F_5 – удобство эксплуатации, ремонтопригодность и эксплуатационные издержки в стоимостном выражении; C_5 – объём инвестиций на модернизацию.

Алгоритм решения задачи оптимизации

Последовательность решения задачи оптимизации рассмотрим для варианта водопроводной насосной станции (рис. 5).

Первым этапом должен быть накоплен материал о неуправляемой части функциональной схемы, то есть необходимые для потребителя параметры подачи воды. Наиболее важные параметры: $Q_{макL}$ и $Q_{минL}$ – максимальное и минимальное значения расхода воды, H_L – договорное значение напора, наличие регулирующих ёмкостей L-го потребителя.

Вторым этапом оптимизации режимов работы следует распределение потребителей на группы по требуемым значениям напора и типа системы коллекторов, а следовательно, определение индивидуальных параметров каждого коллектора по суммарным требованиям потребителей. Производится оценка коллекторов по критериям оптимальной работы блока 5, и определяются возможные направления совершенствования.

Третий этап оптимизации – распределение индивидуальных параметров коллекторов по насосному оборудованию блока 3 и определение необходимых максимальных параметров, диапазона и способа регулирования каждого насосного агрегата. Производится оценка блока 3 по критериям оптимальной работы, и выбираются направления модернизации оборудования.

Четвёртый этап – определение состояний элементов блока 4 по известным параметрам каждого насосного агрегата и индивидуальным параметрам коллекторов; оценка «Системы переключения потоков» по критериям оптимальной работы и установка необходимости доработки.

Пятый этап – оценка «Системы подвода воды» по известным параметрам оборудования блока 3 и критериям оптимальной работы блока 2, выявление возможностей доработки системы.

После оценки по критериям оптимальной работы формируется заключение об оптимальности режимов работы всей системы.

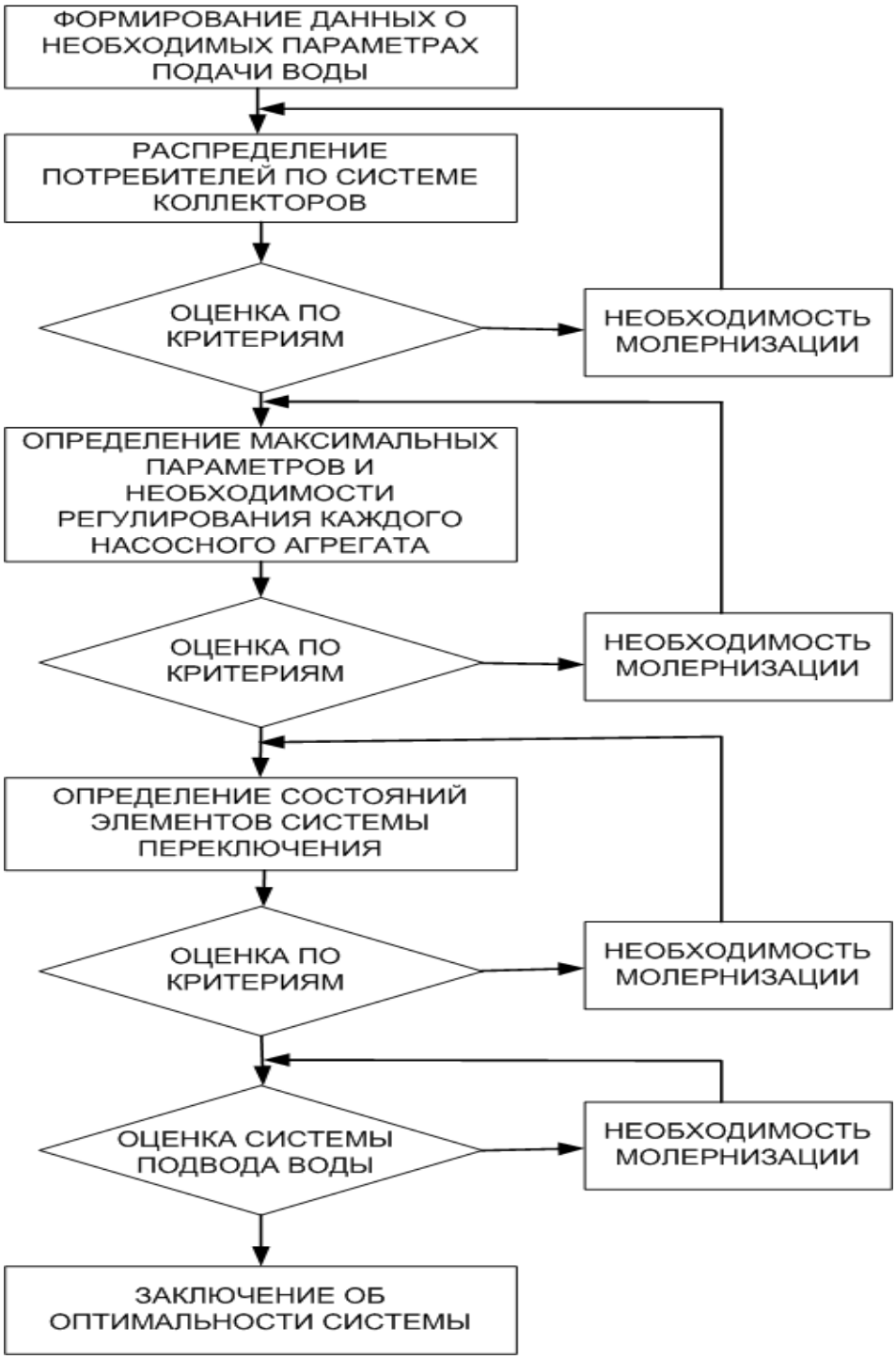


Рис. 5. Алгоритм оптимизации технологической цепочки водопровода

Пример взаимного влияния блоков функциональной схемы

На насосной станции IV-го подъёма г. Волжского были исследованы параметры оборудования и подачи воды потребителям в различных режимах работы блока «Системы коллекторов». На насосной станции в работе находилось в обоих режимах одно и то же оборудование, но в одном случае система коллекторов была задействована полностью, а во втором один коллектор был перекрыт. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица

Влияние «Системы коллекторов» на оптимальный режим работы

№ опыта	Параметры	По двум коллекторам	По одному коллектору
1	Расход, $м^3$·час	800	800
	Напор на выходе, м	42	46
	Напор у потребителя, м	39	16
	Потребление электроэнергии, кВт·час	165	195
2	Расход, $м^3$·час	900	900
	Напор на выходе, м	42	48
	Напор у потребителя, м	39	13
	Потребление электроэнергии, кВт·час	168	209
3	Расход, $м^3$·час	1000	1000
	Напор на выходе, м	42	50
	Напор у потребителя, м	39	12
	Потребление электроэнергии, кВт·час	171	218

Полученные данные наглядно показывают: при одинаковых значениях расхода воды с насосной станции в режиме работы по одному коллектору значение напора у потребителя оказывается намного меньше (вследствие ухудшения критериальных оценок блока 5), а потребление электроэнергии выше (из-за необходимости создания большего напора оборудованием блока 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лищенко С.А.* Регулирование работы насосов на водопроводных насосных станциях. – М.: Стройиздат, 1949. – 86 с.

2. *Веников В.А.*, *Журавлёв В.Г.*, *Филиппова Г.А.* Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

3. *Васильев П.Д.*, *Ветлицын Ю.А.* Выбор вариантов системы регулирования электропривода насоса на примере насосной станции 3-го подъёма города Волжского Волгоградской области: Труды VI международного симпозиума 29.11 – 02.12.05 – Казань: Изд. КГУ.

4. www.idefinfo.ru – электронный ресурс, тексты стандартов IDEF.

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Г. ВОЛЖСКОГО

Зенина Е.Г. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Арванитаки Н.В. – старший преподаватель
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В настоящее время происходит неуклонный рост затрат на энергоснабжение и мощнейшее давление государства на потребителей ТЭР. Предприятия вынуждены принимать срочные меры по повышению *энергетической эффективности.*

Ввиду быстрого увеличения цен на энергоносители затраты на них в коммунальной сфере и в промышленности выросли многократно и только в себестоимости промышленной продукции составляют от 10 до 40, а иногда и более процентов. Тенденция к дальнейшему повышению энергозатрат в ближайшей перспективе сохранится. Государственная политика в области цен на энергоресурсы заключается в том, чтобы в перспективе сравнять внутренние и мировые цены на газ (увеличатся в 7 раз), нефть и нефтепродукты, электроэнергию и уголь (увеличатся в 2...4 раза). Это неизбежно приведет к дальнейшему повышению оплаты энергоресурсов. В период энергетического кризиса в 70-е годы XX века вся Европа решала, как выжить при дефиците энергоносителей. В это время начала формироваться особая область технического консалтинга – *энергоаудит*, то есть обследование предприятия с целью определения эффективности энергоиспользования, оценки потенциала энергосбережения и разработки наиболее эффективных способов его реализации.

Вопрос энергосбережения стоит одним из первых при развитии промышленных предприятий, поэтому уделяется большое внимание энергетическим обследованиям и энергоаудиту. В России опыт практического энергоаудита насчитывает всего около десяти лет. Энергоаудитор в процессе обследования предприятия и анализа данных об энергопотреблении уделяет равное внимание всем видам энергоресурсов и типам энергопотребляющего оборудования. При разработке и оценке энергосберегающих проектов учитываются внутренние и внешние связи исследуемых объектов, а для отбора энергосберегающих мероприятий важен только один критерий – экономическая эффективность. Существует устоявшаяся методика проведения энергоаудита (АСКУЭ), однако аудиторы часто идут по пути наименьшего сопротивления: делают то, что умеют и как умеют. Несоблюдение технологии проведения аудита является обычной практикой, а от этого снижается качество обследования. Но даже если энергоаудит выполнен с соблюдением всех правил, то предприятие получает только отчет, где приводятся:

• *оценка текущего энергопотребления* с достоверными данными по объемам потребления всех ресурсов и суммам средств, затрачиваемых на них, по предприятию в целом и отдельным участкам и их удельные величины на каждый вид продукции;

• *программа мероприятий по энергосбережению*, содержащая систему мер организационного, правового и технического характера, направленных на постоянное и планомерное снижение издержек при улучшении производственных, экономических и экологических показателей предприятия и условий труда его персонала.

Следовательно, *энергетическое обследование указывает* правильные направления повышения эффективности энергопотребления, а *организация и проведение практической работы* по их реализации возлагается на руководство предприятия и его специалистов. Такая практика недопустима. Во всем

мире принята другая структура проведения подобных работ, более действенная. Мало что меняется на предприятии, когда энергоаудит заканчивается отчетом. Энергетическое обследование, даже выполненное предельно качественно, является только диагностикой проблем, но не их решением. Мероприятия по результатам энергоаудита должны быть следующими:

• провести анализ полученных результатов и обсуждение предложенной *программы мероприятий по энергосбережению* с главным инженером, руководителями служб главного энергетика предприятия по подразделениям (отделам, цехам);

• реализовать рекомендации, которые выявлены в результате энергоаудита;

• вести учет полученных результатов с внедрением новых средств коммерческого учета электроэнергии.

Примером внедрения эффективных способов снижения энергопотребления является использование *частотного регулирования электроприводов*, так как около 70 % вырабатываемой электроэнергии на предприятиях потребляют электродвигатели переменного тока. Это, в свою очередь, позволяет осуществлять точное регулирование практически любого процесса в наиболее экономичном режиме, без тяжелых переходных процессов в технологических системах и электрических сетях. На предприятии ОАО «Волжский абразивный завод» внедрили частотное регулирование электроприводов (ЧРП), что позволило:

• повысить надежность работы оборудования и систем;

• улучшить качество производимой продукции и предоставляемых услуг;

• автоматизировать производство;

• экономить ресурсы и энергию.

Еще одной немаловажной проблемой энергосбережения является компенсация реактивной мощности. Невыполнение мероприятий по компенсации реактивной мощности приводит к потерям электроэнергии, которые ухудшают пропускную способность линий и приводят к удорожанию кВт · час электроэнергии. В настоящее время вопрос компенсации является основным при разработке мероприятий по энергосбережению.

Оценить электропотребление можно только имея достоверные данные. А их можно получить лишь при наличии приборов учета электроэнергии, поэтому одним из первых мероприятий по энергоэффективности является оснащение промышленных предприятий приборами учета электроэнергии нового поколения и применение программных комплексов Автоматизированной информационной системы на базе систем учета энергоресурсов (АСКУЭ). Внедрение в производство такой системы является наиболее эффективным решением получения данных об энергопотреблении. Она позволяет получать оперативные статистические данные о потреблении энергоресурсов как по предприятию в целом, так и по отдельным участкам с необходимой степенью детализации. Такая система станет основой:

• контроля эффективности проводимых мероприятий и своевременного внесения корректив;

• разработки дополнительных высокоэффективных мероприятий энергосбережения;

• учета и распределения сэкономленных средств.

В настоящее время на нескольких предприятиях города Волжского внедрена система АСКУЭ. Это такие предприятия, как: ОАО «Сибур-Волжский», ОАО «Энерготехмаш». Поэтапно ее внедряют на ОАО «Волжский оргсинтаз» и ОАО «Волжский трубный завод».

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ГИДРОТУРБИНЫ ВОЛЖСКОЙ ГЭС ПРИ ПУСКЕ

Гольцов А.С. – д-р техн. наук, профессор
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ
Клименко А.В. – гл. инженер ОАО «Волжская ГЭС»
Силаев А.А. – аспирант Волжского политехнического
института (филиал) ВолгГТУ
Афанасьев А.В., Некрасов Д.А. – студенты
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

В настоящее время существующие автоматизированные системы управления гидроагрегатами Волжской ГЭС оснащены ПИД-регуляторами с постоянными параметрами, которые имеют статическую погрешность, создают существенное перерегулирование частоты вращения ротора гидроагрегатов и высокий уровень вибрации при пуске. Это связано с тем, что разработка алгоритмов управления этими системами выполнена на базе линейных моделей объектов управления без учёта реальных законов изменения возмущающих воздействий.

Перерегулирование частоты вращения ротора гидроагрегатов при пуске приводит к следующим негативным последствиям:

• появление дополнительной вибрации гидроагрегатов, гидравлических ударов и эффектов кавитации, приводящих к быстрому износу оборудования гидроагрегатов;

• уменьшение КПД гидроагрегатов за счёт потребления энергии самими агрегатами;

• нарушение госстандартов по времени перехода гидроагрегатов в режим холостого хода.

Для устранения перерегулирования частоты вращения ротора гидроагрегатов при пуске и вытекающих из этого последствий требуется разработать адаптивную систему автоматического управления гидроагрегатами при пуске с обучаемыми параметрами регуляторов, построенных на использовании обучаемых нелинейных моделей процессов в гидроагрегатах.

Для решения этой задачи в работе:

• проанализирована штатная система автоматического управления частотой вращения ротора гидроагрегатов Волжской ГЭС;

• построена математическая модель обучаемой системы управления частотой вращения ротора гидроагрегата при пуске;

• разработаны адаптивные алгоритмы управления гидроагрегатом при пуске.

В результате анализа системы автоматического управления было выявлено, что каждая точка комбинаторной зависимости определяется в установившемся режиме работы экспериментальной установки при фиксированных значениях напора воды и положения лопаток направляющего аппарата модели рабочего колеса с последующим пересчетом на реальную турбину с помощью теории подобия. Однако в реальных условиях (особенно в переходных процессах работы гидроагрегата) комбинаторная зависимость не выполняется.

Математическая модель системы была построена на основе динамических уравнений состояния гидроагрегата и ограничений переменных состояния гидроагрегата.

На основе математической модели системы управления гидроагрегата были разработаны алгоритмы управления гидроагрегатом:

• алгоритм автоматической настройки параметров регулятора;

• алгоритм определения требуемого закона поворота лопаток направляющего аппарата гидроагрегата при пуске;

• алгоритм формирования управляющих воздействий, оптимальных по квадратичному функционалу обобщенной работы гидроагрегата при пуске.

Выполненные исследования показали, что разработанная система управления частотой вращения ротора астатическая, величина перерегулирования не превышает 0,5 %, а время регулирования – 60 с.

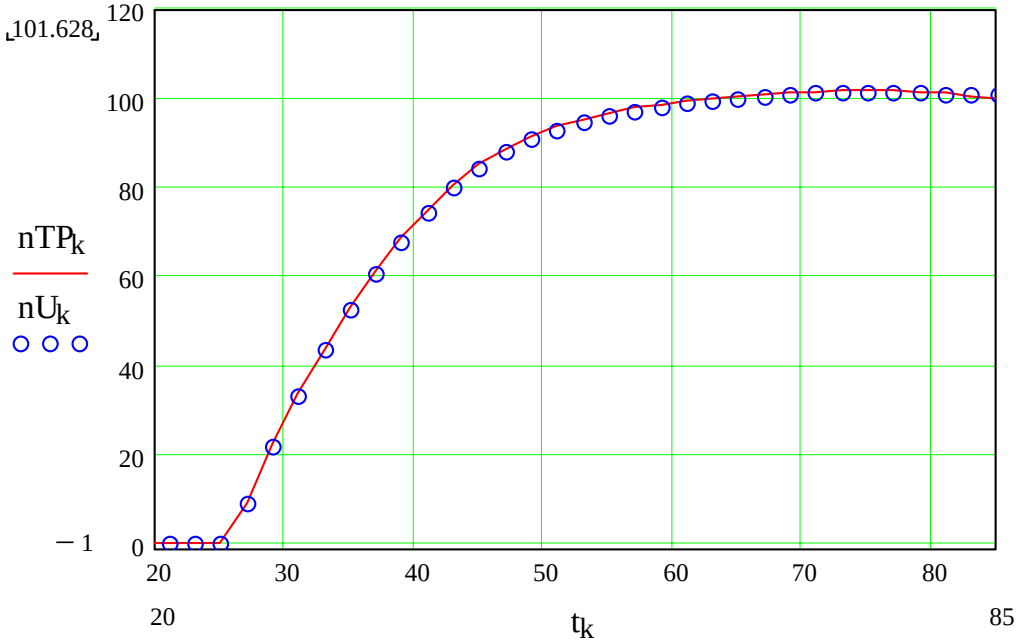


Рис. Результаты регулирования частоты вращения ротора гидроагрегата № 19:
nTP_k – задание регулятору; nU_k – частота вращения, формируемая адаптивной системой управления (t_k – время с момента пуска, с.)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК РЕГИСТРАЦИИ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета
Иванников С.А. – аспирант
Волгоградского государственного технического университета
Шилин А.А. – бакалавр
Волгоградского государственного технического университета

Одной из актуальных проблем отечественной энергетики является проблема разработки и внедрения технических средств регистрации повреждения воздушных линий электропередачи. Информация о месте повреждения необходима для оперативной ликвидации аварий, а в случае вандализма и воровства проводов – для оперативного задержания преступников. Существующие методы и средства контроля мест повреждения, основанные на локации сигнала по линиям электропередачи, не обеспечивают необходимой точности и оперативности. Поэтому был разработан интеллектуальный датчик (ИД) регистрации места повреждения линии электропередачи. Принцип действия этого датчика основан на фиксации изменения структуры электромагнитного поля, создаваемого в окрестности этих проводов, в момент обрыва одного или нескольких проводов. В рассматриваемых ЛЭП с напряжением 10 кВ (рис. 1) используется трехфазная система передачи электроэнергии, которая передается с помощью линейных проводов *A*, *B*, *C*. Поскольку между напряжениями различных проводов ЛЭП существует сдвиг по фазе, то они представляются комплексами $\mathring{U}_{AB}$, $\mathring{U}_{BC}$, $\mathring{U}_{CA}$.

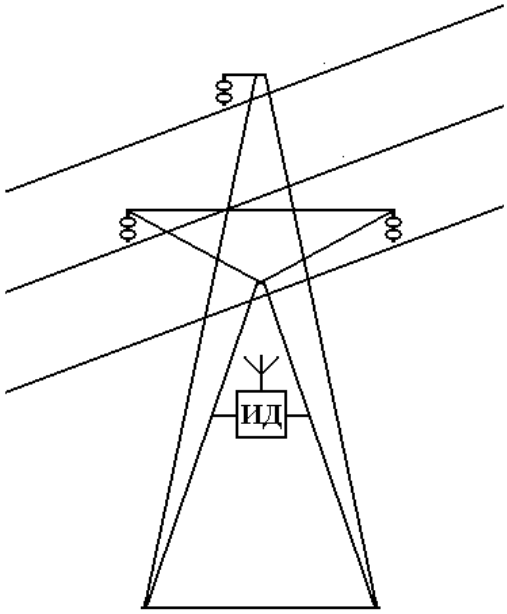


Рис. 1. Схема установки датчика регистрации повреждения линии электропередачи

При разработке датчика аварийных режимов воздушных электрических сетей необходим анализ изменения электромагнитного поля в зоне измерения. Наиболее технически просто реализовать измерение электромагнитного поля трех фаз одним датчиком, представляющим собой антенну, расположенную на одинаковом расстоянии от трех линейных проводов. В идеальном случае, а именно – когда все фазные напряжения равны и расстояния от проводов до датчика одинаковы – измеряемое суммарное напряжение, определенное символическим методом, равно нулю:

$$\dot{U}_{m\Sigma} = \dot{U}_{ma} + \dot{U}_{mb} + \dot{U}_{mc} = 0. \qquad (1)$$

Однако в реальных электрических сетях практически невозможно обеспечить равенство фазных напряжений, а при установке датчика – обеспечить одинаковые расстояния до проводов. Поэтому суммарное измеряемое напряжение не будет равно нулю. Отклонение напряжений в системах энергоснабжения нормируется ГОСТом и составляет $\delta_U = \pm 5\,\%$. Для проектирования датчика определим аналитически изменение суммарного напряжения, вызванное отклонением фазных напряжений и аварийными режимами. Рассмотрим случай, когда напряжение фазы *A* соответствует номинальному значению, напряжения фаз *B* и *C* имеют отклонения, равные по значению, но различные по знаку:

$$U_{ma} = U_m;\;\; U_{mb} = U_m - \Delta U_m;\;\; U_{mc} = U_m + \Delta U_m. \qquad (2)$$

Выразим эти фазные напряжения в символической форме на комплексной плоскости:

$$\begin{aligned} &\dot{U}_{ma} = U_m; \\ &\dot{U}_{mb} = U_m e^{-J\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2}U_{mb} - \frac{\sqrt{3}}{2}U_{mb}; \\ &\dot{U}_{mc} = U_m e^{J\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2}U_{mc} + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{mc}. \end{aligned} \qquad (3)$$

Измеряемое датчиком суммарное напряжение в символической форме определяется в результате следующего преобразования:

$$\dot{U}_{m\Sigma} = \dot{U}_{ma} + \dot{U}_{mb} + \dot{U}_{mc} = j\sqrt{3}\Delta U_m. \qquad (4)$$

Модуль амплитудного значения напряжения соответственно равен

$$U_{m\Sigma} = \sqrt{3}\Delta U_m.$$

Вычислим значение напряжения для отклонения $\delta_U = \pm 5\,\%$:

$$U_{ma} = U_m;\;\; U_{mb} = 0{,}95 \cdot U_m;\;\; U_{mc} = 1{,}05 U_m;$$

$$\dot{U}_{m\Sigma} = \dot{U}_{ma} + \dot{U}_{mb} + \dot{U}_{mc} = j \cdot 0{,}085 \cdot U_m. \qquad (5)$$

Значение модуля амплитудного значения напряжения соответственно равно

$$U_{m\Sigma} = 0{,}085U_m. \quad (6)$$

Далее рассмотрим аварийные режимы для случая равенства фазных напряжений, то есть пренебрегаем их отклонением, поскольку величина отклонения мала в сравнении с ее значением:

а) обрыв фазы A:

$$\dot{U}_{m\Sigma} = \dot{U}_{mb} + \dot{U}_{mc} = -\frac{1}{2}U_m - j\frac{\sqrt{3}}{2}U_m - \frac{1}{2}U_m + j\frac{\sqrt{3}}{2}U_m = -U_m; \quad (7)$$

б) обрыв фаз B и C:

$$\dot{U}_{m\Sigma} = \dot{U}_{ma} = U_m; \quad (8)$$

с) обрыв всех фаз:

$$\dot{U}_{m\Sigma} = 0. \quad (9)$$

Из этих выражений следует, что при обрыве одной или двух фаз суммарное напряжение, регистрируемое датчиком, соответствует фазному напряжению. Таким образом, по значению регистрируемого датчиком напряжения можно определять режимы работы энергетической сети. Результаты причинно-следственных связей представлены в таблице.

Таблица

Режимы работы энергетической сети

Режимы сети	Регистрируемое напряжение
Все фазы в работе	$0 < U_{m\Sigma} \le 0{,}1U_m$
Обрыв одной фазы	$U_{m\Sigma} \approx U_m$
Обрыв двух фаз	$U_{m\Sigma} \approx U_m$
Обрыв всех фаз	$U_{m\Sigma} = 0$

В случае работы всех фаз измеряемое напряжение $U_{m\Sigma} = 0{,}085U_m$ мало отличается от нулевого значения, и поэтому для повышения достоверности определения режима это отличие целесообразно увеличить за счет асимметрии расположения датчика.

Для контроля аварийных режимов энергетической сети было разработано устройство контроля (рис. 2), использующее представленные в таблице результаты анализа изменения регистрируемого напряжения.

В стержне датчика наводится ЭДС электромагнитным полем проводов линии электропередачи, которая усиливается усилителем. Коэффициент усиления усилителя устанавливается при настройке преобразователя. Датчик и усилитель содержат избирательные фильтры, настроенные на промышленную частоту. К усилителю подключен трехуровневый компаратор, представляющий

собой три триггера Шмита. При повышении напряжения $U_{m\Sigma}$ на входе датчика от 0 до U_m поочередно срабатывают триггера Шмита компаратора. Логическое устройство, соединенное с компаратором, преобразует комбинацию выходных двоичных сигналов компаратора в логическую единицу только одного выхода, а каждый выход включает соответствующий генератор с определенной частотой *f*. Использование дискретной частотной модуляции позволит повысить достоверность передачи информации.

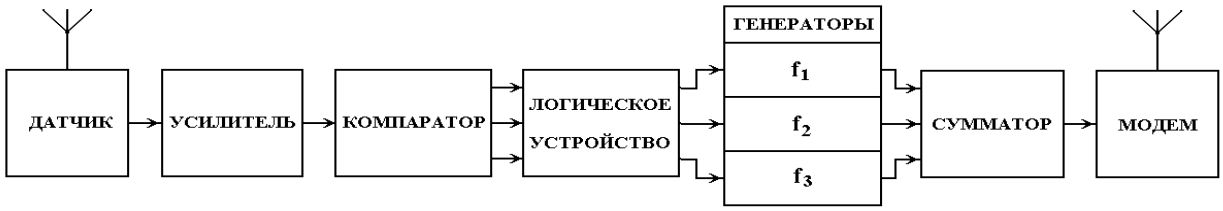


Рис. 2. Функциональная схема устройства контроля аварийных режимов работы энергетической сети

Выходы всех генераторов соединены через сумматор с модемом, который передает информацию на диспетчерский пункт. Сумматор соединяет выходы всех генераторов с модемом. Использование набора генераторов вместо одного преобразователя «напряжение – частота» позволяет использовать кварцевые генераторы с высокой стабильностью и задавать любые значения частот. Второй технический вариант разработан на базе интеллектуального реле Zelio Logic фирмы Schneider electric. Все блоки устройства довольно просто реализуются программно с помощью этого реле. Этот вариант позволяет проводить экспериментальные исследования и соответственно выбирать оптимальные параметры для настройки датчика. После разработки и исследования в зависимости от требований заказчика промышленный образец устройства контроля может быть реализован в виде электронной схемы или на базе реле Zelio Logic .

Выводы

Использование интеллектуального реле Zelio Logic фирмы Schneider electric позволяет значительно сократить время разработки средств контроля, а на начальном этапе проектирования может быть проведен сравнительный анализ различных вариантов проектируемого устройства и выбран наиболее оптимальный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нейман Л.Р., Демирчян К.С.* Теоретические основы электротехники. – М.: Энергия, 1981.

2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Том 3. Электричество. – М.: Наука, 1986.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РЕЛЕ ZELIO LOGIC

Петров С.А. – аспирант
Волгоградского государственного технического университета

В настоящее время продукция фирмы Schneider electric широко используется в различных областях автоматизации и управления во многих странах мира. Платформы автоматизации Schneider серии Modicon и программируемые контроллеры Twido обладают широкими функциональными возможностями, в том числе поддержкой объединения в сети по основным сетевым протоколам (Ethernet, Modbus, CAN, Profibus и др.). Однако они позиционируются, в основном, как предложение для АСУТП в силу своей сравнительно высокой стоимости.

Интеллектуальные реле Zelio Logic фирмы Schneider electric, в отличие от упомянутых выше продуктов, предназначены для реализации систем управления с малым числом элементов. Применяются в промышленности для автоматизации небольших машин, служащих для производства, отделки, сборки или упаковки, в качестве децентрализованных автоматических устройств во вспомогательных системах крупных и средних машинных комплексов, используемых в текстильной промышленности, производстве пластмасс, переработке материалов. Отдельно выделяют применение интеллектуального реле в сельском хозяйстве для автоматизации насосных агрегатов, элементов ирригационных систем и систем поддержания климата в теплицах. В непроизводственной сфере, зданиях и строениях Zelio Logic используется как элемент автоматизации в барьерах, ролставнях, системах контроля доступа, освещения и кондиционирования. Благодаря своей компактности и удобству применения они представляют собой конкурентоспособную альтернативу решениям на основе жесткой (схемной) логики или специальных плат.

В зависимости от модификации реле Zelio имеют 6-12 дискретных входов (в том числе 2-6 аналоговых), 4-8 релейных или транзисторных выходов, возможность подключения к сети с напряжением питания 12 или 24 В постоянного тока или 100-240 В переменного. Кроме того, существуют модульные реле Schneider такого типа, позволяющие производить расширение входов/выходов, а также расширение связи по сети Modbus, что обеспечивает большую эффективность и гибкость. Ряд моделей данного реле снабжены часами, жидкокристаллическим дисплеем и кнопками программирования и навигации. Наличие последних делает возможным автономное программирование реле на языке лестничной логики (LD) без использования персонального компьютера. Zelio Logic может быть также запрограммировано посредством инструментального пакета Zelio Soft. Использование последнего позволяет составлять программы как на языке LD, так и на FBD (функциональных блоков).

Данное реле Schneider electric обладает высокой степенью гибкости, в частности, благодаря возможности мониторинга и изменения параметров запрограммированных элементов непосредственно во время выполнения пользовательского цикла. Последнее делает возможным коррекцию работы систем управления на основе Zelio в режиме реального времени без остановки технологического процесса. К интеллектуальным особенностям реле Zelio Logic относится также широкий набор функций, доступных в режиме сопряжения с инструментальным пакетом Zelio Soft на ПК: оперативный контроль приложения путем проверки согласованности, режимы симуляции и диспетчерского управления.

Ввиду ценовой доступности и наличия относительно широких функциональных возможностей данного реле, целесообразным является применение Zelio Logic в ИИУС.

В качестве примера решения практических задач автором на основе интеллектуального реле была разработана схема управления четырехфазными шаговыми двигателями в составе двухкоординатного сканирующего устройства, функциональная схема которого приведена на рис. 1. Такого рода механизмы могут применяться, например, в составе различных оптико-электронных информационно-измерительных систем.

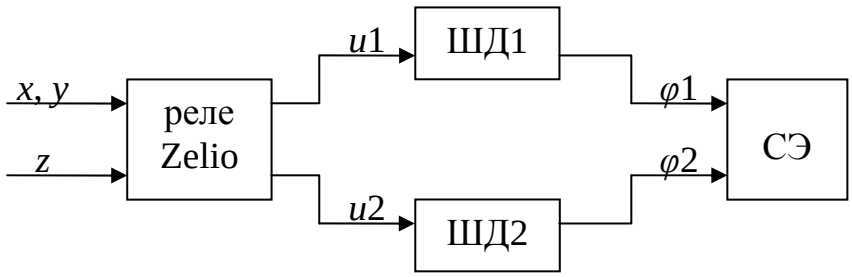


Рис. 1. Функциональная схема сканирующего устройства
на шаговых двигателях

Автоматическое управление работой упомянутого выше сканирующего устройства осуществляется по разомкнутой схеме. На вход реле Zelio поступают сигналы задания направления вращения шаговых двигателей для установки нулевой точки сканирования (x, y) и управляющий сигнал запуска автоматического режима выполнения цикла сбора информации. Интеллектуальное реле генерирует импульсы ($u1$, $u2$) определенной длительности для обеспечения заданного угла поворота ($\varphi1$, $\varphi2$) шаговых двигателей. Последние используются для создания заранее заданной, в случае автоматической работы, траектории движения луча сканирующего элемента.

Были реализованы две схемы управления шаговыми двигателями: волновая и полношаговая. Отличие последних заключается в числе коммутируемых фаз в один момент времени; в первом случае производится поочередное подключение фаз к источнику питания, во втором – запитываются

две соседние одновременно. На рис. 2 приведена блок-схема алгоритма управления двигателем.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления шаговым двигателем

В блоке 1 производится проверка на активность одного из режимов работы шагового двигателя (пуск, реверс, стоп) и перевод вспомогательных реле в соответствующее состояние. В блоке 2 осуществляется разрешение подачи сигнала на управляющий вход генератора тактовых импульсов, который реализован на основе D-таймера симметричного мигания. В блоке 3 выходные сигналы генератора изменяют значения счетчиков, соответствующих режимам работы двигателя. В блоке 4, в зависимости от схемы управления (волновой или полношаговой), производится включение одного или двух релейных выходов на каждый шаговый двигатель для коммутации соответствующих фаз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кенио Т.* Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

2. Интеллектуальные реле Zelio Logic. [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://www.schneider-electric.ru

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Яковлев А.А. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградского государственного технического университета

Традиционное проектирование неспособно обеспечить кардинальное сокращение сроков разработки и повышение качества объектов техники. Вследствие этого возрастает интерес к методологии проектирования, стимулирующий создание и развитие методов проектирования, а также разработку на их основе САПР все новых классов технических систем. Целью данной работы является разработка системного подхода для поиска концептуальных технических решений преобразователей энергии (ПЭ), основной функцией которых является преобразование энергии природных источников в термическую, механическую, электрическую и другие виды энергии.

Решение подобных задач в большинстве известных подходов основано на использовании графовых моделей, которые отражают физические процессы, происходящие в технических системах. Одним из наиболее известных и теоретически обоснованных подходов является функционально-физический метод поискового конструирования. В его основе лежит модель физического принципа действия (ФПД), которая представляется в виде ориентированного графа [1]. Анализ физических процессов, осуществляемых в ПЭ, показал, что эта модель требует существенной корректировки. Для более адекватного отражения ФПД данного класса устройств в ней должна быть уточнена семантическая нагрузка вершин и ребер графа, а также предусмотрена возможность отображения маршрутов перемещения и очередности взаимодействий рабочего тела.

В предлагаемой модели вершинами обозначаются места, так называемые характерные точки, где рабочее тело ПЭ испытывает взаимодействия, для которых в термодинамике дается единая формула аналитического выражения обобщенной работы

$$dQ = P\,dE,$$

где P – обобщенная сила или *интенсиал*, под которым понимаются такие физические величины, как сила, скорость, давление, абсолютная температура, разность электрических потенциалов, химический потенциал и т.п.; E – обобщенная координата или *экстенсор*, под которым понимаются такие величины, как перемещение, количество движения, объем, энтропия, электрический заряд, масса вещества и т.п.

Семантика ребер определяется следующими соображениями. Любые взаимодействия рабочего тела всегда связаны с изменением экстенсора E, то есть условно сопоставляются с процессом переноса через контрольную поверхность термодинамической системы определенного количества dE. Для каждого взаимодействия существует характерный параметр E, который однозначно

определяет с качественной и количественной стороны физические свойства рабочего тела [2]. Взаимодействия рабочего тела представляются на графе ребрами с обозначением сопряженных с ними экстенсоров. Эти ребра инцидентны тем вершинам (характерным точкам), в которых осуществляются соответствующие взаимодействия. При разработке модели ФПД определяются характерные точки ПЭ, последовательность и виды взаимодействий в них, а также очередность прохождения их рабочим телом. Для всех элементов графа вводятся определенные обозначения. В качестве примера на рисунке показана модель ФПД двухцилиндрового дизельного двигателя.

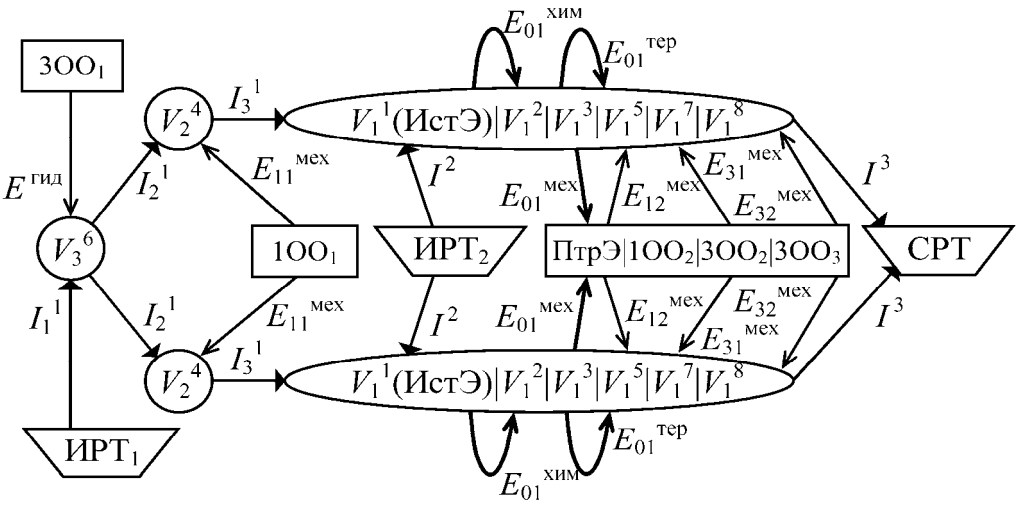


Рис. Граф ФПД двухцилиндрового дизельного двигателя:

V11–V13, V15, V17, V18 – состояния смеси воздуха и жидкого топлива в рабочем цилиндре; V24 – состояние жидкого топлива в топливном насосе высокого давления; V36 – состояние топлива в топливоподкачивающем насосе; ИРТ1, ИРТ2, СРТ, ИстЭ, ПтрЭ, 1ОО1, 1ОО2, 3ОО1, 3ОО2, 3ОО3 – объекты окружения

Модель ФПД отражает особенности физических процессов преобразования энергии, определяющие морфологию ПЭ. С каждым элементом модели связаны конструктивные функции, которые можно определить из анализа таких абстракций термодинамики, как «термодинамическая система», «контрольная поверхность», «внешние» и «внутренние степени свободы». В каждой характерной точке, за счет определенной конструктивной организации, должны выполняться следующие конструктивные функции, обеспечивающие: требуемые внутренние степени свободы (f1); внутреннюю изоляцию от нежелательных взаимодействий (f2); требуемые внешние степени свободы (f3); внешнюю изоляцию от нежелательных взаимодействий (f4). Оба типа ребер модели представляют потоки вещества, распространяющиеся в проводящей среде, которую также можно рассматривать как термодинамическую систему. Однако требования к этой среде отличаются от тех, что предъявляются к характерным точкам. Для обеспечения процесса выявлены следующие конструктивные функции, связанные с ребрами модели [3]: обеспечение внутренней степени

свободы для проводимого экстенсора (f5); обеспечение внешней изоляции проводника экстенсора от нежелательных взаимодействий (f6); объединение потоков экстенсоров (f7); разделение потоков экстенсоров (f8). В зависимости от условий работы необходимо осуществлять управление преобразователем, которое сводится к его пуску, остановке, переводу в различные режимы работы, включению и выключению вспомогательных устройств и т.д. Для этого в конструкцию требуется вводить элементы, выполняющие функции управления, которые сводятся к периодическому изменению: направления потока (f9); величины потока (f10); профиля канала проводящей среды (f11); специфических характеристик потока (f12).

Поиск описаний конструктивных элементов для технического решения ПЭ осуществляется в патентном фонде и других источниках научно-технической информации. Для всех элементов определяются наборы выполняемых ими конструктивных функций, и описывается достигаемый результат. Фрагмент таблицы конструктивных элементов для рассматриваемого примера приведен в ниже.

Таблица конструктивных элементов

Альтер-нативы	Наименование	Источник информации	Функции	Технический результат
A11	Фильтр грубой очистки	RU № 2057383 F02M 37/22	f12(I11)	Повышение эффективности очистки топлива
A21	Топливоподка-чивающий насос	RU № 2083866 F02M 59/30	1f3(V35), 2f3(V35), f10(I11), f10(I21)	Повышение надежности насоса
A22	Ручной насос	RU № 2176749 F04B 9/14	2f3(V35)	Повышение надежности насоса
A32	Топливный фильтр	RU № 2177073 F02M 37/22	f12(I21)	Повышение эффективности очистки топлива
A41	Топливный насос высокого давления	RU № 2164309 F02M 41/00	f3(V23), 1f10(I31)	Повышение надежности насоса

По результатам этого этапа заполняется таблица технических решений, в которой атрибутами являются наименования элементарных функций. Каждая строка таблицы соответствует одному конструктивному элементу. Поля таблицы содержат значения предикатной функции P(fi), которая принимает истинное или ложное значение в зависимости от выполнения данным элементом соответствующей функции fi, специфицированной в заголовке таблицы. В большинстве случаев конструктивные элементы выполняют разные наборы функций. Технические решения ПЭ получаются путем комбинирования элементов так, чтобы получить из них наборы, выполняющие все специфицированные

функции. Количество элементов в техническом решении ПЭ может быть различным, что отличает данный подход от морфологического.

Автор считает, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

1) графовая модель физического принципа действия преобразователей энергии и методика ее разработки;

2) методика разработки таблицы технических решений, атрибутами которой являются наименования элементарных конструктивных функций.

Выводы

Предлагаемый метод может использоваться, когда конструктивные элементы выполняют разные наборы функций и разработка морфологических таблиц затруднена или невозможна. Процесс разработки модели физического принципа действия осуществляется по жестким правилам и практически не зависит от интуиции человека, поэтому по силам инженеру средней квалификации. Метод может применяться как средство, повышающее эффективность труда конструктора на начальных этапах проектирования за счет снижения трудозатрат при выборе концепции технической системы для преобразования энергии, а также в качестве методического обеспечения для разработки систем автоматизированного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник / Под ред. *А.И. Половинкина, В.В. Попова*. – М.: НПО «Информсистема», 1995. – 408 с.

2. *Вейник А.И.* Термодинамика реальных процессов. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 576 с.

3. *Яковлев А.А.* Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии: монография / Волгогр. гос. техн. ун-т, Волгоград, 2004. – 160 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Желтоногов А.П. – Universal Technical Institute,
Houston, Tehas, USA

Измерение обобщенных показателей, таких, как коэффициент полезного действия (КПД), степень насыщения, себестоимость и множество других выполняется расчетным путем с помощью современных средств вычислительной техники по прямым измерениям множества физических величин. Измерительная информационная система – это совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и пр.) и вспомогательных устройств (ЭВМ, АЦП и др.), соединенных между собой каналами связи и объединенных пакетом прикладных программ (ППП) в единую управляющую систему. Наличие в измерительной системе вычислительной

техники делает возможным не только хранение информации, но и применение алгоритмов идентификации, теории искусственного интеллекта, адаптации, а также алгоритмов обучения и организации структуры измерительной системы для обработки прямых измерений. Всё это придает процессу измерения признаки интеллектуальной измерительной системы, основной особенностью которых является косвенное измерение обобщенного параметра (себестоимость, КПД, количество тепла, степень насыщения и т.д.) по результатам прямых и косвенных измерений отдельных технологических параметров. Современные информационно-измерительные системы, наряду с классическими схемами обработки информации, такими, как аналоговая обработка информации, при которой весь процесс измерения производится с помощью аналоговых приборов, или цифровая обработка информации, которая имеет полностью цифровой тракт измерения, используют статистические методы обработки информации.

В целях изучения и познания сущности явлений в статистике применяют различные, взаимосвязанные между собой, специфические приемы (методы) исследования, совокупность которых образует статистическую методологию. Особенности статистической методологии вытекают из объективного характера свойств и закономерностей количественных отношений и связей явлений, изучаемых статистикой. Основные требования статистической методологии – исследование массовых объектов и явлений, дифференциация их по группам и подгруппам, определение сводных количественных характеристик (специальных показателей, средних величин, индексов и т.д.). Благодаря этим особенностям выявляются общие, типичные свойства и закономерности явлений, устраняются случайные, единичные особенности последних, выделяются характерные группы и типы явлений. Основной чертой статистической методологии является также конкретность исследований, выражающаяся в неразрывной связи количественного анализа с установлением качественного своеобразия объектов в конкретно-исторических условиях места и времени. В основе статистической методологии лежат методы из математической статистики и других разделов математики, которые воплощаются в статистических методах.

Статистические исследования начинаются с подготовительных работ по организации исследований.

Обычно выделяют три основные стадии: статистическое наблюдение, сводка и обработка материалов, анализ данных. Статистический анализ – завершающее звено статистического исследования, имеющее большое познавательное и практическое значение. Проведение статистического анализа требует следующих основных элементов исследования: постановки задачи анализа на основе знакомства с конкретными условиями развития явления, подбора статистических материалов, их критической оценки, систематизации отобранных данных и расчета недостающих показателей, дополнительной обработки материалов при помощи специальных статистических методов и формулировки выводов и практических предложений.

Специфическими для статистики методами обработки данных являются группировки, балансовый метод, исчисление средних величин (метод средних), исчисление индексов (индексный метод), графический метод и др. Под методом средних понимается не только вычисление и анализ различных средних, но и измерение колеблемости величины вокруг среднего уровня.

Большое значение для обработки результатов наблюдения во многих областях имеет использование методов теории вероятности и математической статистики (корреляционное исчисление, дисперсионный анализ и т.д.). В процессе статистического исследования статистические методы обычно применяются комплексно.

Одним из видов статистической работы является сводка и группировка собранных данных в пределах каждой группы и по совокупности в целом. Обработка статистического материала производится путем построения рядов цифр, таблиц, графиков. Затем переходят к вычислению обобщающих показателей, которыми заполняют таблицы: относительных величин, средних величин, индексов, показателей вариации и т.д.

Цифровой материал, собранный в результате статистического наблюдения, должен быть достоверным. Это необходимо для того, чтобы по первичным материалам можно было сделать правильные выводы об изучаемой совокупности. Важным требованием, предъявляемым к статистическим данным, является сопоставимость данных во времени, по территории. Статистические данные должны поступать своевременно. Эти требования необходимы для обеспечения контроля и осуществления оперативного руководства.

Понятие статистической группировки, в широком смысле слова, охватывает целый комплекс статистических операций, направленных на объединение зарегистрированных при наблюдении единичных случаев в группы, сходные в том или ином отношении, поскольку целостную характеристику совокупности необходимо сочетать с характеристикой основных ее частей, классов и т.д.; подсчет итогов по выделенным группам и по всей совокупности в целом и, наконец, оформление результатов группировки в виде статистических таблиц.

Под группировкой в статистике понимают расчленение единиц статистической совокупности на группы, однородные в каком-либо существенном отношении, и характеристику таких групп системой показателей в целях выделения типов явлений, изучения их структуры и взаимосвязей.

Метод группировок является основой применения других методов статистического анализа основных сторон и характерных особенностей изучаемых явлений. По своей роли в процессе исследования метод группировок выполняет некоторые функции, аналогичные функциям эксперимента в естественных науках: посредством группировки по отдельным признакам и комбинации самих признаков статистика имеет возможность выявить закономерности и взаимосвязи явлений в условиях, в известной мере ею определяемых. При использовании метода группировок появляется возможность проследить

взаимоотношение различных факторов и определить силу их влияния на результативные показатели.

В зависимости от вида группировочных признаков различают группировки по количественным и качественным признакам.

Качественный признак отражает определенные свойства, качества данного явления и записывается в виде текста. Если качественный признак имеет мало разновидностей, то количество групп определяется числом этих разновидностей.

Но нередки случаи, когда качественный признак имеет большое число разновидностей, и перечислить их все не представляется целесообразным. В таких случаях разрабатывают классификацию разновидностей, то есть сходные по своим особенностям разновидности объединяются в группы (классы). Под классификацией обычно понимается более устойчивое разграничение единиц наблюдения, чем при группировке.

В практике статистики индексы, наряду со средними величинами, являются наиболее распространенными статистическими показателями.

Индекс представляет собой относительную величину, получаемую в результате сопоставления уровней сложных социально-экономических показателей во времени, в пространстве или с планом.

Обычно сопоставляемые показатели характеризуют явления, состоящие из разнородных элементов, непосредственное суммирование которых невозможно в силу их несоизмеримости.

В настоящее время индексный метод продолжает успешно развиваться в трудах многих отечественных статистиков. Он получил широкое применение в практике статистической работы.

Графики, наряду со статистическими таблицами, являются важным средством выражения и анализа статистических данных, поскольку наглядное представление облегчает восприятие информации. Графики позволяют мгновенно охватить и осмыслить совокупность показателей – выявить наиболее типичные соотношения и связи этих показателей, определить тенденции развития, охарактеризовать структуру.

В настоящее время разработаны пакеты прикладных программ компьютерной графики, которые облегчают задачу исследователя в практическом применении графиков. Наиболее распространенными пакетами прикладных программ являются «Harvard graphics», «Statgraf», «Snpercalc», «Exel».

Для графического изображения статистических данных используются самые разнообразные виды графиков. Графики подразделяются по двум признакам классификации: по способу построения и по цели использования.

Несмотря на многообразие видов графических изображений, при их построении выполняются общие правила. Так, во-первых, в соответствии с целью использования выбирается графический образ, то есть вид графического изображения. Во-вторых, определяется поле графика – то пространство, в котором размещаются геометрические знаки. В-третьих, задаются масштабные ориентиры с помощью масштабных шкал (равномерных или неравномерных).

В-четвертых, выбирается система координат, необходимая для размещения геометрических знаков в поле графика. Наиболее распространенной системой координат при построении статистических графиков является система прямоугольных координат. При этом наилучшее соотношение масштаба по осям абсцисс и ординат, равное 1,62 : 1, называется «Золотым сечением».

Таким образом, статистику можно разделить на три раздела.

Первый раздел – описательная статистика – предназначена для сбора, представления в удобном виде и описания исходных данных. Описательная статистика обрабатывает два вида данных: количественные и качественные. Описательная статистика позволяет описать, обобщить, свести к желаемому виду свойства массивов данных.

Второй раздел – теория статистического вывода – это формализованная система методов решения задач, сводящихся к попытке вывести свойства большого массива данных путем обследования его малой части. Статистический вывод строится на описательной статистике, и от частных свойств выборки данных мы переходим к частным свойствам совокупности.

Третий раздел – планирование и анализ эксперта. Разработан для обнаружения и анализа причинных связей между переменными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шевчук В.П.*, *Капля В.И.*, *Желтоногов А.П.*, *Лясин Д.Н.* Метрология интеллектуальных измерительных систем: Монография / Под ред. проф. *В.П. Шевчука*. – Волгоград, 2005.

2. Теория статистики: Учебник / Под ред. проф. *Г.Л. Громыко*. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 414 с. – (серия «Высшее образование»).

3. *Ефимова М.П.*, *Петрова Е.В.*, *Румянцев В.Н.* Общая теория статистики: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 416 с.

ОБ ЭРГОНОМИЧНОЙ РАСКЛАДКЕ БУКВ РУССКОГО И АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКОВ НА КЛАВИАТУРАХ УСТРОЙСТВ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ С ОГРАНИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ КЛАВИШ

Васильев П.Д. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Васильева И.Л. – старший преподаватель
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Введение

Устройства ввода информации с ограниченным числом клавиш занимают значительное место не только в специальных областях профессиональной деятельности человека, но и в повседневной жизни. Не секрет, что наиболее распространенный интерфейс между человеком и техническим устройством – клавиатура. Примером тому является широко используемая клавиатура мобильного телефона. Возрастающая популярность сервиса коротких сообщений (SMS) заставляет задуматься о необходимости упрощения процедуры

ввода текста. В настоящее время предлагаются разные пути решения данной проблемы. Это и создание виртуальных клавиатур (сенсорных дисплеев), и дальнейшее развитие QWERTY клавиатур, например клавиатур с треугольными кнопками, что предполагает для ввода необходимого символа нажатие на один из углов кнопки. Но, согласно опросам, покупатели неохотно тратят деньги на мобильные устройства, которые выглядят необычно. Все эти разработки сводятся к тому, чтобы использование данных клавиатур позволило существенно повысить скорость набора коротких текстовых сообщений и электронных писем. У подавляющего большинства мобильных телефонов сейчас клавиши для ввода числовой информации используются также и для набора текстов на одном – двух естественных языках (например, русском – английском). Как следствие ограниченности количества клавиш каждая служит для ввода одной цифры и 3-4 символов каждого из языков. Набор требуемого символа осуществляется однократным нажатием на клавишу, количество которых равно смещению требуемого символа относительно первого в списке символов клавиши. В результате набора текста количество нажатий на клавиши будет превышать количество символов текста. Цель настоящей работы – показать методологию построения такой раскладки, где затраченные усилия, выраженные в количестве нажатий на клавиши, а следовательно, трудоемкость набора будут минимальны. Предлагается назвать такую раскладку эргономичной.

Ранжировка символов алфавита

Минимизацию усилий по набору текстовых сообщений свяжем с анализом частоты встречаемости каждой буквы русского и английского языков во всевозможных текстах. Анализ частоты встречаемости в % каждой буквы русского алфавита представлен в таблице (1)[1].

Таблица 1

№ п/п	Буква	Частота, %	№ п/п	Буква	Частота, %
1	А а	7,51	17	Р р	4,77
2	Б б	1,75	18	С с	5,50
3	В в	4,53	19	Т т	6,49
4	Г г	1,80	20	У у	2,48
5	Д д	3,02	21	Ф ф	0,19
6	Е е	8,73	22	Х х	1,07
7	Ж ж	0,97	23	Ц ц	0,45
8	З з	1,75	24	Ч ч	1,49
9	И и	7,44	25	Ш ш	0,68
10	Й й	1,18	26	Щ щ	0,45
11	К к	3,37	27	Ъ	1,01
12	Л л	4,20	28	Ы ы	1,97
13	М м	3,12	29	Ь	0,79
14	Н н	6,45	30	Э э	0,32
15	О о	11,01	31	Ю ю	0,73
16	П п	2,80	32	Я я	2,12

[1] http://tirantrain.journal.com

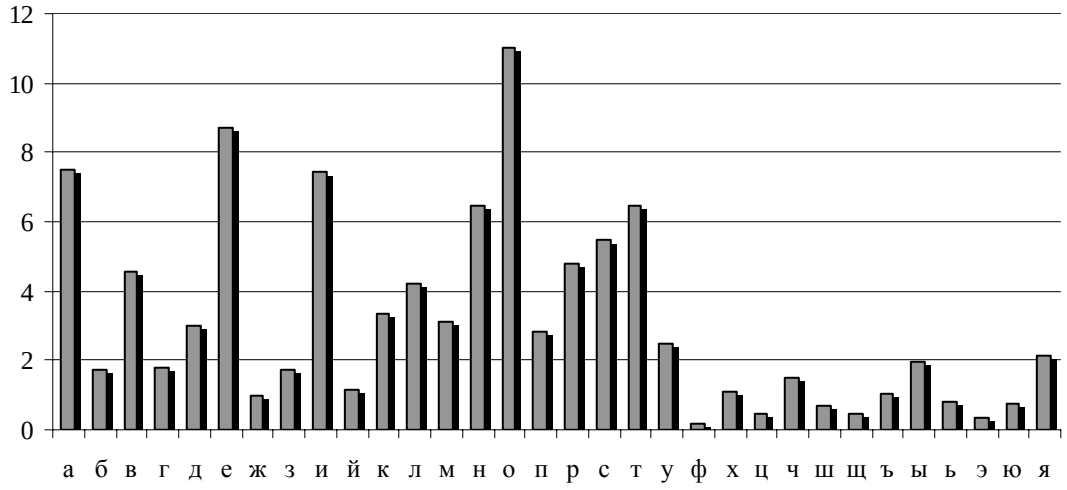


Рис. 1. Частота встречаемости букв русского алфавита

Ранжирование по частоте встречаемости символов выглядит следующим образом:

О	Е	А	И	Т	Н	С	Р	В	Л	К	М	Д	П	У	Я	…

…	Ы	Г	Б	З	Ч	Й	Х	Ъ	Ж	Ь	Ю	Ш	Ц	Щ	Э	Ф

Частоты встречаемости в % каждой буквы английского алфавита представлены в таблице (2)[2].

Таблица 2

№ п/п	Буква	Частота,%	№ п/п	Буква	Частота,%
1	A a	7,96	14	N n	7,51
2	B b	1,60	15	O o	6,62
3	C c	2,84	16	P p	1,81
4	D d	4,01	17	Q q	0,17
5	E e	12,86	18	R r	6,83
6	F f	2,62	19	S s	6,62
7	G g	1,99	20	T t	9,72
8	H h	5,39	21	U u	2,48
9	I i	7,77	22	V v	1,15
10	J j	0,16	23	W w	1,80
11	K к	0,41	24	X x	0,17
12	L l	3,51	25	Y y	1,52
13	M м	2,43	26	Z z	0,05

[2] http://www.statsoft.ru

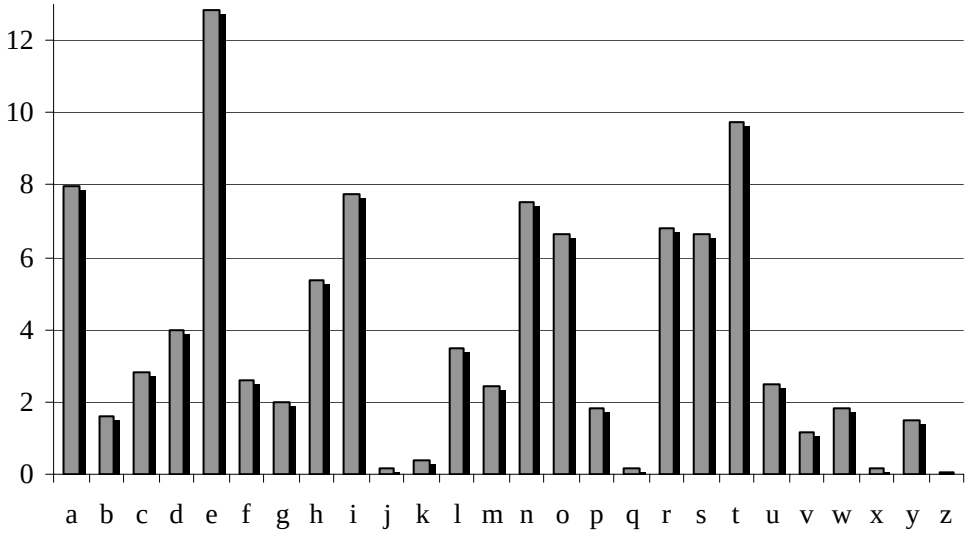


Рис. 2. Частота встречаемости букв английского алфавита

Ранжирование по частоте встречаемости символов выглядит следующим образом:

E	T	A	I	N	R	O	S	H	D	L	C	F	…

…	U	M	G	P	W	B	Y	V	K	Q	X	J	Z

Пусть имеется некоторая клавиатура, состоящая из n клавиш $K_1, K_2, ..., K_n$, причем каждой из них может быть приписано некоторое количество символов естественного языка и, возможно, некоторые знаки препинания. Обозначим за A этот набор символов $A = \{a(1), a(2), ..., a(m)\}$. Он предназначен для раскладки на клавишах множества K.

$$\left\{\begin{array}{l} K_1 : a(1) \div a(l_1) \\ K_2 : a(l_1 + 1) \div a(l_2) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ K_n : a(l_{n-1} + 1) \div a(l_n) \end{array}\right\},$$

где $l_1, l_2, \dots, l_n$ – количество символов набора A нарастающим итогом, распределенных по клавишам K. В частности, l_1 – количество символов на первой клавише; l_2 – количество символов, распределенных на первой и второй клавишах; l_n – общее количество символов A, то есть порядковый номер символа в наборе A соответствует порядковому номеру буквы в алфавите.

Если известны частоты встречаемости этих символов $\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m$ в репрезентативных выборках, написанных на исследуемом языке L, то разбиение множества A на n подмножеств должно производиться так, чтобы обеспечить выполнение следующих условий:

$$K_1: \ \omega(a(1)) \geq \omega(a(2)) \geq \ldots \geq \omega(a(l_1));$$
$$K_2: \ \omega(a(l_1+1)) \geq \omega(a(l_1+2)) \geq \ldots \geq \omega(a(l_2));$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$K_n: \ \omega(a(l_{n-1}+1)) \geq \omega(a(l_{n-1}+2)) \geq \ldots \geq \omega(a(l_n)).$$

Каждый из вариантов построения набора символов $a(l_i)$ должен определяться количественным показателем, связанным с частотой встречаемости соответствующих символов, приписываемых клавише K_i. Чтобы работа N, затраченная пользователем, при наборе текста на клавиатуре с фиксированной раскладкой была минимальна, компоновка символов на каждой клавише должна зависеть от ранжировки по частоте встречаемости каждого из них в языке L.

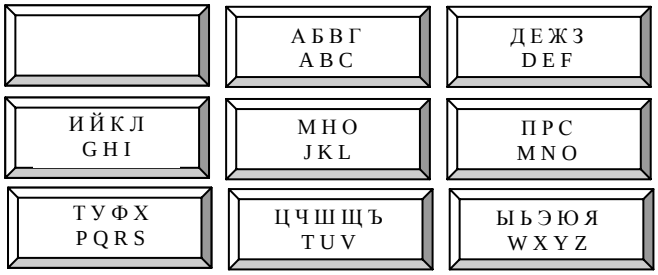


Рис. 3. Клавиатура мобильного телефона, наиболее распространенная в настоящее время

Трудоемкость набора текста N на данной клавиатуре определяется следующим образом

$$N = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \, s_i \ ,$$

где i – порядковый номер буквы в алфавите; s_i – количество нажатий для соответствующей буквы алфавита при наборе текстового сообщения; m – число букв алфавита (m = 32 для русского языка и m = 26 – для английского).

Для русского языка трудоемкость при работе с традиционной клавиатурой составляет 2,2344. Для английского языка соответственно N = 2,1632.

Применение клавиатуры с видоизмененной раскладкой, учитывающей данные анализа частоты встречаемости букв, позволит повысить скорость печати за счет уменьшения количества нажатий на клавишу. Буквы, имеющие более высокую частоту встречаемости, должны стоять на местах, требующих минимального количества нажатий.

Изменение раскладки путем перестановки на первое место на каждой клавише наиболее часто встречаемой буквы рассматриваемого языка по таблице ранжирования, на второе – следующей после заполнения первых мест каждой клавиши по частоте и т.д., позволяет получить следующие видоизменения традиционной клавиатуры.

Восьмиклавишный вариант для русского языка:

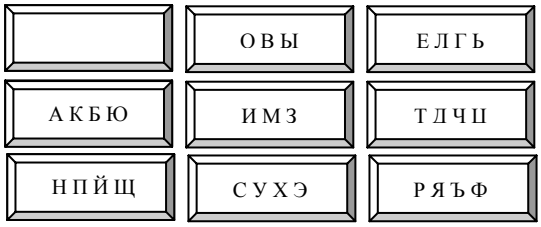


Рис. 4.

Трудоемкость при этом варианте составит 1,6356, что на 26,8 % меньше, чем при традиционной раскладке.

Девятиклавишный вариант для русского языка:

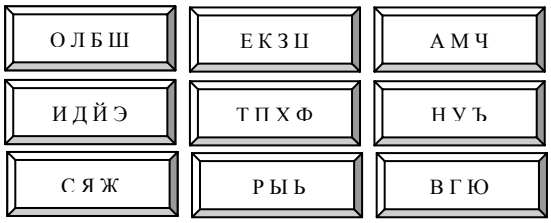


Рис. 5.

Трудоемкость при этом варианте составит 1,5277, что на 31,6 % меньше, чем при традиционной раскладке.

Восьмиклавишный вариант для английского языка:

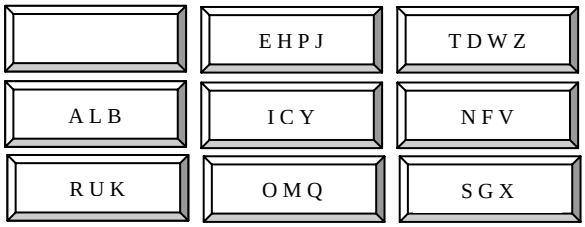


Рис. 6.

Трудоемкость при этом варианте составит 1,4316, что на 33,8 % меньше, чем при традиционной раскладке.

Девятиклавишный вариант для английского языка:

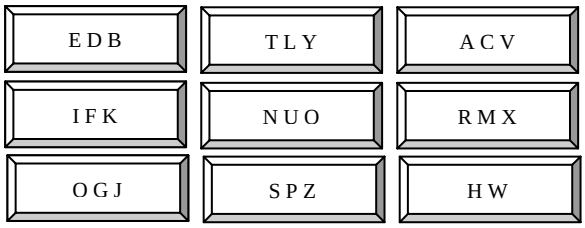


Рис. 7.

Трудоемкость при этом варианте составит 1,3316, что на 38,1 % меньше, чем при традиционной раскладке.

Переход к использованию новой раскладки клавиатуры на начальном этапе, естественно, приведет к снижению скорости набора текста. Однако после адаптации скорость будет существенно выше аналогичного показателя для современных мобильных клавиатур.

СЕКЦИЯ № 3
ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Руководитель секции: ***Гончарова Л.К.***
канд. хим. наук, доцент
Секретарь: ***Прибылова Т.С.***
лаборант кафедры ТВТ
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРА УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ

Прохватилова Л.И. – канд. техн. наук, доцент
Астраханского государственного технического университета
Кузьмин С.Г. – аспирант
Астраханского государственного технического университета

Управление техническими системами связанно с информационными процессами. Информация необходима для контроля внутреннего состояния системы, распознавания ситуаций, решения задачи функционирования, выявления закономерностей и др. Прогнозирование является важнейшим моментом при принятии решения в управлении технологическим процессом. Наблюдая ключевые переменные процесса и используя их для предсказания будущего поведения можно определить оптимальное время и длительность управляющего воздействия. Например, некоторое воздействие в течение часа может повышать эффективность химического процесса, а потом оно может снижать его эффективность; особенно это актуально для химических реакторов.

Существующие системы автоматизации процесса гидроочистки не в полной мере обеспечивают качественное ведение процесса. Это объясняется функционированием процесса в условиях частичной неопределенности, характеризуемой недостатком информации для формализации задач управления. Основные реакции по очистке сырья от соединений серы, азота, кислорода, металлов протекают в реакторе установки гидроочистки. Задача прогнозирования эффективной работы реактора содержит элементы неопределенности, так как состояние катализатора и степень его закоксованности возможно оценить только косвенно в связи с отсутствием средств непосредственного измерения. Решение данной задачи традиционными методами невозможно. Интеллектуальные системы позволяют использовать преимущества традиционных средств и методов искусственного интеллекта, более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания.

Процесс гидроочистки основывается на реакциях деструктивной гидрогенизации, в результате которой соединения серы, кислорода и азота превращаются в присутствии водорода и катализатора в углероды с выделением

сероводорода, воды и аммиака. Условия проведения процесса гидроочистки зависят от фракционного и химического состава сырья, от требуемой степени обессеривания, применяемого катализатора и его состояния.

Целью данной работы является прогнозирование активности катализатора и соответственно времени эффективной работы реактора. Основными параметрами, влияющими на состояние катализатора, являются температура в реакторе, давление на входе, разность давлений на входе и выходе, объёмная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородосодержащего газа по отношению к сырью, содержание общей серы в сырье, количество водорода в циркуляционном газе. Интеллектуальная система управления осуществляет информационное моделирование процесса достижения цели, что невозможно без построения модели объекта. Нейронные сети обладают достаточно большими возможностями воспроизведения сложных нелинейных функциональных зависимостей, поэтому принято решение использовать для прогнозирования эффективной работы реактора свойство универсальной аппроксимации нейронной сети. Построение модели осуществляется на основе многослойной нейронной сети прямого распространения сигнала. Число нейронов входного слоя соответствует числу факторов, влияющих на состояние катализатора в реакторе, и равно девяти. В последнем слое только один нейрон, так как на выходе требуется получить только одну числовую переменную. Число нейронов скрытого слоя варьируется от 5 до 10.

Полученные данные будут использованы в системе управления процессом гидроочистки для принятия решения по обеспечению нормального режима эксплуатации реактора с целью сохранения активности катализатора на межремонтный период.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА ХИМЦЕХОВ

Одоевцева М.В. – канд. тех. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Мазин Г.С. – инженер-программист
ОАО «Волтайр-ПРОМ»

Разработка и реализация современных методов подготовки и тренировки персонала приобрела в настоящее время особо актуальное значение, поскольку квалификация руководящего и обслуживающего персонала является одним из важнейших факторов, определяющих надёжность различных технологических объектов и экологическую безопасность управляющих ими людей [1].

Энергетика, являющаяся частью мировой техногенной культуры, может быть источником аварий. Мировая практика эксплуатации энергомеханического оборудования показывает, что от 30 до 60 % аварийных ситуаций на производстве создаётся по вине обслуживающего персонала, то есть людей,

осуществляющих непосредственное управление технологическими процессами [2]. Происходит это вследствие недостаточной квалификации работников по отношению к уровню современных технических средств, а также по причине их неподготовленности к действиям в экстремальных условиях.

Для целенаправленного отбора и профессионального обучения необходима система проверки и оценки знаний. В настоящее время рынок учебно-методических материалов для компьютерных обучающих систем достаточно насыщен [3]. Однако информация, представленная в виде компьютерных обучающих систем, несколько идеализирована и не всегда отвечает требованиям конкретного производства.

На кафедре «Технология воды и топлива» филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском совместно с работниками Волжских и Волгградских ТЭЦ разрабатываются компьютерный обучающий и контролирующий комплексы.

Компьютерный комплекс содержит необходимый инструментарий для обучения, последующего закрепления знаний путём их применения в различных ситуациях и контроля полученных в результате обучения знаний.

В качестве обучающей составляющей выступает электронный учебник, содержащий теоретические представления по водоподготовке, описание нескольких конкретных ситуаций, фактическую информацию, организованную, в основном, в форме графического или иллюстративного материала, необходимого для практической деятельности специалиста конкретного уровня квалификации.

Закрепление и контроль полученных знаний осуществляется программой, включающей набор тестов и тренажеров, рассчитанных для применения как в режиме обучения, так и в режиме проверки знаний персонала.

Тренажерный комплекс – действующие модели схем водоподготовки различных производств. Все элементы схем (запорная арматура, насосы, эжекторы) являются активными. Разрабатываемые модели имитируют основные этапы работы водоподготовительного оборудования: пуск единицы оборудования, увеличение нагрузки до заданной, остановку единицы оборудования, ионирование, взрыхление, регенерацию, отмывку, приготовление регенерационных растворов.

Работа с компьютерными моделями по схемам предочистки и обессоливания должна начинаться с вывода на экран главного окна программы. Переключение элементов схемы должно производиться манипулятором типа «мышь». Для этого достаточно подвести курсор к нужному элементу и однократно нажать левую кнопку.

Разрабатываемый тренажерный комплекс должен воспроизводить работу всех технологических циклов схем предочистки и обессоливания воды конкретных станций (последовательность выполнения операций при работе на тренажерах по предочистке и обессоливанию воды соответствует цеховым инструкциям). При работе с компьютерной моделью конкретной технологической схемы пользователь будет иметь возможность работать как со всей технологической схемой, так и с каждой её ступенью в отдельности.

Для всех элементов схем разработаны математические модели, позволяющие контролировать работу оборудования.

Возможности разрабатываемого тренажерного комплекса позволят использовать компьютерные модели оперативному персоналу, от которого требуется эффективная работа на каком-то определённом участке цеха и инженерно-техническим работникам (ИТР) цеха.

Работа с технологическими схемами или участками схем должна заканчиваться отчётом по работе со схемами (с указанием действий, совершённых в процессе, временем реакции, выделением неверных действий, приведших к возникновению аварийной ситуации, а также с указанием использованного пути исправления аварийной ситуации) и бальной оценкой.

Компьютерные имитаторы действующих схем внедрены на Волжской ТЭЦ и на Волгоградской ТЭЦ-2. Проводятся работы по созданию новых учебных курсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герасимов Ю.П.* Отраслевой тренажерный центр – головное звено системы производственной подготовки персонала электроэнергетики России. – Санкт-Петербург, 1996. – 69 с.

2. *Рахаев М.А.* Разработка тренажеров для химических цехов ТЭС и АЭС с целью повышения общестанционных показателей надежности / Автореферат диссертации. – М., 2000.

3. *Очков В.Ф.* Создание электронной энциклопедии энергетики – информационный вклад в производственные и учебные процессы. – Теплоэнергетика, 2007. – № 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА ПАРАМЕТРОВ ЖИВОЙ РЫБЫ

Баранов А.Е. – инженер «Центра стандартизации и метрологии», г. Волгоград

Поддержание численности осетровых пород рыб является актуальной задачей современности. Строительство гидротехнических сооружений на больших и малых реках привело к исчезновению природных нерестилищ. Искусственное разведение ценных пород рыб стало едва ли не единственным способом поддержания численности осетровых рыб.

На Волжской ГЭС, при участии Нижневолжскрыбвод, было организовано предприятие, имеющее в своем составе закрытые бассейны – ванны. Стабильность водного и температурного режимов позволяет эффективно содержать маточное стадо. Некоторые особи могут находиться в закрытых бассейнах по нескольку лет. Видовое разнообразие, большая численность, высокая динамика роста молодняка требует ежедневного контроля и учета рыбного стада. В связи с этим регулярно проводится измерение длины, массы и количества рыбы в ваннах. Автоматизация данного процесса позволит

бесконтактным методом определять вышеуказанные параметры, при этом повысить их эффективность и снизить трудоемкость данной операции.

Использование видеосистем можно рассматривать как главный способ решения задачи автоматизации по измерению и учету рыбных стад.

Стереоизмерения обычно используются в аэрофотоснимках при определении рельефа местности. Стереопары позволяют дать точные размеры предметов и их глубину. Данная область детально изучена, поэтому в описании патента «Способ бесконтактного определения пространственных координат точек объекта» приведен один из известных методов определения пространственных координат. Затем по данным координат вычисляется длина тела.

Существуют также другие способы определения длины рыб. Один из таких патентов называется «Устройство для учета рыбы в потоке». При данном виде измерения необходим узкий тоннель с двумя видеокамерами, расположенными друг против друга. Рыба перекачивается из одного бассейна в другой. Данный вид измерения имеет два серьезных недостатка:

1) рыбу необходимо перекачивать из одного бассейна в другой;

2) данный вид измерения эффективен только для рыб небольшого размера.

Известно также использование ультразвуковых систем для определения параметров рыбы в открытых водоемах. Точность таких систем зависит от длины акустических волн и условий наблюдения. Попытка возможного применения в закрытых водоемах не дала положительных результатов ввиду большой плотности рыбы и переотраженных волн от стен бассейна.

Математической основой фотограмметрии служат проективные преобразования. Стереопара требует рассмотрения двух систем координат в двух плоскостях изображений. Плоскости кадров стереопары имеют одно общее требование – они должны соответствовать перекрывающимся углам зрения в области измерения пространства объектов. Измерения достаточно производить монокамерой в том случае, если измеряемые объекты находятся в одной плоскости.

Программное обеспечение имеет следующую структуру:

- модуль фиксации изображения с рыбами;
- процедура ввода границ водной поверхности бассейна;
- процедура улучшения изображения;
- маркировка носов и хвостов измеряемых рыб;
- формирование записей баз данных.

Программное обеспечение виртуального интеллектуального прибора (ВИП) выполнено в виде одного программного модуля, формирующего файлы и массивы баз данных, позволяющих накапливать и обобщать результаты измерений.

Пользовательский интерфейс предоставляет выбор режимов работы: калибровка ориентации видеосистемы, измерение длины и массы рыб, измерение количества рыб, формирование отчета, заполнение базы данных, регулировка качества изображения. Программное обеспечение ВИП позволяет визуализировать текущее изображение и фиксировать его для последующей обработки.

Интерфейс позволяет одновременно просматривать несколько изображений и увеличенный фрагмент и вносить его в базу данных.

Конструкция состоит из тележки, жестко закрепленной стойкой. Цифровые видеокамеры крепятся на поперечной балке. Расстояние между камерами можно регулировать в зависимости от высоты подъема камер. На самой тележке находится ноутбук. Максимальный подъем камер 4 метра, масса ВИП не превышает 20 кг. Удобная сборность и разборность данной конструкции позволяет производить замеры одному оператору.

Проверка адекватности математической модели осуществлялась с помощью эксперимента, проводимого на рыбоводном хозяйстве Волжской ГЭС. Целью эксперимента было подтверждение метрологических параметров ВИП и их стабильности. Статистическая модель погрешности стандартного метода измерения представлена в виде

$$X = \mu + \delta + \varepsilon + \beta,$$

где X – результат измерения; μ – опорная точка; δ – систематическая погрешность метода измерения; ε – случайная составляющая погрешности каждого результата измерений в условии повторяемости; β – межлабораторная составляющая систематической погрешности метода измерения, принимается как погрешность, возникающая при многократном маркировании носа и хвоста одной рыбы в отдельно взятом фотоснимке. Опорное значение μ определялось с помощью измерения рулеткой РЛ-10 с ценой деления 1 мм и весов РП т- 20 с ценой деления 10 грамм. В нашем случае δ – это погрешность между фотоснимками (систематическая погрешность).

Автор считает, что данная модель измерения погрешности наиболее полно раскрывает систематическую погрешность метода измерений; она позволяет идентифицировать случайную составляющую в условиях повторяемости; выделить межлабораторную составляющую метода измерения. Для полноты картины все составляющие погрешности были взяты и рассчитаны на пяти уровнях, образуя, таким образом, полный диапазон измерения (от 0 до 100 см). Для большей достоверности полученной информации предполагалась работа операторов в разные смены и их неосведомленность о значениях, полученных другим оператором, и произведенных прямых измерениях длины и массы.

Затем была произведена статистическая обработка полученных данных с вычислением погрешности стандартного отклонения и доверительного интервала систематической погрешности на каждом уровне. К данному диапазону была вычислена приведенная погрешность.

В результате получен ВИП с приведенной погрешностью 1, с максимальным стандартным отклонением 3,2. Данные метрологические параметры позволяют начать работу по утверждению типа и сертификации ВИП параметров живой рыбы, находящейся в условиях закрытого водоема, с целью применения ее в сферах государственного метрологического контроля и надзора.

ВНЕДРЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ

Качегин Д.А. – инженер
ОАО «Волжский оргсинтез», г. Волжский

В настоящее время в условиях жёсткой конкуренции на рынке промышленные предприятия не должны останавливаться в развитии новых технологий и изыскании способов экономии энергетических и материальных ресурсов. Это вынуждает их постоянно пересматривать используемые технологические регламенты, внедряя всё более новые способы работы с сырьём и управления производством. Благодаря использованию в качестве систем управления на производствах современных, мощных, высокотехнологичных контроллеров, эффективность и гибкость обработки собираемой информации значительно расширяется. В данной статье описано привлечение к управлению обобщённого параметра работы абсорбционной установки при помощи современной АСУТП.

Задачей автоматического регулирования абсорберов является поддержание при изменяющихся параметрах (расход газа, концентрация поступающего газа) заданного качества (концентрация уходящей жидкости или уходящего газа) или заданной экономичности (поддержание определенного гидравлического сопротивления аппарата).

Показателем эффективности процесса является концентрация извлекаемого (поглощаемого) компонента в обедненной смеси, а целью управления – достижение определенной величины этой концентрации.

Концентрация извлекаемого компонента в обедненной смеси определяется разностью количеств извлекаемого компонента, поступающего с газовой смесью и поглощаемого из нее абсорбентом в единицу времени. Количество компонента, поступающего с газовой смесью, зависит от расхода газовой смеси и концентрации в ней извлекаемого компонента.

Существующие алгоритмы управления в большинстве своем базируются на поддержании определенного технологического параметра и не стремятся управлять по обобщенным критериям, характеризующим эффективность работы всего объекта в целом или его технологической части. Поэтому в разработку алгоритма управления процессом требуется положить не только требуемые технологией критерии качества, но и принцип максимальной экономичности процесса по какому-либо обобщенному критерию. Одним из таких критериев является степень насыщения абсорбента.

Привлечение степени насыщения как параметра для управления процессом требует создания математической модели абсорбера, математических моделей сигналов и алгоритмов управления, ориентированных на применение этого обобщенного показателя. Физическая абсорбция в большинстве случаев обратима. На этом свойстве абсорбционных процессов основано выделение поглощенного газа из раствора – десорбция.

Сочетание абсорбции с десорбцией позволяет многократно применять поглотитель и выделять поглощенный компонент в чистом виде. В промышленности процессы абсорбции применяются, главным образом, для извлечения ценных компонентов из газовых смесей или для очистки этих смесей от вредных примесей.

По физико-химической сущности абсорбция является типичным массообменным процессом, в котором массообмен происходит на поверхности соприкосновения жидкой и газовой фаз.

Абсорбер, как объект управления, представляет собой сложную систему, которая разбита на ряд локальных контуров регулирования. Это – регулирование температуры реакционных газов, регулирование давления в колонне, регулирование уровня абсорбента с поглощенным продуктом в кубе колонны, регулирование количества подаваемого в колонну абсорбента, регулирование количества абсорбента, подаваемого на промежуточное охлаждение. Каждый из этих контуров обладает разнообразием как способов воздействия на управляемую величину, так и алгоритмов управления. Правильная и надежная работа всех этих систем обеспечивает эффективную работу всей абсорбционной установки в целом.

Целью любой системы управления является обеспечение оптимального режима функционирования объекта управления. Степень оптимальности функционирования объекта оценивается одним или несколькими параметрами – критериями управления.

В рассматриваемом процессе целью управления является обеспечение повышения качества получения цианистого натрия при минимальных энергетических и материальных затратах, оптимальной производительности и условиях безаварийной работы технологического оборудования и безопасности для обслуживающего персонала.

В качестве обобщенного показателя предлагается использовать степень насыщения абсорбента, которая вычисляется по формуле

$$\psi - \frac{x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}}{x^{*}_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}} \qquad (1)$$

где $x_{\text{кон}}$ и $x_{\text{нач}}$ – концентрации абсорбента на выходе и на входе в абсорбер соответственно; $x^{*}_{\text{кон}}$ – максимальная концентрация абсорбента на выходе из абсорбера.

В работе предлагается использовать степень насыщения, записанную в виде формулы

$$\psi = \frac{x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}}{35\ \% - x_{\text{нач}}}\,. \qquad (2)$$

Здесь за значение равновесной концентрации взята постоянная (35 %), соответствующая максимальной величине при регламентных режимах работы оборудования.

При такой записи степени насыщения для обеспечения экономичности процесса абсорбции также необходимо максимизировать отношение (2).

Технологическим объектом управления является абсорбер колонного типа, обладающий большим временем запаздывания, что необходимо учитывать при вычислении степени насыщения абсорбента. Для этого выражение (1) перепишем в следующем виде

$$\psi(t) = \frac{x_{\text{кон}}(t+\tau) - x_{\text{нач}}(t)}{x^*_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}(t)}, \tag{3}$$

где t – текущий момент времени; τ – время запаздывания абсорбера.

Предлагается вычислять концентрацию обогащенного абсорбента в момент времени $t + \tau$, обусловленную значением текущего управляющего воздействия, по формуле

$$x_{\text{кон}}(t) = \int h(\xi)\, G(t-\xi) d\xi, \tag{4}$$

где $h(\xi)$ – весовая функция по каналу расход абсорбента – концентрация; $G(t)$ – расход абсорбента.

Обработка информации в приборе осуществляется в дискретном виде, поэтому формула (3) преобразуется к виду

$$\psi(k\Delta t) = \frac{\sum_{i=0}^{k} h_i\, G_{k-i} - x_{\text{нач}}(k\Delta t)}{x^*_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}(k\Delta t)} \tag{5}$$

Поскольку абсорберы колонного типа обладают большим запаздыванием, то эффективность работы указанного алгоритма прежде всего зависит от динамических свойств объекта. Поэтому этот алгоритм должен формировать и выдавать управляющие воздействия с учетом того, что реакция на них будет наблюдаться лишь через некоторое время, определенное как время запаздывания. Другими словами, алгоритм управления должен оперировать не с текущим значением регулируемой величины, а с прогнозируемым значением, приведенным к настоящему времени и полученным в результате вычислений с использованием математической модели. Причем, эта модель должна в достаточной степени полно отображать протекающие внутри объекта физические процессы и отличаться от найденной в работе модели отсутствием запаздывания.

На рис. 1 представлен алгоритм управления абсорбционной установкой с компенсацией динамических свойств или так называемого алгоритма *с прогнозом степени насыщения*. Здесь, в отличие от предыдущего алгоритма, в качестве входных параметров используются текущее значение расхода абсорбента на входе в колонну (параметр $x_1(t)$ в соответствии со структурной схемой) и текущее значение концентрации тощего абсорбента (параметр $x_2(t)$). Как видно из алгоритма, текущее значение концентрации насыщенного абсорбента $y(t)$ в расчете степени насыщения не используется. Вместо него

применяется параметр $y'(t)$, представляющий значение концентрации насыщенного абсорбента в момент времени $t+\tau$.

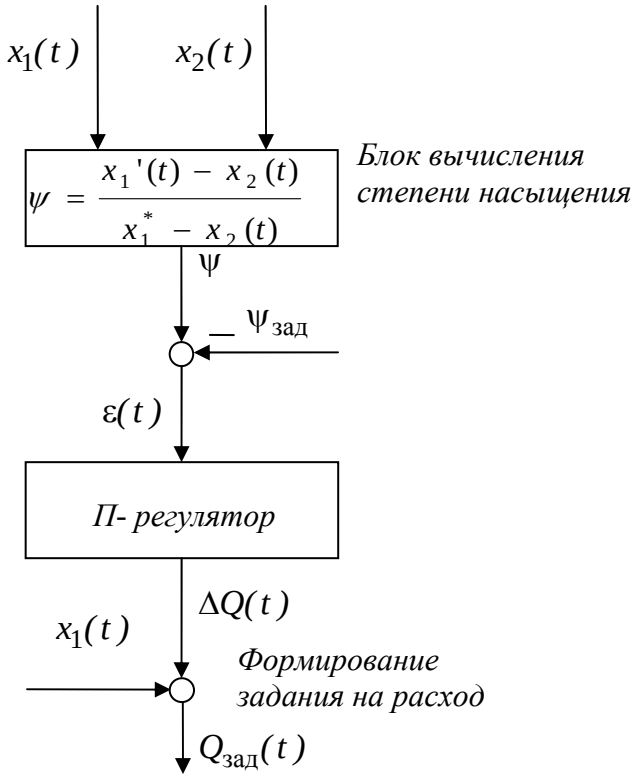


Рис. 1. Структурная схема алгоритма управления с компенсацией

Техническое оснащение

Для реализации разработанного алгоритма управления абсорбционной колонной 1D 301 необходимы величины концентрации в верхней и нижней частях колонны на позициях 1AR3011 и 1AR3012.

Для получения реальных величин концентрации абсорбента используются анализаторы фирмы «Polimetron», принцип работы которых основан на обнаружении изменения цвета, цветного индикатора – резорциннового желтого.

Этот анализ выполняется в два этапа.

1. *Взятие и обработка пробы*. Производится с помощью гидравлической системы и, в частности, перистальтического насоса, который осуществляет взятие проб, разбавление и перемешивание с реактивным раствором.

2. *Фотометрическое измерение*. Полученная таким образом смесь циркулирует в камеру фотометра с целью определения изменения цвета, которое характеризует изменение содержания цианистого натрия в пробе.

Фотометр посылает электрический сигнал, который регистрируется.

Эти операции выполняются непрерывно.

Принцип фотометрического измерения

Фотометр «СИГРИСТ», работающий в составе анализатора «Polimetron», представляет собой фотометр с двойным пучком монохроматического света. Ток, создаваемый на выходе, пропорционален разнице оптических пропусканий абсорбирующих частиц, помещенных в эталонном пучке с одной стороны, и в измерительном пучке – с другой.

Понятием, противоположным пропусканию, является абсорбция. Абсорбция в измерительном пучке должна быть всегда выше абсорбции в эталонном пучке.

По причинам адаптации выходного сигнала к измерительной шкале следует пользоваться методом замещения. При этом методе обладающее большой абсорбционной способностью стекло помещается в измерительный пучок, а аналитическая кювета – в эталонный пучок. В результате, в присутствии гидроокиси натрия через кювету проходит абсорбирующая жидкость, и разница с дымчатым стеклом, помещенным в измерительный пучок, сравнительно невелика. Напротив, при уменьшении концентрации гидроокиси натрия цветной реагент, который добавляется в пробу, становится более прозрачным, и разница с дымчатым стеклом, помещенным в измерительный пучок, увеличивается. Ток на выходе увеличивается при уменьшении концентрации цианистого натрия.

Осуществление алгоритма управления на промышленной АСУТП

На данном производстве в качестве системы управления используется промышленный контроллер «CENTUM CS3000». Выходы анализаторов подключаем к аналоговым входным каналам контроллера и создаём необходимые для этого тэги. Так как изначально данный эксперимент имеет задачу тестового характера и получения максимально возможного количества данных, для анализа произведённых действий создаём индикаторы концентрации абсорбента и прописываем их в свободную таблицу трендов.

Создание вычислительной функции

В данном случае необходимо создать процедуру вычисления степени насыщения абсорбента с учётом времени транспортной задержки абсорбента в колонне.

Величина концентрации исходящего (насыщеного) абсорбента, отображаемая на индикаторе, определяется типом данных CPV вычислительного блока QI002. Строка символов, отображающая условие вычисления концентрации, определяется типом данных CPV2 вычислительного блока QI002.

Для создания схемы управления необходимо выбрать свободную страницу типа DR и выбрать из библиотеки логического управления «Regulatory Control» функциональный блок «Input Indicators» и модель индикатора PVI. Наносим на чертёж изображение блока QI002, а затем на изображение блока наносим его позицию. Ту же процедуру производим для создания блока QI001.

Определяем связи между блоками. При соединении блоков определяется соединение с их входом и выходом.

Программа

Для правильной реализации данного алгоритма необходимо учитывать транспортную задержку абсорбента в колонне, которую опытным путём можно узнать во время пуска колонны в работу. В данном случае транспортная задержка равна 120 секундам. Для этого мы назначили 120 ячеек памяти контроллера под хранение оперативных величин показаний датчика $x_{нач}$. При необходимости корректировки времени транспортной задержки необходимо увеличивать либо уменьшать число ячеек памяти массива.

Учитывая, что цикличность опроса каналов и обсчёта логических функций равна 1 сек., мы в данном случае получили задержку оперативных данных с аналогового входа, равную 120 сек., чем скомпенсировали транспортную задержку продукта в колонне.

```
PROGRAM
ALIAS PV1001 AR3011.PV  (Хкон)
ALIAS PV1002 AR3012.PV      (Хнач)
ALIAS PV1003 AHH.PV         (Хкон*)
! P01-счётчик времени=1
! CPV2-флаг=0
IF CPV2=0 THEN
        SWITCH (CPV2)
        CASE1 : P02=PV1003
        CASE2 : P03=PV1003

            ==//==

  CASE120 : P121=PV1003 : CPV2=1
  END SVITCH
ELSE
        SVITCH (P01)
        CASE1 : CPV1=P02 : P02=PV1003
        CASE2 : CPV1=P03 : P03=PV1003

            ==//==

        CASE120 : CPV1=P121 : P121=PV1003
        END SVITCH
CPV=(PV1001- PV1002)/(CPV1- PV1002)
END IF
IF (P01>120) THEN
P01=1 : CPV2=1
ELSE
P01=P01+1
END IF
END
```

После загрузки данной программы в контроллер запускается алгоритм присвоения оперативных данных с аналогового входа контроллера PV1003 в пустые ячейки созданного массива. Далее начинается полноценный обсчёт формулы с одновременным переназначением данных в массиве.

Затем рассчитанная величина степени насыщения CPV передаётся на вход ПИ регулятора, и, в зависимости от величины его задания, происходит уменьшение либо увеличение расхода абсорбента.

Получение цианистого натрия в растворе осуществляется методом абсорбции цианистого водорода раствором едкого натра в абсорбере 1D301, представляющем собой вертикальный аппарат с трубным пучком внутри (рис. 2).

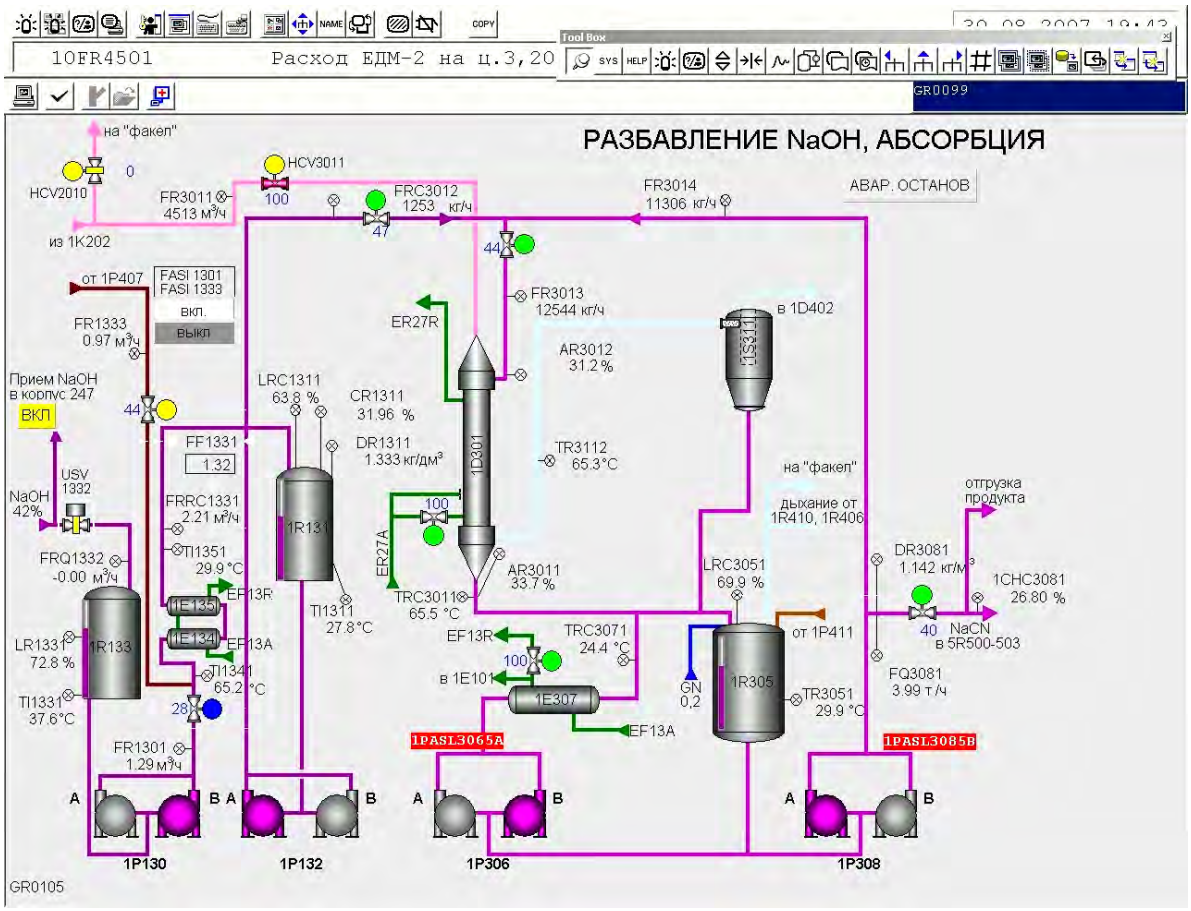


Рис. 2

Цианированные газы, выходящие из генератора 1К202, направляются в верхнюю часть абсорбера 1D301.

Раствор едкого натра с массовой долей основного вещества в пределах от 25 до 37,5 %, подаваемый из хранилища 1R131, смешивается с раствором цианистого натрия, который подается насосом 1P308A/B из сборника охлажденного цианида 1R305. Смешение растворов происходит в смесителе, являющемся составной частью трубопровода.

В верхней части на каждой трубке абсорбера 1D301 установлены тефлоновые эжекторы, с помощью которых происходит эффективное смешение растворов едкого натра и цианистого натрия с цианированными газами. Далее реакционная смесь тонким слоем стекает по внутренней поверхности трубок абсорберов.

В результате реакции, протекающей в пленочном слое, происходит получение водного раствора цианистого натрия с массовой долей цианистого натрия в пределах от 25 до 35 %, содержащего от 2 до 5 % свободного едкого натра (в пересчете на 100 % цианистый натрий).

Расход цианированных газов на абсорбер контролируется по прибору 1FR 3011, составляет не более 8800 $м^3$/ч и регулируется вручную при помощи дистанционного регулятора 1HCV 3011.

Расход раствора едкого натра на абсорбер составляет не более 1,57 $м^3$/ч, контролируется и регулируется приборами 1FRC 3012 посредством регулирующего клапана, установленного на трубопроводе подачи раствора едкого натра в абсорберы 1D301 в зависимости от расхода раствора цианистого натрия на абсорбер (в пределах от 10 800 до 12000 кг/ч), контролируется прибором 1FRC 3014, который расположен на трубопроводе подачи раствора цианистого натрия на смеситель.

Раствор цианистого натрия, выходящий из абсорбера 1D301, во избежание разложения цианистого натрия подвергается резкому охлаждению, для чего через гидравлические затворы поступает в циркуляционный контур, где смешивается с поступающим после холодильника 1E307 охлажденным раствором цианистого натрия. Полученный охлажденный раствор цианистого натрия самотеком поступает в сборник 1R305.

Температура раствора цианистого натрия на выходе из абсорбера 1D301 в пределах от 60 до 70 °С контролируется и регулируется прибором 1TRC 3011, регулирующий клапан которого расположен на линии подачи оборотной охлаждающей воды в рубашку абсорбера.

Текущий показатель массовой доли цианистого натрия в растворе на входе и на выходе из абсорбера 1D301 контролируется с помощью автоматических анализаторов 1AR 3011, 1AR 3012 соответственно, расположенных в выносных шкафах.

Не абсорбировавшиеся газы из абсорбера 1D301 поступают в циклон 1S311, где происходит отделение жидкой фазы от газообразной, при этом жидкая фаза стекает в сборник 1R305, а остаточные газы направляются в колонну 1D402 на стадию обработки отходов.

Сборник охлажденного раствора цианистого натрия 1R305 представляет собой вертикальную цилиндрическую емкость.

Температура раствора цианистого натрия в сборнике 1R305 от 20 до 30 °С контролируется по прибору 1TR 3051.

Сборник 1R305 находится под постоянным поддувом азота, расход которого от 1,2 до 2 $м^3$/ч контролируется по прибору 1FI 3051.

Из сборника 1R305 раствор цианистого натрия постоянно подается по двум направлениям: на всас насоса 1P306 A/B и на всас насоса 1P308 A/B.

Насос 1P306 A/B предназначен для циркуляции раствора цианистого натрия по контуру:

сборник 1R305 → насос 1P306A/B → холодильник 1E307 → сборник 1R305 для резкого охлаждения раствора цианистого натрия, поступающего в контур из абсорберов.

Температура охлажденного раствора цианистого натрия от 20 до 25 °С на выходе из холодильника 1E307 контролируется и регулируется прибором 1TRC 3071 (к.т. 50), регулирующий клапан которого установлен на трубопроводе выхода EF13 из холодильника 1E307.

Проанализировав показания измерительных приборов можно сделать вывод, что привлечение обобщённых показателей в системах управления технологическими процессами даёт положительные результаты. Благодаря применению данного алгоритма нам удалось повысить технико-экономические параметры процесса путём экономии сырья и энергоресурсов. Также удалось стабилизировать качественные показатели получаемого продукта.

СЕКЦИЯ № 4
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

Руководитель секции: ***Капля Е.В.***
канд. физ.-мат. наук, доцент
Секретарь: ***Усманова С.Х.***
лаборант кафедры АТП
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Капля Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Усманова С.Х. – студентка
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Одним из наиболее перспективных методов розлива стали является непрерывный розлив, при котором простои оборудования и занятые под оборудование площади минимальны, и процесс изготовления продукции идёт непрерывно, без ожидания кристаллизации предыдущей партии продукции.

Каждая машина непрерывной разливки стали (МНРС) состоит из следующих узлов и механизмов: кристаллизатора, механизма возвратно-поступательного движения кристаллизатора, затравки, зоны вторичного охлаждения слитка по всей длине жидкой фазы, тянущей клети, газорезки, приемной корзины, механизма наклона корзины, транспортера выдачи слитков.

Способ непрерывной разливки сводится к следующему. Сталь, выпущенную из сталеплавильного агрегата в ковш, заливают через промежуточное разливочное устройство в водоохлаждаемую форму – кристаллизатор, из которой специальным механизмом непрерывно вытягивается затвердевший лишь с поверхности слиток, полная кристаллизация которого по сечению завершается на воздухе при применении водяного охлаждения или без него.

Кристаллизатор – медная, открытая с обоих концов изложница с полыми водоохлаждаемыми стенками, имеет высоту около 1,5 метра. Перед началом разливки в кристаллизатор снизу на высоту 800-850 мм вводят плотно пригнанную металлическую пробку – затравку, которая образует «временное дно» кристаллизатора. Затравка состоит из одной или нескольких частей. Верхняя часть затравки выполняется в виде ласточкина хвоста для лучшего сцепления со слитком. Первые порции жидкого металла затвердевают у стенок кристаллизатора и у затравки. После достижения определенного уровня металла над затравкой в кристаллизаторе включается механизм вытягивания, затравка вытягивается из кристаллизатора валками с постепенным ускорением движения до заданной скорости, увлекая за собой образующийся слиток.

Постоянный уровень металла в кристаллизаторе поддерживается металлом, непрерывно поступающим из разливочного устройства со скоростью, соответсвующей скорости вытягивания слитка.

После выхода из кристаллизатора слиток с жидкой сердцевиной попадает между холостыми роликами и форсунками так называемой зоны вторичного охлаждения, подающими на него воду в виде мелких брызг. Интенсивность охлаждения поверхности слитков-заготовок водой и общая длина зоны вторичного охлаждения определяется в зависимости от состава стали и сечения отливаемой заготовки и соответствует глубине жидкой фазы при заданной скорости разливки.

Для вытягивания слитка устроена система тянущих валков, состоящая из одной или двух-четырех валковых клетей.

В кристаллизаторе происходит только образование наружной оболочки (корки) заготовки. Большая часть поперечного сечения заготовки в кристаллизаторе остается жидкой. По выходе из кристаллизатора поверхность заготовки имеет температуру около 1200 °С; наружная корка ее недостаточно прочна, чтобы противостоять ферростатическому давлению жидкого металла. Поэтому по выходе из кристаллизатора заготовка попадает в зону вторичного охлаждения, представляющую собой систему из нескольких секций холостых роликов и водяных форсунок, позволяющих регулировать в широких пределах интенсивность охлаждения.

При соблюдении оптимального режима вторичного охлаждения и эффективного удержания всех элементов профиля балочной заготовки отливка таких заготовок имеет преимущество перед традиционной технологией: улучшение качества поверхности заготовки, сокращение центральной пористости, повышение прямолинейности торцов порезанных заготовок, сокращение объёмов зачистки готовых балок.

Течение, остывание и затвердевание жидкого металла в кристаллизаторе с круглым сечением целесообразно анализировать, применяя цилиндрические координаты. Элемент расплава с координатами (r, φ, z) имеет скорость $\vec{u} = \{u_r, u_\varphi, u_z\}$ и температуру $T(r, \varphi, z)$.

Поток жидкого металла при отсутствии полостей и пористости подчиняется уравнению неразрывности. Уравнение неразрывности можно записать в трёх формах: интегральной, дифференциальной и в проекциях на оси координат. При отсутствии источников и стоков массы интегральная форма уравнения имеет вид

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \iint_S \rho \, u_n \, dS = 0, \qquad (1)$$

где S – поверхность, ограничивающая объём V; u_n– проекция скорости движения жидкости $\vec{u}(x, y, z, t)$ на внешнюю нормаль к поверхности S.

Расплавленный металл можно считать несжимаемой жидкостью. Для расчёта поля скоростей частиц расплава применимо уравнение Навье-Стокса.

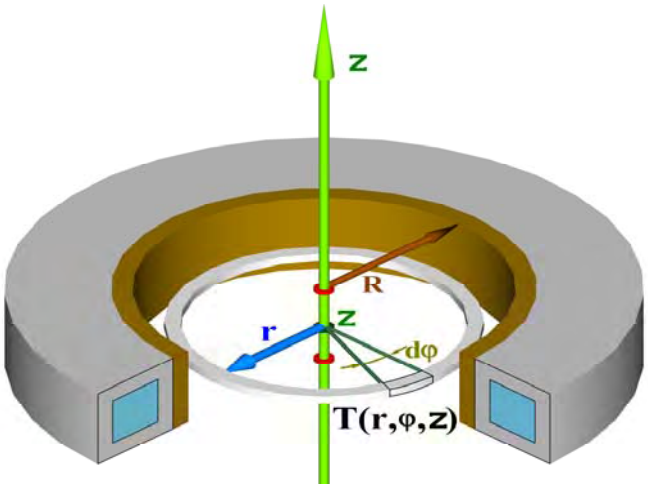


Рис. 1. Кольцо расплава в кольцевом элементе кристаллизатора

В векторной форме уравнение Навье-Стокса имеет вид

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho}\mathrm{grad}(P) + \nu\nabla^2\vec{u} = \frac{d\vec{u}}{dt}. \qquad (2)$$

В проекциях на оси цилиндрической системы координат уравнение (2) принимает вид

$$F_r - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r} + \nu\left(\nabla^2 u_r - \frac{u_r}{r^2} - \frac{2}{r^2}\frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi}\right) = \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r}\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + u_z\frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\varphi^2}{r}; \qquad (3)$$

$$F_\varphi - \frac{1}{\rho r}\frac{\partial P}{\partial \varphi} + \nu\left(\nabla^2 u_\varphi - \frac{u_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2}\frac{\partial u_r}{\partial \varphi}\right) = \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + u_r\frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r}\frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + u_z\frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{u_r u_\varphi}{r}; \qquad (4)$$

$$F_z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} + \nu\nabla^2 u_z = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r}\frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + u_z\frac{\partial u_z}{\partial z}, \qquad (5)$$

где

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Для полного аналитического описания процесса конвективного теплообмена составляется система дифференциальных уравнений, выражающих законы сохранения массы (уравнение неразрывности), закон сохранения импульса (уравнение движения), закон сохранения энергии (уравнение энергии),

зависимость физических свойств теплоносителя от температуры и давления, а также условия однозначности, включающие начальные и граничные условия.

В частности, для потока несжимаемого жидкого металла при условии, что вязкая диссипация (рассеяние) энергии пренебрежимо мала, эти уравнения имеют вид

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0; \tag{6}$$

$$\rho\left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x\frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y\frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z\frac{\partial u_x}{\partial z}\right) = \\ = \rho F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u_x}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial u_x}{\partial z}\right); \tag{7}$$

$$\rho\left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x\frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y\frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z\frac{\partial u_y}{\partial z}\right) = \\ = \rho F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u_y}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial u_y}{\partial z}\right); \tag{8}$$

$$\rho\left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x\frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y\frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z\frac{\partial u_z}{\partial z}\right) = \\ = \rho F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u_z}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u_z}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial u_z}{\partial z}\right); \tag{9}$$

$$\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_x\frac{\partial T}{\partial x} + u_y\frac{\partial T}{\partial y} + u_z\frac{\partial T}{\partial z}\right) = \\ = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right) + f, \tag{10}$$

где F_x, F_y, F_z – компоненты массовой силы (силы, приходящейся на единицу массы вещества); (6) – уравнение неразрывности (сплошности); (7)-(9) – уравнения движения в проекции на координатные оси; (10) – уравнение энергии.

Система дифференциальных уравнений (6)-(10) справедлива и для турбулентных течений только при условии, что в этих уравнениях используются мгновенные значения параметров потока. В турбулентных потоках значения скорости, давления и температуры непрерывно изменяются случайным образом, пульсируют. Для них стационарным может быть только усреднённое во времени движение.

При решении уравнений тепломассообмена необходимо использовать значения коэффициента теплопроводности, полученные экспериментальным

путём для различных марок стали при различных температурах. Функциональная зависимость $\lambda(T)$ получается в результате аппроксимации по набору экспериментальных точек.

Результаты расчёта для кристаллизатора с круглым сечением радиуса $R = 0{,}1$ м, через который протекает расплав «сталь-20», представлены на рис. 2, 3.

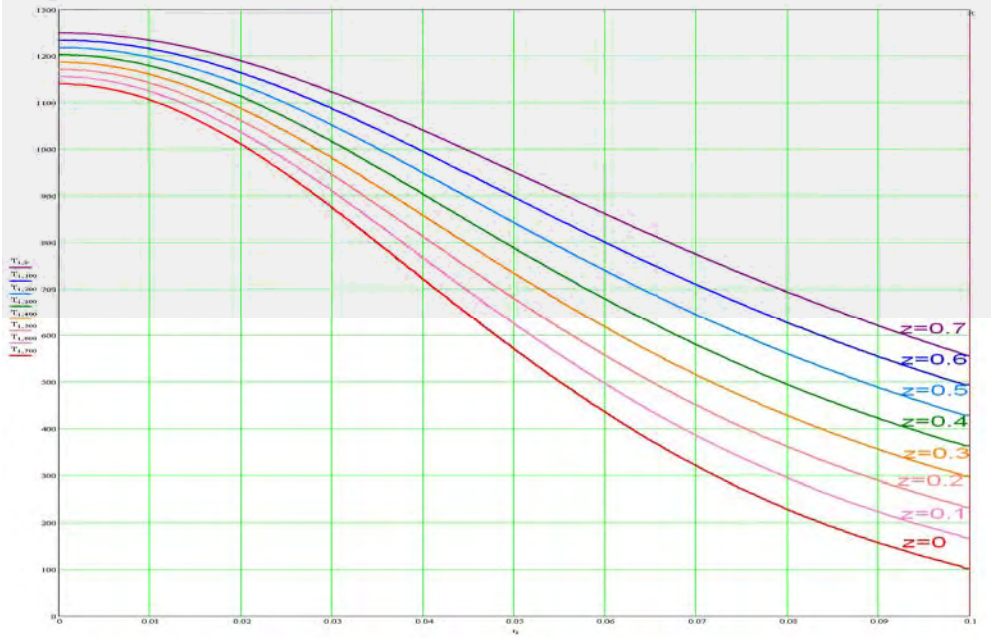


Рис. 2. Распределение температуры металла вдоль радиуса кристаллизатора

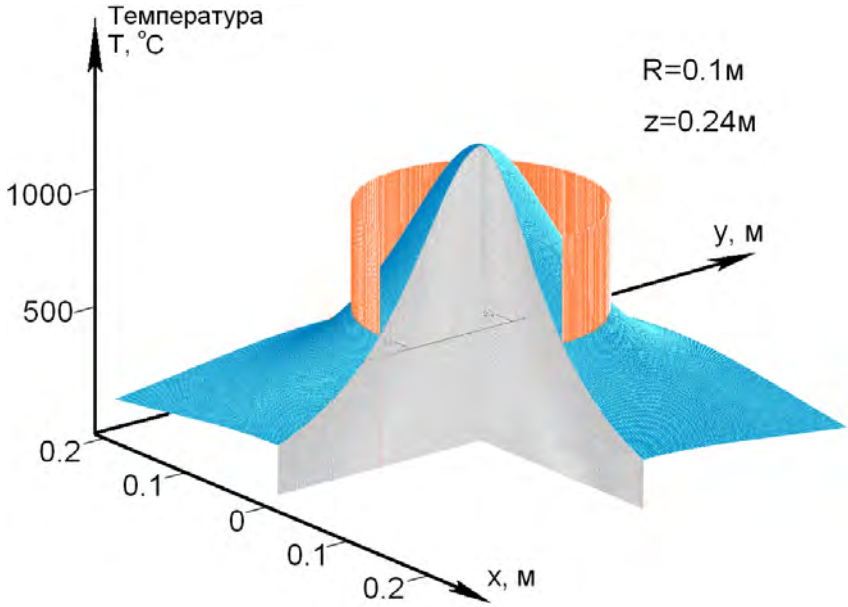


Рис. 3. Распределение температуры в горизонтальной плоскости кристаллизатора

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ НАЗЕМНОЙ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Капля Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Мироненко К.Б. – студент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Автоматическая система ориентации позволяет повысить эффективность применения солнечной батареи. Для достижения оптимальной ориентации светочувствительной панели в любое время года и суток целесообразно применять механизмы с двумя степенями свободы.

Разработанная система ориентации содержит два униполярных шаговых двигателя ДШР-57-0,06-1,8-1М4081ДООУХЛ4. Двигатели указанной модели обладают номинальным вращающим моментом 0,06 Н·м и номинальным шагом поворота 1,8°.

Положение солнечной батареи характеризуется двумя углами: α – угол между вектором нормали к светочувствительной поверхности и вертикалью, $\alpha \in [-90°; 90°]$; β – угол поворота вокруг вертикальной оси, $\beta \in [-90°; 90°]$.

Вертикальный вал установки поворачивается двигателем посредством редуктора с передаточным числом 177 : 25, что позволяет добиться углового позиционирования солнечной батареи с точностью 0,254°. Вертикальный вал опирается на иглу и два подшипника. Вал вращается внутри неподвижной вертикальной трубы. В верхней части вертикального вала закреплена горизонтальная перекладина с двумя вертикальными стойками. На стойках установлены два подшипника, обеспечивающие свободное вращение горизонтального вала.

Поворот солнечной батареи вокруг горизонтальной оси осуществляется с применением двухступенчатого редуктора, передаточное число которого 180 : 50. Точность позиционирования солнечной батареи вокруг горизонтальной оси 0,5°.

Установленные в системе ориентации шаговые двигатели приспособлены к эксплуатации при температурах [–45; +45] °С при относительной влажности до 80 %. Для обеспечения долговечности двигатель, редуктор вертикального вала и электронный блок защищены герметичным корпусом.

Электронный блок производит поочерёдное включение обмоток шаговых двигателей. Блок содержит микросхему КР1533ИР23 – восьмиразрядный регистр на D-триггерах с динамическим входом. Обмотки каждого двигателя подключены с применением четырёх транзисторов КТ829А и диодов КД522Б.

Управление системой ориентации осуществляется ЭВМ через LPT-порт. Поиск оптимального положения солнечной батареи можно производить с использованием двух алгоритмов. Один алгоритм основан на градиентном методе поиска, второй – на методе парных проб. Выбор метода поиска зависит от условий эксплуатации системы.

На открытой местности при отсутствии препятствий, рассеивающих и затеняющих солнечный свет, наиболее эффективен градиентный поиск максимума освещённости. Применение метода градиентного поиска предполагает вычисление градиента и перемещение в направлении градиента.

Градиент освещённости в положении (α_s, β_s) равен

$$\operatorname{grad}\left(E(\alpha_s, \beta_s)\right) = \vec{e}_\alpha \frac{\partial}{\partial \alpha} E(\alpha, \beta)\Big|_{\alpha_s, \beta_s} + \vec{e}_\beta \frac{\partial}{\partial \beta} E(\alpha, \beta)\Big|_{\alpha_s, \beta_s}. \qquad (1)$$

Углы на $(s+1)$-м шаге связаны с углами на s-м шаге рекуррентными выражениями:

$$\alpha_{s+1} = \alpha_s + \gamma \frac{\partial}{\partial \alpha} E(\alpha_s, \beta_s); \qquad \beta_{s+1} = \beta_s + \gamma \frac{\partial}{\partial \beta} E(\alpha_s, \beta_s), \qquad (2)$$

где γ – малый параметр – шаг градиентного поиска.

Производные по углам можно найти, повернув светочувствительную поверхность на малые углы $+\Delta\alpha, -\Delta\alpha, +\Delta\beta, -\Delta\beta$:

$$\alpha_{s+1} = \alpha_s + \gamma \frac{E(\alpha_s + \Delta\alpha, \beta_s) - E(\alpha_s - \Delta\alpha, \beta_s)}{2\Delta\alpha}; \qquad (3)$$

$$\beta_{s+1} = \beta_s + \gamma \frac{E(\alpha_s, \beta_s + \Delta\beta) - E(\alpha_s, \beta_s - \Delta\beta)}{2\Delta\beta}. \qquad (4)$$

Для применения (3) и (4) необходимо указать значения углов α_0 и β_0, соответствующие ориентации солнечной батареи в начале процесса поиска.

В городских условиях для оптимального поглощения рассеянного света целесообразно применять алгоритм поиска, основанный на методе парных проб. Метод парных проб предполагает на каждом шаге случайный выбор направления поиска экстремума. Пусть величина угла φ, определяющего направление поиска, выбирается по закону равной вероятности из полуинтервала $[0, \pi)$: $\varphi_s = \pi rnd(1)$. Изменение углов на шаге s равно

$$\Delta\alpha_s = \gamma_s \cos(\varphi_s); \qquad \Delta\beta_s = \gamma_s \sin(\varphi_s). \qquad (5)$$

Изменение координат точки представляется формулой

$$\begin{bmatrix} \alpha_{s+1} \\ \beta_{s+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_s \\ \beta_s \end{bmatrix} + p_s \begin{bmatrix} \Delta\alpha_s \\ \Delta\beta_s \end{bmatrix}, \qquad (6)$$

где

$$p_s = \begin{cases} 1, & E(\alpha_s - \Delta\alpha_s, \beta_s - \Delta\beta_s) \le E(\alpha_s + \Delta\alpha_s, \beta_s + \Delta\beta_s) > E(\alpha_s, \beta_s) \\ -1, & E(\alpha_s + \Delta\alpha_s, \beta_s + \Delta\beta_s) \le E(\alpha_s - \Delta\alpha_s, \beta_s - \Delta\beta_s) > E(\alpha_s, \beta_s) \\ 0, & E(\alpha_s - \Delta\alpha_s, \beta_s - \Delta\beta_s) \le E(\alpha_s, \beta_s) \ge E(\alpha_s + \Delta\alpha_s, \beta_s + \Delta\beta_s) \end{cases} \qquad (7)$$

Энергетические затраты, требуемые для поворота подвижных частей, должны компенсироваться энергетическим выигрышем при работе в оптимальном положении. Частое включение режима поиска оптимальных углов (α^*, β^*) энергетически невыгодно.

Балансировка вращающихся деталей системы позволяет свести к минимуму момент сопротивления установки и производить поворот, используя шаговые двигатели малой мощности. При порывистом ветре можно использовать режим удержания шагового двигателя или применять механические стопорные системы.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Шамигулов П.В. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Коровин И.С. – студент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

Высокопроизводительная, экономичная и безопасная работа технологических агрегатов современной промышленности требует применения высокоэффективных методов и средств измерения величин, характеризующих ход производственного процесса и состояние оборудования. Измерение и контроль являются первой ступенью автоматизации, без успешного функционирования которых невозможно создание эффективных автоматических систем управления и регулирования технологическими процессами. Кроме того, постоянно возрастающие вычислительные возможности технических средств автоматизации позволяют применять все более эффективные алгоритмы управления, для реализации которых нередко требуется более полная информация о значениях физических величин, характеризирующих текущее состояние объекта управления.

Целью данной работы является разработка алгоритма определения значений вектора состояния линейного динамического объекта управления по результатам наблюдения за выходной переменной.

Классический алгоритм наблюдения, известный как фильтр Калмана, обладает тем недостатком, что для его реализации необходима информация обо всех входных воздействиях на наблюдаемый объект, поскольку основу наблюдателя составляет полная математическая модель объекта. Получение же такой информации не всегда возможно, поскольку часть входных воздействий могут составлять неконтролируемые возмущения или неподдающиеся непосредственному измерению физические величины, входящие в уравнения математической модели объекта. Например, при решении задачи определения распределения температуры по толщине стенки трубы в процессе ее термообработки, при использовании наблюдателя по Калману, необходимо

измерять температуру печных газов внутри обрабатываемой трубы, что технологически крайне сложно. Доступными для измерения в этом случае величинами являются температура печных газов снаружи трубы, контролируемая термопарой, и температура наружной поверхности трубы, контролируемая пирометром.

Взяв задачу определения распределения температуры в стенке трубы в качестве примера, проиллюстрируем предлагаемый вариант построения наблюдателя, позволяющего вычислить значения вектора состояния линейного динамического объекта в условиях неполной информации о входных воздействиях на наблюдаемый объект.

В качестве математической модели наблюдаемого объекта рассматривается уравнение теплопроводности плоской бесконечной стенки:

$$\frac{\partial И}{\partial t} = a\,\frac{\partial^2 И}{\partial x^2}, \tag{1}$$

где Θ – температура, К; t – время, с; x – координата по толщине стенки, м; a – коэффициент температуропроводности материала стенки, м^2/с.

Уравнение (1) после преобразования и перехода к переменным состояния представимо в векторно-матричной форме уравнений состояния

$$\frac{d\vec{z}}{dt} = \frac{a}{\Delta x^2} A\vec{z} + \frac{a}{\Delta x \lambda} B\vec{x}, \tag{2}$$

где

$$A = \begin{pmatrix} -b_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -b_2 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \end{pmatrix},$$

$$b_1 = 1 + \frac{\Delta x\,\alpha_1}{\lambda}; \quad b_2 = 1 + \frac{\Delta x\,\alpha_2}{\lambda};$$

α_1, α_2 – коэффициенты теплопередачи по поверхностям стенки, Вт/м^{2}К;

λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/м;

$\vec{z} = \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 & z_5 \end{pmatrix}^T$ – вектор распределения температуры по сечению стенки трубы;

$\vec{x} = \begin{pmatrix} x_{\text{ос}1} & x_{\text{ос}2} \end{pmatrix}^T$ – вектор температур окружающей стенку среды.

Расчет производится на примере модели порядка n = 5.

Синтез наблюдателя производим из следующих соображений. Уравнение выхода исследуемого объекта

$$y = \vec{C}^T \vec{z}, \tag{3}$$

где $\vec{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$ – матрица (в данном случае – вектор) выхода.

Продифференцировав уравнение выхода (3) k раз, при условии постоянного входного воздействия, получим

$$\begin{cases} y = \vec{C}^T \vec{z} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \end{pmatrix} \vec{x} \\ \dfrac{dy}{dt} = \vec{C}^T \dfrac{d\vec{z}}{dt} = \vec{C}^T A\, \vec{z} + \vec{C}^T B\, \vec{x} \\ \dfrac{d^2 y}{dt^2} = \vec{C}^T A \dfrac{d\vec{z}}{dt} = \vec{C}^T A^2\, \vec{z} + \vec{C}^T AB \vec{x} \\ \vdots \\ \dfrac{d^k y}{dt^k} = \vec{C}^T A^{k-1} \dfrac{d\vec{z}}{dt} = \vec{C}^T A^k\, \vec{z} + \vec{C}^T A^{k-1} B\, \vec{x}. \end{cases} \tag{4}$$

При этом $k = n - 1$.

Систему (4) можно переписать в следующем виде

$$\vec{Y} = \begin{pmatrix} \vec{C}^T \\ \vec{C}^T A \\ \vec{C}^T A^2 \\ \vec{C}^T A^3 \\ \vec{C}^T A^4 \end{pmatrix} \vec{z} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \vec{C}^T B \\ \vec{C}^T A\, B \\ \vec{C}^T A^2\, B \\ \vec{C}^T A^3\, B \end{pmatrix} \vec{x}, \tag{5}$$

где $\vec{Y}$ – вектор производных от выходной величины наблюдаемого объекта. Для его вычисления наблюдатель должен содержать k реальных дифференцирующих звеньев.

Введем обозначения

$$As = \begin{pmatrix} \vec{C}^T \\ \vec{C}^T A \\ \vec{C}^T A^2 \\ \vec{C}^T A^3 \\ \vec{C}^T A^4 \end{pmatrix}, \qquad Bs = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \vec{C}^T B \\ \vec{C}^T A\, B \\ \vec{C}^T A^2\, B \\ \vec{C}^T A^3\, B \end{pmatrix}.$$

Тогда (5) примет вид

$$\vec{Y} = As\, \vec{z} + Bs\, \vec{x}. \tag{6}$$

Выразив из (6) вектор состояния $\vec{z}$, получим уравнение наблюдателя

$$\vec{z} = As^{-1}\left(\vec{Y} - Bs\, \vec{x}\right). \tag{7}$$

Отличительной особенностью алгоритма (7) является то, что структура матрицы Bs оказывается такой, что для его осуществления нет необходимости измерять температуру печных газов внутри обрабатываемой трубы.

Результаты математического моделирования работы наблюдателя, построенного по алгоритму (7), представлены на рис. 1. Линиями 1 и 2 на рисунке показано изменение температуры на поверхностях стенки, линией 3 – изменение температуры в середине стенки. Линии 1, 2 и 3 получены как результат исследования идеальной модели наблюдаемого объекта. Линия 4 – определенная по алгоритму (7) температура в середине стенки. Эта линия получена в результате моделирования с учетом наличия пятипроцентной помехи в измерительных каналах входной и выходной величин, что отражает реальные условия измерения указанных величин.

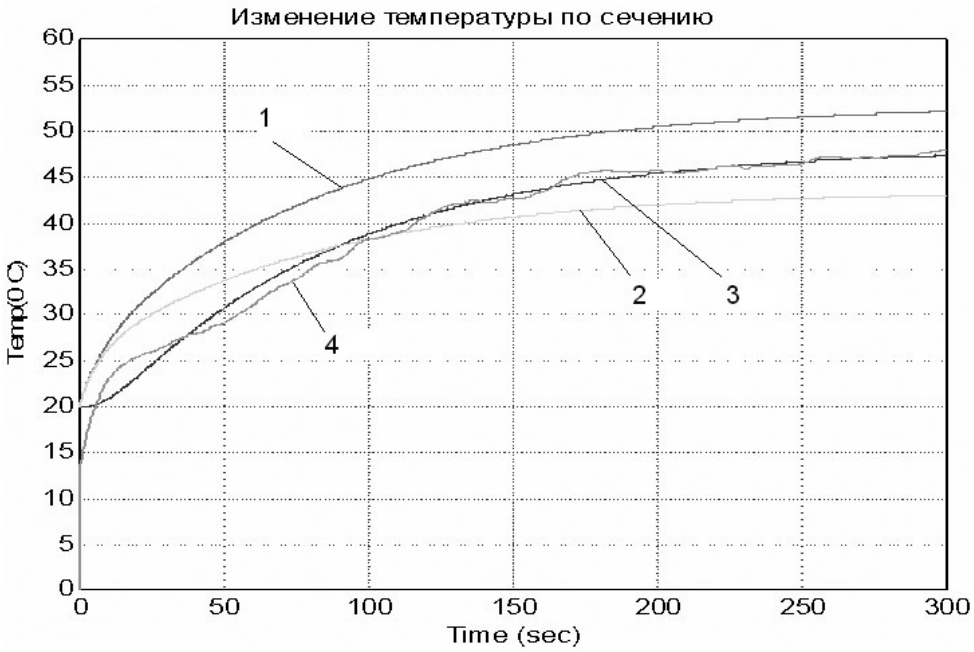


Рис. 1. Результаты математического моделирования измерительного канала

Помимо исследования работоспособности разработанного алгоритма в условиях помех в измерительных каналах была исследована точность реализации наблюдения при несоответствии параметров модели наблюдаемого объекта и модели, закладываемой в уравнения при синтезе наблюдателя. Результаты этого исследования свидетельствуют о приемлемой точности наблюдения при расхождении указанных параметров до 10 %.

Таким образом, синтезирован принципиально новый алгоритм наблюдения, позволяющий эффективно определять значения вектора состояния линейного динамического объекта по результатам наблюдения за выходной величиной объекта и по части входных воздействий. Причем, пользуясь неоднозначностью перехода к форме уравнений состояния (2), можно целенаправленно формировать алгоритмы наблюдения, в которых участвуют только желаемые (доступные измерению) входные величины. В отдельных частных случаях возможно построение наблюдателя определяющего значения вектора состояния на основе результатов измерения только выходной величины.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ В УКРЕПЛЯЮЩЕЙ ЧАСТИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Агринская С.А. – ассистентка
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Ванина Е.А. – студентка
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения экономической эффективности ректификационных установок, применяемых для разделения жидких смесей на чистые компоненты. Процесс ректификации широко распространён в производстве жидких топлив из нефти, синтетического каучука и полимерных волокон, в пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Ректификация представляет собой сложную перегонку, которая сопровождается взаимодействием поднимающихся паров со стекающей им навстречу жидкостью (флегмой), полученной при конденсации паров. Этот процесс включает переходы вещества из жидкой фазы в паровую и из паровой в жидкую.

В данной работе рассматривается процесс очистки метил-трет-бутилового эфира от примеси изобутана (рис. 1).

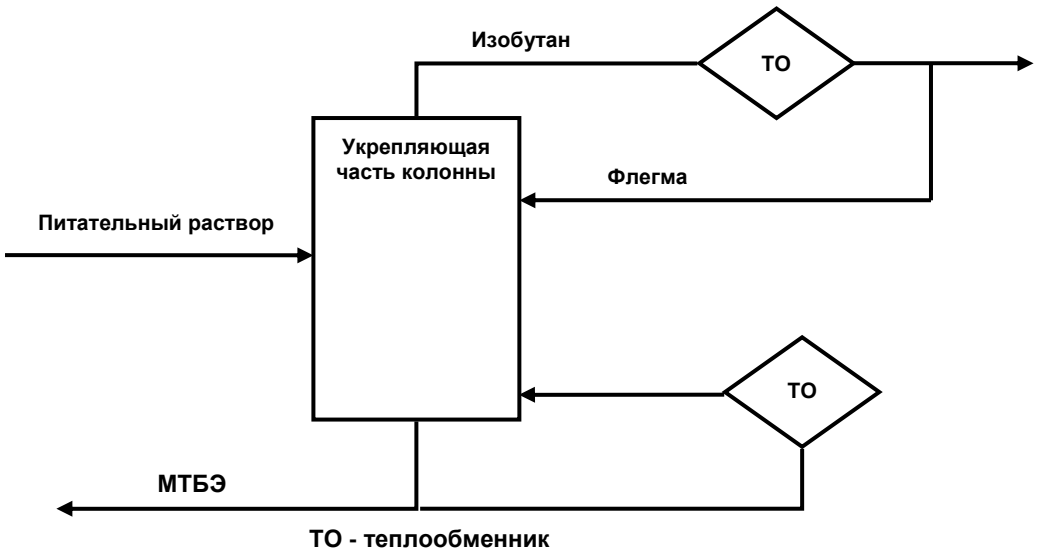


Рис. 1. Колонна ректификации

Так как ректификационная колонна состоит из исчерпывающей и укрепляющей частей, то оптимальная работа всей колонны зависит от оптимальной работы каждой из частей.

Укрепляющая часть ректификационной установки как объект управления представляет собой сложную динамическую систему с большим количеством взаимосвязанных входных и выходных величин, представленную на рис. 2.

При этом входными величинами являются: $G_{Ф}, G_{Х.А}, G_{П}$ – соответственно расходы флегмы в колонну, хладоагента в дефлегматор колонны и реакционной смеси на тарелку питания колонны, а также $C_{ПИТ}$ – концентрация питания колонны. Выходными величинами являются: $T_{В}, T_{Ф}$ – соответственно температуры верха колонны и флегмовой жидкости; $P_{В}$ – давление верха колонны; $C_{ДИСТ}$ – концентрация дистиллята, а также $G_{Ф}$ – расход флегмы в колонну.

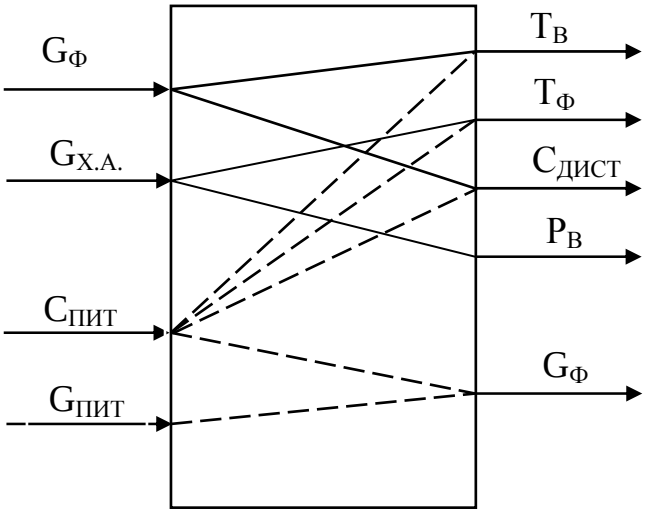


Рис. 2. Схема взаимосвязи между входными и выходными величинами в укрепляющей части ректификационной установки

При этом регулирующее воздействие того или иного участка (показано сплошными линиями на рис. 2) служит основным способом стабилизации регулируемой величины, а другие воздействия (показано пунктирными линиями) считаются по отношению к этому участку внутренними или внешними возмущениями.

Целью управления процессом является достижение заданной четкости разделения исходной смеси.

Основным показателем эффективности данного процесса в укрепляющей части ректификационной колонны является концентрация дистиллята, поэтому выбираем ее в качестве регулируемой величины.

Изменение состава исходной смеси (концентрация питания) является основным возмущающим фактором, отрицательно влияющим на качество процесса ректификации, и стабилизации не подлежит.

В ходе изучения процесса ректификации в укрепляющей части ректификационной установки была разработана структурная схема системы автоматического регулирования концентрации дистиллята, представленная на рис. 3.

После проведения математического моделирования был получен график переходного процесса этой системы, показанный на рис. 4.

По графику видно, что уменьшение содержания изобутана в исходной смеси приводит к повышению температуры в колонне, а следовательно, уменьшается концентрация низкокипящего компонента в дистилляте.

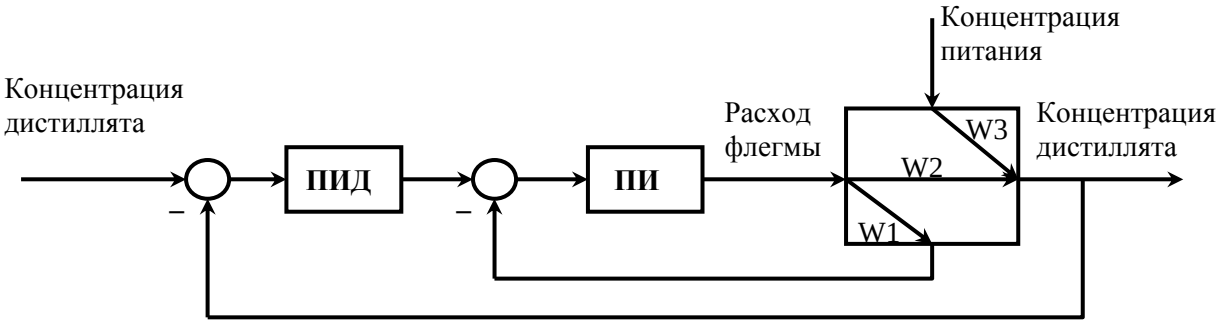


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического регулирования концентрации дистиллята

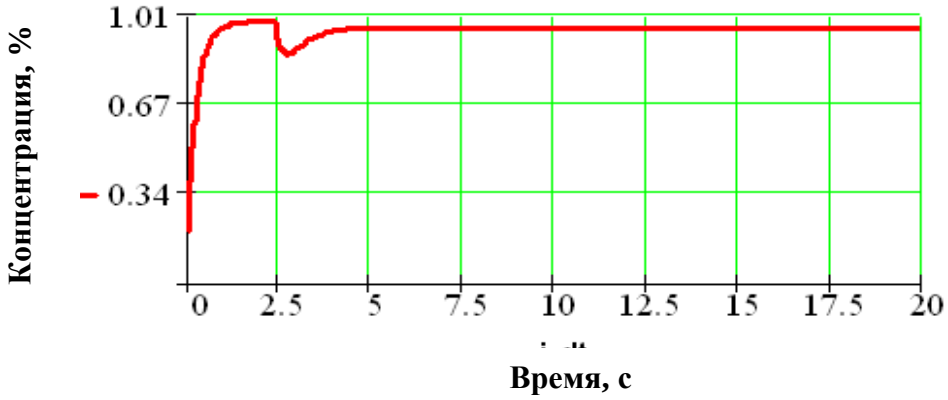


Рис. 4. График переходного процесса системы автоматического регулирования концентрации дистиллята

Одной из причин возникновения погрешностей в системах управления является неполнота получаемой рабочей информации о текущем состоянии объекта управления. Физически неполнота рабочей информации о состоянии объекта в таких структурах обусловлена тем, что регулятор контролирует лишь конечный эффект действия возмущений на объект – вызванное этим возмущением нежелательное отклонение управляемой величины.

В течение промежутка времени между появлением какого-либо возмущения и началом вызванного этим возмущением отклонения управляемой величины регулятор бездействует, несмотря на то, что фактическое состояние объекта уже меняется. Таким образом, неполнота рабочей информации может быть в значительной мере устранена, если осуществлять непосредственный оперативный контроль возмущений.

В связи с этим была предложена структурная схема алгоритма регулирования подачи флегмы с компенсацией возмущения (концентрации питания), которая представлена на рис. 5.

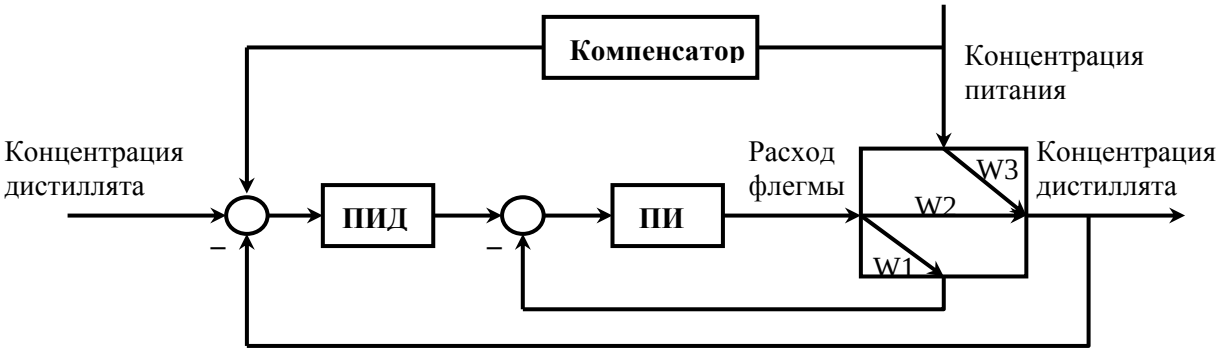


Рис. 5. Структурная схема системы автоматического регулирования концентрации дистиллята с компенсацией возмущения

Алгоритм функционирует следующим образом. Имеется два соподчиненных регулятора: вспомогательный регулятор $W\phi(p)$ (регулятор расхода флегмы) и главный регулятор $Wc(p)$ (регулятор концентрации дистиллята), который формирует командное воздействие вспомогательному регулятору. Главный регулятор имеет ПИД-закон регулирования, а вспомогательный – ПИ-закон регулирования. На вход главного регулятора, помимо отклонения регулируемой величины (концентрация дистиллята) от заданного значения, подается сигнал компенсации возмущения с компенсатора $W\kappa(p)$. Таким образом, регулятор концентрации $Wc(p)$ формирует управляющее воздействие, учитывающее возмущение по каналу «концентрация питания – концентрация дистиллята». График переходного процесса этой системы представлен на рис. 6.

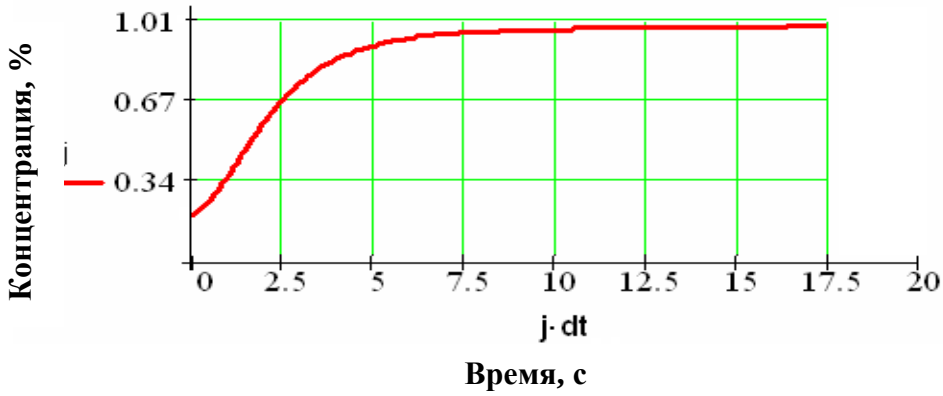


Рис. 6. График переходного процесса системы автоматического регулирования концентрации дистиллята с компенсацией возмущения

Анализ графиков переходных процессов исследуемых систем автоматического регулирования концентрации дистиллята, представленных на рис. 4 и 6, показал, что непрерывный контроль концентрации питания повышает качество получаемого дистиллята.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ В КУБЕ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Агринская С.А. – ассистентка
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Власова О.С. – студентка
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

В настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения экономической эффективности ректификационных установок, которые применяются для разделения жидких смесей на чистые компоненты.

Ректификацией называется процесс разделения жидкой смеси на компоненты, при этом происходит массообмен, то есть переход вещества из жидкой фазы в паровую, и наоборот.

В данной работе рассматривается процесс очистки метил-трет-бутилового эфира (далее МТБЭ) от примеси изобутана (рис. 1). Особенностью этого производства является сложность протекающих химических реакций, высокая чувствительность к отклонениям от заданного режима, наличие большого числа точек контроля и управления процессом, а также необходимость мгновенного и соответствующего сложившейся в данный момент обстановке воздействия на процесс.

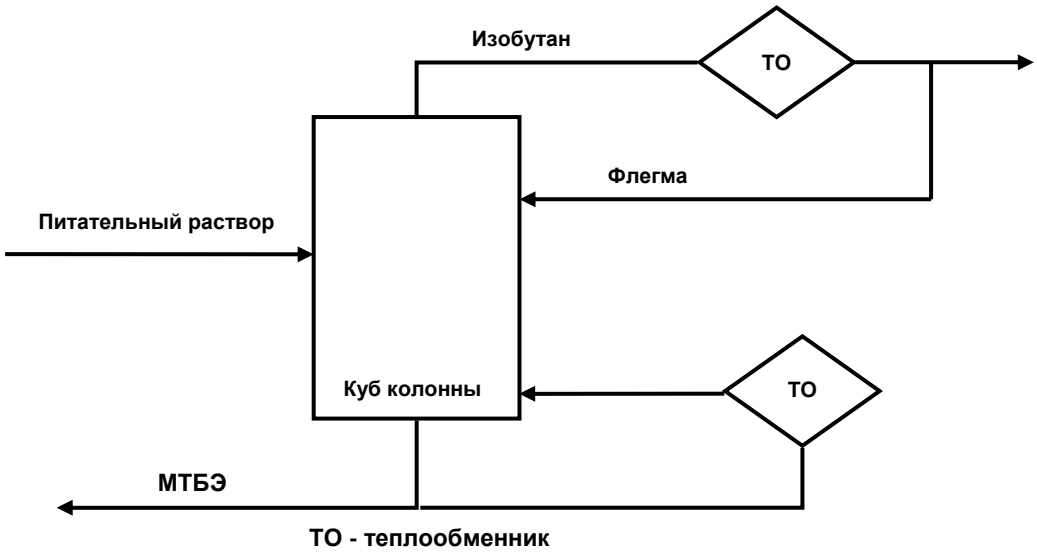


Рис. 1. Колонна ректификации

Куб ректификационной установки, как объект управления, представляет собой сложную динамическую систему с большим количеством взаимосвязанных входных и выходных величин (рис. 2).

При этом входными величинами являются: $G_{П.П}$, $G_{К.О}$, $G_{П}$ – соответственно расходы перегретого пара в кипятильник колонны, кубового остатка из колонны (готового продукта) и реакционной смеси на тарелку питания

колонны, а также $C_{ПИТ}$ – концентрация питания колонны. Выходными величинами являются: $T_К$ – температура куба колонны; $P_К$ – давление куба колонны; $H_К$ – уровень жидкости в кубе колонны; $G_{К.О}$ – расход готового продукта и $C_{К.ОСТ}$. – концентрация кубового остатка.

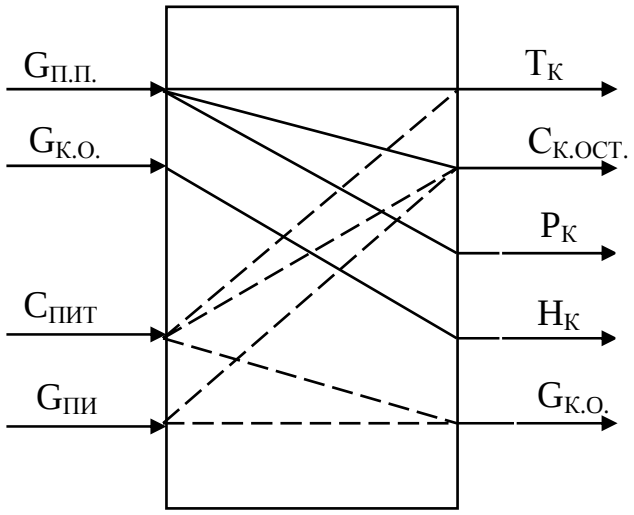


Рис. 2. Схема взаимосвязи между входными и выходными величинами в кубе ректификационной установки

При этом регулирующее воздействие того или иного участка (показано сплошными линиями на рис. 2) служит основным способом стабилизации регулируемой величины, а другие воздействия (показано пунктирными линиями) считаются по отношению к этому участку внутренними или внешними возмущениями.

Целью управления процессом является достижение заданной четкости разделения исходной смеси (содержание примесей в МТБЭ не более 0,9 %) при максимально возможной интенсивности и экономичности процесса.

Основным показателем эффективности данного процесса в кубе ректификационной колонны является концентрация МТБЭ, поэтому выбираем ее в качестве регулируемой величины.

Изменение состава исходной смеси (концентрации питания) является основным возмущающим фактором, отрицательно влияющим на качество процесса ректификации, и стабилизации не подлежит.

В ходе изучения процесса ректификации в кубе ректификационной установки была разработана структурная схема системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка (рис. 3).

После проведения математического моделирования был получен график переходного процесса этой системы, показанный на рис. 4.

По графику видно, что увеличение содержания изобутана в исходной смеси приводит к уменьшению температуры в колонне, а следовательно, к увеличению концентрации низкокипящего компонента в кубовом остатке.

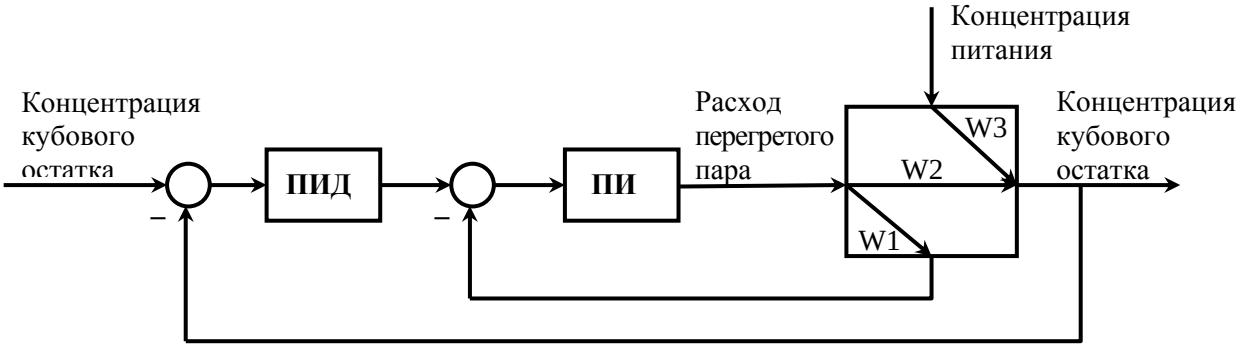


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка

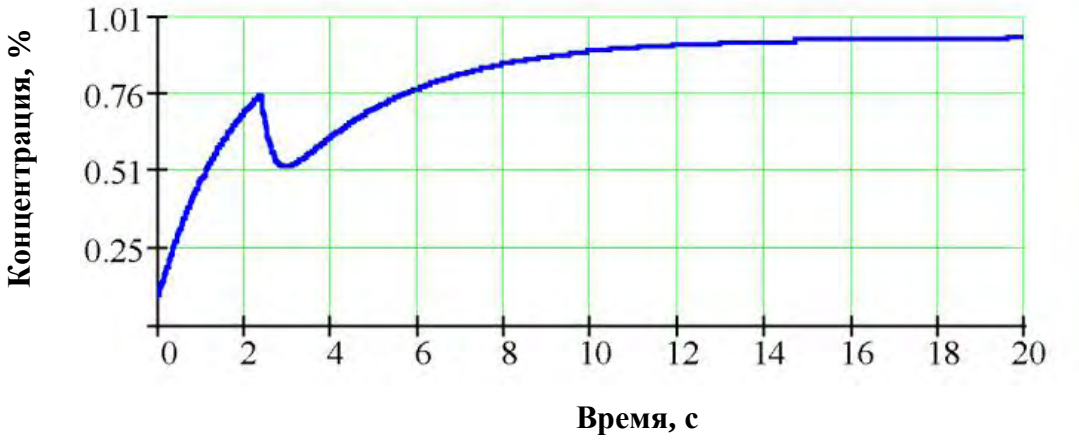


Рис. 4. График переходного процесса системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка

В настоящее время для решения задачи оптимального управления непрерывными технологическими процессами используются простые алгоритмы с одной обратной связью, в которую включено управляющее устройство, реализующее один из типовых законов управления. Иногда этого достаточно для эффективного функционирования процесса и системы управления этим процессом. Но повышение требований к качеству готовой продукции, а также снижение материальных и энергетических затрат на ее производство делает актуальной задачу разработки алгоритмов управления, обладающих более сложной структурой.

В связи с этим была предложена структурная схема алгоритма регулирования расхода перегретого пара с компенсацией возмущения (концентрации питания), которая представлена на рис. 5.

Алгоритм функционирует следующим образом. Имеется два соподчиненных регулятора: вспомогательный регулятор $Wn(p)$ (регулятор расхода пара) и главный регулятор $Wc(p)$ (регулятор концентрации кубового остатка), который формирует командное воздействие вспомогательному регулятору.

Главный регулятор имеет ПИД-закон регулирования, а вспомогательный – ПИ-закон регулирования. На вход главного регулятора помимо отклонения регулируемой величины (концентрация кубового остатка) от заданного значения подается сигнал компенсации возмущения с компенсатора $W\kappa(p)$. Таким образом, регулятор концентрации $Wc(p)$ формирует управляющее воздействие, учитывающее возмущение по каналу «концентрация питания – концентрация кубового остатка».

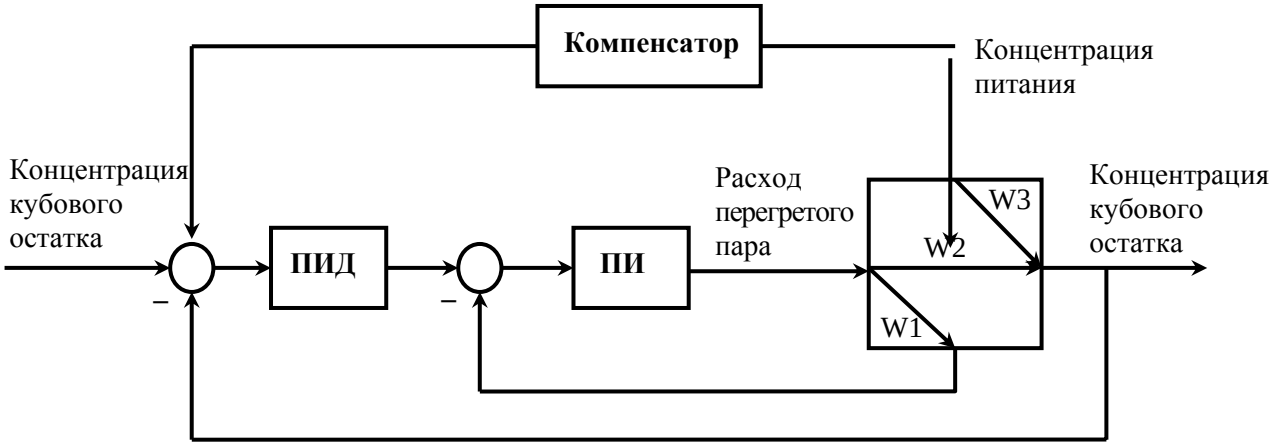


Рис. 5. Структурная схема системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка с компенсацией возмущения

График переходного процесса этой системы представлен на рис. 6.

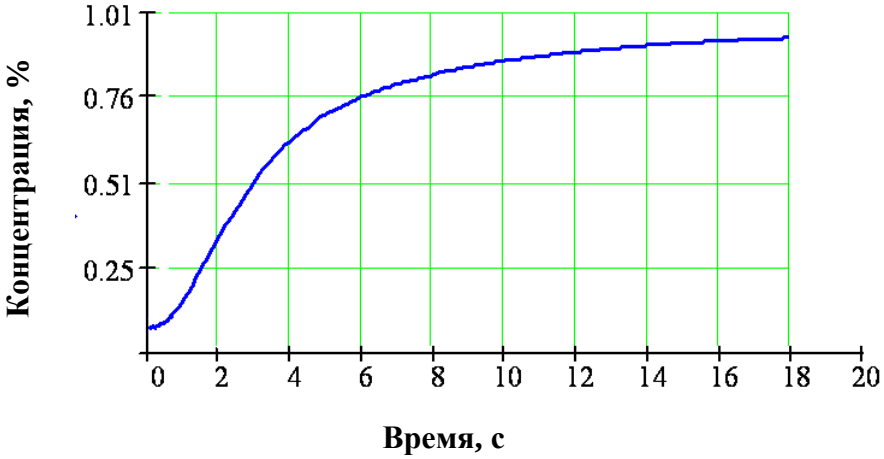


Рис. 6. График переходного процесса системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка с компенсацией возмущения

Анализ графиков переходных процессов исследуемых систем автоматического регулирования концентрации кубового остатка, представленных на рис. 4 и 6, показал, что непрерывный контроль концентрации питания повышает точность регулирования концентрации кубового остатка, а значит, повышает качество процесса ректификации.

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОЛОЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА

Капля В.И. – канд. техн. наук
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

Управление манипуляторами требует постоянного контроля пространственного положения их элементов. Применение для этих целей датчиков угла и датчиков положения для каждого подвижного звена манипулятора имеет два существенных недостатка:

1) накапливается погрешность в процессе работы;

2) датчики утяжеляют манипулятор.

Использование фотограмметрических методов измерений позволяет устранить эти недостатки, так как положение манипулятора контролируется приборами, которые располагаются не на манипуляторе, а стационарно, на некотором удалении от рабочей зоны. Положение элементов манипулятора определяется по маркерам – контрастным меткам, располагаемым на характерных точках манипулятора.

Структура измерительной системы предполагает использование минимум двух цифровых видеокамер, поле зрения которых охватывает рабочую область манипулятора. Сложность кинематической схемы манипулятора и структура рабочей зоны определяют необходимое количество видеокамер.

Результаты измерений координат элементов манипулятора являются косвенными и получаются путем применения уравнений фотограмметрии [1]. Каждая маркированная точка дает два нелинейных уравнения:

$$F_x(f,\, x_i,\, \overline{R_i},\, \overline{\varphi},\, \overline{R_s}) = ((x_i - x_c)\, A_2(\overline{\varphi}) - f\, A_0(\overline{\varphi}))(\overline{R_i} - \overline{R_s}) = 0\,,$$

$$F_y(f,\, y_i,\, \overline{R_i},\, \overline{\varphi},\, \overline{R_s}) = ((y_i - y_c)\, A_2(\overline{\varphi}) - f\, A_1(\overline{\varphi}))(\overline{R_i} - \overline{R_s}) = 0\,,$$

где f – фокусное расстояние; i – номер ОТ; x_i, y_i – координаты ОТ в системе координат кадра; x_c, y_c – координаты главной точки; $\overline{R_i} = (X_i,\, Y_i,\, Z_i)^T$ – вектор координат ОТ в объектной системе координат; $\overline{\varphi} = (\varphi_x,\, \varphi_y,\, \varphi_z)^T$ – вектор угловых параметров ориентации оптической оси камеры; $\overline{Rs} = (Xs,\, Ys,\, Zs)^T$ – вектор координат центра проектирования в объектной системе координат; $A_j(\overline{\varphi})$ – строка номер j матрицы $A(\overline{\varphi})$.

$$A(\overline{\varphi}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi_z) & -\sin(\varphi_z) \\ 0 & \sin(\varphi_z) & \cos(\varphi_z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_X) & 0 & \sin(\varphi_x) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi_x) & 0 & \cos(\varphi_x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_y) & -\sin(\varphi_y) & 0 \\ \sin(\varphi_y) & \cos(\varphi_y) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Решение уравнений можно проводить методом Ньютона для нелинейной задачи о наименьших квадратах [2].

Приведенная система уравнений позволяет оценить погрешность измерений путем моделирования возможных положений манипулятора в рабочем пространстве. Определение положений манипулятора, в которых погрешность измерений максимальна, позволяет оценить максимальную погрешность системы и при необходимости провести поиск оптимального положения видеокамер.

Фотограмметрическая система управления манипулятором является автономно калибрируемой, так как в ее поле зрения постоянно находятся пары маркированных точек, расстояние между которыми постоянно, если они принадлежат одному звену манипулятора.

Выводы

1. Фотограмметрические методы измерений позволяют контролировать положение элементов манипулятора с заданной точностью.

2. Применение оптической системы контроля положения манипулятора упрощает конструкцию и повышает технические характеристики манипулятора в части постоянства точности измерений.

3. Фотограмметрическая система управления манипулятором является автономно калибрируемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лобанов А.Н.* Фотограмметрия. – М.: Недра, 1984.

2. *Корн Г.*, *Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1984.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ГИДРОАГРЕГАТА ГЭС ПО КРИВЫМ РАЗГОНА

Капля Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Шустов М.Ю. – студент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Старение гидроэнергетических сооружений и оборудования вызывает изменение технических характеристик гидроагрегатов. В процессе эксплуатации оборудования персонал гидроэлектростанций сталкивается с проблемой определения характеристик гидроагрегатов с помощью существующих средств контроля их состояния и режимов работы [1-3].

Основным показателем эффективности гидроагрегата является коэффициент полезного действия, который определяется в установившемся режиме работы гидроагрегата при номинальной частоте вращения [3-5]. Процесс разгона гидротурбины тоже несёт в себе информацию о состоянии гидроагрегата. Расшифровать и извлечь эту информацию из экспериментальных кривых разгона гидротурбины позволяет метод, представленный в этой статье.

Динамика вращательного движения гидротурбины описывается дифференциальным уравнением

$$J\,\frac{d\omega(t)}{dt} = M_{\text{ВР}}(t) - M_{\text{С}}(t), \tag{1}$$

где J – момент инерции вращающихся деталей гидроагрегата; $\omega(t)$ – угловая скорость вращения турбины, вала и ротора гидроагрегата; $M_{\text{ВР}}(t)$ – вращающий момент гидротурбины; $M_{\text{С}}(t)$ – момент сил сопротивления гидроагрегата.

Момент инерции гидроагрегата равен сумме моментов инерции турбины, ротора генератора и вала:

$$J = J_{\text{турбины}} + J_{\text{ротора}} + J_{\text{вала}}. \tag{2}$$

В общем случае вращающий момент $M_{\text{ВР}}(t)$ гидротурбины представляется полиномом степени m относительно расхода $Y(t)$ воды, протекающей через турбину:

$$M_{\text{ВР}}(t) = k_m Y^m(t) + k_{m-1} Y^{m-1}(t) + \ldots + k_2 Y^2(t) + k_1 Y(t). \tag{3}$$

Момент сил сопротивления $M_{\text{С}}(t)$ вращающихся деталей гидроагрегата представим полиномом степени n относительно угловой скорости вращения:

$$M_{\text{С}}(t) = \chi_n \omega^n(t) + \chi_{n-1} \omega^{n-1}(t) + \ldots + \chi_2 \omega^2(t) + \chi_1 \omega(t), \tag{4}$$

где $\chi, \chi_2, \ldots, \chi_n$ – коэффициенты сопротивления гидроагрегата.

С учётом (4) уравнение (1) является нелинейным дифференциальным уравнением относительно угловой скорости вращения гидротурбины $\omega(t)$.

Экспериментальные кривые разгона получены на основе показаний тахометра гидроагрегата, который измеряет частоту вращения вала гидроагрегата $\nu_0, \nu_1, \ldots, \nu_p, \ldots, \nu_q$ в моменты времени $t_0, t_1, \ldots, t_p, \ldots, t_q$. Частота вращения связана с угловой скоростью $\omega(t) = 2\pi\nu(t)$.

Угловое ускорение турбины в момент времени t_p при малом интервале между измерениями ω_{p-1}, ω_p, ω_{p+1} можно считать равным

$$\varepsilon(t_p) = \left.\frac{d\omega}{dt}\right|_{t_p} \approx \frac{\omega_{p+1} - \omega_{p-1}}{t_{p+1} - t_{p-1}}, \tag{5}$$

где p – номер измерения, $p = 0, 1, 2, \ldots, q$.

Дифференциальное уравнение (1) с учётом (5) приводится к системе из $(q-1)$ алгебраических нелинейных уравнений относительно $k_1^*, k_2^*, \ldots, k_m^*$ и $\chi_1^*, \chi_2^*, \ldots, \chi_n^*$:

$$\frac{\omega_{p+1}-\omega_{p-1}}{t_{p+1}-t_{p-1}} = \left[k_m^* Y_p^m + k_{m-1}^* Y_p^{m-1} + ... + k_2^* Y_p^2 + k_1^* Y_p\right] -$$

$$-\left[\chi_n^* \omega_p^n + \chi_{n-1}^* \omega_p^{n-1} + ... + \chi_2^* \omega_p^2 + \chi_1^* \omega_p\right], \qquad (6)$$

где $k^* = k / J$, $\chi^* = \chi / J$, $p = 1, 2, ..., (q-1)$.

Количество неизвестных системы уравнений (6) равно $(m+n)$. При $q > m+n+1$ система уравнений становится переопределённой.

Система уравнений вида (6) является несовместной и в общем случае не имеет решения, удовлетворяющего всем уравнениям, из-за присутствия погрешностей при измерении ω_p, t_p, ограниченности степеней полиномов (3), (4) и других приближений математической модели.

Определить значения параметров $k_1^*, k_2^*, ..., k_m^*$ и $\chi_1^*, \chi_2^*, ..., \chi_n^*$ можно путём минимизации функции

$$F\left(k_1^*, k_2^*, ..., k_m^*;\ \chi_1^*, \chi_2^*, ..., \chi_n^*\right) = \sum_{p=1}^{q-1} \left(\frac{\omega_{p+1}-\omega_{p-1}}{t_{p+1}-t_{p-1}} - \right.$$

$$- \left[k_m^* Y_p^m + k_{m-1}^* Y_p^{m-1} + ... + k_2^* Y_p^2 + k_1^* Y_p \right] +$$

$$\left. + \left[\chi_n^* \omega_p^n + \chi_{n-1}^* \omega_p^{n-1} + ... + \chi_2^* \omega_p^2 + \chi_1^* \omega_p \right] - \right)^2. \qquad (7)$$

Величина $F\left(k_1^*, k_2^*, ..., k_m^*;\ \chi_1^*, \chi_2^*, ..., \chi_n^*\right)$ равна сумме квадратов невязок левой и правой частей уравнений (6).

В результате минимизации $F\left(k_1^*, k_2^*, ..., k_m^*;\ \chi_1^*, \chi_2^*, ..., \chi_n^*\right)$ можно определить значения $k_1^*, k_2^*, ..., k_m^*$ и $\chi_1^*, \chi_2^*, ..., \chi_n^*$, свойственные каждому гидроагрегату.

Используя найденные значения коэффициентов k^* и χ^* можно предсказать динамику гидроагрегата при различных переходных процессах методами численного моделирования.

После дискретизации времени $t_j = j\Delta t + t_0$ при малом шаге дискретизации Δt угловое ускорение можно заменить отношением

$$\varepsilon(t_j) = \left.\frac{dw(t)}{dt}\right|_{t=t_j} \approx \frac{w_{j+1}-w_j}{\Delta t}, \qquad (8)$$

где j – номер момента времени.

Дифференциальное уравнение (1) с учётом (8) приводится к алгебраическому виду

$$\frac{w_{j+1}-w_j}{\Delta t} = \left[k_m^* Y_j^m + k_{m-1}^* Y_j^{m-1} + \ldots + k_2^* Y_j^2 + k_1^* Y_j\right] - \\ -\left[\chi_n^* w_j^n + \chi_{n-1}^* w_j^{n-1} + \ldots + \chi_2^* w_j^2 + \chi_1^* w_j\right], \tag{9}$$

Из (9) следует рекуррентная формула

$$w_{j+1} = \Delta t\left(\left[k_m^* Y_j^m + k_{m-1}^* Y_j^{m-1} + \ldots + k_2^* Y_j^2 + k_1^* Y_j\right] - \\ -\left[\chi_n^* w_j^n + \chi_{n-1}^* w_j^{n-1} + \ldots + \chi_2^* w_j^2 + \chi_1^* w_j\right]\right) + w_j, \tag{10}$$

Формула (10) позволяет для заданных начальных условий w_0 и w_1 определить угловую скорость в последующие моменты времени.

Величина расхода воды, протекающей через турбину, связана с положением шандоры и лопаток направляющего аппарата. Изменение расхода воды при равномерном открытии шандоры или лопаток направляющего аппарата математически можно представить функцией

$$Y_j = \left| \begin{array}{ll} 0, & \text{если} \quad t_j \le \tau_1; \\ \dfrac{Y^*}{\tau_2-\tau_1}\cdot\left(t_j-\tau_1\right), & \text{если} \quad \tau_1 < t_j < \tau_2; \\ Y^*, & \text{если} \quad t_j \ge \tau_2; \end{array} \right. \tag{11}$$

где $[\tau_1; \tau_2]$ – интервал времени открытия; Y^* – максимальный расход воды.

В линейном приближении вращающий момент гидротурбины и момент сил сопротивления гидроагрегата можно представить в виде:

$$M_{BP}(t) \approx k_1 Y(t), \qquad M_C(t) \approx \chi_1 \omega(t). \tag{12}$$

Уравнение динамики вращательного движения гидротурбины (1) в результате замены (12) приобретает линейный вид относительно угловой скорости вращения:

$$J\frac{d\omega(t)}{dt} + \chi_1 \omega(t) = k_1 Y(t), \qquad \frac{d\omega(t)}{dt} + \chi_1^* \omega(t) = k_1^* Y(t). \tag{13}$$

Функция (7) для линейной модели принимает вид

$$F\left(k_1^*, \chi_1^*\right) = \sum_{p=1}^{q-1}\left(\frac{\omega_{p+1}-\omega_{p-1}}{t_{p+1}-t_{p-1}} - k_1^* Y_p + \chi_1^* \omega_p\right)^2. \tag{14}$$

На основе экспериментальных данных, предоставленных инженерами Волжской ГЭС, построены кривые разгона и поверхности $F\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$. В результате градиентного поиска минимума функции $F\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ определены

значения коэффициентов для одного из гидроагрегатов: $k_1^* \approx 3{,}88 \cdot 10^{-4}$, $\chi_1^* \approx 5{,}16 \cdot 10^{-2}$.

Дискретизация по времени позволяет преобразовать дифференциальное уравнение (13) в рекуррентную формулу

$$w_{j+1} = \Delta t \left(k_1^* Y_j - \chi_1^* w_j \right) + w_j . \qquad (15)$$

С помощью формулы (15) построена расчетная кривая разгона при $w_0 = 0$, $\Delta t = 10^{-2}$ с, $j = 0, 1, ..., 10^5$, $k_1^* = 3{,}88 \cdot 10^{-4}$, $\chi_1^* = 5{,}6 \cdot 10^{-2}$.

Разгон гидротурбины продолжается около 90 секунд. Продолжительность разгона зависит от момента инерции гидроагрегата, угла ориентации лопастей и положения лопаток направляющего аппарата.

Каждой точке ν_p на экспериментальной кривой разгона соответствует точка $f_{j(p)}$ на расчетной кривой разгона, полученной в результате моделирования. Для каждой пары значений k_1^* и χ_1^* по результатам моделирования можно определить сумму $D\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ квадратов отклонений всех экспериментальных точек от соответствующих расчётных точек:

$$D\left(k_1^*, \chi_1^*\right) = \sum_{p=0}^{q} \left[\nu_p - f_{j(p)} \right]^2 . \qquad (16)$$

В результате многократных расчётов кривой разгона для $k_1^* \in \left[0;\ 5 \cdot 10^{-4} \right]$ и $\chi_1^* = \left[0;\ 6 \cdot 10^{-2} \right]$ по рекуррентной формуле (15) при одинаковых начальных условиях и параметрах на основе (16) построена поверхность, иллюстрирующая зависимость $D\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$. Сумма $D\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ квадратов отклонений для всех экспериментальных точек является мерой несоответствия экспериментальной ν_p и расчетной $f_{j(p)}$ кривых разгона. Минимизация $D\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ позволяет определить такую пару значений k_1^* и χ_1^*, при которой расчетная кривая разгона наиболее близка к экспериментальной. Минимум функции $D\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ и минимум функции $F\left(k_1^*, \chi_1^*\right)$ достигаются при одной и той же комбинации k_1^* и χ_1^*.

Каждому гидроагрегату свойственна собственная пара значений k_1^* и χ_1^*. В течение времени величина коэффициентов может изменяться. В результате коррозии на поверхностях деталей, соприкасающихся с водой, величина коэффициента k_1^* должна уменьшаться. Уменьшение коэффициента k_1^* может быть вызвано повреждениями лопаток направляющего аппарата или лопастей турбины. Увеличение коэффициента сопротивления χ_1^* может

свидетельствовать о неисправности подшипников, нарушении балансировки вала и ротора генератора, или о неисправностях системы подачи масла. Сравнение значений коэффициентов k_1^* и χ_1^*, полученных на протяжении нескольких лет работы гидроагрегата, делает возможным на основе математического анализа оценить скорость износа оборудования. Определение скорости старения оборудования позволяет своевременно принять решение о его ремонте или замене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астафьев В.А.*, *Барков Н.К.* Гидротурбины и их обслуживание. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 352 с.

2. *Барков Н.К.* Автоматизация мощных гидротурбин. – Л.: Машиностроение, 1964. – 255 с.

3. *Орго В.М.* Гидротурбины. – Л.: ЛГУ, 1975. – 318 с.

4. *Slattorp K.*, *Tuszynski K.* Model of hydro power plant – New algorithm for turbine governors. / Department of automatic control / Lund institute of Technology. – May 2005, 75 p.

5. *Niimura T.*, *Vivekanandan V.* Analysis of a bc hydro ehv transmission System model. The University of British Columbia Department of Electrical & Computer Engineering Vancouver, BC, August 2002, 33 p.

АДАПТИВНЫЙ ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ КАК СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ ОБУЧАЕМЫХ

Рыбанов А.А. – канд. техн. наук, доцент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

Адаптация – это способность системы приспосабливаться к изменяющимся внутренним и внешним условиям при помощи изменения своей структуры и значений параметров.

Под адаптивным тестовым контролем понимают компьютеризованную систему научно-обоснованной проверки и оценки результатов обучения, обладающую высокой эффективностью за счет оптимизации процедур генерации, предъявления и оценки результатов выполнения адаптивных тестов.

Эффективность контрольно-оценочных процедур повышается при использовании многошаговой стратегии отбора и предъявления заданий, основанной на алгоритмах с полной контекстной зависимостью, в которых очередной шаг совершается только после оценки результатов выполнения предыдущего шага. После выполнения испытуемым очередного задания каждый раз возникает потребность в принятии решения о подборе трудности следующего задания в зависимости от того, верным или неверным был предыдущий ответ. Алгоритм отбора и предъявления заданий строится по принципу обратной связи, когда при правильном ответе испытуемого очередное задание выбирается более трудным, а неверный ответ влечет за собой предъявление последующего, более легкого задания, чем то, на которое испытуемым был

дан неверный ответ. К непременным условиям реализации таких алгоритмов следует отнести:

– наличие банка калиброванных заданий с устойчивыми оценками их параметров, позволяющими прогнозировать успех или неуспех испытуемого при подборе очередного задания адаптивного теста;

– использование программно-инструментальных средств и компьютерных программ для индивидуализации алгоритмов подбора заданий, основанных, как правило, на оценке вероятности правильного выполнения учебных заданий;

– использование параметрических моделей *Item Response Theory*.

Многошаговые стратегии адаптивного тестирования можно подразделить на *детерминированно-ветвящиеся* и *вариационно-ветвящиеся*, в зависимости от того, как конструируются многошаговые адаптивные тесты.

Стратегия адаптивного тестирования является *детерминированно-ветвящейся*, если один и тот же набор с фиксированным расположением заданий на оси трудности используется для всех испытуемых, но каждый движется по набору индивидуальным путем, в зависимости от результатов выполнения каждого очередного задания.

Вариационно-ветвящаяся стратегия адаптивного тестирования предполагает отбор заданий непосредственно из банка по определенным алгоритмам, которые прогнозируют оптимальную трудность последующего задания по результатам выполнения испытуемым предыдущего задания адаптивного теста.

Отличительной особенностью вариационно-ветвящейся стратегии адаптивного тестирования является пошаговая переоценка уровня подготовленности испытуемого, предпринимаемая после каждого выполнения им очередного задания теста. Таким образом, появляется своеобразная последовательность текущих значений уровня подготовленности обучаемого, применительно к которым подбирается трудность заданий адаптивных тестов.

Сопоставление различных видов адаптивного тестирования с позиции их эффективности для решения проблем контроля в дистанционном образовании приводит к выбору компьютерного адаптивного тестирования, основанного на многошаговых варьирующих стратегиях, в качестве основного подхода. Наиболее важное преимущество варьирующих стратегий связано с возможностью оперативного реагирования на результаты выполнения учебных заданий путем переоценки уровня подготовленности обучаемого после выполнения каждого очередного задания адаптивного теста. Последнее обстоятельство порождает уникальные возможности в решении проблем индивидуализации при обучении и контроле в дистанционном образовании.

Адаптивная модель позволяет более гибко и точно измерять знания обучаемых, используя меньшее количество заданий, чем в классической модели.

Надежность результатов тестирования в данном случае самая высокая, так как осуществляется приспособление под уровень знаний конкретного обучаемого, что обеспечивает более высокую точность измерений.

Рассмотрим методику адаптивного тестирования *stradaptive*, когда тестирование проводится посредством банка заданий, разделенных по уровням трудности.

Данная методика позволяет варьировать только уровень сложности, учитывая статистику ответов на предыдущие вопросы. На каждом шаге тестирования по каждому уровню сложности обучаемому дается два задания, и по результатам ответов на них определяется уровень сложности для следующих заданий. Данное количество заданий (два) позволяет более адекватно оценивать уровень знаний, чем одно задание, на которое обучаемый может отгадать или случайно забыть ответ, и в то же время не дает большого количества сочетаний вариантов ответов, как в случае трех и тем более большего количества заданий.

Методика адаптивного тестирования stradaptive

Все уровни знаний будем измерять от $t'_{\text{н}}$ до $t'_{\text{в}}$ ($t'_{\text{н}}$ – нет знаний, $t'_{\text{в}}$ – «абсолютное» знание). Обозначим t – текущий уровень знаний обучаемого; $t_{\text{н}}$ – нижний уровень знаний обучаемого; $t_{\text{в}}$ – верхний уровень знаний обучаемого; m – количество уровней сложности; ε – точность оценки знаний.

1. Рассчитать коэффициент $k_t = \dfrac{t'_{\text{в}}}{m}$.

2. Установить $t_{\text{н}} = t'_{\text{в}}$, $t_{\text{в}} = t'_{\text{в}}$, ε.

3. Вычислить текущий уровень сложности $t = \dfrac{t_{\text{н}} + t_{\text{в}}}{2k_t}$.

4. Выдать обучаемому два задания сложности t. Пусть $k_{\text{пр}} \in \{0, 1, 2\}$ – количество правильных ответов на эти задания.

5. Пересчитать уровни знаний:

1) если $k_{\text{пр}} = 2$, то $t_{\text{н}} = t$; $t_{\text{в}} = t_{\text{в}} + 0{,}5t$. Если $t_{\text{в}} > t'_{\text{в}}$, то $t_{\text{в}} = t'_{\text{в}}$;

2) если $k_{\text{пр}} = 1$, то $t_{\text{н}} = 0{,}25t_{\text{н}}$; $t_{\text{в}} = t_{\text{в}} + 0{,}1t$. Если $t_{\text{в}} > t'_{\text{в}}$, то $t_{\text{в}} = t'_{\text{в}}$;

3) если $k_{\text{пр}} = 0$, то $t_{\text{н}} = 0{,}05t_{\text{н}}$; $t_{\text{в}} = t$.

6. Вычислить текущий уровень знаний обучаемого $t' = \dfrac{t_{\text{н}} + t_{\text{в}}}{2}$.

Если $|t' - t| < \varepsilon$, то уровень знаний обучаемого равен t', выход; иначе – перейти к шагу 2.

Значение ε устанавливается, исходя из необходимой точности оценки знаний. Однако с уменьшением ε возрастает число вопросов, необходимых для включения в тест.

Адаптивная методика тестирования позволяет создать эффективный тест, представляющий собой не одну систему заданий, а множество систем заданий, каждая из которых является оптимальной для измерения знаний на определенном уровне подготовленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Переверзев В.Ю.* Технология разработки тестовых заданий: Справочное руководство.

2. *Weiss D.J. (Ed.)* New Horizons in Testing: Latent Trait. Test Theory and Computerised Adaptive Testing. – N.Y.: Academic Press, 1983. – 345 pp.

3. *Бобков А.И., Далматов С.Б., Преснякова Г.В., Шашин Г.В.* Принципы построения адаптивных аналоговых систем обучения и контроля знаний: Учебное пособие. – Л.: Лен. инст. авиац. приборостроения, 1987. – 80 с.

4. *Морев И.А.* Образовательные информационные технологии. Часть 2. Педагогические измерения: Учебное пособие. – Владивосток: Дальневост. ун-т, 2004. – 174 с.

5. *Дулин С.К., Репьёв А.В.* Адаптивная система дистанционного обучения по курсу «Базы данных» // Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. – Тверь, 2004. – Т. 1. – С. 50-54.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВАРИАНТНОЙ СХЕМЫ БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

Рыбанов А.А. – канд. техн. наук, доцент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ
Бутенко С.Н. – студент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

Для управления процессом обучения на различных его этапах контролирующий специалист должен постоянно иметь сведения о том, как учащиеся воспринимают и усваивают учебный материал. Для обеспечения контроля знаний и усваиваемости пройденного материала необходимо средство контроля знаний. В настоящее время существует огромное количество тестирующих систем. Накопленный к настоящему времени опыт создания программного обеспечения показывает, что это сложная и трудоемкая работа, требующая высокой квалификации участвующих в ней специалистов. Однако до настоящего времени создание таких систем нередко выполняется на интуитивном уровне с применением неформализованных методов, основанных на искусстве, практическом опыте, экспертных оценках и дорогостоящих экспериментальных проверках качества функционирования программного обеспечения. Актуальность данной темы заключается в устранении недостатков, связанных с хранением информационных ресурсов автоматизированной тестовой системы, повышении эффективности хранения.

Целью данной работы является повышение эффективности автоматизированных систем проектирования тестовых заданий за счет применения инвариантной схемы базы данных.

Для достижения поставленной цели в данной работе осуществляется решение описанных далее задач:

1) разработка математической модели и выбор критериев для оценки эффективности разработанной инвариантной схемы базы данных;

2) разработка инвариантной схемы базы данных для автоматизированной системы проектирования тестовых заданий;

3) экспериментальная проверка надежности и эффективности разработанной инвариантной схемы базы данных.

Оценка эффективности инвариантной схемы базы данных осуществляется с использованием аддитивного критерия. Выбор данного критерия обоснован следующими преимуществами: практически всегда определяется одно оптимальное решение; отсутствуют трудности в определении весовых коэффициентов. Значением функции аддитивного критерия является безразмерная величина. Для определения данного значения необходимо рассчитать C_i коэффициентов относительной важности исследуемых объектов. Объектами являются группы запросов. В результате расчетов коэффициентов определили конечную формулу для расчета аддитивного критерия.

Разработав функциональную модель, схематическую модель базы данных в нотации IDEF1X, запросы для данной информационной базы данных, необходимо выбрать из множества представленных альтернатив СУБД оптимальную для данной схемы базы данных, которая будет обеспечивать необходимую производительность для системы автоматизированного проектирования тестовых заданий.

Выбор системы управления баз данных (СУБД) представляет собой сложную многопараметрическую задачу и является одним из важных этапов при разработке приложений баз данных. Выбранный программный продукт должен удовлетворять как текущим, так и будущим потребностям пользователей, при этом следует учитывать разработку необходимого программного обеспечения на основе СУБД. Тем не менее, можно выделить несколько параметров, которые будут оценивать производительность выбранной СУБД.

Система оценки производительности инвариантной схемы базы данных разработана при использовании языка C++ и структурированного языка запросов SQL. Созданная система позволяет сформировать динамически по заданным параметрам значительные объемы разнотипной информации. Выполнить оценку эффективности инвариантной схемы базы данных, которая была сгенерированна под конкретную СУБД. В данной работе исследовались только три СУБД: Paradox 7.0, InterBase 6.5 и Access 2003. Разработанная система универсальна в том качестве, что генерация данных и оценка производительности может быть выполнена в любой СУБД. Необходимое условие – наличие данного программного обеспечения и его корректная работа.

После многочисленных экспериментов и полученных результатов разработана функция оценки производительности инвариантной базы данных.

Функция позволит спрогнозировать дальнейшее поведение инвариантной базы данных в зависимости от изменения информационного состава.

Данные исследования позволят сделать выбор необходимой СУБД для разработки системы автоматизированного проектирования тестовых заданий на основе инвариантной базы данных.

Перечисленные возможности системы позволяют автоматизировать ряд действий, выполняемых в настоящее время вручную или с помощью примитивных средств автоматизации. Результатами автоматизации являются значительная экономия временных ресурсов, а также исключение ошибок на стадии обработки информации, обусловленных человеческим фактором.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УСТРОЙСТВО СНЯТИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДОВ

Трофимов А.И. – д-р техн. наук, профессор
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия
Минин С.И. – канд. техн. наук
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия

Как известно, разрушение оборудования при длительной эксплуатации происходит в сварных соединениях за счет остаточных напряжений. Предложен метод и автоматизированное устройство снятия остаточных напряжений в сварных соединениях технологического оборудования.

Воздействие ультразвуковых волн на сварное соединение приводит к выравниванию напряжений, уменьшению размера зерен металла, выносу шлака и газов на поверхность. Непосредственным результатом воздействия ультразвуковых колебаний на кристаллизующийся металл являются структурные изменения, происходящие в сварном шве. Наблюдается образование мелкого равноосного зерна, повышение однородности сварного соединения. Процессы кавитации, приводящие к возникновению в расплаве вблизи фронта кристаллизации интенсивных ударных волн, являются одной из причин разрушения растущих кристаллов, уменьшению их размера. Акустические потоки вызывают перемешивание расплава, оказывают влияние на распределение температурного поля в нем и выравнивание температурных напряжений. Структурные изменения, происходящие в сварном соединении, определяются процессами, протекающими в расплаве и двухфазной зоне, – зарождением кристаллов, их диспергированием, процессами перемешивания, которые связаны с развитием в расплаве кавитации и акустических потоков и зависят от свойств свариваемых сталей. Снятие остаточных напряжений производится в процессе сварки.

Автоматизированное устройство состоит из двух ультразвуковых преобразователей, двух генераторов ультразвуковых колебаний, устройства

управления, направляющей, механизма синхронизации перемещения со сварочным автоматом, устройства контроля параметров ультразвуковой волны в металле, АЦП, ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трофимов А.И., Минин С.И., Трофимов М.А.* Методы контроля и снятия напряжений в основном металле и сварных соединениях конструкций АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 272 с.

2. *Трофимов А.И., Минин С.И.* Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях металлов. – Патент № 2281192 C2 B23K 28/02. – 10 августа 2006 г.

3. *Трофимов А.И., Минин С.И.* Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях циркуляционных трубопроводов АЭС и ТЭС. – Патент № 2268312 C2 B23K 28/02. – 20 января 2006 г.

4. *Трофимов А.И., Минин С.И.* Способ повышения однородности структуры металла сварных соединений аустенитных сталей. – Патент № 2270441 C1 G01N 29/04. – 20 февраля 2006 г.

5. *Трофимов А.И., Минин С.И.* Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях металлов. – Патент № 2280547 C2 B23K 28/00, C21D 9/50. – 27 июля 2006 г.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКИ

Трофимов А.И. – д-р техн. наук, профессор
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия
Минин С.И. – канд. техн. наук
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия
Каленишин М.Г. – Обнинский государственный технический
университет атомной энергетики, г. Обнинск, Россия

В проблемной лаборатории Обнинского государственного технического университета разработана уникальная автоматизированная ультразвуковая система контроля элементов металлоконструкций на основе фазированной решетки. Фазированная решётка – многоэлементный пьезопреобразователь, состоящий из N-го количества пьезоэлементов, каждый из которых возбуждается ВЧ сигналами с задержкой относительно друг друга. Изменяя с помощью специальных электронных блоков задержки время возбуждения каждого элемента решётки, можно изменять угол ввода ультразвукового луча преобразователя в целом.

В представленной системе используется линейная фазированная решетка. Такой преобразователь состоит из узких пьезопластин, расположенных вдоль прямой линии, и даёт возможность управлять его диаграммой направленности в одной полуплоскости XY (рис. 1).

В ходе разработки системы авторами была создана математическая модель линейной фазированной решетки, в рамках которой были выбраны оптимальные геометрические размеры конструкции датчика, исследованы лучевые диаграммы направленности, смоделировано поле фазированной решетки (рис. 2), создано прикладное программное обеспечение.

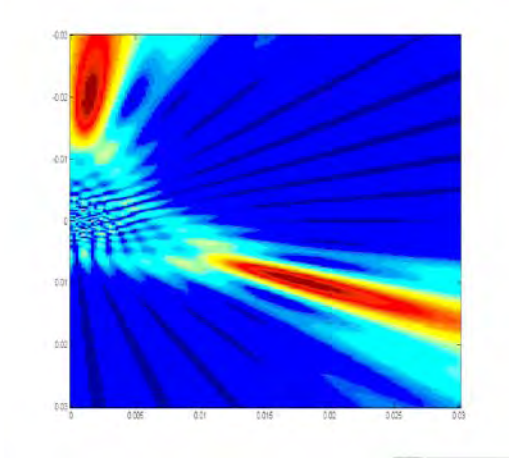


Рис. 1

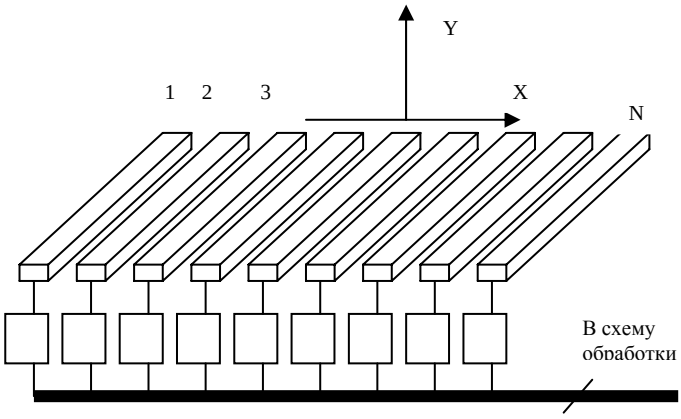


Рис. 2

Новизной системы является то, что для обработки сигналов фазированной решетки применен новый алгоритм излучения и приема ультразвука, при котором на прием и передачу подключается одна из N-го количества пьезопластин преобразователя. Это позволяет упростить электронную схему обработки в сравнении с традиционной, при которой в процессе передачи и приема включаются с малой задержкой сразу все элементы решетки.

Система представляет собой программно-аппаратный комплекс, в состав которого входят промышленный компьютер с платой АЦП и специальным программным обеспечением, многоканальный дефектоскоп с возможностью коммутации каналов.

Для применения данного комплекса была разработана методика сканирования стенок трубопроводов и каналов реактора АЭС, которая позволяет значительно сократить время контроля и повысить достоверность измерений.

Ультразвуковая система с фазированной решеткой по сравнению с традиционными дефектоскопами, где применяются обычные прямые, наклонные и совмещенные датчики имеет ряд преимуществ. Возможность управления углом ввода и фокусировкой луча фазированной решетки позволяет значительно ускорить и автоматизировать процесс контроля металлов. Во многих случаях при этом удается вообще избежать механического перемещения датчика, что повышает точность измерений, появляется возможность с большой точностью определять местоположение, размеры и ориентацию дефектов. Использование таких преобразователей дает возможность перенести часть работы, связанной с «механикой» в методах ультразвукового контроля, на электронику. Помимо управления углом ввода луча, при достаточно большом количестве элементов

решётки, можно использовать возможность мультиплексированиия – подключение к схеме лишь части элементов решётки. Мультиплексирование луча может использоваться для уменьшения количества сканов при контроле широкой поверхности. Обычные методики с традиционными датчиками требуют многократных проходов, для того чтобы добиться требуемого пространственного разрешения. Технология фазированных решеток позволяет быстро переключать луч вдоль широкого датчика, сканируя за один раз несколько сантиметров, тем самым уменьшая количество механических проходов.

Фазированная решётка может применяться для контроля сварных швов. При этом вместо перемещения по двум координатам датчик механически перемещается по одной координате, что позволяет увеличить скорость контроля в 10 и более раз. Луч переключается в пределах датчика и его фокусное расстояние динамически регулируется для оптимальной фокусировки на линии сварного шва все время контроля. Так как угол луча и его фокусное расстояние управляются программным обеспечением, то очень просто отрегулировать контроль для различных материалов, толщин и профилей шва.

Кроме того, фазированные решётки из-за особенностей их работы позволяют выявлять дефекты, которые обычными методами невозможно определить.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Трофимов А.И. – д-р техн. наук, профессор
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия
Минин С.И. – канд. техн. наук
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия

Сегодня одной из актуальных технических проблем является акустическая диагностика напряженно-деформированного состояния объекта, использующая для своих целей распространяющиеся в среде упругие волны. Акустическая диагностика является одним из методов неразрушающего контроля, позволяющим обнаруживать дефекты в эксплуатируемых изделиях, осуществлять контроль за целостностью материала, а также определять напряженно-деформированное состояние объекта контроля. За основу берутся нелинейные акустические эффекты, возникающие в деформированном теле. Под этим подразумеваются эффекты, возникающие в твердом теле при распространении и взаимодействии в нем звуковых, в частности – ультразвуковых, волн. Нас интересуют макроскопические свойства, поскольку они определяют изменение скорости распространения малых возмущений в деформированных телах. Нелинейное взаимодействие упругих волн или же рассеяние звука на звуке возможно на всех типах волн и обусловлено не только нелинейной упругостью

твердого тела, но и наличием в реальной структуре микротрещин, точечных дефектов, остаточных напряжений. Причем амплитуда генерируемой гармоники в контролируемой ультразвуком структуре зависит от величины нагрузки, направления приложенного напряжения и времени его воздействия. Таким образом, по параметрам генерируемых в материале гармоник можно контролировать как структуру материала, так и величину действующей нагрузки. Однако практического применения данный эффект не нашел. Это связано с тем, что амплитуда генерируемых гармоник составляет менее одного процента от амплитуды сигнала на основной частоте; частота гармоник составляет десятки мегагерц, что ведет к их быстрому затуханию.

Существует направление акустоупругости, позволяющее при статических нагрузках определять напряженно-деформированное состояние объекта контроля, которое находит широкое применение и является весьма перспективным для неразрушающего контроля. Его эффект заключается в том, что скорость поляризационных волн, распространяющихся в твердом теле, зависит от величины напряжения, направления колебания частиц (поляризации) и от направления распространения волны. Скорость поляризационных сдвиговых волн, распространяющихся в напряженном твердом теле, является непостоянной и зависит от величины напряжения, направления поляризации и распространения волны. Акустоупругость позволяет применять методы контроля, основанные на способах измерения скорости звука. Этот метод по сравнению с рентгеновским, тензометрическим, голографическим и другими методами имеет ряд преимуществ:

– возможность измерения не только поверхностных напряжений, но и напряжений в объеме материала;

– измерение остаточных напряжений;

– оперативность контроля;

– достаточно высокая разрешающая способность;

– возможность проведения измерений непосредственно на контролируемых объектах в процессе эксплуатации.

Для учета акустоупругих коэффициентов существует матричная методология, суть которой заключается во введении матриц скоростей υ_{ik}, относительного изменения скорости $\delta\upsilon_{ik}$ и времени $\delta\tau_{ik}$ распространения ультразвуковых волн, в установлении зависимостей $\delta\upsilon_{ik}$ и $\delta\tau_{ik}$ от величин, характеризующих внешние воздействия (механические напряжения σ_{ln}, изменение температуры ΔT, магнитное H_i и E_i электрическое поля), определении вида коэффициентов, связывающих искомые величины. Необходимо также определять соответствующие поправки к скорости и поляризации упругих волн, нелинейных по деформации. Наиболее простой вид матрица υ_{ik} будет иметь для ненапряженного состояния υ_{ik}^0 и для одноосно-напряженного состояния (нагрузка приложена вдоль одной из осей):

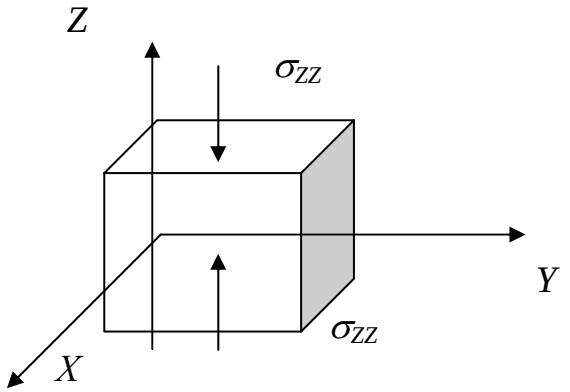
$$\upsilon_{ik} = \begin{cases} \upsilon_l, i = k; \\ \upsilon_t, i \neq k. \end{cases}$$

Обозначения скоростей в матрицах (4), (3) приведены к (2), υ_l и υ_t – скорости продольных и сдвиговых волн в недеформированной среде.

Для расчета также удобно вводить матрицы абсолютного и относительного изменения скорости и времени распространения $\Delta\upsilon_{ik}$, $\delta\upsilon_{ik}$, $\Delta\tau_{ik}$, $\delta\tau_{ik}$:

$$\delta\upsilon_{ik} = \begin{cases} \dfrac{\upsilon_{ik} - \upsilon_{ik}^0}{\upsilon_l} = \dfrac{\Delta\upsilon_{ik}}{\upsilon_l}, i = k, \upsilon_{ik}^0 = \upsilon_l; \\ \dfrac{\upsilon_{ik} - \upsilon_{ik}^0}{\upsilon_t} = \dfrac{\Delta\upsilon_{ik}}{\upsilon_t}, i \neq k, \upsilon_{ik}^0 = \upsilon_t. \end{cases}$$

Линейное одноосное сжатие



$$\sigma_{\ln} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{ZZ} < 0$$

$$\delta\upsilon_{xx} = \delta\upsilon_{yy} = -\beta_{xx}\sigma_{zz}$$

$$\delta\upsilon_{zz} = -\beta_{zz}\sigma_{zz}$$

$$\delta\upsilon_{zx} = \delta\upsilon_{zy} = -\beta_{zx}\sigma_{zz}$$

$$\delta\upsilon_{xz} = \delta\upsilon_{yz} = -\beta_{xz}\sigma_{zz}$$

$$\delta\upsilon_{xy} = \delta\sigma_{yx} = -\beta_{xy}\sigma_{zz}$$

$$\delta\Delta\upsilon_x = \left(\beta_{xz} - \beta_{xy}\right)\sigma_{zz} = \\ = \delta\upsilon_{xy} - \delta\upsilon_{xz}$$

Для случая одноосных напряжений существуют соотношения $\delta\upsilon = \beta\sigma$ и $\delta\tau = \alpha\sigma$. Коэффициенты α и β различны для различных типов волн и могут быть названы соответственно акустоупругими коэффициентами скорости и времени. Выше указаны изменения скоростей по направлению осей координат относительно нагрузки.

В лаборатории кафедры АкиД института ИАТЭ проводились и проводятся исследования с прозвучиванием материалов ультразвуком (частотой 5 МГц) для определения напряженного состояния материалов. В проводимых экспериментах использовались датчики с рабочей частотой 5 МГц. В экспериментах исследуемый образец (труба, пластина) сжимался с помощью гидравлического

пресса, причем усилие доводилось до сотен мегапаскалей. Сжатие проводилось как продольное, так и поперечное (для трубы). В ходе экспериментов были сняты данные изменения времени прихода, а следовательно, и скоростей, продольных и поперечных волн при изменении нагрузки.

В приведенных ниже графиках показано изменение времени прохождения ультразвуковых волн в зависимости от нагрузки.

Таблица 1

Р, Мпа	2	4	6	8	10
t1-t2, мкс	0,35	0,55	0,65	0,8	0,8

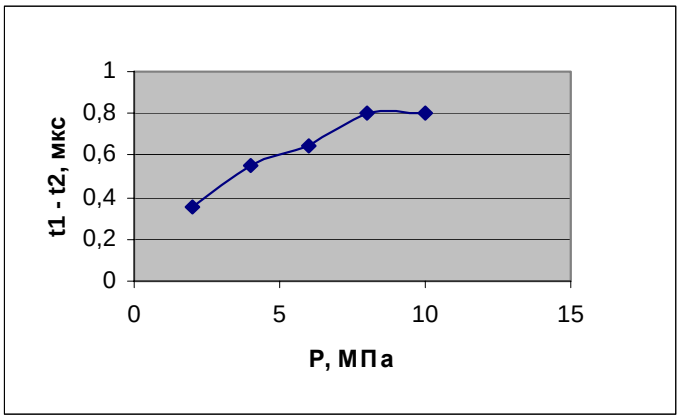


Рис. 1. Изменение времени распространения поперечной ультразвуковой волны в цирконии

Таблица 2

Р, Мпа	2	4	6	8	10
t1 - t2, мкс	0	0,1	0,15	0,18	0,19

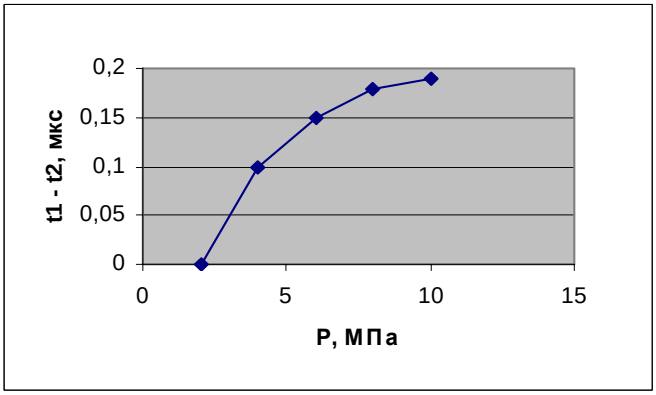


Рис. 2. Изменение времени распространения продольной ультразвуковой волны (отражение от стенки)

Из приведенных выше зависимостей видно, что изменение фиксируемо. Из проведенной серии измерений, а также принимая во внимание погрешность измерений, можно сделать вывод о линейной зависимости изменения времени распространения ультразвуковых волн. Это существенно упрощает

методику измерения напряженного состояния. К тому же, как видно из рис. 3, материалы могут реагировать по-разному – в зависимости от текстуры (сравните с рис. 1).

Таблица 3

Р, Мпа	2	4	6	8	10
t1-t2, мкс	0,2	0,35	0,55	0,7	0,75

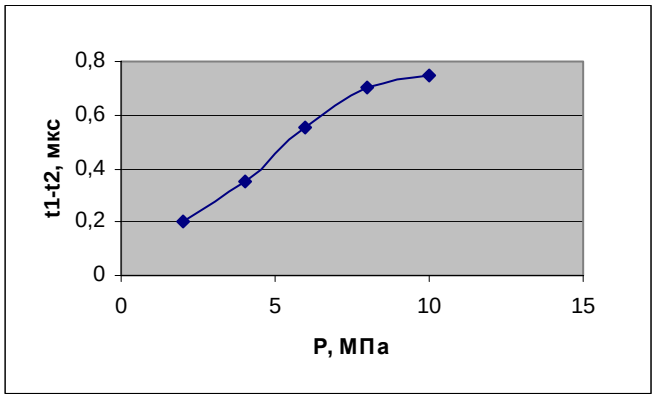


Рис. 3. Изменение времени прохождения поперечной ультразвуковой волны в нержавеющей стали

Применение метода ультразвукового контроля позволит контролировать не только напряженное состояние технологических материалов, но и целостность, определяя трещины и дефекты, что делает применение данного метода очень эффективным.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Трофимов А.И. – д-р техн. наук, профессор
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия
Минин С.И. – канд. техн. наук
Обнинского государственного технического университета
атомной энергетики, г. Обнинск, Россия

Ультразвуковой контроль является основным методом контроля состояния металла оборудования. В настоящее время требования к нему возросли. Необходимы одновременно высокая точность и высокая производительность контроля. Комплексы диагностики должны быть малогабаритными, чтобы была возможность контролировать конструкции, доступ к которым ограничен. Помимо требования быстродействия системы диагностики должны предоставлять данные для оценки в легкоинтерпретируемом виде, должны точно определять произвольно-ориентированные дефекты на различной глубине, иметь повышенную чувствительность для определения мелких дефектов, чтобы заранее прогнозировать появление критических дефектов. В системах

ультразвукового контроля применяются пьезоэлектрические преобразователи различных типов: прямые, наклонные, раздельно-совмещенные, фокусирующие и другие. Для выявления дефектов различной формы, размеров, ориентации и глубины залегания применяют одновременно несколько типов преобразователей. Часто конструктивно датчики объединяются в блок, непосредственно предназначенный для контакта с объектом. Количество датчиков в таком блоке около десяти, но может быть в два-три раза больше. Расположение датчиков и схема прозвучивания среды зависят от методики контроля. Для сканирования всего объема контролируемой среды нужно механически перемещать блок датчиков по поверхности объекта контроля, что накладывает ограничения на точность и скорость диагностики. Значительно уменьшить ошибку позиционирования блока датчиков, повысить его скорость передвижения, точность измерений, увеличить возможность контроля труднодоступных изделий и предметов сложной геометрической формы можно, применив универсальный датчик – фазированную решетку.

Прямые и наклонные преобразователи формируют плоскую волну, что означает одинаковую фазу возбуждающего сигнала в пределах плоскости датчика. Ультразвук от таких излучателей распространяется в среде в виде направленного луча. Для того чтобы уменьшить мертвую зону и повысить разрешающую способность используют фокусирующие преобразователи. Для фокусировки ультразвукового поля применяется метод фазирования, состоящий во введении заданного закона распределения фазы возбуждающего сигнала в пределах апертуры излучателя. Практически это достигается путем придания определенной формы, например сферической, активному элементу излучателя, или применением специальных акустических линз. Изменение и регулировка фазовых соотношений в пределах активной поверхности преобразователя позволяет существенно расширить его возможности.

На практике этого можно добиться, если разбить поверхность преобразователя на ряд отдельных элементов и ввести относительные фазовые сдвиги между электрическими сигналами, подаваемыми или снимаемыми с этих элементов. Такие преобразователи называются матричными или фазированными решетками. Используя соответствующий закон изменения фазы, можно сформировать волновой фронт любой требуемой формы. Это означает, что фазированные решетки могут выполнять функции всех выше рассмотренных преобразователей: прямых, наклонных, раздельно-совмещенных, фокусирующих.

Одномерная матрица пьезоэлементов, у которых ширина намного больше их длины, и которые расположены вдоль прямой линии эквидистанционно, называется линейной фазированной решеткой. Фазированные решетки могут иметь геометрию расположения элементов в виде двумерной матрицы, концентрических колец и других разнообразных геометрий. Сложность управления и стоимость системы фазирования и самой решетки возрастает пропорционально увеличению количества элементов в преобразователе. По этим

причинам на практике наиболее простыми в исполнении, и в то же время удобными для методов неразрушающего контроля, являются системы с линейными фазированными решётками. Такой преобразователь даёт возможность управлять его диаграммой направленности в одной полуплоскости XY (рис. 1).

Принцип работы линейной фазированной решетки заключается в том, что при прохождении в среде волны от элементов интерферируют между собой и образуют результирующий волновой фронт всего датчика. Интерференционная картина ультразвукового поля фазированной решетки целиком зависит от разницы фаз между возбуждающими сигналами на её элементах. В случае, если элементы возбуждаются отдельными импульсными радиосигналами, для получения желаемого волнового фронта они должны задерживаться относительно друг друга по определенным зависимостям, называемым фокальными законами.

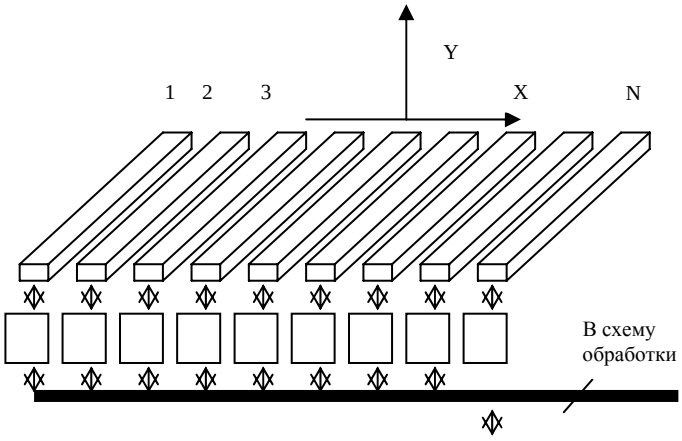


Рис. 1

Если задержки будут возрастать линейно от любого из крайних элементов или же их не будет вообще, то соответственно решетка будет работать так же, как наклонный или прямой одноэлементный датчик, то есть испускать в среду ультразвук в виде луча. Изменение задержек по элементам решетки нелинейно позволяет достигнуть эффекта фокусировки ультразвука. Изменение закона распределения задержек позволяет управлять углом ввода ультразвука, глубиной фокуса, размером фокусного пятна и толщиной ультразвукового луча. Величина задержки для каждого элемента зависит от апертуры фазированной решетки, типа волны, преломления луча, использования призмы. Фазированная решетка может работать как в режиме излучения ультразвука, так и в режиме его приема. В режиме приема эхо-сигналы принимаются с разными временами элементами решетки, задерживаются во времени в соответствии с фокальным законом, а затем суммируются вместе, для того чтобы сформировать один ультразвуковой импульс, который посылается на обработку. Результирующая сумма является А-сканом, который выделяет отклик из желаемой фокальной области и аттенюирует сигналы из других различных точек материала. При излучении высоковольтные импульсы определенной длины и с задержками,

определенными фокальными законами, распределяются по элементам решетки. При этом получающийся многокомпонентный ультразвуковой сигнал, распространяющийся от неё в среде, сталкивается с дефектом и возвращается назад, как при обычном контроле. При помощи электронного изменения задержек между элементами можно управлять с очень высокой скоростью волновым фронтом, что позволяет с высоким быстродействием сканировать ультразвуковым лучом по пространству.

Можно выделить три основных метода сканирования, осуществляемого фазированной решеткой: линейное, секторное и динамическая фокусировка по глубине. Во время линейного сканирования при одном и том же фокальном законе производится мультиплексирование активных элементов решетки. Сканирование выполняется при постоянном угле и вдоль длины датчика фазированной решетки группами активных элементов, называемых виртуальными апертурами датчика. При секторном сканировании производится сканирование при помощи фокусировки вдоль скан-линий, которые берутся под различными углами в секторе сканирования. Для построения полной картины области контроля скан-линии объединяются вместе в виде двумерного рисунка. Угловой сектор имеет различную величину. Начальный и конечный углы зависят от конструкции датчика, применяющейся призмы и типа волны. Динамической фокусировкой по глубине называется сканирование с различными фокальными глубинами. Электронное сканирование на порядок быстрее, чем механическое растровое сканирование обычными датчиками. Линейное сканирование применимо для коррозионного контроля, определения дефектов стенок и внутренних дефектов. При использовании призмы этим методом осуществляется контроль сварных швов поперечными волнами. При этом перемещение по двум координатам заменяется перемещением по одной, а скорость контроля возрастает в десятки раз.

Системы с фазированными решетками могут быть легко запрограммированы для выполнения традиционных методик ультразвукового контроля. В особенности это касается методов отражения и комбинированных методов: эхо-метода, тандемного метода, дельта метода, зеркально-теневого метода. При использовании фазированной решетки присущие этим методикам достоинства остаются такими, как при использовании обычных датчиков, но появляются дополнительные возможности, благодаря её способности изменять без перемещения датчика углы ввода и фокус ультразвука. Для точного определения положения, размеров и ориентации дефектов могут также использоваться традиционные методики контроля линейных и угловых характеристик дефекта, возможности которых существенно расширяются при использовании фазированных решеток. Фокусировка ультразвука повышает отношение сигнал/шум, что увеличивает чувствительность и позволяет определять более мелкие дефекты, чем при использовании обычных прямых и наклонных датчиков.

При использовании фазированной решетки широко используется возможность визуализации получаемых данных. Возможность легкой визуализации полученных данных является одним из главнейших достоинств фазированной решетки. Для её получения делают множественные А-сканы под различными углами, которые представляются в виде двумерного рисунка S-скана (рис. 2, *а*). Интенсивность принятого ультразвукового сигнала на нем может кодироваться разными тонами или цветами, что позволит четко определять дефекты. Кроме этого может применяться комбинация линейного и секторного сканирования для увеличения быстродействия и повышения достоверности измерений (рис. 2, *б*). При этом группы элементов фазированной решетки осуществляют секторное сканирование, а совокупность секторных сканов образует двумерную визуализационную картину. Применяя движение датчика по одной координате и одновременно секторное и/или линейное сканирование, легко получить трехмерный визуализационный рисунок, отражающий внутреннюю структуру всего объема контролируемого изделия (рис. 2, *в*).

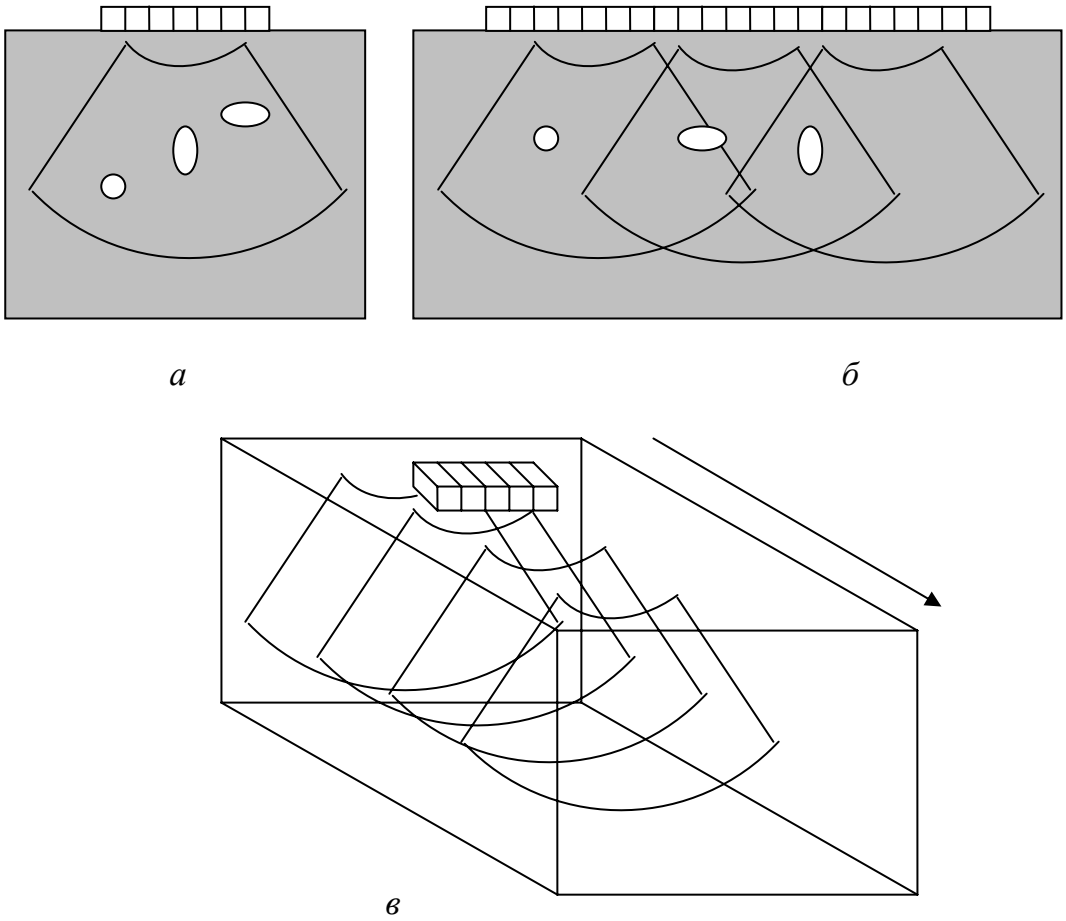


Рис. 2

В проблемной лаборатории Обнинского государственного технического университета разработана автоматизированная ультразвуковая система контроля элементов металлоконструкций на основе фазированной решетки.

В представленной системе используется линейная фазированная решетка. В ходе разработки системы авторами была создана математическая модель линейной фазированной решетки, в рамках которой были выбраны оптимальные геометрические размеры конструкции датчика. Оптимизация необходима для того, чтобы исключить нежелательные искажения структуры акустического поля – нежелательные боковые лепестки. Кроме этого были получены фокальные законы для вычисления необходимых задержек сигналов на элементах решетки.

Давление, создаваемое фазированной решеткой, согласно принципу Гюйгенса-Френеля, находится как суперпозиция от всех элементов. Для нахождения давления единичного элемента в плоскости XY применена аппроксимация, при которой элемент шириной a разбивается на бесконечно малые элементарные источники шириной Δx.

Поле звукового давления в точке $P(r, \theta)$ от элемента с шириной a находится как суперпозиция полей, создаваемых множеством бесконечно малых элементов dx:

$$p(r,\theta,t)=\int_0^a dp=\sqrt{\frac{p_0}{r}}\,\frac{\sin\left((ka\sin\theta)/2\right)}{(k\sin\theta)/2}\exp\left(-j\frac{ka\sin\theta}{2}\right)\exp\left[j(\omega t-kr)\right], \quad (1)$$

где p – давление, как функция от времени t и радиуса r в цилиндрических координатах; θ – угол между нормалью датчика и вектором r; k – волновое число; a – ширина элемента; p_0 – давление у поверхности датчика; ω – круговая частота.

Согласно принципу Гюйгенса поле для фокусировки и управления углом ввода луча есть суперпозиция полей, создаваемых единичными элементами:

$$p(r,\theta,t)=\left(\frac{p_0}{r}\right)^{1/2}\frac{\sin\left(\frac{ka\sin\theta}{2}\right)}{\frac{ka\sin\theta}{2}}\exp\left(-j\frac{ka\sin\theta}{2}\right)\times$$

$$\times\left(\sum_{n=0}^{N-1}\exp\left[j\left(An+Bn^2\right)\right]\right)\exp\left[j(\omega t-kr)\right], \quad (2)$$

где $A=\dfrac{c(N-1)}{2F\tan^2\theta_s}\Delta\tau_0^2-\omega\Delta\tau_0+kd\sin\theta$; $B=\dfrac{c\Delta\tau_0^2}{2F\tan^2\theta_s}$.

В формуле (2) F – фокусное расстояние; c – скорость ультразвука в среде, θ_s – угол отклонения луча; N – количество элементов решетки; $\Delta\tau_0$ – задержка между соседними элементами в случае, если ультразвуковой луч нефокусирован:

$$\Delta\tau_0=\frac{d\sin\theta_s}{c}. \quad (3)$$

Давление линейной фазированной решетки для режима управления лучем без фокусировки вычисляется по формуле

$$p(r,\theta,t)=\sqrt{\frac{p_0}{r}}\,\frac{\sin((ka\sin\theta)/2)}{(k\sin\theta)/2}\,\frac{\sin[((\omega\Delta\tau_0-kd\sin\theta)/2)N]}{\sin((\omega\Delta\tau_0-kd\sin\theta)/2)}\exp\left(-j\frac{ka\sin\theta}{2}\right)\times$$

$$\times\exp\left[-j\left(\frac{\omega\Delta\tau_0-kd\sin\theta}{2}\right)(N-1)\right]\exp[j(\omega t-kr)]. \qquad (4)$$

Фокальный закон, применимый как для режима управления лучем, так и для фокусировки, записывается формулой

$$\Delta\tau_n=\frac{d\sin\theta_s}{c}+\frac{1}{2}\cos^2\theta_s\frac{d^2}{cF}(N-2n). \qquad (5)$$

Для оценки свойств фазированной решетки применяется характеристика направленности, которая определяется как давление $p(r,\theta,t)$ в дальнем поле под любым произвольным углом θ, нормированное к давлению $p(r,\theta_s,t)$ при регулированном угле θ_s [2]:

$$H(\theta)=\left|\frac{p(r,\theta,t)}{p(r,\theta_s,t)}\right|. \qquad (6)$$

На рис. 3 представлена характеристика направленности линейной фазированной решетки с параметрами, близкими к оптимальным. Есть один главный пик, соответствующий направлению излучения ультразвука, и нет дополнительных пиков в других направлениях.

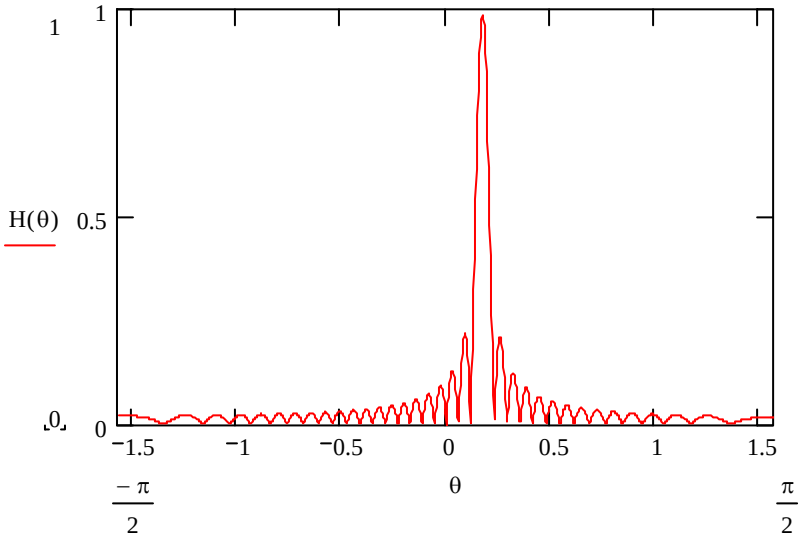


Рис. 3.

Новизной разработанной системы является то, что для обработки сигналов фазированной решетки применен новый алгоритм излучения и приема ультразвука, при котором на прием и передачу подключается одна из

N-го количества пьезопластин преобразователя. Это позволяет упростить электронную схему обработки в сравнении с традиционной, при которой в процессе передачи и приема включаются с малой задержкой сразу все элементы решетки.

Система представляет собой программно-аппаратный комплекс, в состав которого входят промышленный компьютер с платой АЦП и специальным программным обеспечением, многоканальный дефектоскоп с возможностью коммутации каналов.

Для применения данного комплекса была разработана методика сканирования стенок трубопроводов и каналов реактора АЭС, которая позволяет значительно сократить время контроля и повысить достоверность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *А.И. Трофимов, В.Д. Балдин, М.В. Григорьев*. Диагностика и ремонт конструкций активной зоны энергетических ядерных реакторов РБМК-1000. – М.: Энергоатомиздат, 2001.

2. *М.Д. Смарышев*. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостороение, 1973.

АДАПТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета
Гонжал М.И. – аспирант кафедры «Электротехника»
Волгоградского государственного технического университета

В настоящее время в ведущих отраслях промышленности при переходе на новые технологические нормы и повышении требований к качеству выпускаемой продукции особое внимание уделяется интеллектуальным измерительным системам. Наиболее перспективными в этой области являются системы, использующие оптико-электронные измерительные преобразователи.

В области контроля и диагностики технического состояния транспортных средств актуальна задача определения светового коэффициента пропускания стекол. Службами ГИБДД и автосервисами широко используются различные приборы, такие, как «ЛЮКС–ИС2», «АКЛ–2М» и «БЛИК».

Принцип определения коэффициента пропускания прозрачного материала описывается соотношением

$$\tau(\lambda) = \Phi_1(\lambda)/\Phi_2(\lambda), \qquad (1)$$

где $\tau(\lambda)$ – коэффициент пропускания стекла; $\Phi_1(\lambda)$ – величина потока, прошедшего через стекло; $\Phi_2(\lambda)$ – величина потока, упавшего на стекло.

На рис. 1 показана обобщенная структурная схема определения коэффициента пропускания прозрачных материалов (стекол), включающая источник излучения (ИИ), исследуемое стекло (С), функционально-преобразующее

устройство (ФПУ), устройство первичной обработки информации (УПО) и устройство отображения информации (УОИ).

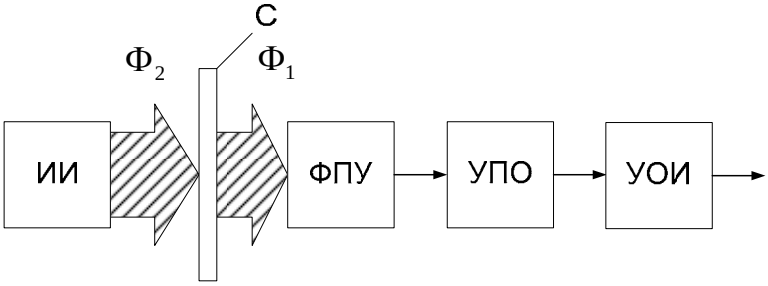


Рис. 1. Обобщенная структурная схема устройства для определения коэффициента пропускания стекла

Задача измерения коэффициента пропускания сводится к преобразованию оптических сигналов в эквивалентные им электрические и определению их отношения. Представленному на рис. 1 устройству присущи недостатки, а именно: нестабильность характеристик элементов излучателя и фотоприемника и фоновая засветка являются источниками аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности измерения. Так, например, использующие этот принцип действия приборы контроля коэффициента пропускания автомобильных стекол не обеспечивают необходимой точности контроля.

На рис. 2 показана обобщенная структурная схема устройства, реализующая параллельный двухканальный метод измерения. Этот метод позволяет исключить влияние нестабильности потока излучения и влияние среды за счет их симметричного воздействия на измерительные каналы.

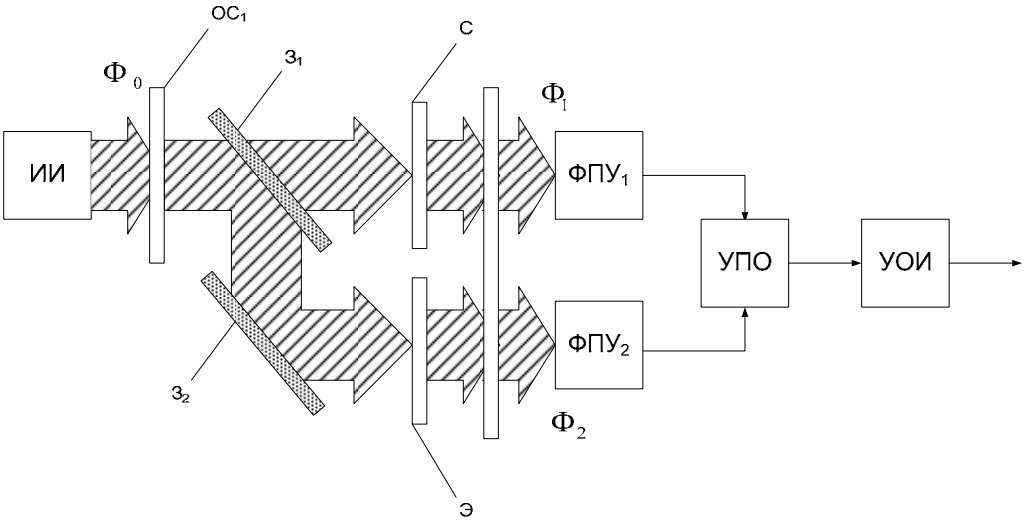


Рис. 2. Обобщенная структурная схема устройства с параллельными каналами преобразования сигналов:

ИИ – источник излучения; ОС – оптическая среда; С – стекло; Э – эталон; З – зеркало; ФПУ – функционально-преобразующее устройство; УПО – устройство первичной обработки информации; УОИ – устройство отображения информации

В этом устройстве исключается мультипликативная составляющая погрешности, если чувствительности фотоприемников равны и постоянны, что практически очень сложно обеспечить. Для уменьшения этой составляющей погрешности необходимо использовать фотоприемники, выполненные по единой технологии и имеющие общую конструкцию.

Наилучшими метрологическими характеристиками обладают фотометрические приборы, использующие двухканальный метод с временным разделением сигналов и общий измерительный канал.

Для реализации операции деления сигналов и выхода на рабочую точку диапазона измерений целесообразно использовать логометрическое устройство с блоком автоматической регулировки усиления [2]. На рис. 3 показана обобщенная структурная схема оптико-электронных измерительных преобразователей с автоматической регулировкой усиления. Для случая, когда амплитуда импульсов одной последовательности всегда больше амплитуды другой последовательности, было разработано более простое логометрическое устройство [3] без синхронизации.

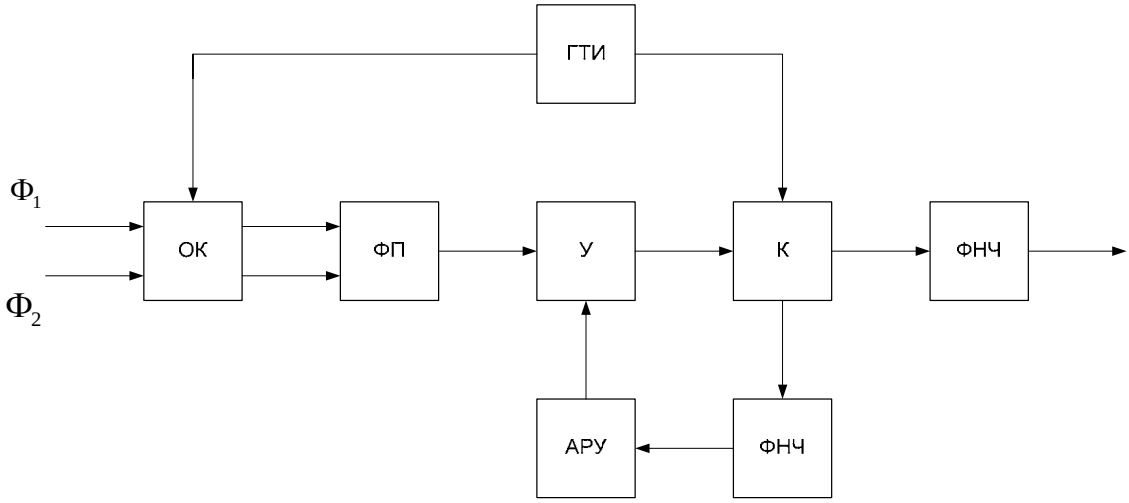


Рис. 3. Обобщенная структурная схема оптико-электронных измерительных преобразователей с автоматической регулировкой усиления:

ОК – оптический коммутатор; ФП – фотоприемник; У – усилитель; ГТИ – генератор тактовых импульсов; АРУ – блок автоматической регулировки усиления; К – коммутатор; ФНЧ – фильтр низкой частоты

Приведенные выше методы коррекции мультипликативных составляющих погрешностей оптико-электронных приборов применимы для фотоприемников с линейными характеристиками. Однако некоторые фотоприемники, например фоторезисторы, имеют нелинейные характеристики. Это является существенным недостатком фоторезисторов, ограничивающим область их применения. Если для проектируемого прибора в качестве фотоприемника по основным характеристикам наиболее подходит фоторезистор или другой фотоприемник с нелинейной характеристикой, то необходимо выбирать

участок характеристики с минимальной нелинейностью. В этом случае будет получен наибольший эффект при коррекции мультипликативной составляющей погрешности.

На рис. 4 представлена функциональная схема прибора для измерения коэффициента пропускания стекла; на рис. 5 – временная диаграмма сигналов прибора.

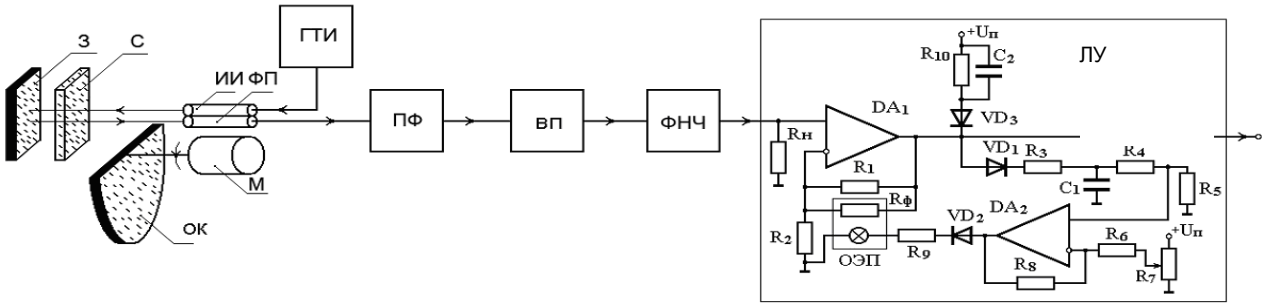


Рис. 4. Функциональная схема прибора

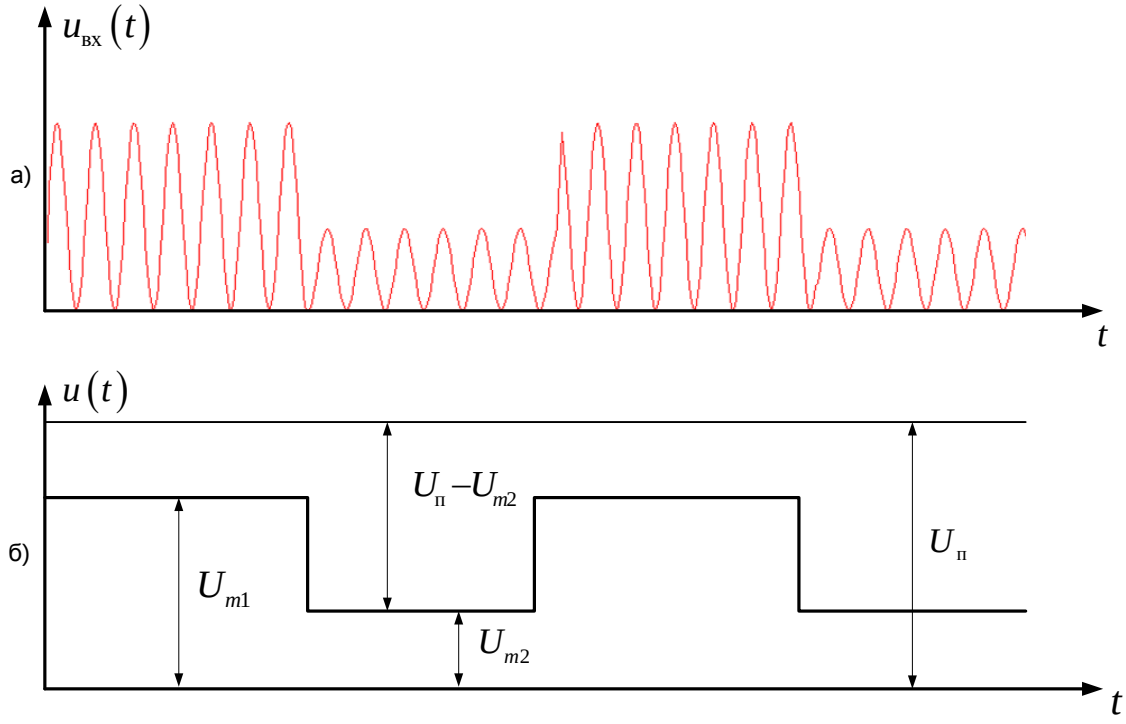


Рис. 5. Временная диаграмма сигналов прибора

Разработанное устройство работает следующим образом.

Источник светового излучения (ИИ), подключенный к генератору тактовых импульсов (ГТИ), направляет модулированный поток излучения по оптическим путям рабочего и эталонного каналов. Модуляция оптического потока излучения, осуществляемая ГТИ, позволяет уменьшить аддитивную

составляющую погрешности. Оптический зеркальный модулятор – коммутатор (ОК) выполнен в виде дискового обтюратора с зеркальной поверхностью и углом раскрытия 180°. Оптический коммутатор в течение одного полупериода отражает поток излучения источника (ИИ) непосредственно на фотоприемник (ФП). В течение другого полупериода (ОК) пропускает поток излучения через исследуемое стекло (С), а плоское зеркало (З) еще раз через стекло (С) направляет поток на фотоприемник (ФП). Один из оптических каналов, проходящий через стекло, является рабочим, а другой – эталонным.

Импульсы потока излучения преобразуются приемником излучения (ФП) в электрический сигнал $u_{вх}(t)$ (рис. 5, *а*), который фильтруется полосовым фильтром (ПФ), настроенным на частоту модуляции. Затем сигнал поступает на выпрямитель (ВП) и далее фильтруется фильтром низких частот (ФНЧ). Сигнал с фильтра низких частот (рис. 5, *б*) поступает на логометрическое устройство (ЛУ), которое представляет собой стабилизатор амплитуды одной последовательности импульсов. Величина отношения амплитуд двух последовательностей (рис. 5, *б*) определяется по амплитуде нестабилизированных импульсов другой последовательности. Стабилизатор логометрического устройства представляет собой усилитель фототока (DA_1) с блоком автоматической регулировки усиления, содержащим амплитудный детектор (VD_1, R_3, C_1), усилитель (DA_2) и оптоэлектронную пару (ОЭП). Усилитель (DA_2) выполняет также функцию элемента сравнения сигналов с амплитудного детектора и с задающего устройства R_7. Блок автоматической регулировки усиления обеспечивает стабильность амплитуды импульсов U_{m1} на выходе усилителя фототока (DA_1) за счет управления коэффициентом усиления, который определяется выражением

$$K_0 = R_1'/R_2 + 1, \qquad (2)$$

где $R_1' = R_1 R_ф/(R_1 + R_ф)$ – сопротивление обратной связи усилителя фототока.

При изменении амплитуды сигнала U_{m1}, на выходе амплитудного детектора (VD_1, R_3, C_1), подключенного общей точкой к отрицательной шине питания, образуется постоянное напряжение, изменение которого с помощью оптоэлектронной пары управляет коэффициентом усиления усилителя фототока за счет шунтирования резистора R_1 таким образом, чтобы величина импульса на выходе усилителя фототока оставалась постоянной. Амплитудный детектор (VD_3, R_{10}, C_2), подключенный общей точкой к положительной шине питания преобразует впадину общей последовательности импульсов в постоянное напряжение, по которому определяется отношение сигналов, поскольку при $U_{m2}/U_{m1} = K$ и $U_{m1} = \text{const}$ $K = cU_{m2}$. Использование общего измерительного канала в разработанном приборе позволяет уменьшить мультипликативную составляющую погрешности измерения. Прибор может быть включен в состав ИИС как один из структурных блоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шилин, А.Н.* Цифровой прибор для контроля коэффициента пропускания стекол наземного транспорта / *А.Н. Шилин, М.И. Гонжал* // Приборы. – 2005. – № 7. – С. 16-19.

2. *Шилин, А.Н.* Оптоэлектронные логометрические измерительные преобразователи // Датчики и системы. – 2003. – № 5. – С. 10-14.

3. Патент РФ № 2017064, МКИ G 01 B 21/02. Оптико-электронное устройство для измерения размеров нагретых изделий / *А.Н. Шилин*. Опубл. 30.07.94, Бюл. № 14.

4. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов / *Якушенков Ю.Г.* – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Логос, 1999 – 480 с.

5. Расчет фотоэлектрических цепей / Под ред. *С.Ф. Корндорфа*. – М.: Энергия, 1967.

ДОСТОВЕРНОСТЬ АНАЛОГОВОЙ И ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В АСУТП

Севастьянов Б.Г. – доцент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

В АСУТП уделяется большое внимание достоверности входной информации. В докладе рассматриваются алгоритмы контроля достоверности входной аналоговой и дискретной информации в автоматизированных системах контроля и регулирования.

Разработаны алгоритмы, на основе которых реализованы программные блоки проверки на достоверность входной информации как по аналоговому, так и по дискретному каналу. По аналоговому каналу производится анализ значения сигнала на обрыв, выброс или провал. По дискретному каналу распознаются следующие ситуации: «дребезг» и случайное кратковременное исчезновение сигнала. Под «дребезгом» понимают случайное кратковременное появление логической единицы в дискретном канале. На рис. 1 графически указаны эти ситуации.

Основная задача блока – не допустить, чтобы ложное значение параметра поступило в систему автоматического контроля и регулирования. Зная инерционность ОУ по данному измерительному (аналоговому) каналу, задают предельный порог (А) скачка значения параметра за единицу времени (например, за одну секунду). Примем следующие обозначения: X_{i-1} – предыдущее значение параметра; X_i – текущее значение параметра; А – пороговое значение; X_k – текущее значение параметра на выходе блока; X_{k-1} – предыдущее значение; D_k – сигнал отказа измерительного канала. В нормальном состоянии $|X_{i-1} - X_i| \leq A$ и $X_k = X_i$. Обрыв определяется следующим образом: если $|X_{i-1} - X_i| \geq A$ и $X_i \approx 0$, то эта ситуация воспринимается как обрыв. Если на входе АЦП имеем стандартный токовый сигнал от 4 до 20 mA, то после обрыва значение X_i будет отрицательным. Если произошёл обрыв, то значение на выходе блока остаётся неизменным $X_k = X_{k-1}$, и формируется дискретный сигнал отказа канала $D_k = 1$. В случае выброса или провала сигнала модуль

разности предыдущего и текущего значения больше порога $\left| X_{i-1} - X_i \right| \geq A$. В этом случае текущее значение считают недостоверным.

На рис. 1, *а* изображены значения аналогового сигнала до блока контроля и после него. Таким образом, при отказе или сбое в аналоговом канале на выходе блока сохраняется предыдущее достоверное значение параметра и формируется признак отказа канала.

Блок контроля на достоверность дискретной информации включает два таймера и триггер. Один таймер предназначен для блокировки прохождения случайного дискретного сигнала (защита от «дребезга»). Второй таймер задерживает сброс триггера в случае кратковременного исчезновения дискретного сигнала. На рис. 1, *б* показаны состояния дискретного сигнала до блока контроля и после него.

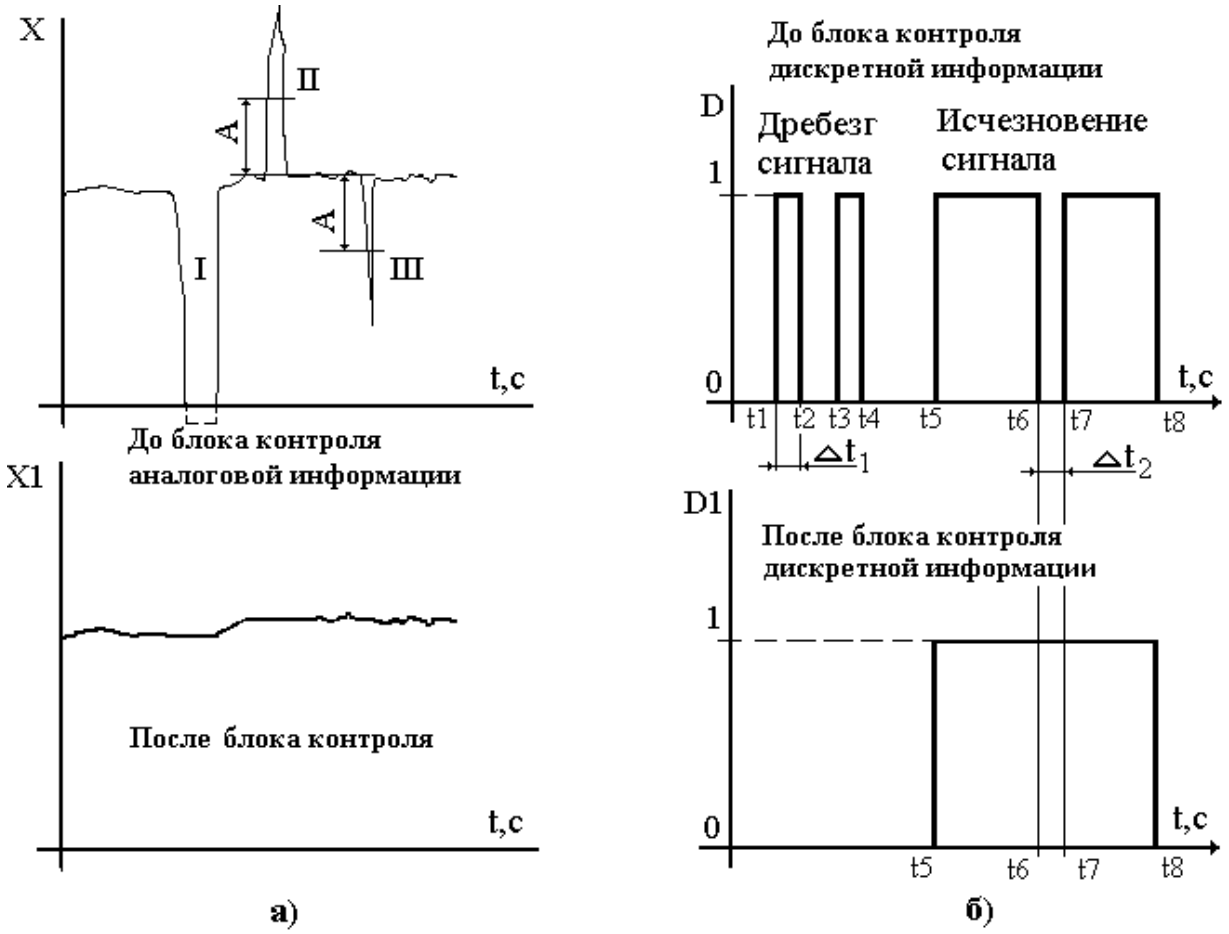


Рис.1. Возможные ситуации в аналоговом или дискретном канале:

I – обрыв; II – выброс; III – провал;

Δt_1, Δt_2 – малый интервал времени (от одной до трёх секунд);

X – аналоговый сигнал. D – дискретный сигнал

Программы блоков контроля написаны на языке FBD и отлажены на микропроцессорном контроллере Ремиконт Р-130.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ СБОРОЧНОГО СТАНКА

Иванов Л.Б. **–** канд. техн. наук, доцент
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ
Бурцев А.Г. **–** студент группы ВАУ-526
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ
Силаев А.А. **–** аспирант кафедры ВАЭ
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ
Саньков С.Г. – старший преподаватель
Волжского политехнического института (филиал) ВолгГТУ

Рассматриваются результаты экспериментального исследования двухдвигательного асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости станка для сборки напорно-всасывающих рукавов с металлической спиралью.

Экспериментальная установка содержит асинхронный двигатель АИР 80 А4, 1,1 кВт, 1420 об/мин, КПД 77 %, cos φ = 0,80, λ = 2,6, номинальный ток при 380 В – 2,7 А; преобразователь частоты Micromaster Vector и нагрузочный генератор постоянного тока П-21 с независимым возбуждением.

В результате экспериментального исследования получены графики механических характеристик при частотах тока в статоре 10, 25, 50 и 75 Гц для четырёх законов регулирования напряжения: линейного u/f регулирования; линейного u/f регулирования с контролем потокосцепления (с IR компенсацией); квадратичного u/f регулирования при малом моменте трогания; безсенсорного векторного регулирования частоты вращения.

При получении механических характеристик при u/f регулировании исследовано влияние на жёсткость характеристик степени компенсации скольжения.

По экспериментальным данным рассчитаны диапазон регулирования, скольжение, статическая точность при изменении момента сопротивления на валу электродвигателя в пределах ± 0,1 M_C.

Из результатов, полученных при моделировании динамических режимов работы электроприводов, видно, что режим u/f регулирования без применения обратной связи по скорости не удовлетворяет поставленным требованиям, так как имеет значительную статическую ошибку.

Динамические требования при применении замкнутой системы с ПИ-регулятором скорости удовлетворены. Перерегулирование переходного процесса не больше допустимого.

Из анализа графиков зависимостей $n_2 = f(n_1)$ при последовательном управлении видно, что точное соотношение скоростей ведущего и ведомого электроприводов не выполняется, и имеет место некоторая ошибка Δ_{max} = 0,923. Также в руководстве по эксплуатации преобразователей частоты указано, что аналоговый выход нельзя применять в качестве обратной связи. Поэтому более

желательным является использование параллельной системы управления соотношением скоростей электроприводов через задатчик шага.

Проанализировав графики динамических процессов, можно сделать следующие выводы.

В FCC режиме при приложении момента наблюдается просадка скорости и значительная статическая ошибка, которая тем больше, чем больше прилагаемый момент и меньше скорость вращения двигателя. Следовательно, режим FCC без датчика скорости не удовлетворяет технологическим требованиям. Для исключения статической ошибки следует применить компенсацию скольжения, установив параметр P071 = 80 %.

Векторный режим имеет значительную, но кратковременную статическую ошибку. Динамическая ошибка практически отсутствует. Следовательно, этот режим приемлем для обеспечения заданной точности.

Экспериментальные и теоретические исследования показали: для управления электроприводом дорна может быть предложено скалярное u/f регулирование с IR-компенсацией (FCC) и компенсацией скольжения или векторное управление без датчика скорости.

Для управления электроприводом каретки целесообразно применить скалярное u/f регулирование с датчиком скорости. При некотором снижении диапазона регулирования (до 50 : 1), за счёт введения в кинематическую цепь дополнительной ступени редуктора, возможно использование скалярного u/f управления с IR-компенсацией (FCC) и компенсацией скольжения (FCC при P071 = 80) или векторное управление без датчика скорости.

При экспериментальном исследовании динамических режимов сепаратной системы и при совместном управлении сепаратными системами использованы показания дисплея и осциллографа, состоящего из аналого-цифрового преобразователя ADB13×100 и персонального компьютера. Входы аналого-цифрового преобразователя подключались к аналоговым выходам преобразователей (A1OUT+; AOUT-), параметрированным так же, как дисплей.

Запись осциллограммы в файл персонального компьютера выполнялась в соответствии с инструкцией к аналого-цифровому преобразователю ADB13×100. Обработка осциллограмм выполнялась в среде MathCAD 12.

Для данной схемы были сняты осциллограммы:

1) изменение момента;

2) реакция скорости на приложение момента;

3) совместные разгоны и торможения двигателей при различных заданных временах.

ПУСКОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА RAG

Григорьянц Р.А. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградской сельскохозяйственной академии
Маликов Е.А. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Освоение новых промышленных районов страны и дальнейшее развитие существующих, расположенных в холодных зонах, во многом зависит от эффективности работы транспортных машин.

Эффективность использования автотракторной техники зависит от времени, затрачиваемого на вспомогательные операции [1, 2, 3, 4]. Одной из таких операций является пуск двигателя. Низкие температуры окружающего воздуха затрудняют пуск карбюраторных двигателей и особенно дизелей [1, 2, 3, 4]. Пуск, например, дизелей многих марок, не оборудованных специальными средствами [5, 6, 7, 8, 9], возможен при температуре не ниже –(10…15) ºС. Предел пуска некоторых двигателей ограничен более высокими температурами. Затраты времени на подготовку и пуск двигателей зимой достигают 1,0…1,5 ч. В связи с этим обеспечение надежного пуска поршневых двигателей внутреннего сгорания в нашей стране имеет большое значение. Хорошие пусковые качества двигателей облегчают эксплуатацию и повышают производительность автомобилей и тракторов.

Работа многих моторных и автомобильных заводов, а также научно-исследовательских организаций по улучшению пусковых качеств двигателей направлена, в основном, на создание специальных жидкостных или воздушных подогревателей, обеспечивающих общий предпусковой разогрев двигателей. Этот путь следует признать правильным. Однако экспериментальные работы, проведенные рядом отечественных научно-исследовательских институтов, опыт эксплуатации автомобилей и тракторов в суровых климатических условиях России, а также анализ современных тенденций зарубежного двигателестроения свидетельствуют о том, что необходимо разрабатывать и другие вспомогательные средства, облегчающие пуск поршневых двигателей внутреннего сгорания. К таким средствам относятся, прежде всего, легковоспламеняющиеся пусковые жидкости, которые вводятся в двигатель в виде воздушно-жидкостной эмульсии при помощи специальных приспособлений; маловязкие загущенные масла с пологой вязкостно-температурной характеристикой и системы, обеспечивающие провертывание коленчатого вала двигателя при низких температурах окружающего воздуха.

Пусковые качества двигателей внутреннего сгорания определяются конструкцией вспомогательных пусковых средств.

Исходя из климатических условий нашей страны необходимо обеспечить пуск двигателей при температурах окружающего воздуха до –(40…50) ºС, а в отдельных случаях и при более низких температурах.

В связи с тем, что пусковые качества многотопливных двигателей, работающих на бензине, хуже, чем карбюраторных двигателей и дизелей, задача обеспечения надежного пуска этих двигателей при низких температурах окружающего воздуха усложняется. Создание необходимых условий для успешного пуска двигателей зависит от ряда конструктивных и эксплуатационных факторов. К ним относятся: степень сжатия, степень износа, количество нагара и другие; число оборотов и продолжительность провертывания коленчатого вала, определяемые вязкостью моторного масла, мощностью стартера, емкостью и состоянием аккумуляторных батарей, длиной и сечением стартерного кабеля; свойства топлива и качества его распыливания; применение вспомогательных средств, облегчающих пуск.

Для карбюраторных двигателей, вследствие наличия постороннего источника зажигания, минимальное пусковое число оборотов сравнительно невелико. М.Л. Минкин [6], на основании анализа результатов испытаний, установил, что при минимальной температуре пуска –(10…20) ºС это число, в зависимости от особенностей двигателей, как правило, не превышает 50 в минуту (по другим данным 35…50 в минуту). На минимальное пусковое число оборотов влияет также число цилиндров двигателя: при температурах ниже –15 ºС у четырехцилиндрового двигателя МЗМА-407 это число оборотов выше, чем, например, у восьмицилиндровых двигателей ЗИЛ-130.

В дизелях посторонний источник зажигания отсутствует, и надежность самовоспламенения топлива определяется температурой конца сжатия, поэтому минимальное пусковое число оборотов у дизелей выше, чем у карбюраторных двигателей.

Среди дизелей лучшими пусковыми качествами обладают двигатели с непосредственным впрыском топлива, несколько хуже пусковые качества у двигателей с вихрекамерным смесеобразованием и самые плохие – у двигателей предкамерного типа.

Известен способ запуска дизельного поршневого двигателя с декомпрессионным механизмом путем проворачивания вала двигателя, впуска воздуха в цилиндры, его сжатия и подачи топлива.

При пуске двигателя прокручивание вала двигателя требует затраты значительных усилий на преодоление сопротивления воздуха, сжимаемого в цилиндрах. Для уменьшения этого сопротивления в период проворачивания вала двигателя цилиндры дизеля сообщаются с атмосферой, открывая выпускные, а иногда и впускные каналы на протяжении всего рабочего цикла. В результате давление воздуха в цилиндрах снижается, то есть дизель декомпрессируется.

При прокручивании вала декомпрессированный дизель постоянно нагревается, понижаются вязкость масла и сопротивление прокручиванию. Когда вал дизеля достигает достаточной частоты вращения (около 300 об./мин), выключают декомпрессионный механизм и, включая подачу топлива, осуществляют запуск основного двигателя.

Однако известный способ запуска дизельного поршневого двигателя с декомпрессионным механизмом имеет ряд недостатков.

Длительность прокрутки связана с низкой степенью сжатия воздуха, низкой температурой сжатия из-за постоянного сообщения надпоршневого пространства с атмосферой при включенном декомпрессионном механизме, выпуском прогретого воздуха в атмосферу и впуском холодного воздуха, охлаждающего предварительно нагретые детали. Происходит менее интенсивное повышение температуры сжимаемого воздуха, а следовательно, увеличение времени запуска.

Длительность прокрутки увеличивает износ деталей при запуске холодного двигателя при отсутствии масла в сопряжениях.

Наличие в конструкции двигателя дополнительного механизма (декомпрессионного) для запуска двигателя усложняет конструкцию основного двигателя.

Автором данной статьи, кандидатом технических наук Григорьянцем Р.А., разработано семейство роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания RAG [10-16], обладающих уникальными пусковыми свойствами при очень низких температурах окружающего воздуха –(50…55) ºС, а также разработан и запатентован [11] способ запуска дизельного роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Сущность нового способа запуска [10] двигателей заключается в том, что запуск дизельного роторно-поршневого двигателя осуществляют путем проворачивания вала двигателя, впуска воздуха в рабочие камеры и его сжатия. Причем пуск воздуха осуществляют при закрытом выпускном канале (в одних и тех же рабочих камерах), а сжатие – многократно при закрытых впускном и выпускном каналах.

Впуск воздуха в рабочие камеры при закрытом выпускном канале обеспечивает сохранение тепла, полученного при сжатии воздуха, быстрого и высокого прогрева деталей рабочей камеры, что значительно сокращает время запуска, а значит и износ деталей двигателя.

Сжатие воздуха при закрытых впускном и выпускном каналах обеспечивает многократность сжатия одной и той же порции воздуха, что значительно повышает как среднюю температуру сжатого воздуха, так и температуру деталей рабочей камеры, значительно сокращая время запуска и повышая его надежность при самых низких температурах окружающего воздуха, увеличивая тем самым полезное время работы механизма, а значит, и производительность труда.

На рис. 1, *а* показан дизельный роторно-поршневой двигатель в разрезе, общий вид; на рис. 1, *б* – сечение А-А; на рис. 1, *в* – узел I.

Устройство для осуществления данного способа содержит вал 1 двигателя с ротором 2, установленным в корпусе 3 двигателя. В пазах ротора установлены лопатки-поршни 4, которых может быть от 4 до 24 и более. В корпусе 3 двигателя выполнены впускной 5 и выпускной 6 каналы с установленными

в них соответственно заслонками 7 и 8 на осях 9 и 10, на которых закреплены рычаги управления 11. Двигатель имеет при запуске постоянные зоны сжатия 12 и 13.

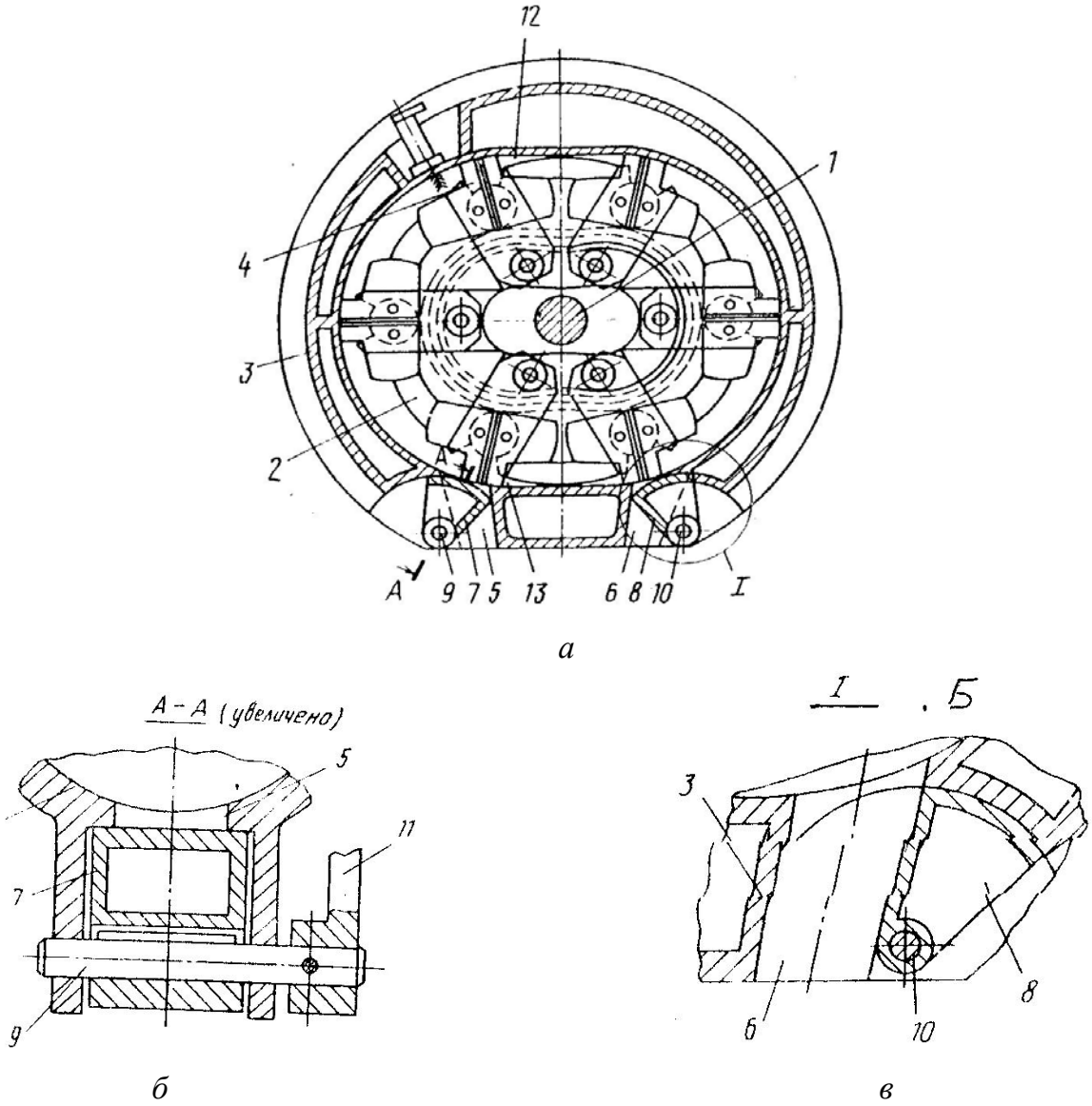


Рис. 1. Дизельный роторно-поршневой двигатель в разрезе

Способ запуска дизельного роторно-поршневого двигателя осуществляют следующим образом.

Перед запуском проворачивают вал 1 двигателя с ротором 2, осуществляя впуск воздуха через впускной канал 5. В это время закрывают выпускной канал 6 заслонкой 8, поворачивающейся на оси 10. При закрытии выпускного канала 6 осуществляется сжатие воздуха дважды в зонах 12 и 13 относительно вертикальной линии в верхней и нижней частях рабочего двигателя. После совершения как минимум одного оборота закрывают впускной канал 5 заслонкой 7, поворачивающейся на оси 9. При этом ротор 2 продолжает вращение, совершая несколько оборотов – происходит многократное сжатие

одной и той же порции воздуха, основанное на наличии постоянных зон сжатия 12 и 13. Наличие значительного количества рабочих камер (4…24) усиливает интенсивность нагревания корпуса 3 двигателя, ротора 2 и деталей рабочих камер, увеличивая гарантию и значительно сокращая время запуска.

При вращении ротора с частотой 180 об./мин и числе камер 4…24 за 15 секунд совершается 360…2160 сжатий. При этом температура сжимаемого воздуха повышается до 820…950 ºС, обеспечивая гарантированные условия для испарения и самовоспламенения топлива. По истечении 15 секунд осуществляют подачу топлива в рабочие камеры двигателя, где и происходит воспламенение топлива и гарантированный запуск двигателя при температуре окружающего воздуха –(40…50) ºС.

На рис. 2 представлена зависимость температуры сжатого воздуха от числа сжатий дизельного роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания со степенью сжатия ε = 17 при температуре окружающего воздуха –30 ºС.

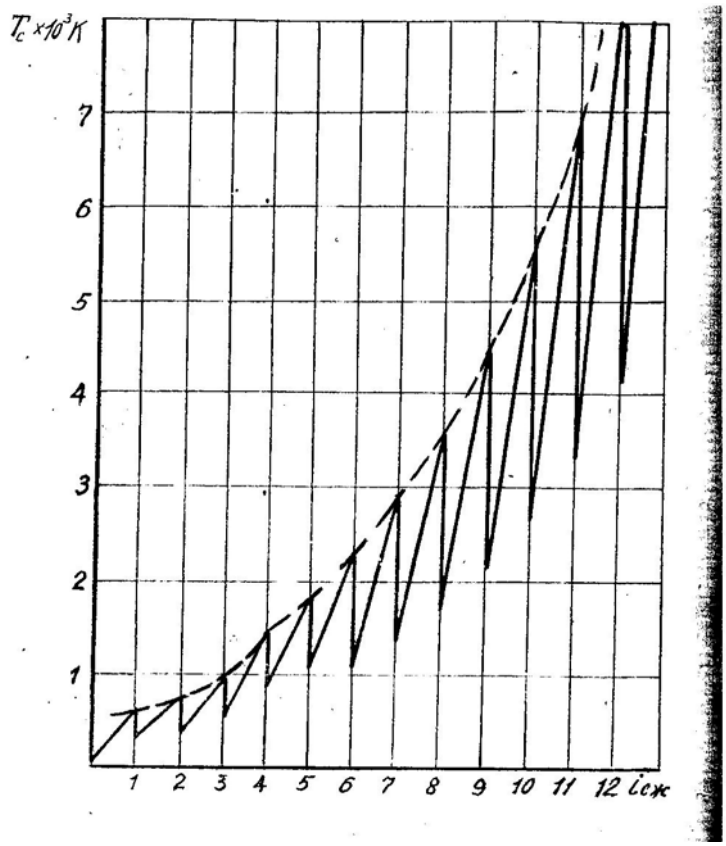


Рис. 2. Зависимость температуры сжатого воздуха дизельного роторно-поршневого двигателя семейства RAG от числа сжатий (ε = 17, $t_в$ = –30 ºС)

Из зависимости видно, что после 4…5-ти сжатий температура сжатого воздуха достигает 1 500…1 800 К, а после 9…10-ти сжатий – 4 500…5 600 К, часть теплоты от воздуха перейдет к стенкам деталей, составляющих рабочую камеру роторно-поршневого двигателя. Таким образом, многократность сжатия за один оборот ротора (4 камеры × 2 = 8 сж./об. и 24 камеры × 2 = 48 сж./об.)

гарантирует надежность запуска дизельного роторно-поршневого двигателя при низких –(40…50) ºС температурах окружающего воздуха без применения дорогостоящих подогревателей или аэрозольных приспособлений, крайне необходимых для обеспечения запуска серийных дизельных поршневых двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минкин М.Л.* Пуск автотракторных дизелей / Под ред. *Г.Г. Калиша*. – Машгиз, 1945.

2. *Моисейчик А.Н.* Пусковые качества карбюраторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1968.

3. *Хватков А.Н.* Исследование пуска автомобильных карбюраторных двигателей ЗИЛ-120, ГАЗ-51, «Победа», «Москвич». – М.: Автотрансиздат, 1958.

4. *Рубинштейн С.Ф.* К вопросу исследования пуска двигателей внутреннего сгорания. В сб. «Теплотехника», вып. 20. – М.: ВЗЭИ, 1962.

5. *Щепин В.Д.* Влияние скорости прокручивания коленчатого вала на пусковые параметры дизеля. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1965 (труды ЧИМЭСХ, вып. 24).

6. *Минкин М.Л.* и *Карницкий В.В.* Зарубежный опыт применения легковоспламеняющихся жидкостей для облегчения пуска двигателей. – Автомобильная промышленность, 1962, № 3.

7. *Лосавио Г.С.* Пуск автомобильных двигателей без разогрева. – М.: Транспорт, 1965.

8. *Лосавио Г.С.* Пусковые износы автомобильных двигателей при низких температурах. – М.: Транспорт, 1967.

9. *Минкин М.Л.* и *Моисейчик А.Н.* Пусковые приспособления для впрыска легковоспламеняющихся жидкостей. – М.: НИИИнфстройдоркоммунмаш, 1966.

Патенты

1. Пат. 1746046 РФ, МКИ F02N15/02, 1992.
2. Пат. 20519871 РФ, МКИ 6F02N9/04, 17/04, 1996.
3. Пат. 1245732 РФ, МКИ F02B55/00, 1986.
4. Пат. 2106505 РФ, МПК 6F02B53/00, 1998.
5. Пат. 1237780 РФ, МПК 4F02B55/00, 1984.
6. Пат. 2052142 РФ, МПК 6F02B53/00, 1986.
7. Пат. 2119072 РФ, МКИ A02B53/08, 1998.

РОТОРНО-ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ С МНОГОСИНХРОННЫМИ РАБОЧИМИ ЦИКЛАМИ СЕМЕЙСТВА RAG

Григорьянц Р.А. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградской сельскохозяйственной академии
Маликов Е.А. – канд. техн. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

Проблема увеличения мощности и удельных весогабаритных показателей двигателей внутреннего сгорания [1, 2] является одной из главных и наиболее сложных, если решать одновременно вопросы топливной экономичности и токсичности выхлопа на уровне Евро-4.

Эта проблема особенно актуальна и решаема для роторно-поршневых двигателей семейства RAG, механизм реализации энергии газов которых позволил автору данной статьи Р.А. Григорьянцу создать рабочий цикл с продолженным расширением [3] и довести давление выхлопа до атмосферного. Известные способы повышения мощности двигателей представлены на рис. 1.

Рис. 1. Способы повышения мощности роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания семейства RAG

Роторно-поршневые двигатели с продолженным расширением имеют термический КПД на уровне поршневых дизельных двигателей.

Перспективным направлением в повышении мощности двигателя является турбонаддув, но газовая связь турбонагнетателя и коленчатого вала двигателя при переменных переходных режимах не обеспечивает в нужный момент необходимое количество воздуха, а значит, не обеспечивает в данное мгновение коэффициент избытка воздуха нужного значения.

Инерционность газовой турбины негативно сказывается на основных параметрах двигателя.

Автору удалось разработать роторно-поршневой двигатель с бестурбинным турбонаддувом [4], который осуществляется на базе продолженного расширения в рабочих камерах двигателя и нагнетания воздуха (рабочей смеси) в камеру непосредственно внутри роторного двигателя без турбонагнетателя. Это упрощает конструкцию, повышает эффективность использования теплоты рабочего процесса, удельные весогабаритные показатели, долговечность и надежность двигателя.

Повышение мощности роторно-поршневого двигателя увеличением рабочего объема камер и их числа связано с увеличением диаметра ротора, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению частоты вращения ротора на соответствующую величину.

Таким образом, мощность не увеличивается, а увеличивается крутящий момент двигателя на эту величину. Улучшается кинематика и динамика двигателя, а значит надежность и долговечность сопряжений и двигателя в целом, но несколько снижаются весогабаритные и удельные мощностные показатели.

Увеличить мощность роторно-поршневого двигателя можно за счет увеличения числа секций (2…4 и т.д.), пропорционально этому растет мощность двигателя.

Автором разработаны и запатентованы пять моделей многосинхронных роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания (рис. 2) содержит корпус 1 с внутренней рабочей поверхностью 2, в котором на валу 3 находится ротор 4 с расположенными в пазах ползунами 5, шарнирно связанными с поршнями 6.

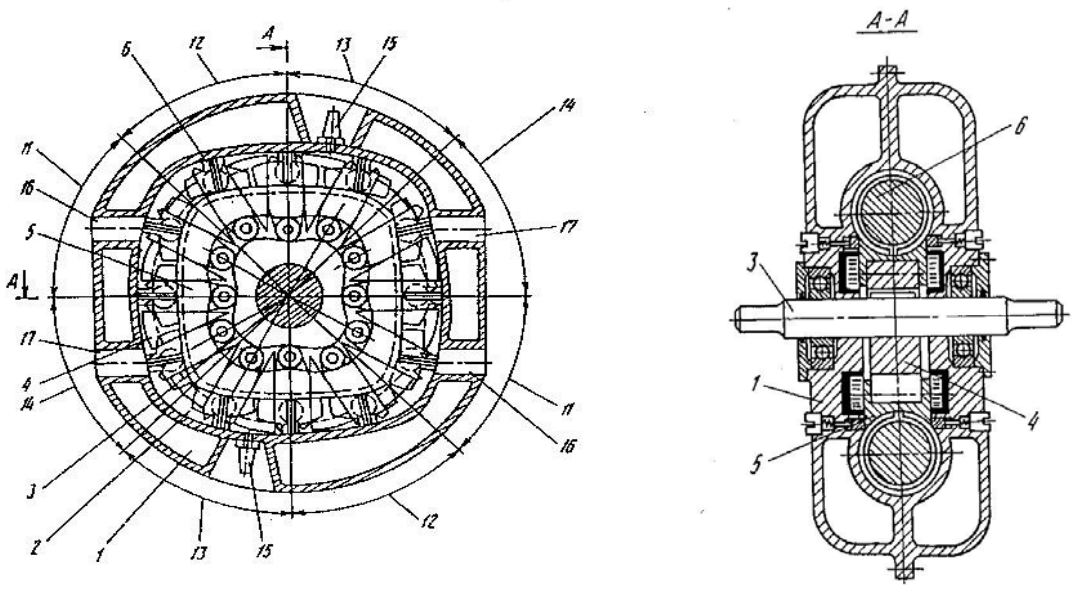


Рис. 2. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания
с двумя синхронными рабочими циклами

Внутренняя рабочая поверхность 2 выполнена в виде тороидальных секторов, состыкованных между собой так, что центры образования тороидальных секторов с меньшим 7 и большим 8 радиусами образования совпадают, соответственно, с вершинами квадратов 9 и 10 (рис. 3). Рабочая поверхность корпуса 1 имеет две зоны 11 всасывания, две зоны 12 сжатия, две зоны 13 сгорания-расширения и две зоны 14 выпуска отработавших газов. В зонах 13 сгорания-расширения расположены свечи-форсунки 15. Корпус 1 имеет два окна 16 впуска и два окна 17 выпуска.

Двигатель работает следующим образом. При вращении ротора 4 (рис. 2) по часовой стрелке в двух зонах всасывания 11 происходит разрежение, и горючая смесь (воздух) через два окна 16 впуска поступает в две зоны всасывания 11.

При дальнейшем вращении ротора 4 рабочая смесь поступает в две зоны 12 сжатия, где она сжимается, а затем при образовании искры на электродах свечей-форсунок воспламеняется, и давление передается на ползуны 5 и поршни 6. На валу 3 двигателя создается крутящий момент, который поворачивает ротор 4, сгоревшая смесь перемещается в две зоны 13 расширения, а затем поступает в две зоны 14 выпуска. Отработавшие газы выходят через окна 17 выпуска.

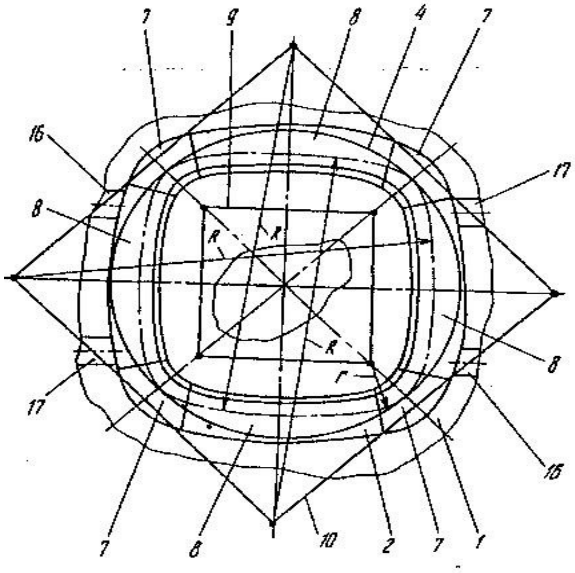


Рис. 3. К построению рабочей поверхности корпуса роторно-поршневого двигателя с двумя синхронными рабочими циклами

Таким образом, в данном двигателе за один оборот ротора осуществляется два синхронных рабочих цикла во всех рабочих камерах, при этом мощность и крутящий момент увеличиваются в два раза.

Число синхронных циклов зависит от расположения центров образования тороидальных секторов, чередующихся через один с меньшим и большим радиусами образования. При совпадении их с вершинами правильного шестиугольника обеспечивается три синхронных цикла (рис. 4, 5) в одной секции.

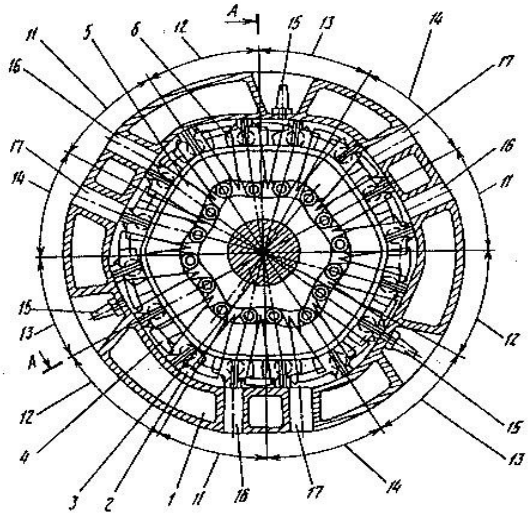


Рис. 4.

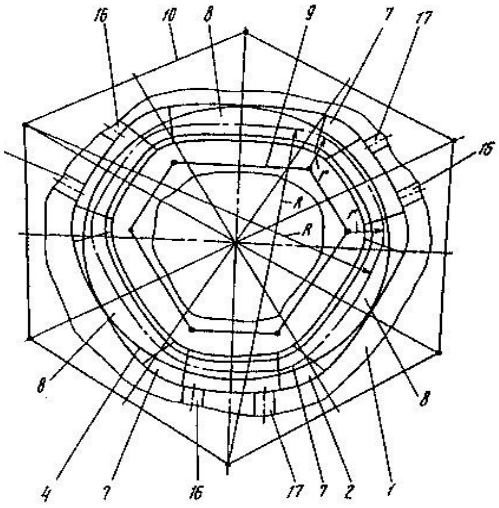


Рис. 5.

При совпадении вышеуказанных центров с вершинами правильных восьмиугольников обеспечивается четыре синхронных цикла (рис. 6, 7) в одной секции.

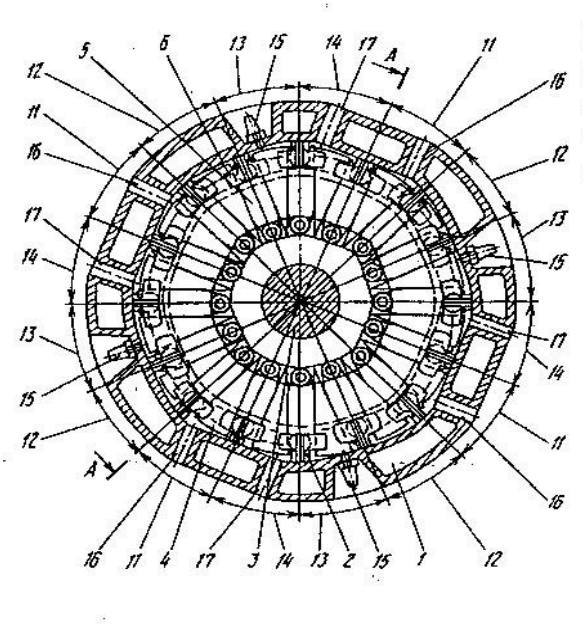


Рис. 6.

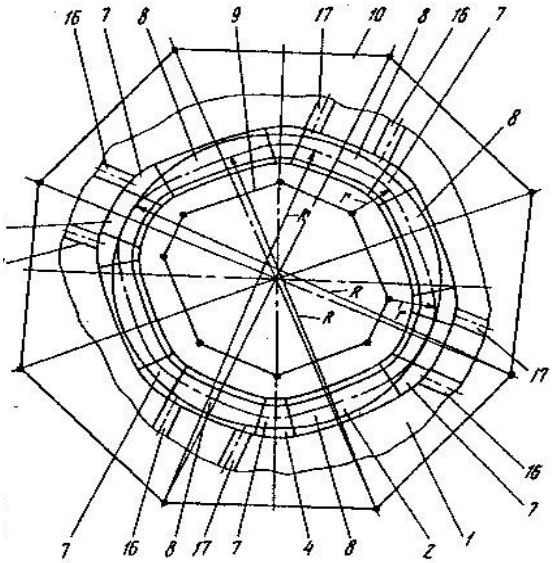


Рис. 7.

При совпадении центров с вершинами правильных десятиугольников обеспечивается пять синхронных циклов (рис. 8, 9) в одной секции.

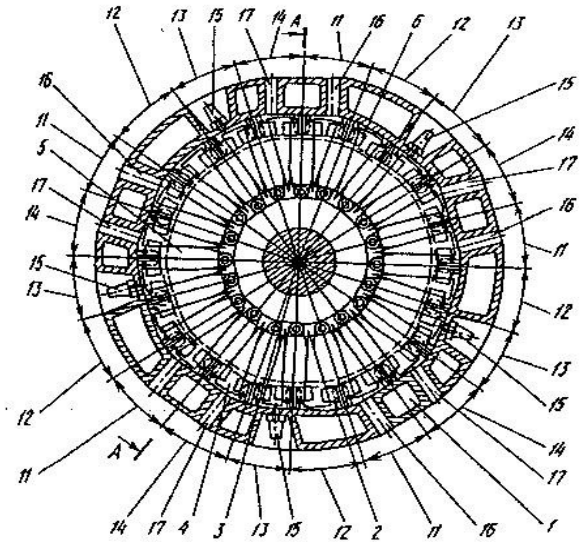


Рис. 8.

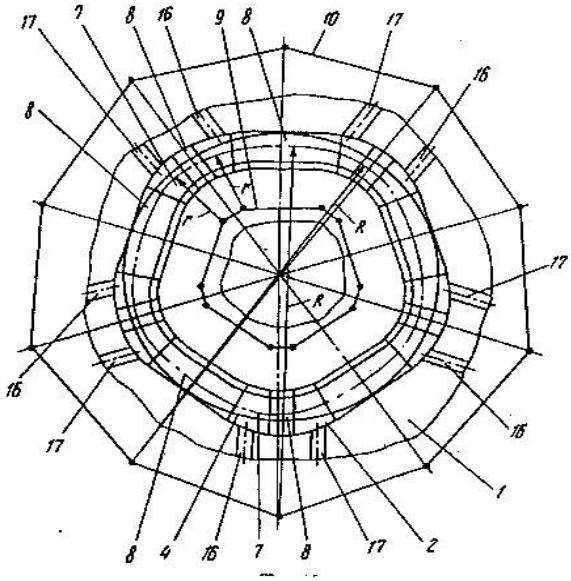


Рис. 9.

При совпадении центров с вершинами правильного двенадцатиугольника обеспечивается шесть синхронных циклов (рис. 10, 11).

В последнем случае формирование тактов осуществляется за каждые 15° поворота ротора, четыре такта за 60°. Это обеспечивает увеличение мощности и крутящего момента в шесть раз по сравнению с роторно-поршневым двигателем с односинхронным циклом при равных их параметрах.

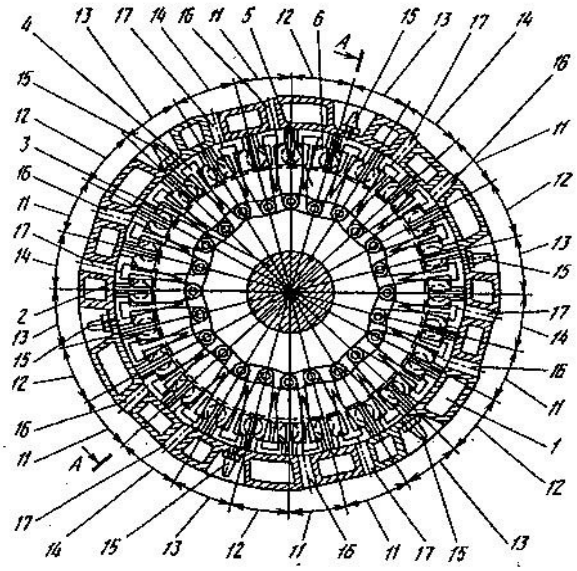


Рис. 10.

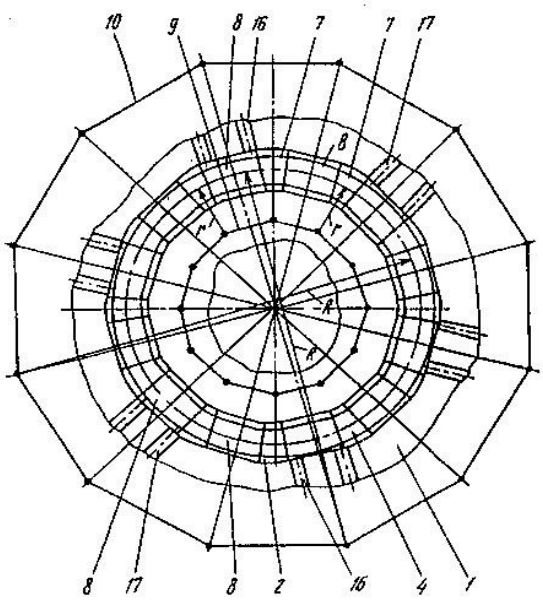


Рис. 11.

Эти двигатели могут устанавливаться на большегрузных автомобилях, тракторах, речных и морских судах и на стационарных установках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белов П.М., Бурячко В.Р., Акатов Е.И.* Двигатели армейских машин: В 2-х ч. – М.: Воениздат, 1971 – Ч. 1. – 512 с.

2. *Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н.* и др., Автомобильные двигатели – М.: Машиностроение, 1967. – 496 с.

Патенты

1. Пат. 2106505 РФ, МКИ 6 F02 B53/00, 1998.
2. Пат. 2119072 РФ, МКИ A02 B52/08, 1998.
3. Пат. 2076220 РФ, МКИ 6F02 B55/00, 1997.

РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Мокичева Ю.В. **–** аспирантка
кафедры АСУТП МЭИ (ТУ), г. Москва

К важнейшим задачам теории автоматического управления теплоэнергетическими процессами относятся: математическое описание, расчет и анализ динамики автоматических систем регулирования. Автоматические системы регулирования (АСР) являются обязательной частью (подсистемой)

системы управления любым технологическим объектом. Основными элементами АСР являются: объект регулирования и автоматический регулятор. Практика построения систем управления технологическими объектами свидетельствует о широком использовании в промышленных АСР типовых линейных алгоритмов регулирования: пропорционального (П), пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД). Применение типовых алгоритмов сводит расчет АСР к решению задачи оптимального параметрического синтеза.

Расчет систем регулирования – процесс трудоемкий, зависит от структуры системы и типа регуляторов, входящих в эту систему. Поэтому актуален вопрос разработки универсального пакета прикладных программ, позволяющего рассчитать любую систему регулирования с любыми типами регуляторов.

Анализ существующих пакетов прикладных программ для синтеза систем автоматического регулирования показал, что на данный момент существует несколько пакетов, позволяющих рассчитать отдельные элементы системы. Среди них можно выделить следующие:

• пакет прикладных программ СИАМ, с помощью которого можно проводить имитационное моделирование, осуществлять параметрическую оптимизацию, строить частотные характеристики;

• пакет прикладных программ ТАУ, позволяющий производить идентификацию объекта управления по заданной экспериментальной переходной характеристике по методу Симою и рассчитывать переходный процесс объекта и одноконтурной системы регулирования по заданной передаточной функции регулятора;

• пакет прикладных программ YU&M (СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ), предназначенный для исследования поведения систем регулирования;

• пакет программ ТАУ, разработанный кафедрой АХТП УГНТ, позволяющий рассчитывать параметры передаточной функции объекта по кривой разгона (переходной кривой) методом Симою, рассчитывать переходную кривую по заданной передаточной функции объекта управления, рассчитывать настроечные параметры типовых регуляторов при заданной степени колебательности, рассчитывать переходные процессы в замкнутой одноконтурной АСР.

Все вышеперечисленные пакеты программ обладают рядом недостатков. Основным недостатком является то, что они либо производят идентификацию объекта управления по заданной экспериментальной переходной характеристике, либо производят расчет только одноконтурной системы регулирования.

Разработанный пакет прикладных программ позволяет:

1) производить выбор структуры системы регулирования: одноконтурные системы (с компенсацией возмещения и без), двухконтурные системы (каскадные и с импульсом по производной) и трехконтурные системы (рис. 1, 2);

2) задавать параметры объекта управления; объект может быть выбран как апериодическое звено первого порядка с запаздыванием или без, или как звено второго порядка с запаздыванием или без (рис. 3);

3) выбирать тип регуляторов для выбранной системы регулирования;

4) производить расчет оптимальных параметров регуляторов;

5) строить переходные процессы системы;

6) исследовать переходный процесс по основным критериям качества.

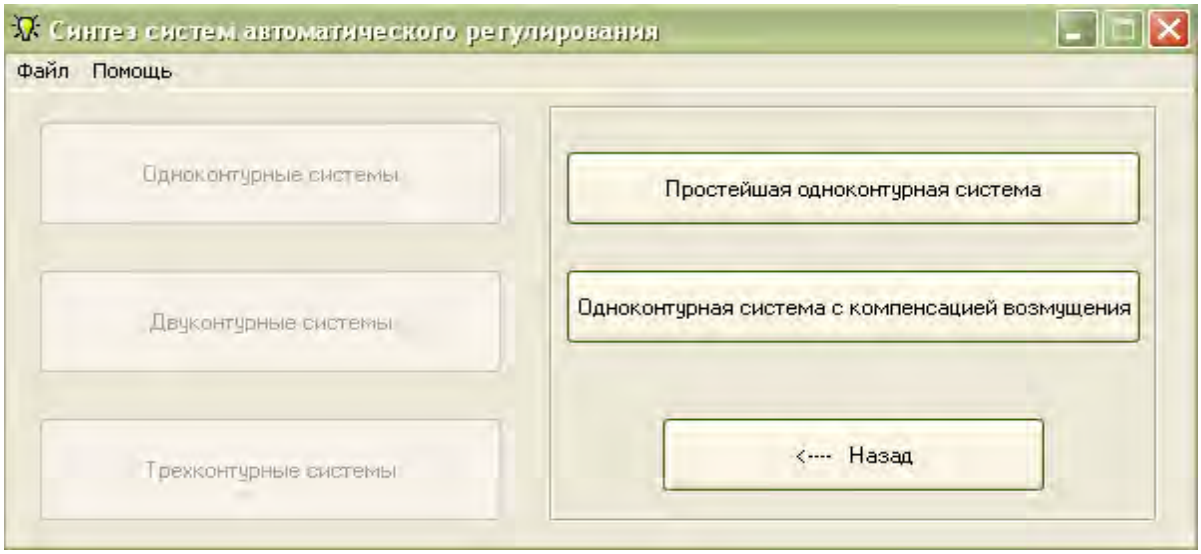


Рис. 1. Выбор типа одноконтурной системы

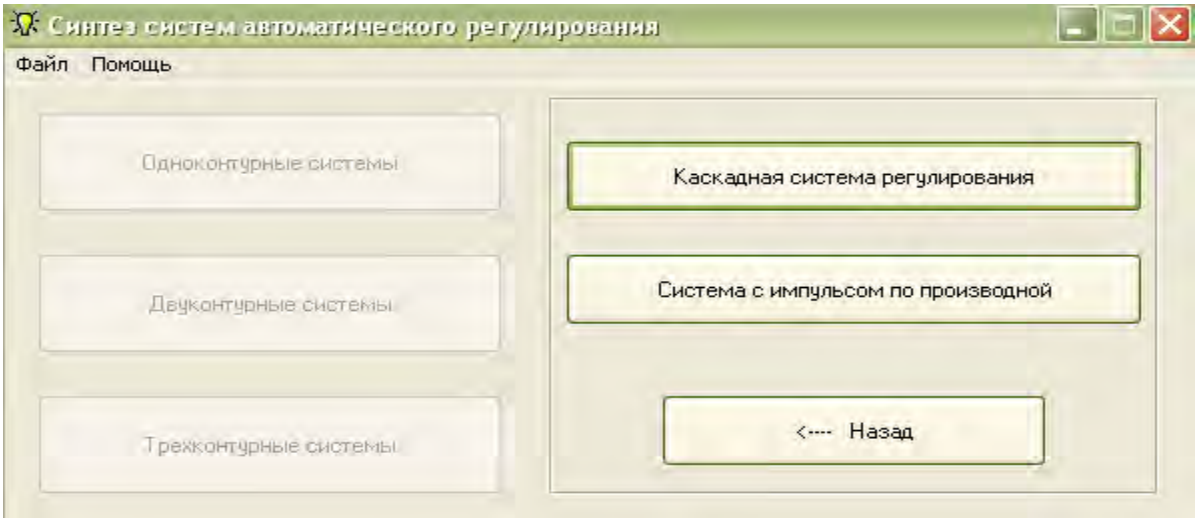


Рис. 2. Выбор типа двухконтурной системы

Основной сложностью при разработке подобных программ является выбор методики расчета. При расчете систем регулирования необходимо выбрать методику расчета регуляторов, компенсаторов, дифференциаторов, методику построения переходного процесса. Здесь нужно сочетать точность расчетов по выбранной методике и возможность программирования данной методики в среде Delphi.

Для одноконтурной системы регулирования в разработанной программе имеется возможность выбора типа регулятора: П, ПИ или ПИД-регулятор.

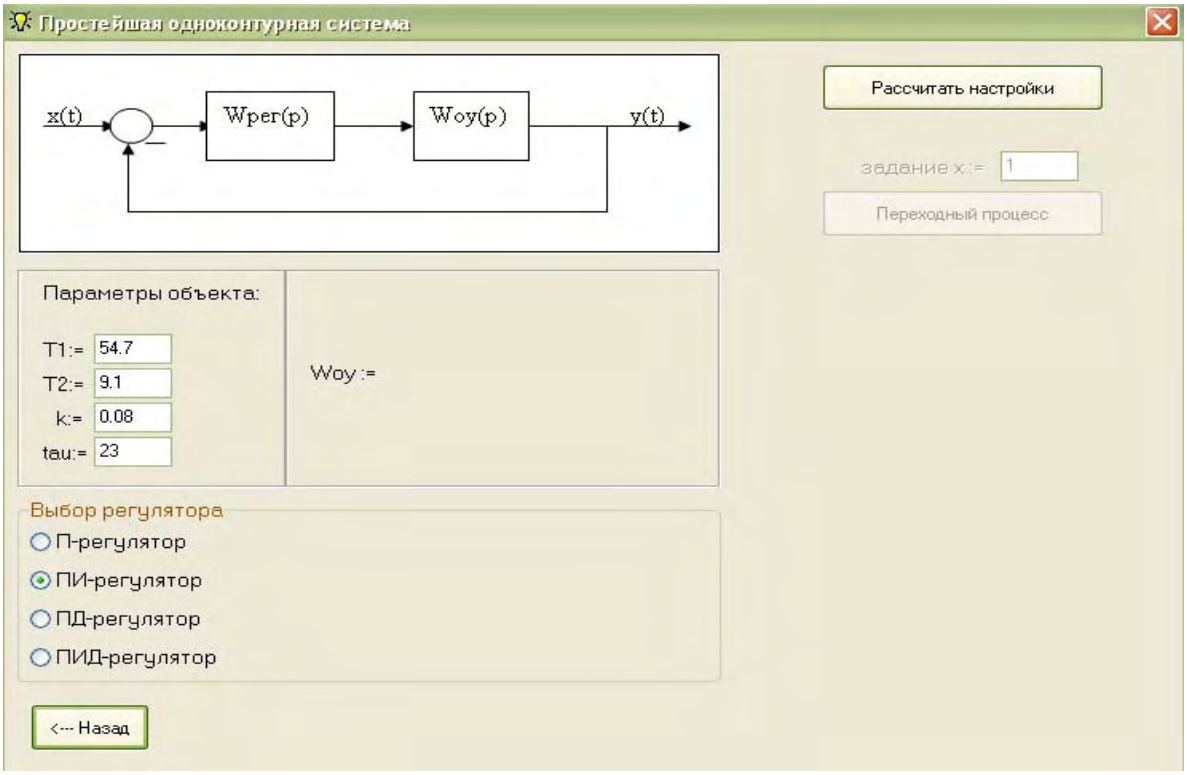


Рис. 3. Задание параметров объекта управления и выбор типа регулятора

Расчет оптимального значения коэффициента передачи П-регулятора осуществляется по комплексной частотной характеристике (КЧХ) объекта, путем выбора положения центра М-окружности *u* так, чтобы произошло касание этой окружности с указанной КЧХ.

Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора состоит из двух этапов:

1) определение границы области допустимого запаса устойчивости в пространстве параметров настройки регулятора;

2) определение в пределах этой области точки, в которой минимизируется выбранный критерий оптимальности.

Учитывая передаточную функцию ПИ-регулятора, условие границы требуемого запаса устойчивости выглядит следующим образом

$$W_{\mu}(m, j\omega)k_{\text{П}}\left(1+\frac{1}{T_{\text{И}}(-m\omega+j\omega)}\right)=-1, \qquad (1)$$

или, обозначив $k_{\text{И}} = k_{\text{П}} / T_{\text{И}}$:

$$k_{\text{П}} + k_{\text{И}}\frac{1}{-m\omega+j\omega} = -\frac{1}{W_{\mu}(m, j\omega)}. \qquad (2)$$

Данное комплексное уравнение записывается в виде двух обычных уравнений для вещественной и мнимой частей:

$$k_{\text{П}} + k_{\text{И}} \operatorname{Re}\left(\frac{1}{-m\omega + j\omega}\right) = -\operatorname{Re}\left(\frac{1}{W_{\mu}(m, j\omega)}\right); \tag{3}$$

$$k_{\text{П}} \operatorname{Im}\left(\frac{1}{-m\omega + j\omega}\right) = -\operatorname{Im}\left(\frac{1}{W_{\mu}(m, j\omega)}\right). \tag{4}$$

Второе уравнение позволяет записать зависимость коэффициента при интегральной составляющей от частоты:

$$k_{\text{И}}(\omega) = -\frac{\operatorname{Im}\left[1/W_{\mu}(m, j\omega)\right]}{\operatorname{Im}\left[1/(-m\omega + j\omega)\right]}. \tag{5}$$

Задавшись некоторым значением частоты можно по этой формуле определить $k_{\text{И}}(\omega)$, после чего из формулы (1) находится значение коэффициента передачи регулятора

$$k_{\text{П}}(\omega) = -k_{\text{И}}(\omega) \operatorname{Re}\left(\frac{1}{-m\omega + j\omega}\right) - \operatorname{Re}\left(\frac{1}{W_{\mu}(m, j\omega)}\right), \tag{6}$$

а из формулы

$$T_{\text{И}}(\omega) = k_{\text{П}}(\omega) / k_{\text{И}}(\omega) \tag{7}$$

находится значение постоянной интегрирования.

Если критерием оптимальности выбран линейный интегральный, которому соответствует максимум $k_{\text{И}}$, можно, прежде чем переходить к определению $k_{\text{П}}$, найти максимум функции (5). После определения доминирующей частоты $\omega_{\text{ДОМ}}$, при которой он имеет место, из (6) находится оптимальное значение коэффициента передачи регулятора, а затем по (7) – оптимальное значение постоянной времени интегрирования. Частота $\omega_{\text{ДОМ}}$ определяет частоту колебаний доминирующей компоненты, оказывающей основное влияние на формирование общего графика процесса регулирования.

Порядок расчета настройки ПИД-регулятора ничем не отличается от настройки ПИ-регулятора. В частности, при ограничении на корневой показатель колебательности m следует добавить в (1) составляющую $T_{\text{Д}}(-m\omega + j\omega)$. Выбор интенсивности дифференциальной составляющей производится из условия наилучшей компенсации интегральной составляющей. Такая компенсация может происходить только на одной частоте, и, следовательно, возникает задача выбора этой частоты так, чтобы она принадлежала существенному диапазону. Точка касания М-окружности с КЧХ разомкнутого

контура расположена между отрицательной вещественной полуосью и лучом, проведенным из начала координат под углом

$$\gamma = \sin^{-1}(1/M_{\text{ДОП}}) \tag{8}$$

к этой оси. Поэтому начальную частоту компенсации ω_γ целесообразно выбрать в точке пересечения КЧХ объекта с указанным лучом, для чего следует решить уравнение фаз

$$\varphi_\mu(\omega) + \pi - \gamma = 0. \tag{9}$$

Для взаимной компенсации на этой частоте интегральной и дифференциальной составляющих необходимо обращение в нуль мнимой составляющей КЧХ регулятора

$$\frac{1}{T_{\text{И}}\omega_\gamma} - T_{\text{Д}}\omega_\gamma = 0$$

или

$$T_{\text{Д}} = \frac{1}{T_{\text{И}}\omega_\gamma^2}. \tag{10}$$

Значение $T_{\text{И}}$ целесообразно выбрать так, чтобы касание КЧХ разомкнутого контура с М-окружностью происходило в той же точке, что и ее пересечение с лучом, проведенным под углом γ к вещественной оси. Это обеспечит максимально возможное значение коэффициента передачи регулятора. Кроме того, такой выбор настройки регулятора обеспечит наибольшую робастность контура к вариации коэффициента усиления разомкнутого контура. Для реализации такого условия необходимо потребовать, чтобы в указанной точке оказалась равной нулю производная от фазовой частотной характеристики (ФЧХ) разомкнутого контура. Поскольку ФЧХ разомкнутого контура равна сумме соответствующих характеристик объекта и регулятора, имеем следующее уравнение

$$\varphi'_\mu(\omega_\gamma) + \varphi'_p(\omega_\gamma) = 0,$$

то есть

$$\varphi'_\mu(\omega_\gamma) + T_{\text{Д}} + \frac{1}{T_{И}\omega_\gamma^2} = 0,$$

где $\varphi'_\mu(\omega)$ – производная по частоте от ФЧХ объекта.

После подстановки в это уравнение выражения (10), получим

$$T_{\text{И}} = -\frac{2}{\omega_\gamma^2 \varphi'_\mu(\omega_\gamma)}. \tag{11}$$

Определение коэффициента передачи регулятора производится по формуле

$$k_{\text{П}} = \frac{M}{\sqrt{M^2 - 1}} \frac{1}{\left|W_\mu(\omega_\gamma)\right|}. \tag{12}$$

Синтез одноконтурных систем с компенсацией возмущения (рис. 4) отличается от синтеза простейших одноконтурных лишь тем, что добавляется расчет компенсатора.

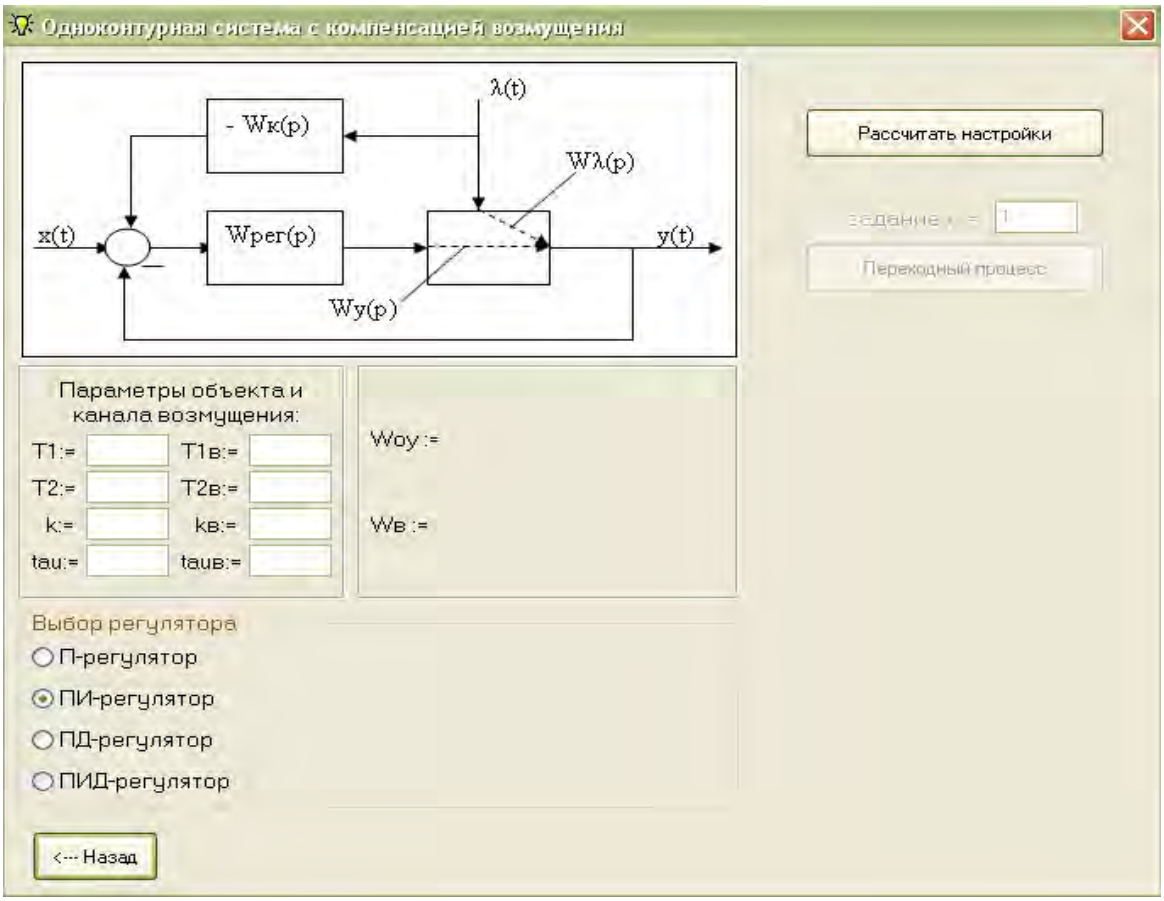


Рис. 4. Синтез одноконтурной системы регулирования с компенсацией возмущения

Передаточная функция компенсатора выводится из условия идеальной компенсации. То есть, передаточная функция идеального компенсатора должна определяться формулой

$$W_{\text{ид.к.в.}}(p) = \frac{W_{\lambda}(p)}{W_{y}(p)W_{\text{рег}}(p)}. \qquad (13)$$

В программе предусмотрен переход от идеального компенсатора к физически реализуемому.

При синтезе двухконтурных систем регулирования вводятся параметры объекта управления по двум каналам. Соответственно для каскадной системы (рис. 5) выбирается тип основного регулятора и вспомогательного. А для системы с импульсом по производной выбирается тип регулятора и помимо его настроек находятся параметры дифференциатора (рис. 6).

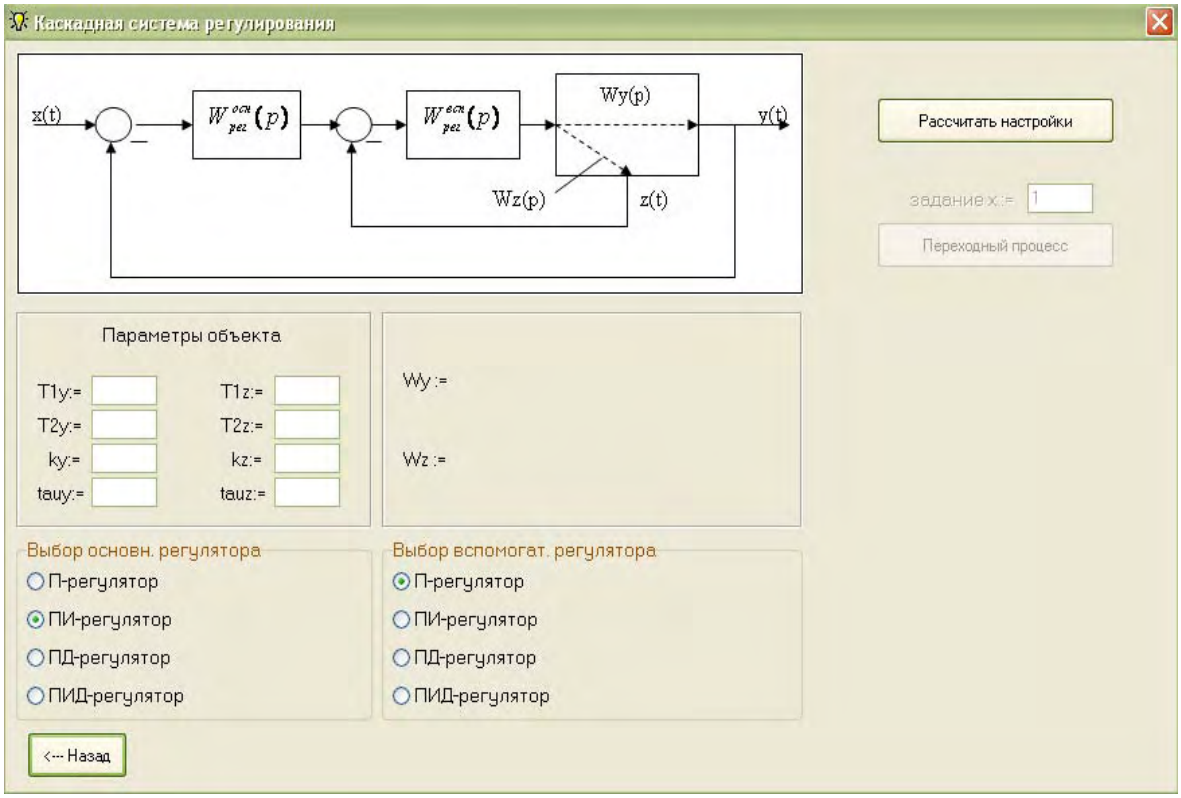


Рис. 5. Синтез каскадной системы регулирования

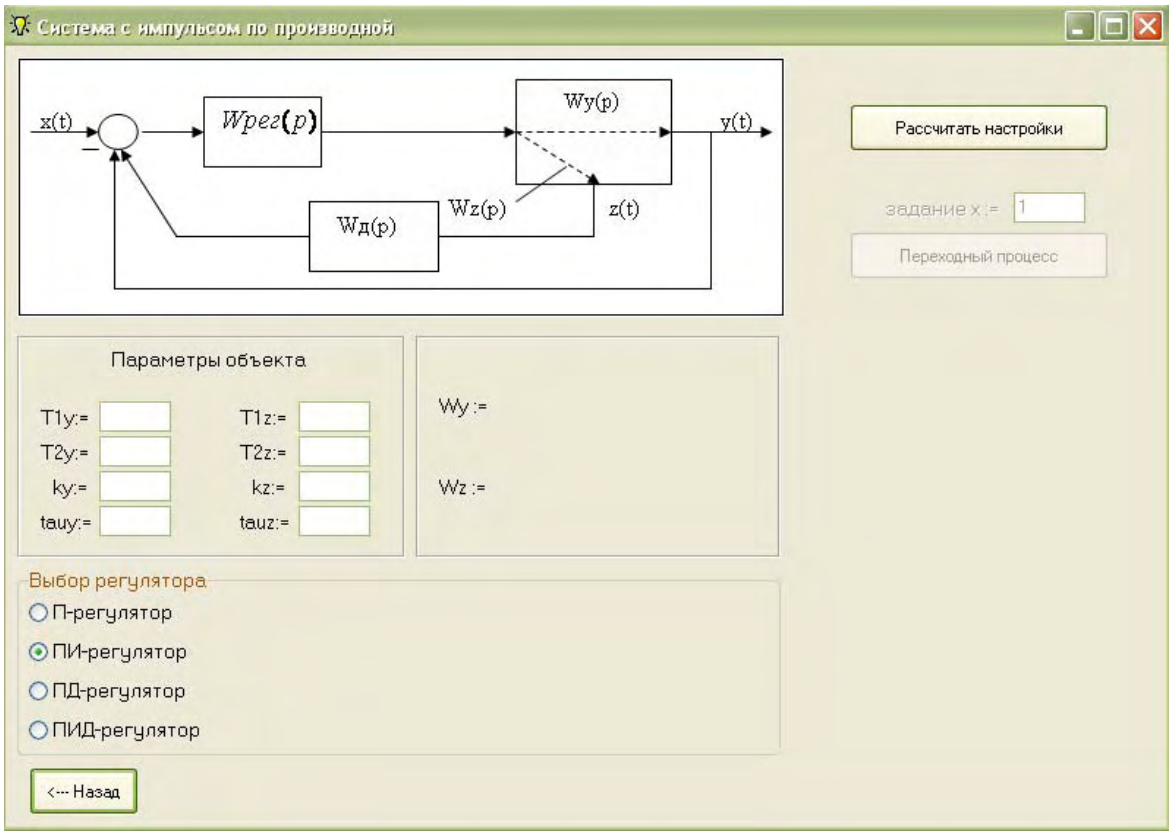


Рис. 6. Синтез системы с импульсом по производной

Методика расчета каскадной системы следующая:

• задаем начальные настройки вспомогательного регулятора и по передаточной функции обобщенного объекта

$$W1(p) = \frac{W_{\text{рег}}^{\text{всп}}(p) W_y(p)}{1 + W_{\text{рег}}^{\text{всп}}(p) W_z(p)} \tag{14}$$

настраиваем основной регулятор по рассмотренной выше методике;

• по передаточной функции

$$W2(p) = W_z(p) + W_y(p) W_{\text{рег}}^{\text{осн}}(p) \tag{15}$$

настраивается вспомогательный регулятор;

• расчет продолжается до тех пор, пока разница между полученными настройками и предыдущими станет несущественной.

Расчет системы с импульсом по производной также сводится к расчету одноконтурной:

• по передаточной функции виртуального объекта

$$W_{\text{вр}}(p) = \frac{W_y(p)}{W_z(p)} \tag{16}$$

настраивается виртуальный регулятор, затем по формулам

$$k_{\text{Д}} = 1 / k_{\text{ПВР}}; \quad T_{\text{Д}} = T_{\text{ИВР}}(p) \tag{17}$$

определяются настройки дифференциатора;

• при найденных значениях параметров настройки дифференцирующего звена по передаточной функции обобщенного объекта для регулятора

$$W_{\mu}(p) = W_z(p)\, W_{\text{Д}}(p) + W_y(p) \tag{18}$$

обычным порядком определяется настройка регулятора.

Результатом расчетов всех систем является график переходного процесса, который исследуется по основным критериям качества (рис. 7).

Рис. 7. График переходного процесса

Достоинством разработанного пакета прикладных программ является:

• возможность пополнения базы данных, то есть, есть возможность увеличить количество структур систем регулирования, усложнить вид объекта, добавить идентификацию объекта управления по экспериментальным переходным характеристикам, увеличить количество типов регуляторов;

• большая скорость вычислений;

• получение результатов расчета в виде отдельного документа;

• большая точность расчетов.

КРУГЛЫЙ СТОЛ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР АДАПТАЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Кузеванов В.С. – д-р техн. наук, профессор,
директор филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском

1. О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФИЛИАЛА ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» В Г. ВОЛЖСКОМ ПО ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

В филиале на 01.09.2007 г. обучается 821 студент по 2 направлениям бакалаврской подготовки и 6 специальностям. По всем направлениям и специальностям имеются лицензии на образовательную деятельность, одно направление и пять специальностей аккредитованы. Контингент студентов за период с 2005 года имеет тенденцию к снижению, в первую очередь, за счет уменьшения плана госбюджетного набора (по очно-заочной форме обучения: 2005 г. – 40 чел., 2006 г. – 30 чел.).

Учебный процесс в филиале осуществляют 126 преподавателей, из них 62,3 % имеют ученые степени и звания.

Ежегодное формирование контингента студентов 1-го курса производится, прежде всего, за счет слушателей курсов центра довузовской подготовки филиала (ЦДП).

Преподаватели и студенты филиала активно занимаются научной работой (НИР). Результаты НИР выражаются в защите кандидатских и докторских диссертаций. За последние три года защищены две докторские и восемь кандидатских диссертации. Ведется работа по двум грантам РФФИ. Подано две заявки на гранты РФФИ и одна заявка по целевой программе Роснауки.

В работе государственных экзаменационных комиссий (ГАК) активное участие в качестве их председателей или членов принимают представители предприятий – заказчиков специалистов, преподаватели родственных кафедр МЭИ, а также представители из других ВУЗов. С основными потребителями кадров (таких 15) заключены комплексные договоры о сотрудничестве.

Информационно-методическое обеспечение учебного процесса осуществляется через библиотеку, имеющую абонемент и читальный зал и насчитывающую 31 473 экз. учебной, научной литературы и периодических изданий. Обеспеченность обучающихся дополнительной литературой составляет: официальные издания – 43 названия (3-4 экземпляра), периодические массовые центральные и местные общественно-политические издания – 55 названий (по 4 комплекта), отраслевые периодические издания – 39 названий (по 8 комплектов), справочно-библиографическая литература – 264 названия (по 1-5 экземпляров), научная литература – 105 названий (511 экземпляров). Программно-информационное обеспечение учебного процесса осуществляется в

7 компьютерных классах (53 ПЭВМ), объединенных в 3 локальные сети. Общее количество используемых компьютеров – 102, имеется выход в Интернет с 40 рабочих мест. На компьютерах установлена лицензионная система Windows и антивирусный пакет AVR.

Для оказания дополнительных образовательных услуг по повышению квалификации и переподготовке специалистов в филиале создан и действует Центр подготовки и переподготовки (ЦПП). За два года прошли повышение квалификации 260 слушателей. Получили диплом о переподготовке 29 слушателей.

Материально-техническая база – учебный корпус общей площадью 9 100,8 кв. м, общая площадь земельного участка 31 879 кв. м. Недвижимое имущество и земельные участки оформлены на право бессрочного пользования, имеются свидетельства о государственной регистрации права. Учебный корпус оборудован автоматической пожарной сигнализацией. В здании филиала расположены 23 аудитории, 25 лабораторий, библиотека, столовая.

За последние три года проведены большие ремонтные работы на общую сумму 2,3 млн. рублей. Однако с некоторыми проблемами (ремонт актового зала) филиал не справился из-за отсутствия финансирования.

Воспитательная работа в филиале осуществляется под руководством помощника директора по воспитательной работе. Сформировался устойчивый коллектив кураторов 1-4 курсов. Активно работает Студенческий совет, 10 самодеятельных творческих объединений, 8 спортивных секций студентов. Вместе с тем отсутствие актового зала не способствует развитию внеучебной работы студентов.

Финансирование деятельности филиала осуществляется за счет средств бюджета и внебюджетных средств, заработанных коллективом филиала самостоятельно. Средства от внебюджетной деятельности за последние три года составляют 30,1 % от средств консолидированного бюджета.

2. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ АДАПТАЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Взаимоотношения энергетиков Волгоградского региона в лице ОАО «Волгоградэнерго» и Московского энергетического института (технического университета) сложились уже на стадии организации в 1995 году филиала МЭИ в городе Волжском. Формально это взаимодействие было определено многосторонним договором между МЭИ и администрацией г. Волжского, ОАО «Волгоградэнерго» и предприятиями города. Однако фактически контакты энергетиков с МЭИ никогда не были формальными. Тесные связи были определены четкими взаимными интересами: МЭИ решает проблему становления филиала с помощью заинтересованных сторон, в том числе (и в основном) энергетиков, а стороны (предприятия) решают кадровый вопрос с гарантией, что этот вопрос не перейдет в кадровую проблему.

Интересным и весьма продуктивным оказался многолетний опыт адаптации молодых специалистов на Волжской ТЭЦ-1 ОАО «Волгоградэнерго», а впоследствии – в «ЮГК ТГК-8» (Волгоградская генерация). Волжская ТЭЦ-1 сразу отказалась от традиционной схемы взаимодействия «ВУЗ – производство» (см. схему) и определило превентивное ознакомление будущих молодых специалистов с производством. При этом студенты филиала в полном соответствии с профилем их специальности принимаются на рабочие должности в количестве, гарантирующем по окончании обучения их конкурсный отбор на производстве. Такой прием на работу происходил на пятом (а иногда и четвертом) году обучения при общем сроке обучения в МЭИ – пять с половиной лет. Такой подход имеет ряд важных преимуществ. Главные из них: сокращение времени или полное исключение прохождения рабочих должностей после получения диплома, объективная оценка возможностей роста молодого специалиста уже на момент получения им диплома и оценка самим молодым специалистом своих перспектив в знакомом производственном коллективе.

По-существу, в Волгоградской генерации реализуется то, что намечено в рамках реформирования высшего образования в России. Министр образования и науки Андрей Фурсенко говорил: «Сейчас лишь 15-20 % российских вузов готовят выпускников, востребованных на современном рынке труда. Переход же высшего образования на двухуровневую систему должен будет эту проблему решить». И далее: « ...Введение двухуровневой системы будет способствовать повышению эффективности использования бюджетных средств путем вовлечения работодателей в прогнозирование перспективных потребностей в образовании». Вследствие тесных контактов вуза с производством выпускники филиала реально востребованы на производстве. И средние по России показатели никак не применимы к взаимоотношению сторон в Волгоградском регионе, более того, можно сказать, что намеченное в России осуществлено в Волгоградском регионе. Пусть не в 100-процентном объеме и не по всем специальностям, но показательно и эффективно (см. таблицу).

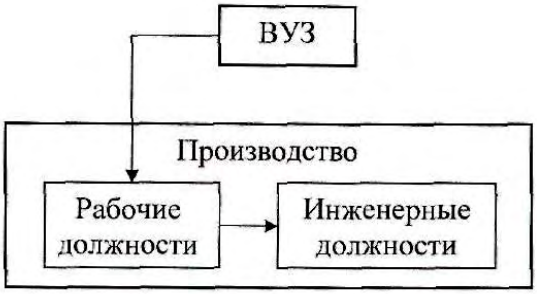
Таблица

Трудоустройство выпускников по годам (дневное отделение), %

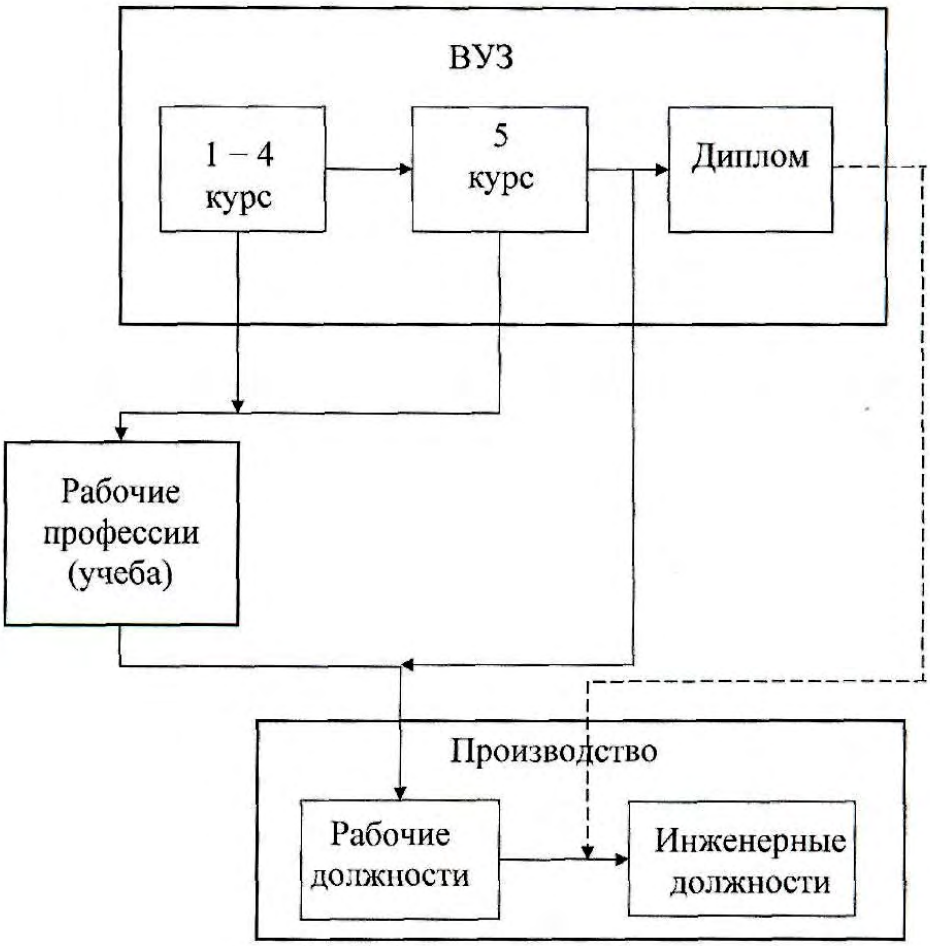
Год	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**
По специальности	79,5	77,2	72,8	73,1	83,2
Аспирантура, служба в ВС, отпуск по уходу за ребенком, трудоустройство не по специальности	20,5	22,8	27,2	28,9	16,8
Всего	100	100	100	100	100

Схемы взаимодействия „ ВУЗ – производство ”

Традиционная



Оптимизированная



Укрепление взаимодействия филиала и ОАО «ЮГК ТГК-8» показательно демонстрирует следующее решение компании.

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"ЮЖНАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ ТГК-8"
филиал "Волгоградская генерация"
Пресс-служба
Телефон **(8443)** 53-92-06
GolosovaLV@gc-v. ru

27 сентября 2007

Вручение именных сертификатов студентам Волжского филиала «Московского энергетического института» (технический университет)

Два года в Южном федеральном округе работает «Южная генерирующая компания – ТГК-8» – ведущий производитель тепла на Юге России. В целом в регионах своего присутствия, а это – Ростовская, Астраханская, Волгоградская области, Ставропольский и Краснодарский края, Республика Дагестан доля компании на рынке электроэнергии составляет 17 %, теплоэнергии – около 60 %.

Компанией разработана масштабная инвестиционная программа на 2007-2016 годы, включающая 17 проектов в объеме **75,8 млрд. рублей (!)**. Цель программы – увеличение генерирующих мощностей, устранение энергодефицита, обновление оборудования электростанций.

Большое внимание ЮГК ТГК-8 уделяет будущему поколению энергетиков. Стратегия Южной генерирующей компании – это стратегия поступательного развития. Поэтому привлечение в энергетику талантливой молодежи является задачей № 1.

Совет директоров ОАО «ЮГК ТПС-8» учредил именные стипендии для студентов энергетических ВУЗов и факультетов во всех регионах присутствия Южной генерирующей компании. Уже вручены именные сертификаты лучшим студентам факультетов энергетики РГСУ, Северо-Кавказского технического университета. Также именную стипендию будут получать будущие энергетики – студенты Новочеркасского политехнического университета, Ростовского университета путей сообщения, Астраханского технического университета, Кубанского государственного университета.

В каждом ВУЗе именную стипендию получают в среднем 2 слушателя факультета энергетики. В Волжском самое большое число стипендиатов – 6 человек, т.к. филиал МЭИ в Волжском – единственный специализированный энергетический ВУЗ на Юге России. В других регионах присутствия ЮГК ТГК-8 – только факультеты энергетики. К тому же, Волжский ВУЗ – единственный, напрямую связанный с производством. Уже в начале обучения студенты знакомятся с производством и начинают работу непосредственно на энергетических объектах филиала «Волгоградская генерация». По окончании учебы большая часть студентов продолжает работу на объектах волгоградской энергетики.

Именные стипендиаты ОАО «ЮГК ТГК-8» – шесть студентов ГОУВПО Московского энергетического института в г. Волжском: **Кушнир Оксана Ярославовна, Такташев Ринат Нявмянович, Усманова Ситора Худояровна, Филатова Светлана Олеговна, Степанова Надежда Марковна, Реснянская Алена Александровна.**

Вручает стипендии управляющий директор филиала «Волгоградская генерация» Павел Петрович Раменский.

2 тысячи рублей в месяц – эта сумма выше среднего общероссийского значения других именных стипендий. Больше этого только президентская стипендия.

Волжский филиал МЭИ	Ежемесячная стипендия ОАО «ЮГК ТГК-8» в сумме 2 000 руб. 6-м студентам по 1 человеку с факультета) в течение года по 2 000 руб.	2007-2008 гг. С 1 сентября 2007	144 тыс руб

ВЫПИСКА
из решения участников Круглого стола «Оптимизация процедур адаптации молодых специалистов на предприятии», состоявшегося в филиале ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском 27 сентября 2007 года

Рассмотрев вопросы, вынесенные на рассмотрение участников Круглого стола, участники, поименованные в Приложении к решению, считают необходимым подтвердить заинтересованность в развитии сотрудничества с филиалом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Волжском по широкому кругу вопросов, затрагивающих взаимодействие по повышению адаптационных возможностей выпускников филиала и совершенствованию механизмов адаптации молодых специалистов на производстве.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ КАЗНАЧЕЙСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ В РЕГИОНЕ

Аблеева Р.И. – канд. экон. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Репникова Г.Н. – канд. экон. наук, начальник
экономического управления ООО «Волгоградэнерго»

Формирование казначейской системы России прошло длинный и сложный путь развития и неотделимо от истории развития Российского государства в целом. Еще во времена Древней Руси появилась должность казначея – хранителя княжеских ценностей, которые назывались казной. В связи с расширением границ Российского государства росла и казна, и это привело к возникновению казенных дворов.

В результате финансовых преобразований Петра I в 1710 году была создана Счетная или Казначейская контора, которая должна была следить за правильным поступлением налогов. Она просуществовала до 1742 года.

Позднее в составе каждой губернии выделились уезды, и впервые была определена должность уездного казначея, как основного финансового чиновника низшего звена. Губернская казенная палата стала центральной частью структуры финансового аппарата на местах.

После ряда структурных преобразований 15 февраля 1821 года резолюцией императора Александра I «Быть по сему» был создан Департамент Государственного казначейства в структуре Министерства финансов, ставший ядром всей системы казначейской службы России.

Именно с 1821 года в Российской Империи окончательно сложился и впоследствии был усовершенствован и отлажен четкий механизм деятельности казначейств от центрального – Департамента Государственного казначейства, до местных – губернских и уездных казначейств.

В начале 90-х годов прошлого века наше государство вступило в новую политическую и экономическую формацию, период перехода от плановой экономики к рыночным отношениям. Государственный банк, ранее исполнявший федеральный бюджет, в этот период утратил свои функции с созданием широкой сети коммерческих банков, в которых были открыты счета учреждений и организаций, финансируемых из федерального бюджета. Этот период развития страны характеризуется неустойчивостью финансовой системы (недофинансирование, задержка коммерческими банками платежей), отсутствием контроля за целевым использованием федеральных средств. Кроме того, существовавший порядок распределения налогов по уровням бюджетной системы налоговыми органами раз в 5-20 дней не позволял оперативно управлять государственными финансами. В этих условиях был необходим совершенно иной инструмент управления доходами и расходами в процессе исполнения Республиканского бюджета Российской Федерации, и указом Президента РФ от 08.12.1992 г. № 1556 была образована единая централизованная система органов Федерального казначейства.

В начале XXI века роль казначейства усиливается в связи с ростом доходов и расходов государства, усложнением финансовой системы. В свет выходят новые законы и внутренние инструкции, более четко регламентирующие деятельность казначейств.

Новый импульс в развитии Федеральное казначейство получило в связи с вступлением в действие 1 января 2000 года Бюджетного кодекса Российской Федерации.

В 2002 году практически был завершен процесс перевода всех федеральных учреждений, за исключением отдельных учреждений Министерства обороны Российской Федерации, на обслуживание через органы Федерального казначейства.

Новым этапом в развитии системы органов Федерального казначейства стало проведение административной реформы в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 9 марта 2004 года № 314 «О системе и структуре федеральных органов исполнительной власти». В результате проведения данной реформы с 1 января 2005 года Федеральное казначейство было выделено из состава Министерства финансов Российской Федерации и преобразовано в федеральную службу с подчинением Министерству финансов Российской Федерации.

На современном этапе перед органами Федерального казначейства стоят следующие основные функции:

• проведение кассовых операций, осуществляемых в ходе исполнения федерального бюджета;

• учет поступлений и распределение (по законодательно установленным нормативам) доходов бюджетной системы на основании приказа Министерства финансов России № 1164 от 16.12.2004 г., между бюджетами разных уровней;

• осуществление контроля за соблюдением бюджетного законодательства участниками бюджетного процесса, закрепленного в статье 267 Бюджетного кодекса. Осуществляется территориальными органами ФК через открытие лицевых счетов бюджетополучателей и предоставление платежных документов на осуществление кассового расхода федерального бюджета;

• осуществление кассового обслуживания исполнения бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов;

• своевременное и качественное составление отчетности об исполнении федерального бюджета субъектов РФ и местных бюджетов.

Опыт и практика функционирования финансовой системы все больше подтверждают правильность принятого ранее решения о создании Федерального казначейства в РФ. Сегодня можно с уверенностью сказать, что Федеральное казначейство является инструментом повышения эффективности управления и контроля государственными финансовыми ресурсами.

А теперь краткая информация о становлении казначейской системы исполнения федерального бюджета в Волгоградском регионе.

В связи с образованием в РФ единой централизованной системы органов федерального казначейства, в Волгограде в конце 1993 г. был образован Территориальный орган Управления Федерального казначейства по области и в подчинении – территориальные органы по районам Волгоградской области с выполнением функций финансирования и оперативного управления.

Постепенно объем работы, выполняемый казначейством, увеличивался после передачи отделениями Федерального казначейства от территориальных органов исполнительной власти и других распорядителей ассигнований по федеральному бюджету функций по финансированию подведомственных им учреждений, организаций и предприятий.

Отделение по г. Волгограду было создано 5 мая 1994 года и на пути своего 13-летнего развития осуществляло следующие функции:

• ежедневное распределение налогов по всем уровням бюджетов, осуществление возвратов излишне уплаченных налогов налогоплательщикам по заключениям налогового органа;

• контроль за банковскими учреждениями по своевременности зачисления налогов и целевых федеральных средств при финансировании;

• контроль за целевым использованием федеральных кредитов и средств, выделяемых для лизинга сельскохозяйственной техники;

• контроль за целевым использованием федеральных средств, выделявшихся для погашения задолженности по заработной плате работников бюджетной сферы;

• кассовое обслуживание учреждений, финансируемых из федерального бюджета, включая предпринимательскую и приносящую иной доход деятельность, а также кассовое обслуживание учреждений, финансируемых из бюджетов субъектов РФ и местного бюджета. В мае 1999 г. из непосредственного

подчинения Отделения Федерального Казначейства (ОФК) по г. Волгограду были выведены отделения казначейства по районам г. Волгограда, сохранив за ОФК по г. Волгограду функции оперативного управления их основной деятельностью.

В настоящее время в отделении по г. Волгограду УФК Волгоградской области открыты 165 лицевых счетов, в том числе 92 – по федеральному бюджету и 73 – по бюджету области. Отделение занимается расчетно-кассовым обслуживанием целевых программ финансирования из областного и федерального бюджета, ведением лицевых счетов для учета операций со средствами, полученными от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности получателей средств федерального бюджета, финансируемых на основании смет доходов и расходов.

Одной из приоритетных задач, поставленных перед органами Федерального казначейства и непосредственно перед Отделением по г. Волгограду в 2007 году – это развитие системы электронного документооборота (СЭД) с получателями бюджетных средств. В 2006 г. на примере пилотного клиента – Территориального Управления Федеральной службы финансово-бюджетного надзора обрабатывались вопросы организационного и технического взаимодействия по электронному обмену документами. В рамках реализации данной задачи в Волгоградском отделении подключено к системе электронного документооборота более 60 % абонентов.

Другой задачей в текущем году, выполнение которой начато в 2006 г., перед Волгоградским Отделением является подготовка Отделения к осуществлению функций по ведению реестра государственных контрактов, заключенных от имени РФ по итогам размещения заказов, в соответствии с Федеральным законом РФ от 21.07.2005 г. № 94-ФЗ «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд», которая в настоящее время полностью исполняется.

Отделение по г. Волгограду осуществляет возложенные функции по финансированию, оперативному управлению деятельностью органов бюджетной системы с численностью в 43 гражданских служащих, многие из которых работают с начала основания Отделения (05.05.1994 г.). Блазнин С.П., Баранова Э.А., Доронина Н.Ш, Котенко Е.А, Лагутина Л.Т., Ланг Т.И., Мельникова Л.А. и многие другие соответствуют современным требованиям профессионализма, ответственности, систематически повышают свою квалификацию. Большое внимание уделяется воспитанию молодых кадров, приобретению ими профессиональных знаний и навыков, необходимых для исполнения должностных обязанностей федерального гражданского служащего. Поставленные перед Отделением задачи в настоящее время успешно выполняются.

Организация исполнения федерального бюджета в РФ требует постоянного контроля за правильным доведением до учреждений и организаций предусмотренных бюджетом платежей в федеральный бюджет финансирования из федерального бюджета. Органы Федерального Казначейства предоставляют

руководству страны достоверную информацию о состоянии федерального бюджета на конкретную дату и обладают информацией о финансовом состоянии государства.

В связи с этим стратегической целью развития казначейской системы РФ является создание условий для:

• полного и обособленного учета государственных бюджетных и внебюджетных средств;

• эффективного контроля за полнотой и своевременностью зачисления платежей в доходы бюджетов и целевым характером расходов федерального бюджета, а также субсидий и субвенций, выделяемых из федерального бюджета региональным и местным бюджетам;

• эффективного управления средствами федерального бюджета на едином счете Федерального казначейства.

В ближайшей перспективе своего развития казначейская система должна максимально использовать систему электронного документооборота как с клиентами-бюджетополучателями всех уровней бюджетной системы, финансовыми органами, так и администраторами поступлений доходов. Преимущества электронного документооборота очевидны, и не столько благодаря экономии материальных, трудовых и финансовых ресурсов, сколько более оперативному управлению государственными финансами, средствами субъектов и местными бюджетами. Этот показатель нагляден и депутатскому корпусу, и исполнительной власти любого уровня, когда необходимо осуществлять краткосрочное прогнозирование.

Органы Федерального казначейства готовы осуществить выполнение вышеуказанной задачи, а этому должно способствовать наличие необходимой компьютерной техники и обученного персонала в муниципальных образованиях; наличие унифицированных электронных документов, разработанных Министерством финансов России, чтобы полностью отказаться от бумажных носителей, и не только в форме платежных документов, но и подтверждающих (счета-фактуры, акты сверки, акты выполненных работ и др.).

КОНТРОЛЛИНГ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Аблеева Р.И. – канд. экон. наук, доцент
филиала «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
Репникова Г.Н. – канд. экон. наук, начальник
экономического управления ООО «Волгоградэнерго»

Систему управления предприятием можно изобразить в виде трехслойной пирамиды. В нижнем слое располагаются модули, отвечающие за сбор первичной информации, его можно назвать слоем оперативного учета. На данных нижнего слоя строится работа модуля управленческого учета, задача которого –

представление детальной отчетности о деятельности предприятия. На этом же уровне функционирует и система бухгалтерского учета. Разница между управленческим и бухгалтерским учетом заключается в потребителях информации (данные бухгалтерского учета – для внешнего использования, данные управленческого учета – для внутреннего) и в степени детализации информации (данные управленческого учета более детализированы).

Верхний слой – слой анализа и поддержки принятия решений. Информация на этом уровне является консолидированной из разных подсистем управленческого учета для представления полной картины предприятия и принятия решений.

Анализ
Управленческий учет
Оперативный учет

Рис. 1. Система управления предприятием

В условиях рыночной экономики очевидны основные направления совершенствования деятельности предприятий: эффективная маркетинговая политика и управление финансовыми ресурсами. Решение этих задач предполагает использование принципов антикризисного управления, а также наиболее прогрессивных концепций менеджмента в области финансов и маркетинга.

Одной из наиболее современных концепций управления предприятием в условиях рыночной экономики является контроллинг.

Существуют следующие его направления:

1) контроль за ходом производственного процесса и формированием результата;

2) контроль за сохранностью имущества хозяйствующего субъекта;

3) контроль за достоверностью информации о хозяйственном процессе и его результате, необходимый при формировании внешней и внутренней финансовой отчетности;

4) контроль за рациональным использованием ресурсов и эффективностью хозяйственной деятельности предприятия;

5) контроль за соответствием действующим стандартам, нормам, правилам, положениям, учетной политики, законодательным и нормативным актам.

Контроллинг – это интегрирующая и координирующая подсистема контура управления, который обеспечивает инструментальную и методическую базы поддержки принятия управленческих решений с опорой на информационные потоки. В системе контроллинга одним из приоритетных направлений является финансовый контроллинг, который представляет собой контролирующую систему, обеспечивающую концентрацию контрольных действий на наиболее приоритетных направлениях финансовой деятельности предприятия, современное выявление отклонений фактических ее результатов от предусмотренных и принятие оперативных решений, обеспечивающих ее нормализацию.

Основными функциями финансового контроллинга являются:

1) наблюдение за ходом реализации финансовых заданий, установленных системой плановых финансовых показателей и нормативов;

2) измерение степени отклонения фактических результатов финансовой деятельности от предусмотренных;

3) диагностирование по размерам отклонений ухудшений в финансовом состоянии предприятия и существенного снижения темпов его финансового развития;

4) разработка оперативных управленческих решений по стабилизации финансовой деятельности предприятия в соответствии с предусмотренными целями и показателями;

5) корректировка при необходимости отдельных целей и показателей финансового развития в связи с изменением внешней финансовой среды, внешних и внутренних условий осуществления хозяйственной деятельности предприятия.

Анализ этих функций показывает, что финансовый контроллинг является эффективной координирующей системой обеспечения взаимосвязи между формированием информационной базы, финансово-экономическим анализом, финансово-экономическим планированием и внутренним финансовым контролем на предприятии.

Показатели анализа финансового состояния предприятия	**Показатели экономического анализа состояния предприятия в процессе финансового контроллинга**
1. Первичные показатели бухотчетности: Совокупные активы (пассивы), внеоборотные активы, ликвидные активы, краткосрочная дебиторская и кредиторская задолженности, оборотные активы, собственный капитал, обязательства должника. ***2. Коэффициенты, характеризующие платежеспособность:*** Коэффициент абсолютной ликвидности, коэффициент текущей ликвидности, показатель обеспеченности обязательств должника его активами, степень платежеспособности по текущим обязательствам. ***3. Коэффициенты, характеризующие финансовую устойчивость:*** Коэффициент автономии (финансовой независимости), коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, доля просроченной кредиторской задолженности в пассивах, показатель отношения дебиторской задолженности к совокупным активам. ***4. Коэффициенты, характеризующие деловую активность:*** Рентабельность активов, норма чистой прибыли.	***1. Оценка достаточности денежных ресурсов для погашения обязательств в установленные сроки:*** Коэффициент эффективности денежных потоков, коэффициент равномерности, коэффициент корреляции положительных и отрицательных денежных потоков. ***2. Анализ выполнения обязательств предприятия:*** Выполнение обязательств перед фискальной системой, выполнение обязательств перед поставщиками и подрядчиками, выполнение внутренних обязательств. ***3. Оценка внутренней эффективности бизнес-единиц предприятия:*** Коэффициент эффективности денежного потока по виду деятельности; доля чистого денежного потока по виду деятельности в общей сумме чистого денежного потока.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……. 3

Секция № 1

Теплоэнергетика

Кузеванов В.С., Терентьев Г.Ф. Концепция водосбережения на объектах ЖКХ и промышленных предприятиях……. 5

Грошев А.И., Закожурникова Г.С. Анализ температурных режимов при производстве карбида кремния……. 6

Гришин С.С. Использование аккумуляторов холода в системах вентиляции и кондиционирования воздуха как один из способов энергосбережения……..... 11

Добринский Л.К. Энергетическая революция……. 17

Гриценко А.Н., ***Староверов В.В.***, ***Горчаков А.М.*** Система регулирования давления газовой смеси маслованны подшипника гидрогенератора……. 19

Гриценко А.Н. Теплонасосная система опреснения минерализованной воды…. 24

Терентьев Г.Ф., Закожурников С.С. Проект водосбережения на объектах ЖКХ…… 28

Грошев А.И., Литвинов С.А. Оценка рынка монтажных работ и услуг для реализации инвестиционной программы ОАО РАО «ЕЭС России» в 2007-2012 гг… 31

Пивченко А.В. К вопросу о моделировании процесса деаэрации……. 37

Шоричев А.В. К взаимодействию сферических объектов в идеальной потенциальной жидкости…… 42

Староверов В.В., Закожурникова Г.С. Система контроля параметров энергетических устройств…….. 45

Шевчук В.П., Ерёмин Д.В. Способ вычисления обобщенного показателя эффективности работы котлоагрегата……... 50

Шевчук В.П., Грошев Н.А., Чибирев А.В. Разработка алгоритма управления турбогенератора по эффективности его работы…….. 51

Секция № 2

Электроэнергетика

Васильев П.Д., Такташев Р.Н. Совершенствование системы подогрева резервуаров хранения жидкого топлива на основе данных численных экспериментов…….. 58

Васильев П.Д., Ветлицын Ю.А. Оптимизация режимов работы насосных станций…… 59

Зенина Е.Г., Арванитаки Н.В. К вопросу энергосбережения на промышленных предприятиях г. Волжского……... 64

Гольцов А.С., Клименко А.В., Силаев А.А., Афанасьев А.В., Некрасов Д.А. Адаптивная система управления частотой вращения ротора гидротурбины Волжской ГЭС при пуске..... 67

Шилин А.Н., Иванников С.А., Шилин А.А. Интеллектуальный датчик регистрации места повреждения линии электропередачи..... 69

Петров С.А. Особенности применения интеллектуального реле ZELIO LOGIC…….. 73

Яковлев А.А. Разработка новых технических решений преобразователей энергии на основе модели физического принципа действия…….. 76
Желтоногов А.П. Статистические методы обработки информации……. 79
Васильев П.Д., Васильева И.Л. Об эргономичной раскладке букв русского и английского языков на клавиатурах устройств ввода информации с ограниченным числом клавиш…… 83

Секция № 3

Химия и экология

Прохватилова Л.И., Кузьмин С.Г. Интеллектуальная модель прогнозирования активности катализатора установки гидроочистки……... 89
Одоевцева М.В., Мазин Г.С. Особенности внедрения компьютерных тренажеров для персонала химцехов…… 90
Баранов А.Е. Исследование погрешности виртуального прибора параметров живой рыбы……. 92
Качегин Д.А.Внедрение виртуального прибора управления абсорбционной установкой…… 94

Секция № 4

Машиностроение и металлургия

Капля Е.В., Усманова С.Х. Модель кристаллизатора машины непрерывной разливки стали……. 104
Капля Е.В., Мироненко К.Б. Система ориентации наземной солнечной батареи……. 109
Шамигулов П.В., Коровин И.С. Синтез алгоритма вычисления вектора состояния линейного динамического объекта…….. 111
Агринская С.А., Ванина Е.А. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в укрепляющей части ректификационной колонны… 115
Агринская С.А., Власова О.С. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в кубе ректификационной колонны……. 119
Капля В.И. Фотограмметрическая измерительная система положения манипулятора……... 123
Капля Е.В., Шустов М.Ю. Диагностика состояния гидроагрегата ГЭС по кривым разгона……... 124
Рыбанов А.А. Адаптивный тестовый контроль как средство измерения уровня знания обучаемых……... 129
Рыбанов А.А., Бутенко С.Н. Разработка и исследование инвариантной схемы базы данных системы автоматизированного проектирования тестовых заданий……. 132
Трофимов А.И., Минин С.И. Автоматизированное ультразвуковое устройство снятия остаточных напряжений в сварных соединениях трубопроводов……. 134
Трофимов А.И., Минин С.И., Каленишин М.Г. Автоматизированная ультразвуковая система контроля металлоконструкций на основе фазированной решетки……. 135
Трофимов А.И., Минин С.И. Определение напряженного состояния металла ультразвуковым методом……. 137

Трофимов А.И., Минин С.И. Интеллектуальная измерительная система контроля качества металлоконструкций……... 141
Шилин А.Н., Гонжал М.И. Адаптивный измерительный преобразователь…… 148
Севастьянов Б.Г. Достоверность аналоговой и дискретной информации в АСУТП……... 153
Иванов Л.Б., Бурцев А.Г., Силаев А.А., Саньков С.Г. Экспериментальное исследование частотных электроприводов для сборочного станка……... 155
Григорьянц Р.А., Маликов Е.А. Пусковые особенности дизельных роторно-поршневых двигателей семейства RAG…… 157
Григорьянц Р.А., Маликов Е.А. Роторно-поршневые двигатели с многосинхронными рабочими циклами семейства RAG…… 162
Мокичева Ю.В. Разработка пакета прикладных программ для синтеза систем автоматического регулирования…….. 167

Круглый стол

Кузеванов В.С. Оптимизация процедур адаптации молодых специалистов на предприятии…… 177
Аблеева Р.И., Репникова Г.Н. Стратегия развития казначейской системы России и перспективы её развития в регионе…… 182
Аблеева Р.И., Репникова Г.Н. Контроллинг как один из способов управления предприятием…….. 186

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЮЖНОГО РЕГИОНА

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ
НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
25 – 28 сентября 2007 года

Сборник научных статей

Ответственный за выпуск: *Усманова С.Х.*

Редакторы *Халдеева Г.П.*
Юрина В.В.

Подписано в печать 20.05.2008. Формат $60\times90_{1/16}$.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 12,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 289.

Издатель Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.
Отпечатано Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.