

ПОДПИСКА



2010

II ПОЛУГОДИЕ

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ! МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ РАЗЛИЧНЫЕ ВАРИАНТЫ ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСКИ НА ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА «ПАНОРАМА»

1 ПОДПИСКА НА ПОЧТЕ



ОФОРМЛЯЕТСЯ В ЛЮБОМ ПОЧТОВОМ ОТДЕЛЕНИИ РОССИИ

Для этого нужно правильно и внимательно заполнить бланк абонемента (бланк прилагается). Бланки абонементов находятся также в любом почтовом отделении России или на сайте ИД «Панорама» – www.panor.ru.

Подписные индексы и цены наших изданий для заполнения абонемента на подписку есть в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать» и каталоге российской прессы «Почта России». Цены в каталогах даны с учетом почтовой доставки.

Подписные цены, указанные в данном журнале, применяются при подписке в любом почтовом отделении России.



2 ПОДПИСКА В РЕДАКЦИИ



Подписаться на журнал можно непосредственно в Издательстве с любого номера и на любой срок, доставка – за счет Издательства. Для оформления подписки необходимо получить счет на оплату, прислав заявку по электронному адресу podpiska@panor.ru или по факсу (495) 250-7524, а также позвонив по телефонам: (495) 211-5418, 749-2164, 749-4273.

Внимательно ознакомьтесь с образцом заполнения платежного поручения и заполните все необходимые данные (в платежном поручении, в графе «Назначение платежа», обязательно укажите: «За подписку на журнал» (название журнала), период подписки, а также точный почтовый адрес (с индексом), по которому мы должны отправить журнал).

Оплата должна быть произведена до 15-го числа предподписного месяца.

РЕКВИЗИТЫ ДЛЯ ОПЛАТЫ ПОДПИСКИ

Получатель: ООО Издательство «Профессиональная Литература».
ИНН 7718766370 / КПП 771801001, р/сч. № 40702810438180001886
Банк получателя: Вернадское ОСБ №7970, г. Москва
Сбербанк России ОАО, г. Москва.
БИК 044525225, к/сч. № 30101810400000000225

Образец платежного поручения

3 ПОДПИСКА В СБЕРБАНКЕ



ОФОРМЛЯЕТСЯ В ЛЮБОМ ОТДЕЛЕНИИ СБЕРБАНКА РОССИИ

Частные лица могут оформить подписку в любом отделении Сбербанка России (окно «Прием платежей»), заполнив и оплатив квитанцию (форма ПД-4) на перевод денег по указанным реквизитам ООО Издательство «Профессиональная Литература» по льготной цене подписки через редакцию, указанную в настоящем журнале.

В графе «Вид платежа» необходимо указать издание, на которое вы подписываетесь, и период подписки, например 6 месяцев.

Не забудьте указать на бланке ваши Ф.И.О. и подробный адрес доставки.

4 ПОДПИСКА НА САЙТЕ



ПОДПИСКА НА САЙТЕ www.panor.ru

На все вопросы, связанные с подпиской, вам с удовольствием ответят по телефонам (495) 211-5418, 250-7524.

На правах рекламы

| | | | | | |
|---|-----|----------------------|----------|------------------------|---------------|
| Поступл. в банк плат. | | Списано со сч. плат. | | XXXXXXX | |
| ПЛАТЕЖНОЕ ПОРУЧЕНИЕ № | | | Дата | электронно Вид платежа | |
| Сумма прописью | ИНН | КПП | Сумма | | |
| Плательщик | | | Сч. № | | |
| Банк плательщика | | | БИК | 044525225 | |
| Сбербанк России ОАО, г. Москва | | | Сч. № | 30101810400000000225 | |
| Банк получателя | | | Сч. № | 40702810438180001886 | |
| ИНН 7718766370 КПП 771801001 | | | Сч. № | 40702810438180001886 | |
| ООО Издательство «Профессиональная Литература» Вернадское ОСБ №7970, г. Москва | | | Вид оп. | 01 | Срок плат. |
| Получатель | | | Наз. пл. | | Очер. плат. 6 |
| | | | Код | | Рез. поле |
| Оплата за подписку на журнал _____ (___ экз.) на _____ месяцев, в том числе НДС (0%) _____ | | | | | |
| Адрес доставки: индекс _____, город _____, ул. _____, дом _____, корп. _____, офис _____, телефон _____ | | | | | |
| Назначение платежа | | | Подписи | | Отметки банка |
| М.П. | | | | | |

СОДЕРЖАНИЕ

ЖУРНАЛ

«ГЛАВНЫЙ ЭНЕРГЕТИК» № 6

Журнал входит в Перечень ВАК
в редакции от 19.02.2010 г.

Журнал зарегистрирован Министерством
Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых
коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-15358
от 12 мая 2003 года

ISSN 2074-7489

ИД «Панорама»
Издательство «Совпромиздат»
www.panor.ru

Почтовый адрес:
125040, Москва, а/я 1 (ИД «Панорама»)

Главный редактор издательства
Шкирмонтов А. П.,
канд. техн. наук
aps@panor.ru
тел. (495) 945-32-28

Главный редактор
Леонов С.А.
glavenergo@mail.ru

Редакционный совет:

Киреева Э. А., канд. техн. наук, проф.
Института повышения квалификации
«Нефтехим», председатель

Жуков В. В., д-р техн. наук, проф.,
чл.-корр. Академии электротехнических
наук РФ, директор Института энергетики

Мисриханов М. Ш., д-р техн. наук,
проф., генеральный директор ФСК
«Межсистемные электрические сети
Центральной России»

Старшинов В. А., д-р техн. наук, проф.,
зав. кафедрой МЭИ

Харитон А. Г., д-р техн. наук, проф.,
ректор Международной академии
информатизации

Чохонелидзе А. Н., д-р техн. наук, проф.
Тверского государственного технического
университета

Предложения и замечания:
promizdat@panor.ru
тел.: (495) 945-32-28;
922-37-58

Журнал распространяется по подписке
во всех отделениях связи РФ по каталогам:
ОАО «Агентство «Роспечать» —
индекс 82717;

«Почта России» — индекс 16579,
а также с помощью подписки в редакции:
тел.: (495) 250-75-24
e-mail: podpiska@panor.ru



ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ 6

«Московский энергетический институт
(технический университет)» в 1930–2010 гг. 6

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ 10

Экспертная оценка возможности использования
местных топлив и горючих отходов
в региональных энергетических балансах 10

ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВО 20

УДК 621.3.002.5
Особенности ремонта электрооборудования
взрывоопасных зон 20
Ю.Д. Сибикин, НТЦ «Оптим»

При проведении ремонта во взрывоопасных зонах наряду с общими мерами, предписываемыми ПБ, должны строго соблюдаться специальные меры безопасности.

Ключевые слова: электрооборудование, ремонт, взрывоопасная зона.

УДК 621.311.4
Высокотемпературные сверхпроводниковые
трансформаторы – новое поколение подстанционного
оборудования 28

А.А. Козулин, А.А. Виноградов, БГТУ им. В.Г. Шухова

Интерес к трансформаторам с использованием сверхпроводимости возник в 1960-е гг. Многие производители во всем мире начали раз-работки низкотемпературных сверхпроводниковых (НТСП) трансформаторов. За это время были достигнуты значительные успехи.

Ключевые слова: трансформатор, высокотемпературные, сверхпроводимость.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ 31

УДК 621.2.083
Влияние организации ступенчатого факельного сжигания
кузнечных углей на удельные выбросы NO_x 31

А.М. Архипов, В.Я. Путилов, МЭИ (технический университет)

Представлены результаты анализа трех этапов реконструкции котла ТП-87 Западно-Сибирской ТЭЦ. Предложены технические решения для котлов ТП-87 с жидким шлакоудалением по повышению надежности их работы и снижению удельных выбросов NO_x до уровня менее нормативных.

Ключевые слова: сжигание углей, котел, шлакоудаление.

УДК 621.438

Микротурбинные установки в малой энергетике

41

Г.Ф. Быстрицкий, Е.А. Хлебникова, МЭИ (технический университет)

Применявшиеся в большой энергетике паровые и газовые турбины были неэффективны при работе в малых диапазонах мощностей (менее 10 МВт), дизельные и газопоршневые генераторы не удовлетворяли экологическим требованиям и вызывали нарекания по эксплуатационным характеристикам. Технологические ограничения были сняты только с началом коммерческого производства совершенно нового класса энергетического оборудования – микротурбин (30 кВт–1 МВт).

Ключевые слова: микротурбинные установки, малая энергетика, турбогенератор.

ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ

49

УДК 620.1.05

Система автоматического управления вентиляцией, воздушным отоплением и кондиционированием воздуха в помещении на базе отечественного контроллера

49

А.С. Тарасов, МЭИ (технический университет)

В статье рассмотрены принципы построения современной системы автоматического управления системой вентиляции, главные отличия ее от других систем автоматического управления. Даются краткие описания алгоритмов и основных функций системы автоматического управления, разработанных цифрового блока управления и силовых управляющих блоков.

Ключевые слова: система автоматического управления, вентиляция, вентиляционная установка, воздушное отопление, CANopen, регулятор.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

58

Разработка модели комплекса переработки твердых бытовых отходов на базе концепции интенсивного энергосбережения

58

Т.А. Степанова, И.А. Корнилова, А.А. Никитина, МЭИ (технический университет)

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

66

УДК 681.356

Проектирование систем управления со свободно конфигурируемой структурой для преобразователей учебных лабораторных стендов

А.С. Анучин, А.М. Лисицкая, МЭИ (технический университет)

В статье рассмотрен подход к проектированию системы управления учебного преобразователя со структурой системы управления, построенной на основе свободных функциональных блоков, которые могут соединяться друг с другом пользователем в произвольном порядке для формирования любых структур систем регулирования. Приведено обоснование целесообразности данного подхода, определены структуры данных для решения задачи и представлены алгоритмы компилятора ядра системы управления.

Ключевые слова: свободно конфигурируемые системы управления, преобразователь частоты, лабораторное оборудование.

Правила предоставления статей для публикаций в научно-практическом журнале «Главный энергетик»

74

CONTENT № 6, 2010

| | |
|--|-----------|
| JUBILEE DATES | 6 |
| «Moscow energetical institute (technical university)» 1930–2010 | 6 |
| PROBLEMS AND SOLUTIONS | 10 |
| Expert's estimation of the possibility of usage of local fuel and combustible wastes in regional energy balances | 10 |
| ELECTRICAL FACILITIES | 20 |
| Peculiarities of repair of electrical equipment in explosion hazard zones | 20 |
| Yu.D. Sibikin, Research and development center «Optim» | |

During execution of repair in explosion hazard zones along with general measures prescriptible by safety rules, special safety measures should be strictly observed.

Key words: electrical equipment, repair, explosion hazard zone.

| | |
|--|-----------|
| High-temperature super-conducting transformers – new generation of substation equipment | 28 |
|--|-----------|

A. A. Vinogradov, A. A. Kozulin, Belarusian State Technological University named after V.G. Shuhov

Interest to transformers with the usage of super-conductivity appeared in 1960ties during appearance of low-temperature super-conductors applied for transformers' windings. A lot of manufacturers in the whole world among which can be called European groups of companies ABB and Alstom, and also K.E.P.C. (Japan) and Westinghouse (USA), began to develop low-temperature super-conductive transformers. During that time significant success was achieved.

Key words: transformer, high-temperature, super-conductivity.

| | |
|--------------------|-----------|
| HEAT SUPPLY | 31 |
|--------------------|-----------|

| | |
|---|-----------|
| Influence of organization of graded flaring of coals on specific emissions of NO_x and reliability of operation of boilers TP-87 during slag-tap removal | 31 |
|---|-----------|

A.M. Arkhipov, V.Ya. Putilov MPEI (technical university)

An article presents results of analysis of three stages of reconstruction of boiler TP-87 of West-Siberian TTP. Aims of reconstruction consisted in reduction of emissions of NO_x and increase of reliability and economic feasibility of operation of boiler during flaring of coals type GR and ROK. An article suggests technical solutions for boilers TP-87 with slag-tap removal on increase of reliability of their operation and reduction of specific emissions of NO_x up to the level less than specified levels.

Key words: coals flaring, boiler, slag-tap removal.

| | |
|--|-----------|
| Micro turbine plants in small-scale power-engineering | 41 |
|--|-----------|

G.F. Bystritsky, E.A. Khlebnikova, MPEI (technical university)

Applied in large-scale power-engineering steam and gas turbines were ineffective during operation in small power ranges (less than 10 MW), diesel and gas engine generator didn't comply with ecological requirements and rouse censure in the part of exploitation characteristics. Technological restrictions were lifted only with the beginning of commercial manufacture of totally new class of power equipment – micro turbines (30 kW–1 MW).

Key words: micro turbine plants, small-scale power-engineering, turbo generator.

GLAVNYY ENERGETIK (THE CHIEF POWER ENGINEER)

AIR SUPPLY 49

System of automatic control of ventilation, air heating and air conditioning in the room based on national controller 49

A.S. Tarasov, MPEI (technical university)

In article principles of construction of modern system of automatic control are considered by ventilation system. Its main differences from other systems of automatic control are considered. The short description of algorithms and the basic functions of system of automatic control is given, developed the digital block of management and power operating blocks is given.

Keywords: *automatic control system, ventilation, ventilating installation, air heating, CANopen, regulator.*

ENERGY SAVING 58

Development of the model of processing complex of residential solid waste on the basis of concept of intensive energy economy 58

T.A. Stepanova, I.A. Kornilova, A.A. Nikitina, Moscow power-engineering institute (TU)

SCIENTIFIC DEVELOPMENTS 66

Designing of control systems with freely configurable structure for converters of educational laboratory benches

A.S. Anuchin, A.M. Lisitskaya, MPEI (technical university)

An article considers approach to designing of the control system of educational converter with the structure of control system created on the basis of free functional blocks which can be connected with each other by the user in random order for formation of any structures of regulation systems.

Key words: *freely configurable control systems, frequency converter, laboratory equipment*

Rules of submission of the articles for publication in research-to-practice magazine «Glavnyy Energetik» 74



ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ



Серебрянников С.В.,
ректор МЭИ
(технический университет)

«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» В 1930–2010 гг.

Московский энергетический институт (технический университет) организован в 1930 г. на базе ряда кафедр и факультетов Московского высшего технического училища имени Н.Э. Баумана и Института народного хозяйства имени Г.В. Плеханова. За годы своего существования МЭИ превратился в крупнейший системообразующий вуз, имеющий статус государственного технического университета. В стенах МЭИ в разные периоды работали выдающиеся ученые: Нобелевские лауреаты А.Д. Сахаров и П.А. Черенков, академики К.А. Андрианов, А.Ф. Богомолов, С.И. Вавилов, В.А. Кириллин, В.А. Котельников, основатель московской электротехнической школы К.А. Круг и мн. др. Начиная с 1930-х гг. и по нынешний день МЭИ подготовил свыше 190 тысяч инженеров для нашей страны. Среди известных в настоящее время выпускников МЭИ: губернатор Калининградской области Г.В. Боос, руководитель Федерального агентства по информационным технологиям генерал армии В.Г. Матюхин, руководитель Федеральной

службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Б.П. Симонов, заместитель мэра Москвы в правительстве Москвы С.Л. Байдаков, ученые, руководители крупных энергетических компаний, политические деятели, представители бизнеса и финансов.

В 1940 г. за успехи в деле подготовки высококвалифицированных инженерно-технических и научных кадров МЭИ был награжден орденом Ленина. В 1964 г. комсомольская организация МЭИ награждена медалью «За освоение целинных земель». В 1980 г. за заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства и развития отечественной науки МЭИ был награжден орденом Октябрьской Революции.

С 1946 г. МЭИ ведет подготовку иностранных студентов и аспирантов. Московский энергетический институт награжден государственными наградами ГДР, Болгарии, ЧССР, Вьетнама и Польши. МЭИ – член Международной ассоциации университетов. В настоящее время в уни-



Московский энергетический институт
(технический университет)

верситете обучаются 800 студентов из 57 стран мира. В разные годы МЭИ окончили Премьер Государственного совета Китая Ли Пэн и Президент Румынии Ион Илиеску, министры энергетики и руководители крупных энергетических компаний многих стран мира.

В структуре Московского энергетического института (технического университета) уникальный учебно-производственный объект – единственная в системе российского высшего образования учебно-экспериментальная ТЭЦ, опытный завод, научно-техническая библиотека – одна из крупнейших среди библиотек технических вузов, инновационно-технологический центр, наноцентр и центр коллективного пользования по водородной энергетике, издательство, информационно-вычислительный центр, Дом культуры, современная физкультурно-спортивная база со стадионом, легкоатлетическим манежем и плавательным бассейном, спортивные лагеря в Подмосковье и Крыму.

Развиваясь в основном в Москве, МЭИ помогал становлению высшего образования в других регионах страны. В 1961 г. были созданы филиалы МЭИ в Чебоксарах и в Смоленске, в 1968 г. открыт филиал в г. Казани. Филиал МЭИ в Чебоксарах в 1967 г. преобразован в Чувашский государственный университет, а Казанский филиал в 1999 г. – в Казанский государственный энергетический университет. В 1995 г. открыт новый филиал в г. Волжском (Волгоградская область), в 2010 г. в состав МЭИ на правах филиала вошел Конаковский энергетический колледж.

В настоящее время в составе МЭИ девять институтов: Институт энергомашиностроения и

механики; Институт тепловой и атомной энергетики; Институт проблем энергетической эффективности; Институт электротехники; Институт электроэнергетики; Институт автоматики и вычислительной техники; Институт радиотехники и электроники; Институт технологий, экономики и предпринимательства; Гуманитарно-прикладной институт, а также 3 центра подготовки: Российско-германский институт бизнеса и промышленной автоматики «МЭИ-Фесто»; Институт безопасности бизнеса; Институт лингвистики.

МЭИ всегда славился глубокими и результативными научными исследованиями. Сегодня научно-исследовательская часть МЭИ включает научное управление, 59 научно-исследовательских отделов, 2 научно-исследовательские лаборатории, 9 научно-исследовательских центров, в том числе – наноцентр, Научный парк МЭИ, Российско-Китайский технопарк «Дружба», студенческое конструкторское бюро, а также научно-производственный центр «Опытный завод МЭИ».

Высокий научный потенциал университета и его современная материальная база обеспечивают проведение на самом высоком уровне исследований по федеральным научно-техническим программам, а также программам Министерства образования и науки РФ, Министерства энергетики РФ, различных российских и международных фондов (РФФИ, РФГФ и др.), международным программам (INTAS, TACIS и т.п.). Проводятся НИР по хозяйственным договорам с многими российскими и зарубежными партнерами в энергетической и других отраслях промышленности. Важнейшим направлением научных работ МЭИ в последние годы стала инновационная деятельность. Ежегодно МЭИ становится обладателем около 30 патентов, выполняет научно-исследовательские работы более чем на 500 млн руб.

Сегодня в МЭИ в Москве обучается более 14 тыс. студентов, около 700 аспирантов и докторантов. Учебный и научный процессы обеспечивают 2300 преподавателей и научных сотрудников, среди которых 340 докторов наук и 1025 кандидатов наук. Подготовка бакалавров, специалистов и магистров ведется более чем по 60 направлениям и специальностям.

За годы существования МЭИ в нем работало 48 академиков и членов-корреспондентов АН СССР и РАН, около 70 заслуженных деятелей науки России (РСФСР), нобелевские лауреаты,

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

более 120 лауреатов Ленинской премии, Государственной премии, премий Президента и Правительства России.

В разные годы МЭИ возглавляли: д-р техн. наук, профессор В.А. Голубцова (1943–1952 гг.); д-р техн. наук, профессор М.Г. Чиликин (1952–1976 гг.); член-корр. АН СССР В.А. Григорьев (1976–1985 гг.); д-р техн. наук, профессор И.Н. Орлов (1985–1990 гг.); член-корр. РАН Е.В. Аметистов (1990–2005 гг.).

С 1992 г. МЭИ – базовый вуз Учебно-методического объединения (УМО) высших учебных заведений России по образованию в области энергетики и электротехники. В настоящее время в УМО представлены более 280 образо-

вательных учреждений высшего профессионального образования. Учебно-методическая работа проводится по пяти направлениям подготовки и 31 специальности.

Партнерами МЭИ стали более 80 зарубежных университетов, в том числе такие всемирно известные компании, как ABB, Siemens, Schneider Electric, National Instruments, EPRI, Skoda, Samsung и другие, многие из них организовали на базе МЭИ совместные учебные и научные центры.

Традиции МЭИ были и остаются той основой, благодаря которой наш вуз считается одним из ведущих в России. В рейтинге технических университетов он неизменно в числе первых.

Биография С.В. Серебрянникова

Серебрянников Сергей Владимирович родился 27 мая 1952 г. в п. Монино Ногинского района Московской области в семье военнослужащего. В 1955 г. вместе с родителями выехал в ГДР (по месту службы отца), где в 1959 г. пошел в 44-ю советскую школу. В том же году продолжил обучение в п. Монино, а в 1960–1961 гг. проживал и обучался в г. Ленинграде. С 1961 по 1967 г. вновь обучался в 20-й средней школе в п. Монино, а далее, до окончания школы в 1969 г., проживал в г. Киеве, где окончил 169-ю среднюю школу. В том же году поступил на 1-й курс электроэнергетического факультета Киевского политехнического института.

В 1970 г. в связи с переездом отца на новое место службы перевелся на 2-й курс Московского энергетического института. Обучался на электромеханическом факультете по специальности «Электроизоляционная и кабельная техника». Окончил МЭИ в феврале 1975 г. и был рекомендован для поступления в аспирантуру, куда поступил в ноябре 1975 г. До этого срока работал на кафедре электротехнических материалов и кабелей МЭИ в должности инженера. В связи с избранием в комитет ВЛКСМ МЭИ с 1 января 1976 г. был отчислен из аспирантуры с правом восстановления. Работал старшим инженером МЭИ до избрания секретарем комитета ВЛКСМ МЭИ в 1978 г. Будучи на этой освобожденной работе до 1981 г., избирался членом Московского городского комитета ВЛКСМ, членом бюро Калининского РК ВЛКСМ г. Москвы. Одновременно работал ассистентом кафедры и имел педагогическую нагрузку.

С ноября 1981 г. – старший преподаватель кафедры электротехнических материалов и кабелей МЭИ. В 1987 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ученое звание доцента присвоено в апреле 1990 г.

В 1988–1990 гг. был освобожденным секретарем партийного комитета МЭИ, членом Калининского РК КПСС г. Москвы. В 1990 г. был избран делегатом 28-го съезда КПСС и участвовал в его работе.

С 1990 по декабрь 1993 г. работал доцентом кафедры, заместителем заведующего кафедрой по учебной работе и на полставки заместителем проректора по научной работе МЭИ. С 1 января 1994 г. – заместитель проректора МЭИ по научной работе, а с 20 апреля 2004 г. – первый проректор по научной работе МЭИ (ТУ).

В феврале 2004 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук (утвержден ВАК в мае 2004 г.).

С июня 2004 г. одновременно является заведующим кафедрой физики и технологии электротехнических материалов и компонентов и автоматизации электротехнологических комплексов МЭИ (ТУ).

Приказом Федерального агентства по образованию от 19 июля 2005 г. №17-02-02/114 утвержден в должности ректора ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» до 18 июля 2010 г.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ:



www.intecheco.ru



ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ПЫЛЕГАЗООЧИСТКА-2010»

г. Москва, 28-29 сентября 2010 г., ГК «ИЗМАЙЛОВО»

ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«НЕФТЕГАЗ-ИНТЕХЭКО-2010»

г. Москва, 19 октября 2010 г.

МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ВОДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ-2010»

г. Москва, 20 октября 2010 г., ГК «ИЗМАЙЛОВО»

МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА-2010»

г. Москва, 23 ноября 2010 г., ГК «ИЗМАЙЛОВО»

ЧЕТВЕРТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«МЕТАЛЛУРГИЯ-ИНТЕХЭКО-2011»

г. Москва, 29-30 марта 2011 г., ГК «ИЗМАЙЛОВО»

ВТОРАЯ МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА-2011»

г. Москва, 30 марта 2011 г.

ВТОРАЯ НЕФТЕГАЗОВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЭКОБЕЗОПАСНОСТЬ-2011»

г. Москва, 26 апреля 2011 г., ГК «ИЗМАЙЛОВО»

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ЭНЕРГЕТИКОВ

«РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ 2011»

г. Москва, 7-8 июня 2011 г.

www.intecheco.ru , т.: (905) 567-8767, ф.: (495) 737-7079, admin@intecheco.ru



Степанова Т.А., канд. техн. наук,
Николаев Д.А., аспирант

МЭИ (технический университет),
г. Москва

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСАХ

Сложившийся в последние 15–20 лет перекос топливного баланса в сторону использования природного газа противоречит энергетической безопасности страны. Кроме того, при росте энергопотребления в условиях снижения добычи на действующих месторождениях и сложности освоения новых месторождений нарастает дефицит природного газа. Поэтому особую актуальность приобретает снижение доли природного газа во внутреннем энергопотреблении за счет, в частности, альтернативных первичных источников энергии.

В качестве альтернативы природному газу нередко могут выступать местные виды топлива (бурый уголь, торф, древесина, твердые бытовые, промышленные и сельскохозяйственные отходы) – энергоносители, транспортировка которых на дальние расстояния, как правило, нецелесообразна ни с энергетической, ни с экономической точек зрения в силу их малой плот-

ности, низкой теплоты сгорания, высокой влажности, зольности или иных причин. Однако использование этих видов топлива в энергобалансе крупных мегаполисов обычно неактуально из-за высоких электрической и тепловой нагрузок. Покрытие высокого энергопотребления за счет низкокалорийного топлива требует высоких расходов последнего, что, в свою очередь, достижимо или за счет высокой стоимости доставки или при условии месторасположения энергогенерирующих мощностей в непосредственной близости от источника топлива.

Таким образом, главным потенциальным потребителем местных видов топлива являются регионы с небольшой плотностью населения с точечными энергетическими потребителями. Однако в регионах система снабжения ресурсами уже сформировалась и ориентирована на использование традиционных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), при этом местные

виды топлива, как правило, не вовлечены (по крайней мере, в региональных масштабах), и решения об их вовлечении должны приниматься обоснованно, опираясь на новые тенденции и закономерности в развитии ТЭК страны, предполагая комплексное изучение всех его элементов с учетом внешних связей, а также рассмотрение длительной перспективы его развития (15–30 лет и более) [1].

Для решения задачи обоснования вовлечения местных видов топлива в энергобаланс региона необходимо выделять и учитывать ряд факторов, оказывающих принципиальное влияние на ТЭК каждого конкретного региона в целом и на потенциал местных топлив в частности. Все эти факторы можно разбить на 6 групп:

Технологические факторы. Несмотря на то что на сегодняшний день рынок оборудования не обладает широким спектром техники для использования местных видов топлив, энергетиками нарабатан богатый технологический опыт их использования. Каждая технология обладает рядом особенностей и индивидуальными свойствами (вид получаемой продукции, вид используемого топлива, принципы сжигания и т.п.), которые определяют ее эффективность в конкретных условиях.

Энергетические факторы. Факторы, представляющие собой состояние и перспективы развития топливно-энергетического сектора региона, определяют текущие и прогнозные потребности в ТЭР для обеспечения коммунально-бытового, промышленного секторов и сельского хозяйства, характеризуют имеющийся потенциал местных топлив в регионе.

Экологические факторы. Учет экологических факторов является неотъемлемым аспектом при планировании функционирования и развития ТЭК региона, а вовлечение в ТЭК местных видов топлива может решать такие экологические задачи, как утилизация отходов в регионе, уменьшение выбросов парниковых газов и т.д.

Экономические факторы. Для того чтобы при планировании оценить финансовую эффективность переработки местных видов топлива, необходимо учитывать такие экономические факторы, как доходность предприятия, срок окупаемости, расходы на строительство, а также тарифы на энергоресурсы и пр. Именно на основании этих факторов в большинстве случаев инвестор принимает решение о строительстве той или иной технологической схемы.

Инфраструктурные и географические факторы. Строительство новых мощностей в ТЭК, а также модернизация старых должны проводиться с учетом существующей инфраструктуры региона. Как правило, в масштабах региона размещение запасов местного топлива не совпадает с размещением потребителей и предприятий их переработки. Наличие транспортных магистралей, тепловых и электрических сетей напрямую влияют на стоимости доставки энергоносителей, а также на капитальные затраты при строительстве. География района предопределяет условия потребления ТЭР. Особенности гидрологии и почв, расположения горных массивов, лесов и болот вносят сложный пространственный характер в задачу размещения предприятий и обеспечения необходимых условий для их работы.

Социальные факторы. Факторы, отражающие социальную удовлетворенность граждан. К таковым относятся: необходимость развития ТЭК как такового для того, чтобы обеспечить постоянно растущие потребности региона в энергии; введение новых мощностей позволит создать дополнительные рабочие места; близость предприятия по переработке отходов с жилыми районами негативно воспримется населением.

Эти группы факторов изображены на рис. 1.

Оценить влияние одного или небольшого количества факторов из одной группы не составляет большого труда. Учет же всех этих факторов представляет собой разветвленную и неоднозначную в своем решении задачу, поскольку все они взаимодействуют в сложных системах.

Распространенная методика по исследованию подобных сложных систем, как правило, сводится к построению и использованию множества простых математических моделей, которые строятся для одного или нескольких элементов системы, как правило, при фиксированных внешних параметрах. При подобном подходе довольно часто исчезает из поля зрения целостность изучаемой большой системы, а следовательно, усложняется наблюдение за ее поведением [2].

Таким образом, для описания и исследования поведения такой сложной системы, как топливно-энергетический сектор региона, необходимо руководствоваться некоторым методическим подходом, удовлетворяющим следующим требованиям:

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

| | |
|---|--|
| Технологические факторы <ul style="list-style-type: none">- технологии сжигания- вид получаемой продукции- вид топлива- перечень оборудования- прочее | Энергетические факторы <ul style="list-style-type: none">- вид энергетической продукции- замещение ископаемого топлива- диверсификация энергоснабжения- прочее |
| Экологические факторы <ul style="list-style-type: none">- выбросы вредных и опасных веществ- утилизация биомассы- выбросы парниковых газов- разработка топливных месторождений- прочее | Экономические факторы <ul style="list-style-type: none">- тарифы на продукцию- цены на материалы и сырье- инфляционные показатели- особенности оборудования- прочее |
| Инфраструктурные факторы <ul style="list-style-type: none">- территориальное размещение- транспортные особенности- наличие тепло- и электросетей- географические особенности- прочее | Социальные факторы <ul style="list-style-type: none">- наличие рабочих мест- близость производства- обеспечение энергоресурсами- прочее |

Рис. 1. Группы факторов, влияющие на эффективность вовлечения местных видов топлива в энергодбаланс региона

♦ все факторы, влияющие на эффективность использования местных видов топлива, учитываются комплексно;

♦ в оценках используются как энергетические, так и финансовые балансы;

♦ должны учитываться различные сценарии развития ТЭК региона;

♦ система должна рассматриваться в динамике, с учетом изменения ее во времени.

Таким требованиям отвечает методика, основанная на языке системной динамики и методах имитационного моделирования.

Этапы исследования

Этап 1. Сбор и обработка информации о рассматриваемом регионе

На данном этапе собирается информация о регионе, необходимая для представления его как потребителя ТЭР. Приводятся данные о его климатических условиях и географическом расположении. При необходимости описывается социальная структура: размещение населения по территории, жизненный уклад и занятость. Приводятся данные о развитии сельского хозяйства и промышленности. Указываются особенности живой и неживой природы региона, его

экологической обстановки. Особенное внимание уделяется описанию ТЭК региона. Описывается сложившийся топливно-энергетический баланс, определяется его энергетический статус – «энергозависимый» или «энергонезависимый». Проводится анализ потенциала местных ресурсов: расположение разведанных месторождений угля и торфа, расположение и потенциал топливной древесины, возможности использования топливного потенциала сельскохозяйственных, промышленных и бытовых отходов; оцениваются ресурсы геотермальной энергии, энергии ветра для ветроустановок, потенциальной энергии малой гидроэнергетики.

В заключение этапа формируется представление о регионе как о потребителе и производителе ТЭР. Выделяются его текущие энергетические проблемы (например, ориентированность ТЭБ на единственный вид топлива).

Этап 2. Описание сценариев развития ТЭК региона

На данном этапе наиболее полно формируются все возможные варианты развития ТЭК. В варианты входят возможности размещения предприятий ТЭК на новых площадках, рекон-

струкция либо замена существующих объектов. Предприятия и режимы их работы описываются в балансовом виде. Приводятся их экономические характеристики: капитальные затраты, издержки, сроки ввода в эксплуатацию (т.е. строительства) и расчетные сроки эксплуатации. На данном этапе важно наиболее полно отразить все имеющиеся альтернативы, чтобы при оптимизации и переборе вариантов учесть все возможные направления развития ТЭК.

Этап 3. Прогноз динамики изменения внешних факторов

На данном этапе определяется группа изменяющихся внешних условий: тарифы на отпускаемые услуги потребителям, цены на потребляемые материалы или услуги, спрос на производимую энергетическую продукцию и т.п. Формируются динамические особенности их изменения.

При необходимости в процессе экспериментов выявляются два принципиальных сценария: пессимистичный (при самом неблагоприятном сочетании внешних условий, влияющих на работу предприятий, использующих местные топливные ресурсы) и оптимистичный (при самом благоприятном). Также для дополнительной оценки могут рассматриваться и средние условия.

Этап 4. Построение имитационной модели

Обладая информацией о регионе и о возможных путях развития его энергетического сектора, с помощью компьютерных имитационных программ (AnyLogic, PowerSim и т.п.) строится модель (или при необходимости несколько моделей), которая бы учитывала все сценарии и особенности развития региона. Данная модель должна обладать возможностью учета динамики изменения различных внешних факторов, как, например: неравномерность электрической и тепловой нагрузки, изменение тарифов и цен и т.д. Модель должна обладать возможностью учета энергетических, топливных и денежных потоков.

Этап 5. Верификация модели

На этом этапе необходимо «прогнать модель» при различных начальных условиях, а результаты имитационных экспериментов необходимо сравнить с поведением реальной системы. Однако в процессе верификации может существовать некоторая сложность, поскольку моделируемая система не всегда существует реально и может оказаться, что результаты экспериментов не с чем будет сравнивать. В таком случае полученные данные приходится анализировать на основе некоторых статистических данных, экспертных оценок или

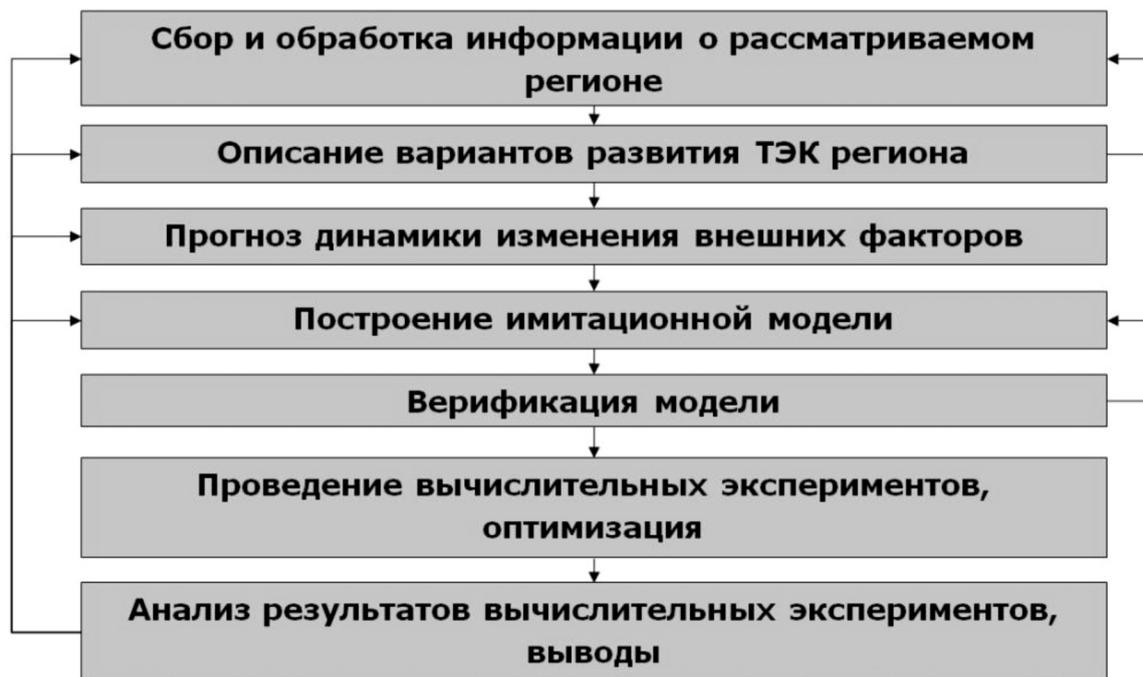


Рис. 2. Этапы исследования

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

динамических гипотез. В случае если анализ выявил неадекватное поведение модели, необходимо вернуться к предыдущему этапу либо изменить структуру модели.

Этап 6. Проведение вычислительных экспериментов, оптимизация

На данном этапе с помощью имитационных моделей, учитывающих динамику изменения внешних факторов, проводится серия вычислительных экспериментов. Данные эксперименты проводятся по всем рассматриваемым сценариям развития топливно-энергетического комплекса, имитируются изменения внешних факторов (цены и тарифы, спрос и т.п.), отвечая на вопрос: «Что будет, если?». В результате экспериментов пользователь получает динамические графики, отображающие поведение ТЭК района, его энергетические, экологические и экономические показатели, на всем моделируемом промежутке времени. При многовариантности задачи проводится оптимизация, в результате которой получается один или несколько наиболее подходящих сценариев развития ТЭК региона.

Этап 7. Анализ результатов вычислительных экспериментов, выводы

Этап позволяет окончательно оценить устойчивость полученной оптимальной структуры и обеспечивает дополнительную информацию для последующей разработки плана развития региональной инфраструктуры предприятий, использующих местные топливные ресурсы.

Если в результате анализа результатов выявляются новые, ранее неучтенные факторы, влияющие на развитие ТЭК, а также новые, не рассмотренные сценарии его развития, предыдущие этапы методологии повторяются с учетом выявленных аспектов. При необходимости формируется отчет с полным обоснованием принятого решения, который потом передается заинтересованным структурам (например, администрации района).

В зависимости от поставленных задач и необходимого уровня их проработки, а также от внешних граничных условий рассматриваемой системы цели каждого из этих этапов могут быть изменены таким образом, чтобы структура всей изучаемой системы в конечном итоге адекватно воспроизводила ее динамику.

Для апробации методического подхода был выбран Коломенский район Московской области населением более 200 тыс. чел. (166,5 тыс. чел. городского населения и 33,7 тыс. чел. сельского населения). На этапе сбора информации выяснилось, что в данном регионе в качестве местных видов топлива могут выступать лишь твердые бытовые и некоторые промышленные отходы, поскольку иных источников местных топлив в регионе нет. Из всех существующих способов энергетического использования отходов в настоящее время отработан и широко используется всего один – сжигание. Однако анализ литературных данных показал, что использование одной лишь технологии сжигания для переработки отходов не только в большинстве случаев убыточно, но и с точки зрения

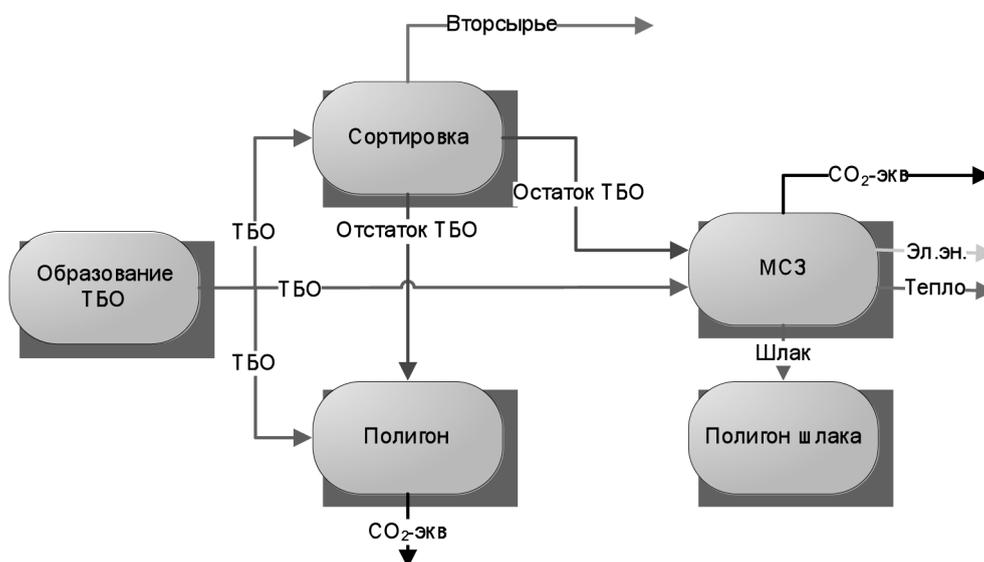


Рис. 3. Схема движения отходов в границах технологии



Рис. 4. Предполагаемый район для снабжения тепловой энергией

ресурсо- и материалосбережения не рационально [3]. Поэтому в качестве внедряемой технологии рассматривается мусороперерабатывающий комплекс (МПК), включающий в себя две стадии переработки – сортировку поступающих отходов и последующее их сжигание. На МПК вырабатываются 3 вида продукции: тепловая энергия для отопления и горячего водоснабжения, электрическая энергия и вторичное сырье. Схема движения отходов в границах технологии представлена на рис. 3.

Рассматриваемый промежуток времени – 15 лет: 01 января 2009 г. – 31 декабря 2024 г. В качестве временного шага при проведении динамических экспериментов был выбран 1 день.

Анализ застроек в г. Коломне Московской обл. показал, что одним из вероятных потребителей тепловой энергии может выступать жилой район на юге города (рис. 4). Данный район содержит в основном девятиэтажные дома и имеет население 25,5 тыс. чел. и площадь жилых зданий около 360 тыс. м².

В результате анализа возможных месторасположений МПК была выбрана площадь на юго-западе Коломны (экологические и санитарные аспекты в примере не рассматривались). Недалеко от предполагаемого месторасположения

МПК расположен полигон твердых бытовых отходов «Воловичи», что позволит облегчить задачу использования отходов.

Для оценки работы МПК была построена имитационная модель в среде PowerSim. Разработанная модель предназначена для исследования работы мусороперерабатывающего комплекса по энергетическим, экологическим и экономическим параметрам. Структуру данной компьютерной модели можно расписать в виде простых вычислительных блоков, связанных между собой множеством прямых и обратных связей. Она содержит: блок ввода исходных данных; блок расчета морфологического состава ТБО и их теплоты сгорания; блок расчета процесса горения и определения выбросов дымовых газов в атмосферу; блок «Потоковая диаграмма системы движения твердых бытовых отходов»; блок вычисления потребностей выбранного района в тепле; блок, вычисляющий тепловую и электрическую нагрузку МПК; блок для расчета экономической эффективности технологии; блок, формирующий результаты эксперимента.

Каждый из этих блоков (кроме блока ввода исходных данных) предназначен для вычисления ряда переменных, как вспомогательных (те, которые используются внутри программы), так и

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

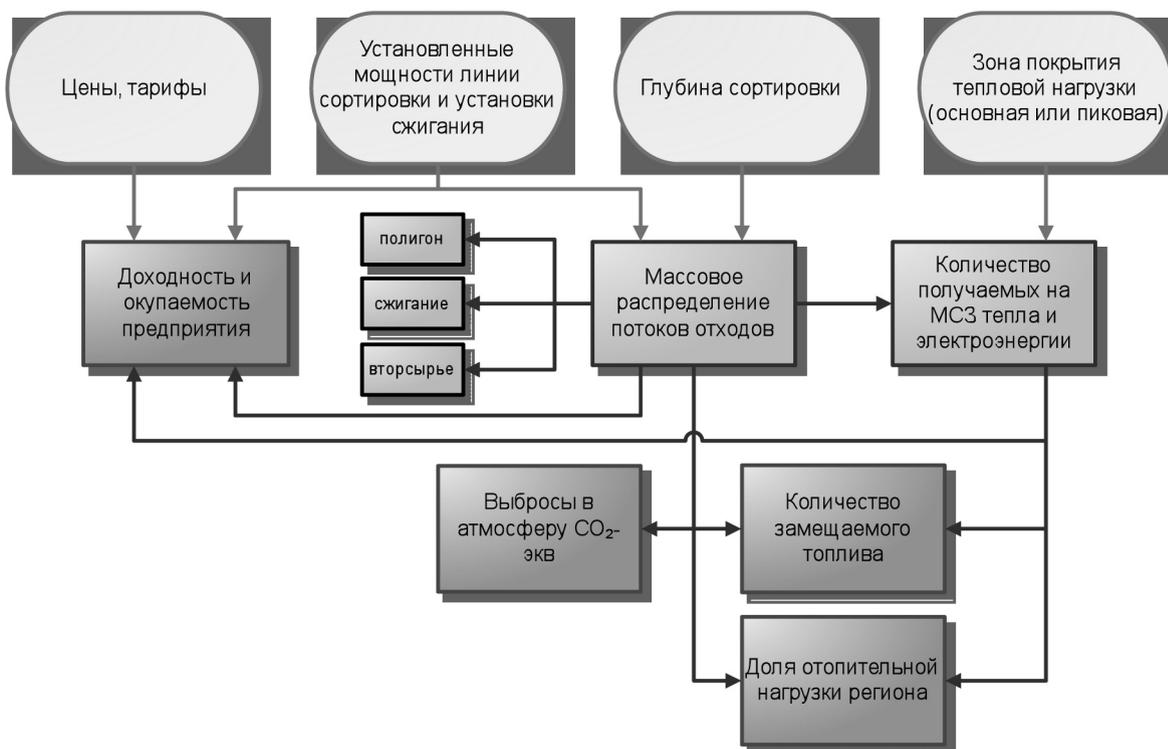


Рис. 5. Укрупненная схема внешних факторов и критериев эффективности рассматриваемой системы

выходных. Среди множества всех переменных были выделены несколько, объединенные в группы, представляющие особенный интерес при планировании развития ТЭК и использования энергонесущих отходов. На рис. 5 показаны внешние факторы («овалы»), влияющие на эффективность внедрения технологии, и критерии, определяющие эффективность ее эксплуатации (прямоугольники). При планировании нового мусороперерабатывающего комплекса обязательно встает ряд задач, например:

- ◆ выбор оптимальной производительности для линии сортировки и для установки сжигания;
- ◆ выбор глубины сортировки отходов;
- ◆ поведение системы в случае покрытия заводом одной из видов тепловой нагрузки – основной или пиковой;
- ◆ величина тарифов на отпускаемую продукцию при условии безубыточности рассматриваемого предприятия и т.д.

Все задачи могут решаться как по отдельности, так и комплексно. Таким образом, вопрос выбора параметров рассматриваемой технологии представляет собой оптимизацию, причем в зависимости от выбранных нами критериев эта оптимизация может быть как одно-, так и многопараметрической.

Например, на построенной модели решалась задача соотношения производительностей линии сортировки и установки сжигания сначала с одним параметром оптимизации, а затем с двумя.

Первая серия вычислительных экспериментов проводилась при условии максимальной экономической эффективности. С помощью программы Power-Sim была проведена однопараметрическая оптимизация для выбора производительностей, которые будут соответствовать максимальной прибыли предприятия.

Производительности варьировались в диапазоне 50–200 т/сут. В расчете были приняты начальные цены и тарифы по состоянию на 2008 г., инфляция – на уровне 11%. Удельные капитальные затраты приняты равными 8200 руб/(т/год) для МСЗ и 280 руб/(т/год) для линии сортировки [3]. Глубина сортировки – 32%. Уровень максимальной тепловой мощности завода не ограничен, однако его тепловая нагрузка рассчитывалась в соответствии с графиком теплоснабжения отапливаемого района, где базовую нагрузку покрывают за счет МПК. Для демонстрации динамичности системы в модель была заложена некоторая динамика образования отходов, при которой до 2015 г. масса образующихся отходов растет, а после – падает.

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Таблица 1

Срок окупаемости МПК, лет

| | Производительность сортировочной линии, т/сут | | | | |
|--|---|------|------|------|-----|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Производительность установки сжигания, т/сут | 50 | 14,8 | 8,5 | 6,3 | 6 |
| | 100 | – | 12,2 | 9,4 | 9 |
| | 150 | – | – | 14,2 | 14 |
| | 200 | – | – | – | – |
| | 200 | – | – | – | – |

Таблица 2

Полученная прибыль за 15 лет эксплуатации, млн руб.

| | Производительность сортировочной линии, т/сут | | | | |
|--|---|----------|--------|--------|--------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Производительность установки сжигания, т/сут | 50 | 11,4 | 353,5 | 662,9 | 708,1 |
| | 100 | -193,7 | 180,6 | 497,9 | 545,5 |
| | 150 | -507,7 | -177,4 | 87,6 | 125,0 |
| | 200 | -1 056,4 | -694,8 | -428,8 | -389,9 |
| | 200 | -1 056,4 | -694,8 | -428,8 | -389,9 |

Таблица 3

Степень загрузки мощностей (сжигание – сортировка), %

| | Производительность сортировочной линии, т/сут | | | | |
|--|---|----------|----------|-----------|-----------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Производительность установки сжигания, т/сут | 50 | 100–100 | 100–100 | 100–98,9 | 100–79,4 |
| | 100 | 100–100 | 100–100 | 99,5–98,9 | 99,5–79,4 |
| | 150 | 94,5–100 | 85,7–100 | 75,8–98,9 | 73,5–79,4 |
| | 200 | 72–100 | 64,3–100 | 56,9–98,9 | 55,1–79,4 |
| | 200 | 72–100 | 64,3–100 | 56,9–98,9 | 55,1–79,4 |

Таблица 4

Степень заполнения полигона при установленной емкости 1 млн т, %

| | Производительность сортировочной линии, т/сут | | | | |
|--|---|------|------|------|------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Производительность установки сжигания, т/сут | 50 | 55,4 | 47,6 | 40,1 | 38,5 |
| | 100 | 33,5 | 25,7 | 18,4 | 16,8 |
| | 150 | 15,2 | 13,2 | 12,2 | 12,1 |
| | 200 | 14,2 | 13,2 | 12,2 | 12,1 |
| | 200 | 14,2 | 13,2 | 12,2 | 12,1 |

Срок окупаемости, полученная прибыль за весь исследуемый срок эксплуатации, а также степень загрузки производительностей и полигона представлены в табл. 1–4.

Результаты оптимизации показали, что в заданном диапазоне производительностей существует один экстремум, соответствующий установленной производительности линии сортировки и установки сжигания, – 179,5 т/сут и 53,7 т/сут соответственно. В этом случае прибыль от внедрения технологии за 15 лет составит 721,5 млн руб.

Введя в модель полученные результаты, были определены следующие показатели работы внедряемого МПК за весь моделируемый промежуток времени – 15 лет (табл. 5).

На рис. 6 представлены полученные диаграммы потоков отходов. Большой поток отходов на полигон в начале рассматриваемого периода, объясняется временем строительства комплекса. В расчетах было принято время строительства сортировочной линии – 360 дней, мусоросжигательной линии – 900 дней.

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Таблица 5

Результаты имитации работы МПК при условии максимальной прибыли

| | |
|--|------------|
| Всего образовалось ТБО, т | 850 465,80 |
| Всего переработано ТБО, т | 481 537,78 |
| Средняя степень загрузки установки сжигания, % | 100 |
| Средняя степень загрузки линии сортировки, % | 88,45 |
| ТБО вывезено на полигон, т | 368 928,02 |
| Всего выбрано вторсырья, т | 246 557,04 |
| Всего утилизировано ТБО на установке сжигания, т | 234 980,74 |
| Степень заполнения полигона, % | 36,89 |
| Вывезено шлака на захоронение, т | 73 859,08 |
| Всего ТБО принято МПК, т | 800 062,11 |
| Всего выработано тепловой энергии, Гкал | 342 367,81 |
| Всего выработано электрической энергии, МВт·час | 27 050,49 |

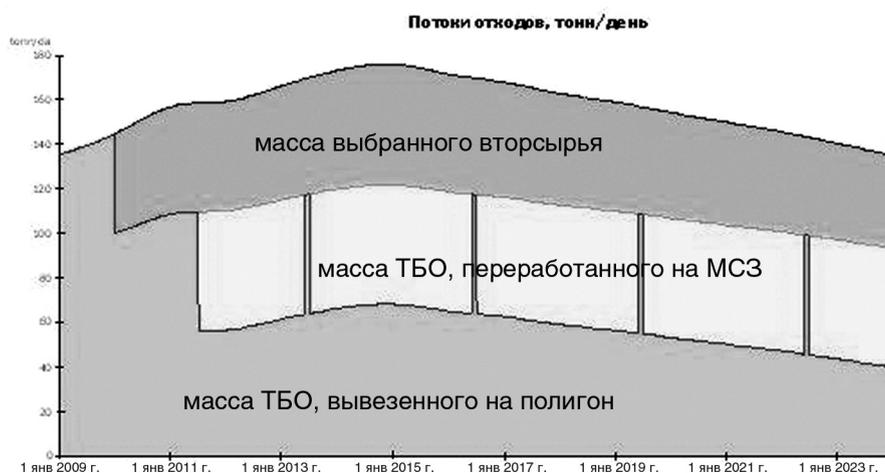


Рис. 6. Диаграмма потоков отходов при условии максимальной прибыли, т/сут

Когда помимо экономической выгоды от внедрения установки возникает вопрос о каких-либо других аспектах развития региона (например, экология района), то в силу вступает многопараметрическая оптимизация. В процессе многопараметрической оптимизации каждому критерию задается вес (его значимость) в общем результате.

Например, необходимо подобрать производительности при условии максимально полной утилизации отходов с учетом максимальной экономической выгоды. Для решения этой задачи были выбраны 2 критерия оптимизации: прибыль и степень заполнения полигона. При поиске оптимальных мощностей в программу PowerSim за единицу значимости были заложены следующие

значения критериев оптимизации: степень заполнения полигона – 2,5%, прибыль – 1 млн руб.

В результате оптимизации получены следующие значения: установленная производительность линии сортировки – 175,7 т/сут; установленная мощность установки сжигания – 110,7 т/сут. В результате за весь моделируемый период времени в условиях, соответствующих заданным критериям оптимизации, прибыль по сравнению с предыдущим решением сократится более чем на 230 млн руб. (до 490 млн руб.), а срок окупаемости снизится с 6 до 9,3 лет, однако при этом масса отходов, вывезенных на полигон, будет уменьшена почти в 3 раза (табл. 6, рис. 7).

Разработанная имитационная модель позволяет оценить эффективность работы мусоропе-

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Таблица 6

Результаты имитации работы МПК при условии максимальной прибыли и минимальной нагрузки на полигон

| | |
|--|------------|
| Всего образовалось ТБО, т | 850 465,80 |
| Всего переработано ТБО, т | 715 299,69 |
| Средняя степень загрузки установки сжигания, % | 96,88 |
| Средняя степень загрузки линии сортировки, % | 90,39 |
| ТБО вывезено на полигон, т | 135 166,10 |
| Всего выбрано вторсырья, т | 246 540,00 |
| Всего утилизировано ТБО на установке сжигания, т | 468 759,69 |
| Степень заполнения полигона, % | 13,52 |
| Вывезено шлака на захоронение, т | 147 340,41 |
| Всего ТБО принято МПК, т | 800 006,81 |
| Всего выработано тепловой энергии, Гкал | 539 436,53 |
| Всего выработано электрической энергии, МВт·час | 116 567,56 |

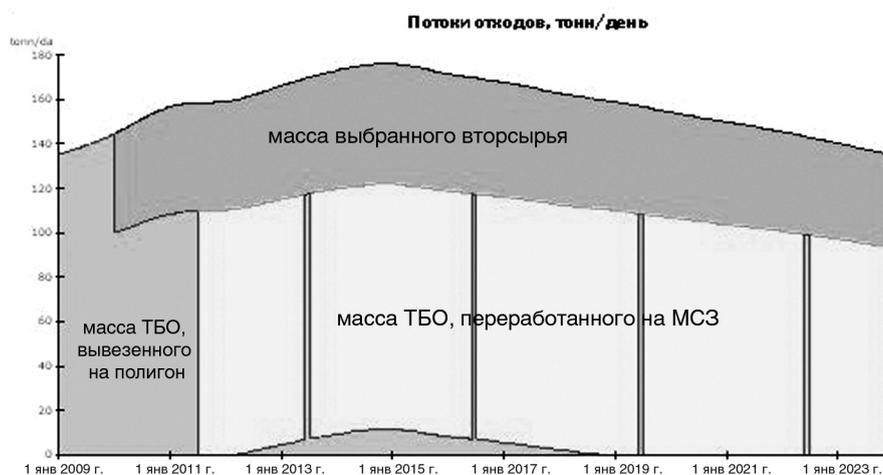
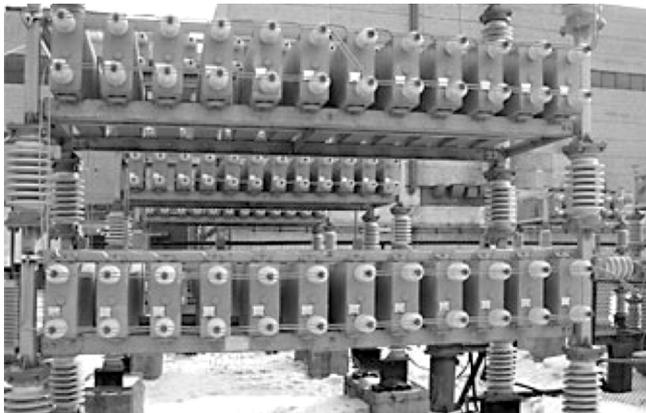


Рис. 7. Диаграмма потоков отходов при условии максимальной прибыли и минимальной нагрузки на полигон, т/сут

рерабатывающего комплекса по ряду факторов, а также подобрать такие его характеристики, оценка которых была бы полезна как руководству региона при долгосрочном планировании использования энергонесущих отходов в региональном топливно-энергетическом секторе, так и заинтересованным инвесторам. Данная модель является примером применения методического подхода, который, выступая в качестве инструмента, позволит администрации районов принимать качественные, обоснованные решения в сфере развития ТЭК региона с использованием местных источников энергии.

Библиографический список

1. **Криворучкий Л.Д.** Имитационная система для исследования развития топливно-энергетического комплекса. – Новосибирск: Наука, 1983.
2. **Сидоренко В.Н.** Системная динамика. – М.: Экономический факультет МГУ; ТЭИС, 1998. – 205 с.
3. **Систер В.Г., Мирный А.А.** и др. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание). Справочник. М.: АКХ им. Памфилова, 2001 г. – 320 с.



Сибикин Ю. Д., канд. техн. наук,
генеральный директор НТЦ «Оптим»

111024, Москва Энтузиастов ш., д. 17.
Тел. (495) 273 42 08,
e-mail: stroymdom@mail.ru

УДК 621.3.002.5

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

При проведении ремонта во взрывоопасных зонах наряду с общими мерами, предписываемыми ПБ, должны строго соблюдаться специальные меры безопасности.

Ключевые слова: электрооборудование, ремонт, взрывоопасная зона.

During execution of repair in explosion hazard zones along with general measures prescriptible by safety rules, special safety measures should be strictly observed.

Key words: electrical equipment, repair, explosion hazard zone.

Во взрывоопасных зонах запрещается:

- ♦ держать под напряжением неиспользуемое электрооборудование;
- ♦ вскрывать корпус (оболочку) электрооборудования, если при этом токоведущие части находятся под напряжением;
- ♦ ремонтировать электрооборудование и сети, находящиеся под напряжением;
- ♦ включать электроустановки, автоматически отключившиеся при коротком замыкании, без выяснения и устранения причин отключения;
- ♦ перегружать сверх номинальных параметров электрооборудование, провода, кабели.

Ремонтные работы, связанные с применением открытого огня, должны выполняться в строгом соответствии с местными инструкциями

и типовыми положениями по организации огневых работ во взрывоопасных производствах.

Ремонт электродвигателей

Наибольшее распространение получили электродвигатели серии ВАО (заменяются серией В). Вводное устройство и корпус электродвигателя способны выдержать давление взрыва. Не подлежат ремонту сборочные единицы при наличии обрыва короткозамкнутой клетки ротора, трещин любого характера на корпусе, щите или коробке выводов, увеличении зазора между ротором и статором на 15–20%.

При ремонте проводят частичную или полную разборку с выполнением следующих основных работ: очищают узлы и детали, промывают под-

шипниковые узлы, внимательно проверяют сборочные единицы и детали, образующие взрывобезопасную оболочку, взрывонепроницаемые поверхности, зазоры и уплотнения между отдельными зонами двигателя. Поврежденные и износившиеся детали заменяются новыми, детали, срок службы которых истек к моменту ремонта, отбраковываются.

Во вводном устройстве тщательно проверяют состояние контактных соединений, уплотнения и состояние изоляции жил кабеля.

Детали, составляющие взрывонепроницаемую оболочку, должны иметь клеймо о проведенных гидроиспытаниях.

Ремонт должен проводиться с помощью инструмента из дерева и цветного металла.

Крепежные детали следует применять с антикоррозийным покрытием, все резьбовые соединения перед сборкой смазывают, сальниковые уплотнения не должны пропускать смазку.

Ремонт деталей и узлов погружных электродвигателей

Обмотки погружных электродвигателей заменяют при обрывах проводов, оплавлении изоляции внешних слоев обмотки или ее части, а также при снижении электрической прочности изоляции и повреждениях межвитковой изоляции. Сопротивление изоляции при 20°C должно быть не менее 20 МОм для обмоток, выполненных проводом ПЭВВП или ПЭВДП и 200 МОм для обмоток с литой изоляцией. Сопротивление измеряют прибором ЭС 0202/1 на 500 В, при этом обмотка статора должна быть погружена в воду. Изоляция обмотки статора относительно корпуса должна выдерживать в течение 1 мин испытательное напряжение 1800 В частотой 50 Гц.

Корпус статора ПЭД заменяют при наличии сквозных разрушений металла трубы вследствие коррозии, при износах поверхности активной части статора, выходящих за пределы, указанные в табл. 1, а также износах посадочных мест под подшипниковые щиты. Номинальные и допускаемые при капитальном ремонте диаметры посадочных мест статора под подшипниковые щиты приведены в табл. 2.

Ротор заменяют при наличии разрушения короткозамкнутых колец или обрыве более одного стержня короткозамкнутой обмотки. При биениях поверхности ротора более 0,07 мм, верхнего конца вала ротора более 0,03 мм и нижнего конца вала более 0,05 мм вал ротора

правят в специальном приспособлении. При дефектации ротора измеряют: диаметры ротора и втулок подшипников, посадочные места под соединительную муфту и пяту. Допускаемые значения перечисленных выше диаметров приведены в табл. 3–5.

Измеряют также ширину шпоночных канавок, которая не должна превышать значений, приведенных в табл. 8. При диаметре ротора меньше значений, указанных в табл. 3, ротор выбраковывают.

Посадочные места и шпоночные канавки ремонтируют. Втулки подшипников заменяют, если на их поверхности имеются трещины или их диаметр меньше допустимого (табл. 4).

При наличии трещин на посадочных местах под подшипники подшипниковый щит выбраковывают. Если диаметры посадочных мест под подшипники и корпус статора выходят за пределы, указанные в табл. 6, подшипниковые щиты ремонтируют.

При износах рабочей поверхности подшипников, выходящих за пределы, указанные в табл. 7, а также при наличии отслоения резины от металлической обоймы подшипники выбраковывают и заменяют на вновь изготовленные. Данные для дефектации упорного под шипника приведены в табл. 9 и 10.

Уплотнительные манжеты не должны иметь морщинок и складок, обрывов или повреждения пружин.

Пята электродвигателя заменяется, если высота пяты менее допускаемого значения, указанного в табл. 9.

При наличии рисок и канавок пяту устанавливают в патроне токарно-винторезного станка, выверяют биение рабочей поверхности по неизношенному пояску и протачивают рабочую поверхность до удаления следов износа. После протачивания высота пяты не должна быть меньше допускаемого значения, указанного в табл. 9. Затем шлифовальной шкуркой полируют рабочую поверхность, добиваясь шероховатости поверхности не ниже 0,6.

Трещины и разрывы уплотнительных колец, прокладок и диафрагм не допускаются. Неравномерность по толщине не должна быть более 0,1 мм на всей длине.

При наличии вырывов, рисок и других повреждений на рабочей поверхности подпятник подлежит замене. Подпятник также заменяют, если его высота менее допускаемого значения, указанного в табл. 10.

Ремонт взрывозащищенных аппаратов и светильников

Разбирать их следует, не допуская повреждений, особенно взрывозащищаемых поверхностей (отмеченных пометкой «взрыв»). Не допускается нанесение резких ударов. Трудно отвинчивающиеся крепежные детали необходимо смочить керосином. Отремонтированные, вновь изготовленные или взятые из числа запасных частей детали должны быть проверены и испытаны по соответствующим инструкции и методике.

Незначительные раковины диаметром до 2 мм и глубиной до 1 мм, забоины, вмятины, обнаруженные на поверхностях фланцев или расточек, устраняют запайкой припоем ПОС-40 для стальных деталей, медью – для чугунных и металлизацией – для алюминиевых сплавов, зачистив предварительно поврежденные места до металлического блеска.

Во время ремонта взрывозащищенных электрических аппаратов предъявляют повышенные требования не только к качеству выполняемых ремонтных работ, но и к применяемым материалам. С этой целью используют особо влаго- и термостойкие механически прочные электроизоляционные материалы и такие способы соединений токопроводящих частей аппарата, при которых исключается возможность их повышенного нагрева или нарушения работы. Кроме того, осуществляют такую герметизацию корпусов аппаратов, при которой становится невозможным доступ легковоспламеняющихся газов к их токопроводящим и контактным частям, расположенным внутри корпусов.

При ремонте взрывозащищенных аппаратов учитывают, что предельно допустимая температура перегрева их обмоток и контактов снижена по сравнению с допустимой по нормам для этих частей аппаратов общепромышленного назначения.

Распространенным аппаратом повышенной надежности против взрыва является маслонаполненный магнитный пускатель ПМ-711, предназначенный для управления асинхронными электродвигателями мощностью до 100 кВт с короткозамкнутым ротором.

Пускатель ПМ-711 позволяет осуществлять местное и дистанционное управление (пуск и останов) электродвигателем, нулевую защиту, предотвращающую повторный его самозапуск при восстановлении исчезнувшего напряжения, а также тепловую защиту электродвигателей от

перегрузок с помощью тепловых реле на токи до 250 А, включаемых в две фазы электрической цепи.

Все элементы контактора и находящиеся под напряжением токопроводящие части магнитного пускателя размещены на изоляционной панели, расположенной в литой чугунной коробке.

Ремонт взрывозащищенных электрических аппаратов по своим задачам и технологии сходен с ремонтом соответствующего общепромышленного электрооборудования, но имеет свои особенности, определяемые опасной средой, в которой работают эти аппараты.

Значительное число взрывозащищенных аппаратов снабжено электрической блокировкой, не позволяющей снять кожух, когда контакты аппарата находятся под напряжением. При отделении кожуха от корпуса такого аппарата встроенная в корпус блокировка снимает напряжение с контактов, предотвращая возможность взрыва. Ремонтируя такие аппараты, обращают внимание на исправность и безотказность действия блокировки. Включенная в цепь блокировки контрольная лампа должна погаснуть, как только между корпусом и снимаемым кожухом образуется зазор, установленный для данного аппарата.

На стенках некоторых взрывозащищенных маслонаполненных аппаратов имеются отверстия для выхода газов, образующихся при работе аппаратов. Эти отверстия нередко забиваются, в результате чего выход газов затрудняется и может произойти взрыв аппаратов. Поэтому при ремонте аппаратов отверстия тщательно прочищают.

У отремонтированного аппарата с нормируемыми зазорами проверяют зазоры по всему периметру при нормальной затяжке крепежных элементов. Проверку производят щупом, размеры которого выбирают на основании допустимых зазоров, указанных в заводских паспортах и инструкциях.

Оболочки или детали оболочек отремонтированного электрического аппарата с эластичными прокладками на стыках подвергают гидравлическому испытанию избыточным давлением, которое определяется категорией взрывоопасных смесей, содержащихся в окружающей среде.

При восстановлении поверхности пайкой или металлизацией учитываются следующие особенности: материал заделки должен иметь хорошую адгезию; зачистка заделки должна быть

произведена заподлицо с основной поверхностью и в соответствии с требуемой чистотой обработки; не допускаются местные выбоины или выступы, увеличивающие зазор между сопрягающимися поверхностями, раковины или выбоины должны быть устранены сваркой. В некоторых конструкциях электрических аппаратов взрывозащиту обеспечивают с помощью эпоксидных компаундов и кварцевого песка. Детали и сборочные единицы, залитые эпоксидным компаундом, не ремонтируют, а заменяют новыми. Кварцевый песок обязательно сушат при 300–400°C, а затем обрабатывают в соответствии с требованиями заводов-изготовителей. При ремонте запрещается изменять параметры взрывозащиты любого из элементов ремонтируемого электрооборудования.

Каждую отремонтированную деталь или сборочную единицу взрывозащищенного электрооборудования испытывают. Условия, объем и нормы испытаний должны соответствовать требованиям технических условий (ТУ) завода-изготовителя.

При разборке светильников для ремонта или смены ламп проверяют стеклянные защитные колпаки, литые корпуса, сальниковые гайки вводного устройства на отсутствие трещин, исправность патрона, контактов присоединения

проводов и заземления, проверяют сопряженные плоскости на отсутствие раковин и коррозии, состояние резиновых уплотнений и изоляции провода.

Ремонт электрических сетей

Во взрывоопасных зонах электропроводку в основном выполняют бронированными и небронированными кабелями, проложенными открыто или в стальных трубах, или изолированными проводами в стальных трубах.

Открытые контактные соединения не допускаются. Они должны быть выполнены во вводах аппаратов и двигателей или в фитингах и переходных коробках. Присоединение проводников должно выполняться с применением контргаек для исключения самоотвинчивания. Винтовые (болтовые) зажимы следует выполнять с прокладкой под торец винта (болта) пластины.

При ремонте следует проверить разделительные уплотнения на вводе аппаратов, электродвигателей, а также при переходе электропроводки из опасного помещения в безопасное.

Все соединения трубной проводки должны выполняться на резьбе высокого класса точности. Применение тонкостенных некондиционных водогазопроводных труб, а также электросварки запрещается.

Таблица 1

Номинальные и допускаемые диаметры расточек статора

| Тип электродвигателя | Диаметр, мм | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|--------|
| | номинальный | допускаемый в сопряжении с роторами | |
| | | бывшими в эксплуатации | новыми |
| ПЭДВ-140 | 70 ^{+0,06} | 70,23 | 70,40 |
| ПЭДВ-180 | 88 ^{+0,07} | 88,23 | 88,40 |
| ПЭДВ-219 | 105 ^{+0,07} | 105,23 | 105,38 |
| ПЭДВ-230 | 110 ^{+0,07} | 110,38 | 110,68 |
| ПЭДВ-270 | 125 ^{+0,08} | 125,23 | 125,38 |
| АПД-23/2 | 70 _{-0,1} | 70,23 | 70,40 |
| МАПЗМ-54/2 | 135 ^{+0,08} | 135,35 | 135,65 |
| МАПЗМ-50/2 | 95 ^{+0,07} | 95,28 | 95,50 |
| МАПЗМ-64/2 | 120 ^{+0,08} | 120,35 | 120,65 |
| МАПЗМ-34/2 | 73 ^{+0,06} | 73,23 | 73,40 |

Таблица 2

Номинальные и допускаемые диаметры посадочных мест статора под подшипниковые щиты

| Тип электродвигателя, мощность | Диаметр, мм | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------|
| | номинальный | допускаемый в сопряжении со щитами | |
| | | бывшими в эксплуатации | новыми |
| ПЭДВ-140: 2,0; 2,8; 4,5; 5,5 кВт | 131 ^{+0,040} | 131,05 | 131,06 |
| ПЭДВ-140: 8; 11 кВт | 131 ^{+0,04} | 131,06 | 136,08 |
| ПЭДВ-180: 11; 16 кВт | 169 ^{+0,04} | 169,05 | 169,06 |
| ПЭДВ-180: 22; 32 кВт | 169 ^{+0,04} | 169,07 | 169,09 |
| ПЭДВ-219 | 160 ^{+0,04} | 160,07 | 160,10 |
| ПЭДВ-230 | 180 ^{+0,045} | 180,07 | 180,09 |
| ПЭДВ-270 | 220 ^{+0,045} | 220,07 | 220,09 |
| АПД-23/2 | 130 ^{+0,04} | 130,07 | 130,09 |
| МАПЗМ-54/2 | 258 ^{+0,03} | 258,07 | 258,09 |
| МАПЗМ-50/2 | 168 ^{+0,027} | 168,06 | 168,08 |
| МАПЗМ-64/2 | 206 ^{+0,03} | 206,06 | 206,08 |
| МАПЗМ-34/2 | 131 ^{+0,027} | 131,06 | 131,08 |

Таблица 3

Номинальные и допускаемые диаметры активной стали ротора

| Тип электродвигателя, мощность | Диаметр, мм | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------|
| | номинальный | допускаемый в сопряжении со статорами | |
| | | бывшими в эксплуатации | новыми |
| ПЭДВ-140: 2,0; 2,8; 4,5; 5,5 кВт | 68,8 _{-0,06} | 68,5 | 68,2 |
| ПЭДВ-140: 8; 11 кВт | 68,4 _{-0,06} | 68,0 | 59,8 |
| ПЭДВ-180: 11; 16 кВт | 78,4 _{-0,06} | 78,1 | 77,8 |
| ПЭДВ-180: 22; 32 кВт | 86 _{-0,07} | 85,7 | 85,4 |
| ПЭДВ-219 | 103 _{-0,07} | 102,6 | 102,3 |
| ПЭДВ-230 | 108 _{-0,07} | 107,6 | 107,2 |
| ПЭДВ-270 | 123 _{-0,08} | 122,5 | 122,0 |
| АПД-23/2 | 69,3 _{-0,10} | 68,9 | 68,6 |
| МАПЗМ-54/2 | 133 _{-0,08} | 132,4 | 132,1 |
| МАПЗМ-50/2 | 93,2 _{-0,07} | 92,8 | 92,2 |
| МАПЗМ-64/2 | 118 _{-0,07} | 117,6 | 117,3 |
| МАПЗМ-34/2 | 71,2 _{-0,06} | 70,9 | 70,6 |

Таблица 4

Номинальные и допускаемые диаметры втулок подшипников на валу

| Тип электродвигателя, мощность | Диаметр, мм | | |
|-----------------------------------|------------------------|---|--------|
| | номинальный | допускаемый в сопряжении с подшипниками | |
| | | бывшими в эксплуатации | новыми |
| ПЭДВ-140: 2,0; 2,8; 4,5; 5,5 кВт | $35_{-0,2}^{-0,15}$ | 34,8 | 34,8 |
| ПЭДВ-140: 8; 11 кВт | $40_{-0,20}^{-0,15}$ | 39,7 | 39,57 |
| ПЭДВ-180: 11; 16 кВт | $50_{-0,25}^{-0,20}$ | 49,67 | 49,52 |
| ПЭДВ-180: 22; 32 кВт | $50_{-0,25}^{-0,20}$ | 49,66 | 49,48 |
| ПЭДВ-219, ПЭДВ-230 | $60_{-0,25}^{-0,20}$ | 59,66 | 59,48 |
| ПЭДВ-270 | $70_{-0,25}^{-0,20}$ | 69,66 | 69,48 |
| АПД-23/2 | $35,1_{-0,05}^{0,025}$ | 34,93 | 34,8 |
| МАПЗМ-54/2 | $60_{-0,23}^{-0,18}$ | 59,62 | 59,43 |
| МАПЗМ-50/2, МАПЗМ-64/2 | $50_{-0,20}^{-0,15}$ | 49,58 | 49,36 |
| МАПЗМ-34/2 | $35_{-0,20}^{-0,15}$ | 34,58 | 34,36 |

Таблица 5

Номинальные и допускаемые диаметры посадочных мест под соединительную муфту, пяту и втулку подшипника

| Тип электродвигателя | Диаметр посадочного места, мм | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------|------------------------|-----------------------------------|-------|---|--|
| | под пяту | | | под муфту | | | под втулку подшипника | |
| | номинальный | допускаемый в сопряжении с пятой | | номинальный | допускаемый в сопряжении с муфтой | | номинальный | допускаемый в сопряжении с новой втулкой |
| | | бывший в эксплуатации | новый | | бывший в эксплуатации | новый | | |
| ПЭДВ-140 | $24_{-0,085}^{-0,025}$ | 23,75 | 23,6 | $17_{-0,035}$ | 16,9 | 16,8 | $24_{-0,042}^{-0,028}$ $32_{-0,052}^{0,035}$ | 28,02 32,02 |
| ПЭДВ-180 | $30_{-0,10}^{-0,032}$ | 29,5 | 29,2 | $22_{-0,04}^{0,02}$ | 21,9 | 21,8 | $42_{-0,052}^{0,035}$ | 42,02 |
| ПЭДВ-219, ПЭДВ-230 | $40_{-0,10}^{-0,03}$ | 39,85 | 39,75 | $40_{-0,05}^{-0,025}$ | 39,9 | 39,8 | $50_{-0,065}^{0,045}$ | 50,03 |
| ПЭДВ-270 | $30_{-0,10}^{-0,032}$ | 29,5 | 29,2 | $38_{-0,05}^{-0,023}$ | 37,9 | 37,8 | $60_{-0,065}^{0,045}$ | 60,03 |
| АПД-23/2 | $24,5_{-0,14}$ | 24,25 | 24,10 | $27,5_{-0,014}$ | 27,14 | 26,9 | $30_{-0,026}^{0,042}$ | 30,02 |
| МАПЗМ-54/2 | $50_{-0,017}$ | 49,85 | 49,6 | $38_{-0,05}^{0,025}$ | 37,9 | 37,8 | $53_{-0,065}^{0,045}$ | 53,03 |
| МАПЗМ-50/2 | $40_{-0,017}$ | 39,85 | 39,6 | $22_{-0,085}^{-0,025}$ | 21,9 | 21,8 | $44_{-0,05}^{-0,06}$ | 44,04 |
| МАПЗМ-64/2 | $40_{-0,017}$ | 39,85 | 39,6 | $30_{-0,05}^{-0,026}$ | 29,9 | 29,8 | $44_{-0,06}^{-0,11}$ | 44,05 |

Таблица 6

Номинальные и допускаемые диаметры посадочных мест в подшипниковых щитах

| Тип электро-двигателя | Диаметр посадочного места, мм | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--|
| | под статор | | | под подшипник | |
| | номинальный | допускаемый в сопряжении со статором | | номинальный | допускаемый в сопряжении с новым подшипником |
| | | бывшим в эксплуатации | новым | | |
| ПЭДВ-140 | 131 _{-0,027} | 130,96 | 130,95 | 55 ^{+0,046} | 55,05 |
| ПЭДВ-180 | 169 _{-0,027} | 168,96 | 168,95 | 65 ^{+0,046} | 65,05 |
| ПЭДВ-219 | 160 _{-0,027} | 159,94 | 159,91 | 75 ^{+0,046} | 75,05 |
| ПЭДВ-230 | 180 _{-0,03} | 179,94 | 179,91 | 75 ^{+0,046} | 75,05 |
| ПЭДВ-270 | 220 _{-0,03} | 219,94 | 219,91 | 85 ^{+0,054} | 85,06 |
| АПД-23/2 | 130 _{-0,027} | 129,94 | 129,91 | 53 ^{+0,046} | 53,05 |
| МАПЗМ-54/2 | 258 _{-0,03} | 257,95 | 257,93 | 85 ^{+0,07} | 85,2 |
| МАПЗМ-50/2 | 168 _{-0,027} | 167,94 | 167,91 | 65 ^{+0,06} | 65,18 |
| МАПЗМ-64/2 | 206 _{-0,03} | 205,94 | 205,91 | 70 ^{+0,06} | 70,18 |

Таблица 7

Номинальные и допускаемые диаметры подшипников в подшипниковых щитах

| Тип электродвигателя, мощность | Диаметр, мм | | |
|----------------------------------|-----------------------|---|-------|
| | номинальный | допускаемый в сопряжении со втулкой на валу | |
| | | бывшей в эксплуатации | новой |
| ПЭДВ-140: 2,0; 2,8; 4,5; 5,5 кВт | 35 ^{+0,15} | 35,15 | 35,15 |
| ПЭДВ-140: 8; 11 кВт | 40 ^{+0,15} | 40,20 | 40,33 |
| ПЭДВ-180: 11; 16 кВт | 50 ^{+0,21} | 50,26 | 50,37 |
| ПЭДВ-180: 22; 32 кВт | 50 ^{+0,21} | 50,29 | 50,41 |
| ПЭДВ-219; ПЭДВ-230 | 60 ^{+0,21} | 60,29 | 60,41 |
| ПЭДВ-270 | 70 ^{+0,21} | 70,29 | 70,41 |
| АПД-23/2 | 35,1 ^{+0,05} | 35,26 | 35,38 |
| МАПЗМ-54/2 | 60 ^{+0,06} | 60,21 | 60,4 |
| МАПЗМ-50/2; МАПЗМ-64/2 | 50 ^{+0,06} | 50,25 | 50,5 |

Таблица 8

Допускаемая ширина шпоночных канавок на валах электродвигателей

| Номинальная ширина канавок, мм | Допускаемая ширина, мм, в сопряжении со шпонками | | Номинальная ширина канавок, мм | Допускаемая ширина, мм, в сопряжении со шпонками | |
|--|--|------------------------|--|--|------------------------|
| | новыми | бывшими в эксплуатации | | новыми | бывшими в эксплуатации |
| 5 ^{-0,015} _{-0,055} | 5,00 | 5,02 | 16 ^{-0,020} _{-0,075} | 16,00 | 16,03 |
| 6 ^{-0,015} _{-0,055} | 6,00 | 6,02 | 18 ^{-0,020} _{-0,075} | 18,00 | 18,03 |
| 8 ^{-0,015} _{-0,055} | 8,00 | 8,03 | 20 ^{-0,025} _{-0,090} | 20,00 | 20,04 |
| 10 ^{-0,015} _{-0,065} | 10,00 | 10,03 | 22 ^{-0,025} _{-0,090} | 22,00 | 22,04 |
| 12 ^{-0,020} _{-0,075} | 12,00 | 12,03 | 25 ^{-0,025} _{-0,090} | 25,00 | 25,04 |
| 14 ^{-0,020} _{-0,075} | 14,00 | 14,03 | | | |

Таблица 9

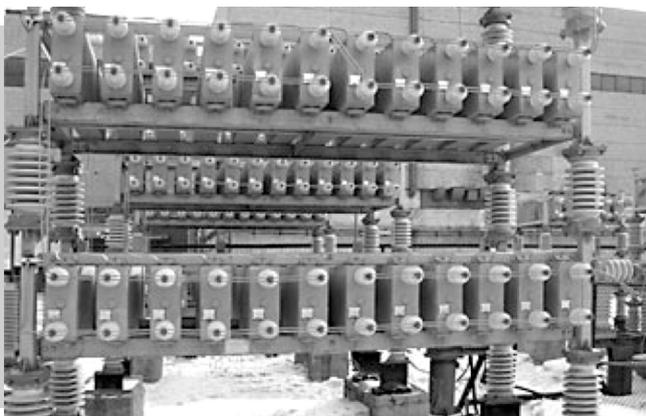
Номинальная и допускаемая высоты пяты погружных электродвигателей

| Тип электродвигателя | Высота пяты, мм | |
|--|---------------------|-------------|
| | номинальная | допускаемая |
| ПЭДВ-140 всех мощностей | 20 ^{-0,12} | 18,85 |
| ПЭДВ-180; ПЭДВ-230; ПЭДВ-270 всех мощностей | 15 ^{-0,12} | 13,85 |
| ПЭДВ-219 всех мощностей | 32 ^{-0,17} | 30,38 |
| ПЭДВ-32-230 | 18 ^{±0,2} | 16,91 |
| ПЭДВ-270 (с пятой, покрытой силицированным графитом) | 36 ^{-0,17} | 34,82 |
| МАПЗМ-27,3 | 23 ^{-0,28} | 21,77 |
| МАПЗМ-18; МАПЗМ-21,9 | 26 ^{-0,28} | 24,77 |

Таблица 10

Номинальная и допускаемая высоты подпятника погружных электродвигателей

| Тип электродвигателя | Высота подпятника, мм | |
|--|-----------------------|-------------|
| | номинальная | допускаемая |
| ПЭДВ-2-140; ПЭДВ-2,8-140; ПЭДВ-4,5-140; ПЭДВ-5,5-140 | 16 ^{±0,40} | 14,91 |
| ПЭДВ-8-140; ПЭДВ-11-140; ПЭДВ-32-230 | 18 ^{±0,40} | 16,91 |
| ПЭДВ-180; ПЭДВ-230; ПЭДВ-270 всех мощностей | 20 ^{±0,40} | 18,91 |
| ПЭДВ-32-230 | 15 ^{±0,10} | 13,91 |
| ПЭДВ-219 | 45 ^{-0,17} | 43,83 |
| ПЭДВ-270 (с пятой, покрытой силицированным графитом) | 50 ^{-0,20} | 48,81 |
| МАПЗМ-27,3 | 36 ^{-0,12} | 34,85 |
| МАПЗМ-18; МАПЗМ-21,9 | 27 ^{-0,32} | 25,75 |



Козулин А.А., канд. техн. наук;
Виноградов А.А., канд. техн. наук,
Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород,
ул. Костюкова, 46.
Тел. (4722) 54-20-87,
e-mail: rector@intbel.ru

УДК 621.311.4

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХ- ПРОВОДНИКОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ – НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПОДСТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Интерес к трансформаторам с использованием сверхпроводимости возник в 1960-е гг. при появлении низкотемпературных сверхпроводников, применяемых для обмоток трансформаторов. Многие производители во всем мире, среди которых можно назвать европейские концерны ABB и Alstom, а также K.E.P.C. (Япония) и Wesinghouse (США), начали разработки низкотемпературных сверхпроводниковых (НТСП) трансформаторов. За это время были достигнуты значительные успехи.

Ключевые слова: трансформатор, высокотемпературные, сверхпроводимость.

Interest to transformers with the usage of super-conductivity appeared in 1960ties during appearance of low-temperature super-conductors applied for transformers' windings. A lot of manufacturers in the whole world among which can be called European groups of companies ABB and Alstom, and also K.E.P.C. (Japan) and Wesinghouse (USA), began to develop low-temperature super-conductive transformers. During that time significant success was achieved.

Key words: transformer, high-temperature, super-conductivity.

Можно назвать создание концерном ABB НТСП-трансформатора 330 кВА 6/0,4 кВ со способностью токоограничения, а также разработку японской компании Kansai опытного образца трехфазного трансформатора 2000 кВА. Однако непреодолимым барьером на пути развития и применения НТСП-трансформаторов являлись огромные по размерам криогенные системы для получения жидкого

гелия, которые делали использование таких трансформаторов экономически нецелесообразным.

Открытие высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов в 1986 г. позволило отказаться от громоздких охлаждающих устройств. И основные разработки по созданию трансформаторов нового поколения ведутся именно в этом направлении.

Особенности высокотемпературной сверхпроводимости

В первую очередь следует отметить, что у сверхпроводников существуют две основные особенности:

- ♦ очень малые потери при большой плотности тока;
- ♦ переход от практически нулевого сопротивления к высокому при превышении током определенного значения (так называемого критического тока).

Сверхпроводящее состояние существует только ниже определенной критической температуры, обычно принимаемой равной температуре кипящего жидкого азота (77°K).

Нормальный ток ВТСП-проводника должен иметь значительные соответствующие области сверхпроводимости и быть ниже критического тока. Максимально допустимое повышение тока должно определяться нагрузочной способностью охлаждающего устройства. Для тока, значительно превышающего критический, потери увеличиваются на порядок. Энергия, выделяемая в проводнике во время этого процесса, называемого режимом ограничения аварийных токов, поглощается при испарении части охлаждающей жидкости. Все эти свойства ВТСП-материалов позволяют получить трансформатор, значительно превосходящий по всем своим характеристикам традиционно применяемые на сегодняшний день масляные и сухие трансформаторы.

Преимущества ВТСП-трансформаторов

ВТСП-трансформаторы по сравнению с традиционными обладают значительными техническими преимуществами. Попробуем их перечислить:

- ♦ снижение нагрузочных потерь при номинальном токе на 90%, что значительно увеличивает КПД трансформатора;
- ♦ уменьшение веса и габаритов трансформатора до 40%. Следует отметить, что упомянутые достоинства позволяют применять ВТСП-трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструктивных изменений, со значительным увеличением мощности.
- ♦ свойства ограничения токов КЗ, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- ♦ значительное уменьшение реактивного сопротивления, что позволяет обеспечить ста-

бильность напряжения, не прибегая к его регулированию;

- ♦ большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- ♦ уменьшение уровня шума.

Кроме того, по сравнению с масляными ВТСП-трансформатор пожаробезопасен и экологичен.

Разработки и опытные образцы

В настоящее время существует три основных проекта по созданию ВТСП-трансформаторов: в Европе, США и Японии. Работа над ними началась примерно в одно и то же время, и в 1997 г. все три были реализованы в опытных образцах.

Первым стал трансформатор на напряжение 18,7/0,4 кВ мощностью 630 кВА производства компании ABB, при участии американской компании ASC (изготовителя ВТСП-ленты для обмоток) и французской электроэнергетической системы Electricite de France (EDF).

Принцип устройства ВТСП-трансформатора. Обмотки погружены в жидкий азот, служащий одновременно и изоляцией, и охлаждающей средой. Сердечник трансформатора работает при температуре окружающей среды, т.к. его охлаждение приведет только к лишним нагрузкам криогенной системы, а не к улучшенным характеристикам. Обмотки термически изолированы от сердечника и окружающей среды с помощью двустенных контейнеров (так называемых криостатов), выполненных из эпоксиды, между стенками которых поддерживается вакуум, обеспечиваемый непрерывной работой насоса.

При проведении испытаний потери при номинальном токе составили 337 Вт, а потери холостого хода в сердечнике – 2,1 кВт. Общие тепловые потери равны примерно половине потерь в проводе. После успешных испытаний упомянутые компании подписали договор, по которому каждая из них выделила по 5 млн долл. на разработку компанией ASC улучшенного ВТСП-провода. Далее ABB сделает трансформатор на 10 МВА, а EDF установит его в своей сети для проведения полноценных испытаний. Дальнейшей целью ставится достижение мощности ВТСП-трансформатора 30 МВА, а конечной – 100 МВА.

Вторым был испытан трансформатор 500 кВА 6600/3300 В производства Fuji Electric (Япония) с применением ВТСП-лент другой японской ком-

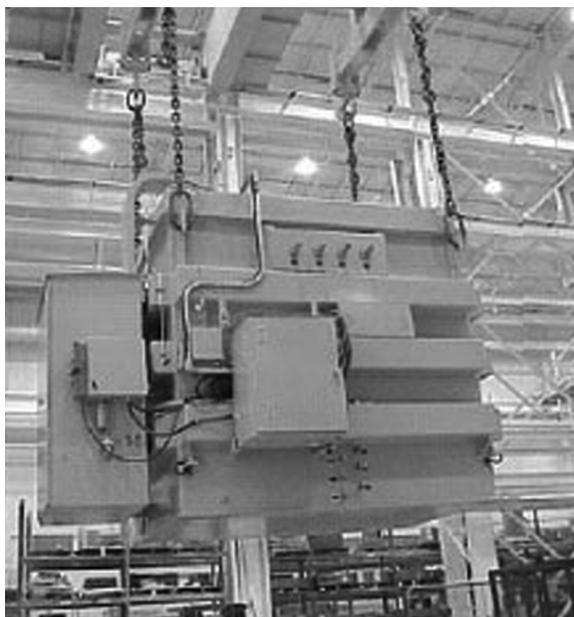
пании – Electric Corporation. В разработке также участвовали специалисты университета Kyushu.

Потери в сердечнике составили 2,4 кВт, потери при номинальном токе – 115 Вт. Японские разработчики решили пока не создавать ВТСП-трансформатор на большие мощности, а улучшить характеристики уже сделанного, в частности усовершенствовать систему охлаждения и ВТСП-провод для обмотки.

Третьим в том году, но самым большим по мощности стал трансформатор 1000 кВА полностью американского производства: Waukesha Electric (производитель трансформаторов), IGC Super Power (изготовитель ВТСП-провода) и Energy East (электроэнергетическая компания, конечный потребитель).

После этих испытаний было решено создать трансформатор 30 МВА 138/13,8 кВ, но, так же как и в случае с АВВ, с промежуточной фазой в 10 МВА. Для этого правительство выделило 3,8 млн долл., и столько же было вложено частными инвесторами.

В результате в конце 2003 г. был создан трансформатор 10 МВА 26,4/4,2 кВ. Но при испытаниях было обнаружено несколько недостатков: в обмотках был выявлен большой уровень частичных разрядов, в криогенной системе происходили утечки и, кроме того, возникли проблемы с испытанием трансформатора на полное напряжение по высокой стороне. На сегодняшний день эти неполадки устранены, трансформатор установлен на испытательный стенд, и новые



Трехфазный ВТСП трансформатор мощностью 5/10 МВА

испытания намечены уже в ближайшее время.

Сам принцип конструкции трансформатора остался такой же, как и в 1997 г.

Будущее ВТСП-трансформаторов

По данным Министерства энергетики США, сделавшего в 1993 г. подробный анализ возможного применения ВТСП-трансформаторов мощностью до 30 МВА, затраты на весь срок службы при эксплуатации ВТСП-трансформаторов будут наполовину меньше по сравнению с затратами на обслуживание традиционно применяемых. А в результате анализа будущего применения ВТСП-трансформаторов 30–100 МВА, представленного на конференции во Франции в 1994 г., было выявлено, что затраты будут на 70% меньше.

Многие разработчики ВТСП-проводов и трансформаторов надеются, что к 2010 г., когда во многих странах мира начнет производиться активная замена электрооборудования, отработавшего свой срок службы, резко возрастает спрос именно на ВТСП-трансформаторы. Однако смогут ли производители добиться обещанных технических и ценовых параметров, покажет только время.

Библиографический список:

1. **Лизунов, С.Д., Лоханин, А.К.** Проблемы современного трансформаторостроения в России // *Электричество*. – 2000. – № 8, 9.
2. **Черноплеков, Н.А.** Сверхпроводниковые технологии: современное состояние и перспективы практического применения // *Вестник РАН*. – 2001. – № 4.
3. **Dirks J.A.** HTS transformer performance, cost and market evaluation // *Pacific Northwest Laboratory Report*, 1993, PNL-7318.
4. **Mumford F.J.** A techno-economic study of high T_c superconducting power transformers // *International Conference on Electrical Machines*, 1994.
5. **Larbalestier D., Schwall R.E., Sokolowski R.E.** Power Applications of Superconductivity in Japan and Germany // *WTEC Panel Report*, 1997.
6. **Reis C.T., Mehta S., McConnell B.W., Jones R.H.** Development of High Temperature Superconducting Power Transformers // *IEEE Power Electronics Society Winter Power Meeting*, 2001.
7. **Sissimatos E., Harms G., Oswald B.R.** Optimization of high-temperature superconducting power transformers // *Applied Superconductivity*, 2001, № 11.



Архипов А.М., Путилов В.Я.,
МЭИ (технический университет),

111250, Москва,
ул. Красноказарменная, д. 14,
(495) 362-75-60
e-mail: universe@mpei.ac.ru

УДК 621.2.083

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТУПЕНЧАТОГО ФАКЕЛЬНОГО СЖИГАНИЯ КУЗНЕЦКИХ УГЛЕЙ НА УДЕЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ NO_x

Представлены результаты анализа трех этапов реконструкции котла ТП-87 Западно-Сибирской ТЭЦ. Цели реконструкции заключались в снижении выбросов NO_x и повышении надежности и экономической работы котла при сжигании кузнецких углей марок ГР и ГРОК. Предложены технические решения для котлов ТП-87 с жидким шлакоудалением по повышению надежности их работы и снижению удельных выбросов NO_x до уровня менее нормативных.

Ключевые слова: сжигание углей, котел, шлакоудаление.

An article presents results of analysis of three stages of reconstruction of boiler TP-87 of West-Siberian TPP. Aims of reconstruction consisted in reduction of emissions of NO_x and increase of reliability and economic feasibility of operation of boiler during flaring of coals type GR and ROK. An article suggests technical solutions for boilers TP-87 with slag-tap removal on increase of reliability of their operation and reduction of specific emissions of NO_x up to the level less than specified levels.

Key words: coals flaring, boiler, slag-tap removal.

Котел ТП-87 (ст. № 9) ОАО «Западно-Сибирская ТЭЦ» был реконструирован в 2005 г. по разработке кафедры КУиЭЭ МЭИ и проекту ОАО «ЦКБ Энергоремонт» [1] с целью снижения выбросов оксидов азота. Компоновочная схема горелок и сопел, а также подводящих воздухопроводов в продольном разрезе топки представлена на рис. 1.

Двенадцать прямооточных горелок, благодаря повороту на угол $8,5^\circ$ по отношению к нормали, образуют в горизонтальной проекции топки систему встречно-смещенных струй (ВСС), которая обеспечивает устойчивое положение факела в центре топки и повышенную его турбулизацию. Наклон горелок вниз на 10° обеспечивает надежное омывание пода топки (по

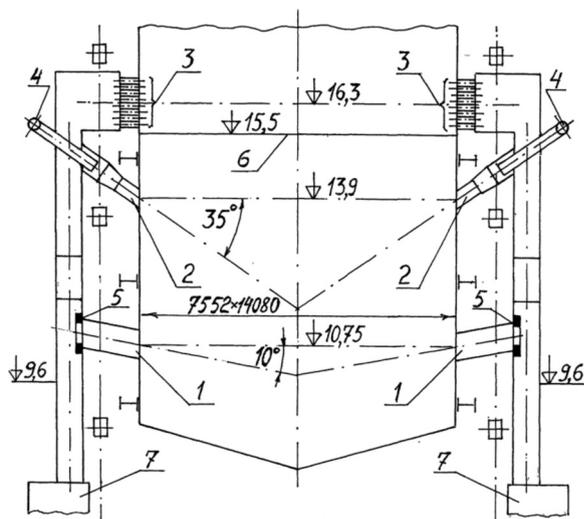


Рис. 1. Компонировочная схема горелок, сопел и подводящих воздухопроводов:

1 – пылемазутная горелка $\varnothing 720 \times 7$ мм; 2 – комбинированное сопло $\varnothing 377 \times 6$ мм; 3 – блок из восьми труб $\varnothing 133 \times 6$ мм, входящих в сопло третичного воздуха; 4 – сбросной пылепровод $\varnothing 325 \times 6$ мм; 5 – ограничительная шайба $\varnothing 470$ мм; 6 – уровень футеровки экранов; 7 – коллектор горячего воздуха

результатам продувок изотермической модели топки (рис. 2) и быстрое выгорание отсепарированной пыли на пленке жидкого шлака.

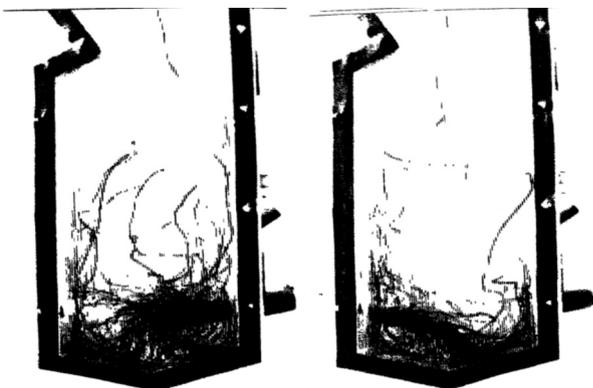


Рис. 2. Характер движения горелочных струй: а – горелки № 4; б – горелки № 9

Двенадцать комбинированных сопел $\varnothing 365$ мм предназначены для ввода в топку сбросного агента пылесистем и небольшой доли вторичного воздуха. Они имеют значительный наклон вниз (35°) с целью препятствия подъему первичного факела в центральной зоне топки и надежного выгорания мелкой пыли. В горизонтальной проекции топки они образуют систему ВСС за счет их поворота на $8,5^\circ$ по отношению к нормали, но в противоположную сторону по сравне-

нию с горелками. Расчетный избыток воздуха на выходе из комбинированных сопел (при работе двух пылесистем) составил 0,42. Как показали модельные исследования, эти особенности компоновки комбинированных сопел обеспечивают хорошее перемешивание струй с первичным факелом (рис. 3) и частично компенсируют несимметричность аэродинамики горелочных струй.

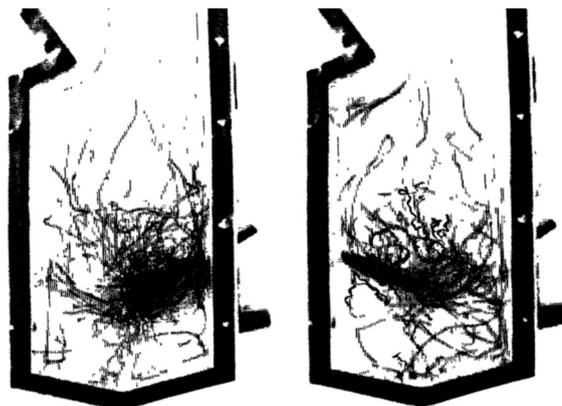


Рис. 3. Характер движения струй из комбинированных сопел: а – сопла № 4; б – сопла № 9

Сопла третичного воздуха (12 шт.) установлены в вертикальных плоскостях размещения горелок и комбинированных сопел и направлены горизонтально. Каждое из них представляет собою блок из восьми труб $\varnothing 133 \times 6$ мм, которые в горизонтальной проекции топки направлены через 1 под углом $8,5^\circ$ к нормали в разные стороны. Такая конструкция сопел обеспечивает устойчивое движение струй. Кроме того, суммарный начальный периметр эжекции всех струй, вытекающих из одного сопла, в 2,84 раза больше значения этого параметра для круглой струи, вытекающей из сопла эквивалентного сечения, и в 2,37 больше, чем у прямоугольной струи, вытекающей из эквивалентного сопла, в котором размеры стенок находятся в отношении 2:1. По характеру движения струй (рис. 4) можно сделать вывод, что в центральной зоне топки идет интенсивный процесс перемешивания реагентов.

Конструкция проектной пылемазутной горелки представлена на рис. 5.

Угольная пыль подается в топку по технологии ПВК. Распыливание ПВК предусмотрено сжатым воздухом с давлением $P = 0,4-0,45$ кгс/см², который вытекает со скоростью около 190 м/с из двенадцати отверстий $\varnothing 4$ мм, распо-

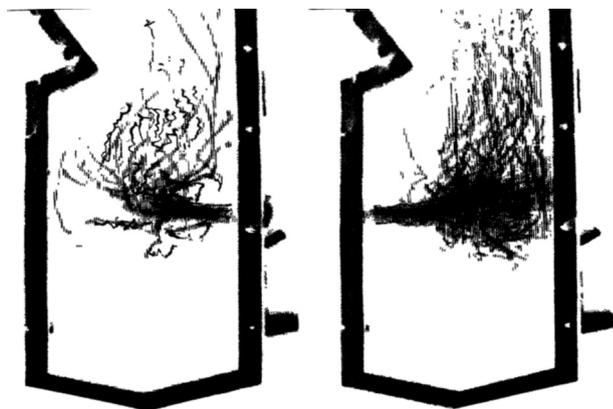


Рис. 4. Характер движения струй третичного воздуха: а — сопла № 4; б — сопла № 9

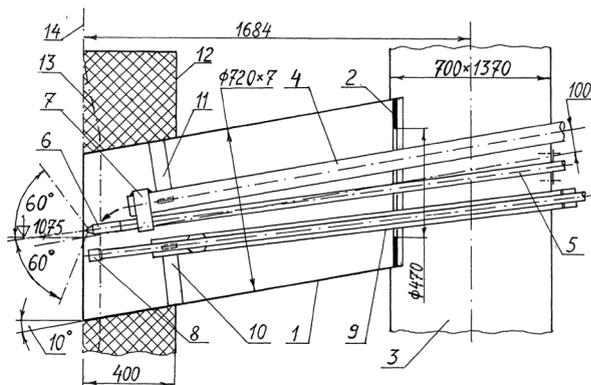


Рис. 5. Пылемазутная прямоточная горелка: 1 — корпус; 2 — ограничительная шайба; 3 — воздушный короб; 4 — труба ПВК $\varnothing 89 \times 6$ мм; 5 — труба сжатого воздуха $\varnothing 42 \times 5$ мм; 6 — пневмоструйный распыливающий насадок; 7 — хомут; 8 — головка паромеханической форсунки; 9 — форсуночная труба; 10 — пластины крепления форсуночной трубы; 11 — пластины крепления трубы ПВК; 12 — короб амбразуры; 13 — экранные трубы, разведенные внутрь амбразур; 14 — ось экранных труб

ложенных в шахматном порядке на конической торцевой поверхности распыливающего насадка 6. Угол распыливания — 120° . На входе в корпус горелки $\varnothing 720 \times 7$ мм установлена ограничительная шайба $\varnothing 470$ мм.

В большинстве опытов, проведенных совместно с режимной группой ЗСТЭЦ после трех этапов реконструкции котла, для распыливания ПВК использовались конические рассекатели, которые крепились к трубам ПВК 4. Основания рассекателей $\varnothing 180$ мм размещались практически на срезах горелок, а вершины — на расстоянии около 70 мм от торца труб ПВК, при этом трубы сжатого воздуха 5 отсутствовали.

При испытаниях реконструированного котла в октябре-ноябре 2005 г. были получены хорошие результаты по надежности выхода жидкого шлака, уровню удельных выбросов оксидов азота, температуре уходящих газов и мехнедожогу (рис. 6).

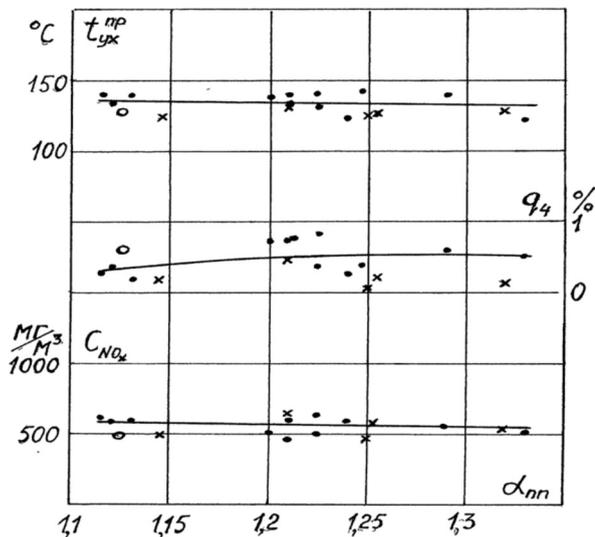


Рис. 6. Зависимости удельных выбросов оксидов азота, мехнедожога и приведенной температуры уходящих газов от избытка воздуха за пароперегревателем на реконструированном котле ТП-87:

• — в работе две мельницы, × — в работе одна мельница, о — две мельницы остановлены

Как представлено на графиках, при эксплуатационном избытке воздуха $\alpha_{nn} = 1,25$ за пароперегревателем (ПП) удельные выбросы оксидов азота составили около 560 при нормативе 570 мг/м^3 вместо $1150\text{--}1200$ мг/м^3 до реконструкции. Мехнедожог оказался не выше $0,55\%$, что примерно соответствует аналогичному показателю работы нереконструированных котлов ТП-87 при стехиометрическом сжигании. Приведенная температура уходящих газов составила 134°C , что на $5\text{--}7^\circ\text{C}$ меньше, чем на нереконструированных котлах. Показатели, представленные на рис. 6, слабо зависят от нагрузки котла и избытка воздуха α_{nn} за ПП в диапазоне $1,1\text{--}1,32$. В большинстве опытов при повышенных нагрузках котла КПД «брутто» составил около 92% . При испытаниях сжигались кузнецкие угли марок ГР и ГРОК со следующим диапазоном характеристик: $Q_{н,р} = 4378\text{--}5847$ ккал/кг , $W^p = 8,75\text{--}17,03\%$, $A^p = 11,7\text{--}20,66\%$, $V^r = 40,8\text{--}42,4\%$, $N^r = 2,4\text{--}2,5\%$. 1 т помола угольной пыли R_{90} соответствовала нормативным требованиям и составляла $14\text{--}15\%$.

Однако после первой реконструкции котла было зафиксировано нерасчетное повышение температуры газов за ПП, которое происходило с большей интенсивностью, чем при стехиометрическом сжигании на нереконструированных котлах ТП-87, в топках которых имеются пережимы. При анализе результатов испытаний было установлено, что это происходило из-за загрязнения ПП и экранов топки выше ошипованной зоны. Указанные процессы при ступенчатом сжигании в котле № 9 являются следствием недостаточности высоты зоны догорания факела и неиспользованием средств эксплуатационной очистки экранов топки и ПП.

Летом 2006 г. котел № 9 был остановлен для проведения второго этапа реконструкции, основная цель которого заключалась в увеличении высоты зоны дожигания факела за счет снижения уровня пода топки и отметок установки горелок и сопл на 2,5 м. По результатам позонных расчетов топки, выполненных в МЭИ, температура газов на уровне аэродинамического выступа должна была снизиться на 80–90°C и составить около 1160°C. Таким образом, она стала бы меньше температуры начала размягчения золы для угля марки ГРОК ($\approx 1200^\circ\text{C}$).

Были также приняты решения о наклоне сопл третичного дутья вниз на 30° для торможения и турбулизации догорающего факела, а также о восстановлении в полном объеме средств паровой обдувки экранов в средней и верхней частях топки. Кроме того, были признаны целесообразными уменьшение доли третичного воздуха за счет ликвидации ограничительных шайб перед горелками, разделение короба подвода воздуха к горелкам и соплам третичного дутья и обеспечение возможности регулирования расхода воздуха режимными средствами.

При анализе результатов испытаний и эксплуатационных данных работы котла после второго этапа его реконструкции, полученных зимой 2006–2007 гг., было установлено, что при сжигании углей марок ГР и ГРОК интенсивность загрязнения ПП практически не изменилась. Это было визуально зафиксировано, несмотря на увеличение располагаемой высоты топки на 2,5 м в зоне дожигания факела, наклона вниз сопл третичного воздуха и уменьшение его доли.

Измерения присосов воздуха в топку и горизонтальный газоход показали, что их доля составляет около 0,3 в пересчете на номинальную нагрузку котла. В связи с этим была уменьшена организованная подача воздуха в топку из-за

недостатка тяги. По всей видимости, загрязнение ПП происходило вследствие дожигания в нем пыли из-за недостатка организованного воздуха в топке вследствие разуплотнения ее и горизонтального газохода. В то же время экономические показатели работы котла были на высоком уровне: КПД «брутто» составил около 93%, а содержание горючих в уносе – 1–2%.

По мнению специалистов МЭИ, в период реконструкции котла нужно было уплотнить топку и восстановить средства паровой обдувки экранов в ее средней и верхней частях для снижения интенсивности загрязнения ПП. Кроме того, было предложено осуществлять регулярную очистку неэкранированной наклонной стенки горизонтального газохода газоимпульсным или пневмомеханическим методами. Именно на этом участке газохода происходило отложение догорающих частиц угля и золы, что приводило к лавинообразному загрязнению нижней части горизонтального газохода и нижних гибов труб ПП.

Однако руководство ЗСТЭЦ, несмотря на возражения специалистов МЭИ, по предложению ОАО «Югтеплокомплект», ИАЦ «Кузбассэнерго» и режимной группы Томь-Усинской ГРЭС, участвовавших в наладке котла, приняло решение изменить технологию ступенчатого сжигания за счет уменьшения угла наклона комбинированных сопел вниз с 35 до 15°. Кроме того, было принято решение упростить конструкцию сопел третичного воздуха, выполнив их в виде прямоугольных каналов, и снизить трубы ПВК до осей горелок. Последнее мероприятие вполне могло усилить сепарацию крупной несгоревшей пыли на подтопки.

В результате испытаний котла после третьего этапа реконструкции при сжигании углей марок ГР и ГРОК были выявлены существенное снижение надежности выхода жидкого шлака из леток котла и рост интенсивности шлакования горелок. При этом не была достигнута основная цель изменения технологии сжигания, заключающаяся в снижении температуры газов на выходе из топки и за ПП.

По нашему мнению, главной причиной снижения надежности жидкого шлакоудаления и повышенного шлакования горелок после третьего этапа реконструкции котла является неблагоприятное изменение аэродинамики факела в нижней и средней частях топки вследствие преждевременного подъема части первичного факела в центральной зоне топки. За

счет этого снизилась интенсивность омывания высокотемпературными продуктами сгорания с избыточным кислородом стекающего по поду топки шлака и осевшей на него недогоревшей пыли. В результате этого осевшие пылинки не успевали догорать до полного погружения в стекающий жидкий шлаковый слой и вместо дополнительного разогрева слоя жидкого шлака, как это было до реконструкции, возросла его вязкость, обусловленная повышенным содержанием в шлаке твердой углеродно-минеральной массы. Стекающий с надгорелочных участков фронтального и заднего экранов топки жидкий шлак стал более вязким, а его наплывы на выходные сечения горелок – трудноудаляемыми. До третьего этапа реконструкции котла струйки шлака были подвижными и тонкими. При их наплывах на амбразуры горелок они под воздействием горелочных струй выпучивались в сторону топки и самообрушались. После третьего этапа реконструкции наплывы шлака до двух раз в смену приходилось удалять вручную вахтенным персоналом.

В результате третьего этапа реконструкции котла была снижена надежность его работы, но при этом были сохранены высокие экономические показатели и несколько снижены удельные выбросы NO_x . В таблице представлены уточненные (с учетом величины присосов холодного воздуха в топку и горизонтальный газоход) параметры работы горелок и сопл, относящиеся к периодам после всех этапов реконструкции котла, а также основные показатели работы котла в целом.

Следует отметить противоречивый характер некоторых данных таблицы. Например, имеет место качественное несоответствие уровней пирометрической температуры факела перед ширмами и эксплуатационной температуры газов за пароперегревателем и за 2-ой ступенью ВЭК после третьего этапа реконструкции котла в сравнении с этими показателями после предшествующих ее этапов. Более представительными (с учетом влияния длительности кампаний работы котла, измерений в нескольких опытах) являются температуры газов, полученные с использованием эксплуатационных приборов. Самая низкая температура газов за пароперегревателем (645°C) и за 2 ступенью ВЭК (490°C) зафиксирована на номинальной нагрузке после второго этапа реконструкции котла. Самые высокие уровни этих температур имели место после третьего этапа реконструк-

ции (665 и 500°C соответственно). При этом необходимо учитывать, что присосы воздуха в топку и горизонтальный газоход были наименьшими после третьего этапа ($\Delta\alpha_{\text{т,гр}} = 0,1$) и наибольшими после второго этапа ($\Delta\alpha_{\text{т,гр}} = 0,3$), в то же время регулярная обдувка экранов средней и верхней частей топки стала осуществляться начиная с третьего этапа.

Обращают на себя внимание низкие уровни коэффициента избытка и скорости первичного воздуха после первого этапа реконструкции котла при высоких величинах этих параметров на выходе из сопл третичного воздуха. Это удалось обеспечить, благодаря наличию ограничительных шайб $\varnothing 470$ мм перед горелками. Именно в этот период минимальная нагрузка котла по условию надежного выхода жидкого шлака составила 210 т/ч, а наплывы жидкого шлака на амбразуры горелок не снижали надежность их работы. Как указано выше, они выпучивались в сторону топки и самообрушались в виде мелких сосулк затвердевшего в воздушном потоке шлака. Снижению вязкости наплывающей пленки жидкого шлака способствовала высокая степень омывания высокотемпературными газами фронтального и заднего экранов в надгорелочной зоне вплоть до сопл третичного дутья. Это было связано с большим динамическим давлением на первичный факел струй комбинированных сопл, наклоненных вниз на 35° , и с повышенной эжекционной способностью струй третичного воздуха, т.к. параметр $\Theta_{\text{тр}}$ составил $62\ 862\ \text{м}^3/\text{с}^2$ (табл.).

Наоборот, после третьего этапа реконструкции за счет уменьшения наклона вниз комбинированных сопл до 15° и снижения величины параметра $\Theta_{\text{тр}}$ до $8742\ \text{м}^3/\text{с}^2$ степень омывания горячими газами надгорелочной зоны фронтального и заднего экранов стала меньше. Это привело к росту вязкости наплывающего на амбразуры горелок жидкого шлака, что резко снизило надежность их работы. Выход вверх части первичного факела в центральной зоне топки привел к снижению температуры газов в районе леток. В результате совокупного влияния указанных факторов минимальная нагрузка котла по условию надежного выхода жидкого шлака возросла до 300 т/ч. По-видимому, этому способствовало также и повышение коэффициента первичного воздуха с $0,4$ до $0,61$ после первого этапа реконструкции.

Обращает на себя внимание тот факт, что после второго этапа реконструкции котла,

Расчетные аэродинамические параметры на выходе из горелок и фактические показатели работы реконструированного котла ТП-87

| Наименование расчетного параметра или показателя работы котла | Этапы реконструкции | | | |
|--|---|---|--|---|
| | I | II | III | IV (рекомендуемый) |
| Характеристика горелки | Рис. 5. Ограничительная шайба $\varnothing 470$ мм. Конический рассекатель ПВК $\varnothing 180$ мм, труба ПВК на 100 мм выше оси горелки | Рис. 5. Без ограничительной шайбы. Конический рассекатель ПВК $\varnothing 180$ мм, труба ПВК на 100 мм выше оси горелки | Рис. 5. Без ограничительной шайбы. Конический рассекатель ПВК $\varnothing 180$ мм, труба ПВК по оси горелки | Рис. 7. Плоский канал 500×100 мм. Под ним сопло вторичного воздуха |
| Общее проходное сечение горелок в узком месте/на срезе, м ² | 1,932/4,695 | 4,9/4,9 | 4,9/4,9 | 0,58/0,6 |
| Общее сечение для прохода горячего воздуха через комбинированные сопла, м ² | 0,589 | 1,022 | 1,022 | 0,589 |
| Общее проходное сечение сопл третичного воздуха; особенность конструкции одного сопла, м ² | 1,103; 8 горизонтальных труб $\varnothing 121$ мм, наклон влево-вправо через одну на $8,5^\circ$ от нормали | 1,103; 8 наклонных вниз на 30° труб $\varnothing 121$ мм, наклон в горизонтальной проекции от нормали: 0° – две трубы, 45° – влево-вправо, через одну – шесть труб | 0,926; прямоугольный канал, наклоненный вниз на угол 15° , высота и ширина канала – 386 и 200 мм | 1,103; 8 наклонных вниз на 30° труб $\varnothing 121$ мм, наклон в горизонтальной проекции от нормали: 0° – две трубы, 45° – влево-вправо, через одну – шесть труб |
| Начальный периметр эжекции струями на выходе из сопл третичного воздуха ($P_{тр}$)/степень перекрытия струями горизонтального сечения топки, м | 36,5/небольшая | 39,5/большая | 14,1/небольшая | 39,5/большая |
| Коэффициент избытка горячего воздуха на входе в топку при $\alpha_{пп} = 1,25$, $\alpha_{сбр} = 0,3 / (\Delta\alpha_{т,гг})$ | 0,75/(0,2) | 0,65/(0,3) | 0,85/(0,1) | 0,85/(0,1) |
| Коэффициент избытка воздуха на выходе из горелок/комбинированных сопл/сопл третичного воздуха (в работе 2 мельницы) | 0,4/0,422/0,228 | 0,453/0,395/0,102 | 0,608/0,427/0,115 | 0,118/0,42/0,225/на выходе из сопл вторичного воздуха 0,387 |
| Скорость воздуха на выходе из горелок ($W_{гор}$)/сопл третичного воздуха ($W_{тр}$), м/с | 17,1/41,5 | 18,55/18,55 | 24,9/24,9 | 28,2/40,95/на выходе из сопл вторичного воздуха 21,7 |
| Величина параметра $\Xi_{тр} = P_{тр} \cdot W_{тр}^2$, пропорционального величине эжекции продуктов сгорания струями третичного дутья, м ³ /с ² | 62 862 | 13 592 | 8742 | 66 238 |
| Нагрузка, т/ч | 320 | 315 | 370 | Н. св. |

Продол. табл.

| Наименование расчетного параметра или показателя работы котла | Этапы реконструкции | | | |
|--|---|--|---|----------------------|
| | I | II | III | IV (рекомендуемый) |
| Результаты пирометрии факела, °С: в свежих струях фронтальных горелок, то же, задних горелок, перед ширмами, пр./лев. | 1590/1600 1610/1590 1310/1310 | 1580/1585 1550/1580 1285/1250 | 1430/1485 1525/1520 1275/1260 | Н. св. |
| Минимальная нагрузка котла с надежным выходом жидкого шлака, т/ч | 210 | 240 | 300 | 200 |
| Характер наплывов жидкого шлака на горелки, способ удаления | Самообрушающиеся | Самообрушающиеся или легкоудаляемые, вручную 1 раз в смену | Трудноудаляемые, вручную 2 раза в смену | Самообрушающиеся |
| Содержание горючих в уносе, % | 1–3 | 1–2 | 1–2 | 0,5–1,5 |
| Удельные выбросы NO _x в диапазоне ($\alpha_{\text{пп}}, D_{\text{пр}}$), мг/м ³ /т/ч | 540–570 (360–550) | 610–640 (370–550) | 440–550 (400–550) | 430–500 (350–550) |
| Температура газов за пароперегревателем/за 2 ст. ВЭК при D _{ном} , °С | 660/495 | 645/490 | 665/500 | Не более 640/490 |
| Использование регулярной паровой обдувки экранов выше зажигательного пояса | Нет | Нет | Предусмотрено | Предусмотрено |

несмотря на сниженный (по сравнению с периодом после первого этапа) уровень эжекционной способности струй третичного воздуха ($\mathcal{E}_{\text{тр}} = 13\,592 \text{ м}^3/\text{с}^2$ против $62\,862 \text{ м}^3/\text{с}^2$), а также повышенные присосы воздуха в топку и горизонтальный газоход ($\Delta\alpha_{\text{т,гг}} = 0,3$, что затягивало дожигание угольной пыли), температура газов за пароперегревателем была наименьшей (645°С). Этому способствовала оптимальная конструкция сопел третичного воздуха, заключающаяся в их наклоне вниз на 30° при большой степени перекрытия свежими струями горизонтального сечения топки (табл.). В результате был практически исключен проскок вверх топочных газов, содержащих догорающую угольную пыль, без контакта с третичным воздухом.

Конструкция сопел третичного воздуха и воздуха комбинированных сопел с наклоном их вниз на 30° способствовали тому, что после второго этапа реконструкции котла удельные выбросы NO_x оказались наибольшими и составили 610–640 мг/м³ за счет интенсификации перемешивания и некоторого увеличения образования термических NO_x. После третьего этапа реконструкции котла, когда процессы смесеобразования факела с третичным воздухом и особенно с воздухом, вытекающим из комбинированных

сопел, стали менее интенсивными, удельные выбросы NO_x оказались наименьшими и составили 440–550 мг/м³.

Следует остановиться на вопросе надежности распыла ПВК на выходе из горелок. Наиболее надежным против обгорания распыливающим устройством является пневмоструйный распылитель 6 (рис. 5) поскольку его тепловоспринимающая торцевая поверхность небольшая, причем с охлаждаемой сжатым воздухом изнутри торцевой стенкой. Наименее надежными оказались рассекатели конструкции Томь-Усинской ГРЭС из-за относительно больших габаритов (Ø426 мм). Рассекатели конструкции ЗСТЭЦ Ø 180 мм, с учетом которых выполнен расчет аэродинамических параметров горелок после трех этапов реконструкции и с использованием которых проведено подавляющее большинство опытов, имели средние показатели надежности против обгорания.

На основе анализа полученных результатов рекомендуется при работе котла с ЖШУ использовать установленные по схеме ВСЩ щелевые прямоточные горелки, представляющие собой сочетание щелевых горелок и расположенных под ними сопел вторичного воздуха. Их конструкция применительно к котлу ТП-87

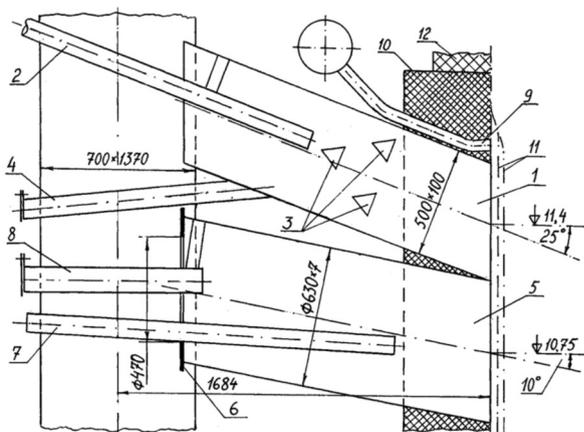


Рис. 7. Принципиальная конструкция рекомендуемого варианта горелки и сопла вторичного воздуха для котла ТП-87 с ЖШУ:

1 – щелевая пылеугольная горелка; 2 – труба ПВК; 3 – уголковые рассекатели; 4 – труба для наблюдения за работой горелки; 5 – сопло вторичного воздуха; 6 – ограничительная шайба; 7 – форсуночная труба; 8 – труба для наблюдения за амбразурой сопла; 9 – труба холодного воздуха для охлаждения шлака в верхней части разводки экранных труб над пылеугольной горелкой; 10 – короб общей амбразуры горелки и сопла; 11 – разводка экранных труб под общую амбразуру; 12 – обмуровка топки

(рис. 7) рекомендована МЭИ для внедрения на котлах с твердым шлакоудалением [2]. Причем дан прогноз, что эти горелки обеспечат низкий уровень образования топливных NO_x , т.к. избыток воздуха на выходе из горелок меньше, чем доля летучих, подсчитанная на рабочую массу угля.

В отличие от процесса зажигания летучих в горелках реконструированного котла ТП-87, особенно после 3 этапа реконструкции котла (с повышенным $\alpha_{\text{перв}} = 0,61$), в предлагаемой конструкции горелок зажигание и горение летучих будет более ранним. Этому будут способствовать три фактора: повышенный начальный периметр эжекции (1,0 против 0,57 м для одной горелки), принудительный подвод к корням горелочных струй высокотемпературных топочных газов и низкий уровень избытка первичного воздуха. Раннее горение летучих произойдет в восстановительной среде ($\alpha_{\text{перв}} = 0,118$ при средней доле летучих $v^p = 0,263$). Поэтому в соответствии с [2] ожидается, что генерация топливных NO_x сократится на 30–40%, а суммарное образование оксидов азота в совокупности с термическими NO_x , несмотря на несколько повышенный выход последних, составит менее 500 мг/м³.

После надежного и раннего зажигания угольной пыли (в том числе с пониженным выходом летучих на рабочую массу, например промпродукта), произойдет внедрение загоревшихся плоских горелочных струй в потоки горячего вторичного воздуха. Этому будут способствовать разница скоростей, инерционность частиц и того, что угол наклона горелок (25°) больше угла наклона сопел вторичного воздуха (10°).

Ожидается, что за счет раннего зажигания всей массы угольной пыли и последующего ее гарантированного перемешивания со вторичным воздухом минимальная нагрузка котла по условию надежности выхода жидкого шлака должна быть не более 200 т/ч даже при ухудшении качества угля. После третьего этапа реконструкции котла при снижении выхода летучих и увеличении зольности угля указанная нагрузка возросла до величины более 300 т/ч из-за затяжки зажигания.

В последнем столбце таблицы приведены расчетные параметры и ожидаемые эксплуатационные показатели работы котла ТП-87 после четвертого этапа его реконструкции по рекомендации МЭИ и внедрения оптимальной технологии сжигания с учетом рис. 7. При расчетах параметров и оценках ожидаемых показателей для вновь реконструируемых котлов с ЖШУ принято следующее:

- ♦ под топку не опускается, т.к. по опыту, полученному после предшествующих этапов реконструкции, ухудшаются условия работы узлов шлакоудаления (недостаточное охлаждение шлака в цилиндрических каналах после леток из-за их малой высоты, стесненные условия для организации гидрозатворов, отсосной схемы и др.);

- ♦ должен эксплуатироваться проектный комплект обдувочных аппаратов топочных экранов в средней и верхней частях топки;

- ♦ необходимо смонтировать 10 устройств для пневмомеханической очистки незранированной наклонной стенки горизонтального газохода (рис. 8);

- ♦ присосы воздуха в топку и горизонтальный газоход составляют до 0,1 (газовый тракт котла должен быть уплотненным);

- ♦ комбинированные сопла выполнены, как после первого этапа реконструкции котла, причем 4 делителя сбросного воздуха установлены по 2 с боков топки на вертикальных участках, что (в отличие от котла после второго и третьего этапов реконструкции) обеспечивает равномер-

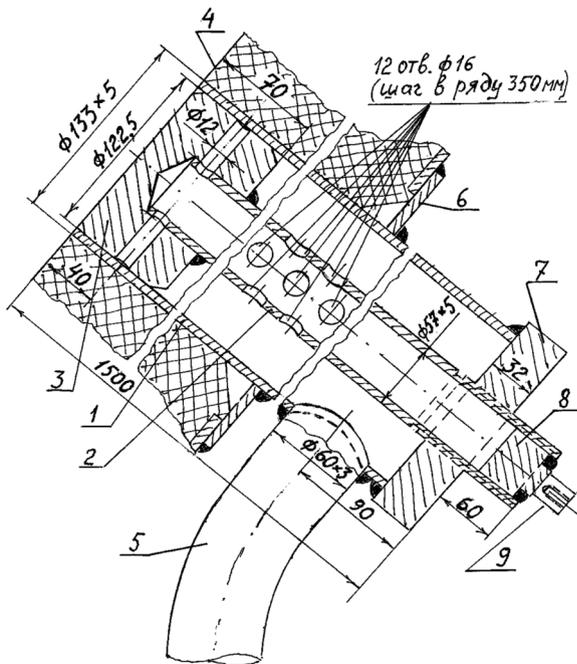


Рис. 8. Пневмомеханическое устройство для очистки неэкранированной наклонной стенки горизонтального газохода после пароотводящих труб заднего экрана котла ТП-87 с ЖШУ:

1 – корпус; 2 – шток; 3 – поршень; 4 – поверхность наклонного участка горизонтального газохода; 5 – труба сжатого воздуха ($P = 0,5-2 \text{ кгс/см}^2$); 6 – крепежный фланец; 7 – торцевая шайба с резьбовым отверстием; 8 – заглушка; 9 – лыски под штурвал

ность расхода сбросного воздуха через 12 комбинированных сопел;

- ◆ сопла третичного воздуха направлены с наклоном вниз на 30° и состоят из 8 труб $\varnothing 133 \times 6$ мм, а углы наклона отдельных труб в горизонтальной проекции выполнены аналогично решениям по второму этапу реконструкции котла, т.к. это обеспечивает улучшенный контакт догорающего факела с третичным воздухом;
- ◆ вертикальные воздухопроводы горячего воздуха к соплам третичного дутья (рис. 1) выполнены увеличенного сечения без регулирующих органов для сохранения максимально возможного динамического напора струй, при этом должно быть аэродинамически идентичное выполнение фронтальных и задних воздухопроводов, что не удалось осуществить после второго этапа реконструкции котла;
- ◆ перед соплами вторичного воздуха $\varnothing 630 \times 7$ мм установлены ограничительные шайбы $\varnothing 470$ мм.

Рекомендуемая МЭИ организация ступенчатого сжигания является предпочтительной, что следует из ожидаемых показателей надежности, экономичности и экологичности реконструированного котла ТП-87 (табл.).

Выводы

1. Выполнен анализ комплексной эффективности трех этапов реконструкции котла ТП-87 с ЖШУ, осуществленных с целью снижения выбросов NO_x в атмосферу.

2. Снижены до нормативного уровня (570 мг/м^3) и ниже удельные выбросы NO_x в результате осуществления первого и третьего этапов реконструкции с повышением экономичности работы котла при сжигании кузнечного угля марки ГР.

3. После второго этапа реконструкции котла удельные выбросы NO_x составили 640 мг/м^3 .

4. Минимальная нагрузка котла по условию надежности выхода жидкого шлака составила 210, 240 и 300 т/ч соответственно после 1, 2 и 3 этапов его реконструкции. Рост минимальной нагрузки котла произошел вследствие ухудшение аэродинамики факела из-за ошибочного уменьшения угла наклона вниз комбинированных сопел с 35 до 15° при третьем этапе реконструкции.

5. Повышенная степень загрязнения ПП при ступенчатом сжигании (особенно после 1-го этапа реконструкции котла) объясняется повышенными присосами воздуха в топку и горизонтальный газоход, отсутствием паровой обдувки экранов выше зажигательного пояса и средств эксплуатационной очистки неэкранированной наклонной стенки горизонтального газохода.

6. МЭИ рекомендует к внедрению на котлах ТП-87 с ЖШУ при сжигании кузнечных углей марок ГР и ГРОК вариант реконструкции топочно-горелочных устройств (рис. 7 и 8) со следующей расчетной эффективностью:

- удельные выбросы NO_x не более 500 мг/м^3 ;
- потери при прокаливании (содержание горючих в уносе) – 1–2%;
- минимальная нагрузка котла $D_{\text{мин}}$ – не более 200 т/ч по условию надежности выхода жидкого шлака;
- максимальная длительная нагрузка котла – $D_{\text{макс}} = 420$ т/ч по условию отсутствия интенсивных загрязнений поверхностей пароперегревателя;

– возможность надежной, экономичной и экологичной работы котлов ТП-87 при сжигании кузнецких углей ухудшенного качества и промпродукта.

Библиографический список:

1. **Архипов А.М., Соловьев Н.И.** и др. Эффективное снижение образования оксидов азота в топках котлов за счет аэродинамической оптимизации ступенчатого сжигания топлив. В кн. Современные природоохранные техноло-

гии в электроэнергетике// Информационный сборник под общей редакцией В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007, – 388 с.

2. **Архипов А.М., Липов Ю.М., Путилов В.Я.** О целесообразности перевода котлов на режим твердого шлакоудаления при реконструкции ТЭС. Материалы II Междунар. науч.-практ. семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 23–24 апреля 2009 г. – М.: Издательский дом МЭИ. – С. 104–109.

НОВОСТИ

АСТОН ЗАВЕРШИЛ ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ ТЭЦ, РАБОТАЮЩЕЙ НА БИОРЕСУРСАХ

Теплоэлектроцентраль, построенная в рамках проекта реконструкции Миллеровского завода растительных масел (Миллеровский филиал ОАО «Астон»), полностью переведена на использование возобновляемых биоресурсов для производства теплового пара и электроэнергии. Таким образом, с середины февраля основным топливом для ТЭЦ являются лужга подсолнечника, солома, а также иное растительное сырье, резервным – природный газ. Об этом сообщили в пресс-службе компании.

Мощность ТЭЦ составляет 50 т технологического пара и 6,5 мВт электроэнергии в час. Вскоре должно завершиться строительство аналогичной теплоэлектроцентрали на Морозовском комбинате растительных масел (Морозовский филиал ОАО «Астон»). В создание двух энергетических объектов компания инвестировала около 20 млн долл. США, планируемый срок окупаемости вложений – 4 года.

По расчетам, объем произведенного технологического пара и электроэнергии будет превышать потребности предприятий, поэтому специалисты компании «Астон» прорабатывают возможные варианты продажи излишков энергии сторонним потребителям.

Реализуя проекты строительства ТЭЦ на Миллеровском заводе и Морозовском комбинате растительных масел, «Астон» следует своей долгосрочной стратегии сокращения издержек и внедрения инноваций.

«В настоящее время использование технологий производства комбинированной энергии (теплового пара и электричества) из возобновляемого органического топлива – уникальный проект для российской масложировой отрасли, – отмечает генеральный директор ОАО «Астон» В. Викулов. – Стоимость «зеленой» энергии в разы ниже действующих тарифов за потребление традиционной тепловой и электрической энергии. Это существенно повышает энергоэффективность наших предприятий, сокращает издержки производства и снижает себестоимость продукции».

Создание ТЭЦ, работающих на возобновляемом органическом топливе, – экологически значимый проект, который «Астон» реализует, используя механизмы Киотского протокола. Проектная документация разработана компанией Camco International – признанным мировым лидером в разработке проектов по сокращению выбросов парниковых газов в рамках Киотского протокола. Технология получения энергии безопасна для окружающей среды и позволяет сократить выбросы парниковых газов в атмосферу до 200 тыс. т в год.

АПК-Информ



Быстрицкий Г.Ф.,
канд. техн. наук, проф.;
Хлебникова Е.А., инженер,
МЭИ (технический университет)

Москва, 111250,
ул. Красноказарменная, 14.
Тел. (495) 362-73-86,
e-mail: BystritskyGF@mpei.ru

УДК 621.438

МИКРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Применявшиеся в большой энергетике паровые и газовые турбины были неэффективны при работе в малых диапазонах мощностей (менее 10 МВт), дизельные и газопоршневые генераторы не удовлетворяли экологическим требованиям и вызывали нарекания по эксплуатационным характеристикам. Технологические ограничения были сняты только с началом коммерческого производства совершенно нового класса энергетического оборудования – микротурбин (30 кВт–1 МВт).

Ключевые слова: микротурбинные установки, малая энергетика, турбогенератор.

Applied in large-scale power-engineering steam and gas turbines were ineffective during operation in small power ranges (less than 10 MW), diesel and gas engine generator didn't comply with ecological requirements and rouse censure in the part of exploitation characteristics. Technological restrictions were lifted only with the beginning of commercial manufacture of totally new class of power equipment – micro turbines (30 kW–1 MW).

Key words: micro turbine plants, small-scale power-engineering, turbo generator.

1. Общие сведения

В течение достаточно продолжительного периода времени (1960–1990 гг.) масштабное построение энергетических систем генерации электрической энергии сдерживалось отсутствием адекватной технологической базы. Применявшиеся в большой энергетике паровые и газовые турбины были неэффективны при работе в малых диапазонах мощностей (менее 10 МВт), дизельные и газопоршневые генераторы не удовлетворяли экологическим требованиям и вызывали нарекания по эксплуатационным характеристикам, топливные ячейки (элементы) находятся в стадии совершенство-

вания технологий и пока слишком дороги для большинства практических применений.

Технологические ограничения на пути практической реализации концепции распределенных систем генерации были сняты только с началом коммерческого производства совершенно нового класса энергетического оборудования – микротурбин (30 кВт–1 МВт). В настоящее время лишь немногим международным компаниям удалось наладить массовый выпуск надежных, простых и относительно недорогих газовых микротурбин. Среди них признанные мировые лидеры в указанном диапазоне мощностей:

1. Capstone Turbine Corporation (США) – производство микротурбин мощностью 30, 65, 200, 600, 800 кВт и 1 МВт;

2. Ingersoll Rand (США) – производство микротурбин мощностью 250 кВт;

3. OPRA (Голландия) – производство малых турбин мощностью 2 МВт;

Общий вид электростанции с четырьмя микротурбинными установками показан на рис. 1.

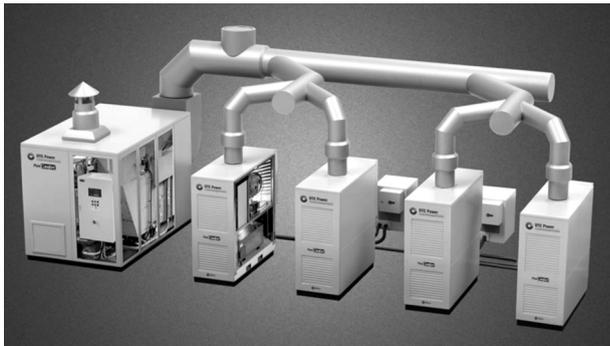


Рис. 1. Общий вид электростанции с четырьмя микротурбинными установками (МТУ)

Основными достоинствами малых и микротурбин являются: компактность, высокая экологичность, низкий уровень шума и вибраций, эластичность к нагрузке, исключительная надежность, а также самая высокая сравнительно с другими классами оборудования эффективность в режимах когенерации и тригенерации.

Простая в обращении конструкция турбогенератора облегчает процессы транспортировки, эксплуатации и сервисного обслуживания.

Обобщенные характеристики малых турбин и микротурбин:

1) Экологические характеристики

Все газотурбинные установки характеризуются сверхнизким уровнем эмиссии по СО и NO_x (менее 9 ppm для микротурбин). Это связано с уникальными особенностями оборудования: низкие рабочие температуры снижают уровень эмиссии окислов азота, а отсутствие трудящихся частей у микротурбин и вынесенные из горячей зоны подшипники у малых турбин позволяют отказаться от использования масла или предотвратить его выгорание.

2) Эластичность к нагрузке

В отличие от большинства других типов оборудования, микротурбины и турбины малой мощности демонстрируют абсолютную эластичность к нагрузке без существенного снижения

КПД. Генераторы способны работать в диапазонах нагрузки от 0 до 100% номинальной мощности без остановки.

3) Топливо

Топливная система и камера сгорания микротурбин пригодны для работы на различных видах газового топлива: природный и нефтяной попутный газы, шахтные и свалочные газы. Турбина также может функционировать на высокосернистых газах, содержащих до 7% сернистого водорода (H₂S), с низкой или переменной теплотой сгорания; работает на жидких видах топлива (дизельная фракция, керосиновая фракция) с теплотой сгорания до 120 МДж/м³ и содержанием H₂S до 7% от объема топлива (без газоподготовки). При работе на газах низкого давления все турбины комплектуются дожимными компрессорными станциями.

4) КПД установок

КПД турбогенераторов в режиме когенерации достигает 90% и более. Для выработки 1 кВт электроэнергии расходуется около 0,3 м³ природного газа, при этом попутно вырабатывается и может быть утилизировано 2 кВт тепла. Все оборудование имеет сертификаты ГОСТа и разрешено Госгортехнадзором к применению на территории Российской Федерации.

В настоящее время в России уже эксплуатируется около 400 микротурбин.

2. Принцип работы микротурбинной установки (МТУ)

Термодинамический принцип работы микротурбин Capstone схематично показан на рис. 2. Перед подачей в микротурбину внешний воздух проходит через входной воздушный фильтр малого сопротивления, использующийся для очистки воздуха, а также для снижения потери мощности двигателя. Отфильтрованный внешний воздух, проходя через генератор, охлаждает обмотки статора, что позволяет отказаться от использования дополнительных устройств охлаждения генератора. Уменьшение числа компонентов двигателя ведет к упрощению конструкции, сведению к минимуму риска поломки отдельной составной части и, как следствие, повышению надежности всей системы. Компрессор увеличивает давление воздуха, откуда сжатый воздух поступает в рекуператор. Использование рекуператора повышает электрический КПД двигателя и позволяет в 2 раза снизить объем потребляемого топлива за счет использования тепловой энергии выхлопа для

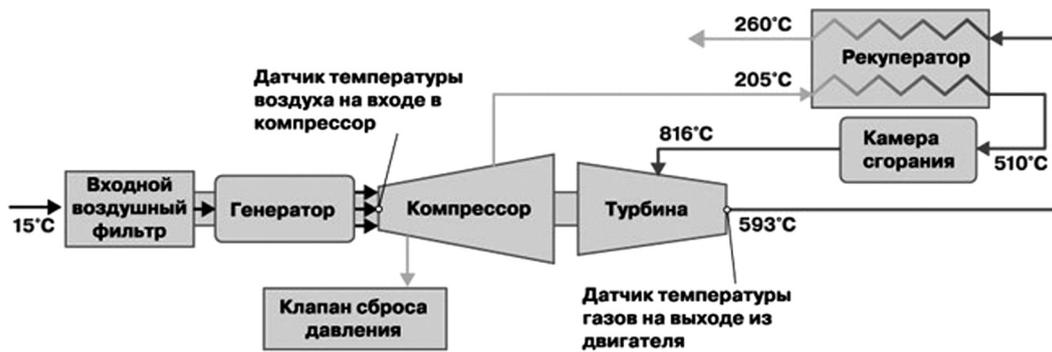


Рис. 2. Схема (термодинамическая) микротурбинной установки

подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания. Нагретый сжатый воздух поступает в камеру сгорания, где смешивается с топливом, и происходит возгорание смеси. Горение топливно-воздушной смеси происходит при постоянном давлении и относительно низких рабочих температурах, что приводит к снижению вредных атмосферных выбросов. Камера сгорания и колесо турбины выполнены из специальных высокотемпературных материалов, что дает возможность использовать широкий диапазон топлива с различной теплотворной способностью. Специальные антикоррозийные материалы, примененные в составе системы подвода топлива к форсункам, позволяют микротурбине работать на высокосернистом топливе с содержанием сероводорода (H_2S) до 7%. Условно низкие температуры сгорания топлива (510–954°C), при которых достигается минимальный уровень вредных выбросов в атмосферу, являются достаточными для сжигания высокосернистого газа без нанесения вреда двигателю. Температура выхлопных газов (260–309°C) препятствуют образованию конденсата серной кислоты и, как следствие, быстрому износу деталей турбины. Это также является одним из факторов увеличения ресурса до капитального ремонта.

В турбине энергия горячего газа преобразуется в работу. При входе в сопловой аппарат турбины горячие газы расширяются и их тепловая энергия преобразуется в кинетическую. Затем в роторной части турбины кинетическая энергия газов переходит в механическую энергию враще-

ния ротора турбогенератора. Высокая частота вращения ротора (96 000 об/мин) позволила добиться уменьшения габаритов турбины, благодаря чему энергоустановка имеет малый вес и компактные габаритные размеры. Часть мощности турбины расходуется на работу воздушного компрессора, а оставшаяся часть является полезной выходной мощностью.

Газотурбинный двигатель (рис. 3) приводит во вращение находящийся с ним на одном валу высокоскоростной генератор. Если установка оборудована системой когенерации (утилизации тепла выхлопных газов), то выхлопные газы из рекуператора проходят через теплообменник. Данный теплообменник передает тепло выхлопных газов циркулирующей воде, использующейся в промышленных и коммунальных системах горячего водоснабжения, обогрева помещений или для других нужд. Общий КПД турбины (электрический и тепловой) при таком режиме достигает 92%, что приводит к значительной экономии топлива и снижению себестоимости вырабатываемой энергии. Благодаря применению в конструкции двигателя особого типа генератора с постоянным магнитом в роторе и электрического инвертора вместо тра-

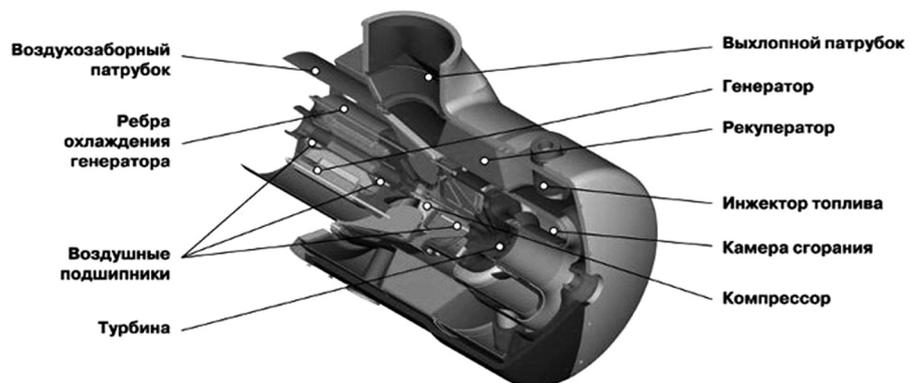


Рис. 3. Схема газотурбинного двигателя с генератором

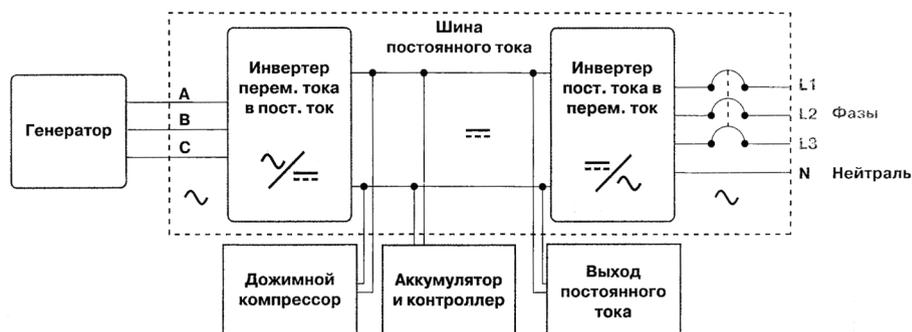


Рис. 4. Схема преобразования постоянного тока в переменный трехфазный

диционного синхронного генератора с редуктором частота вращения ротора микротурбины изменяется от 45 000 до 96 000 оборотов и при этом не связана с выходным напряжением. Отсутствие этой связи и возможность изменения частоты вращения в широком диапазоне приводят к оптимальному расходу топлива, пропорциональному нагрузке. Для запуска микротурбинной установки Capstone используется блок аккумуляторных батарей, который компенсирует ток нагрузки, в то время как двигатель набирает обороты. За счет этого микротурбина способна выдерживать 80%-й наброс нагрузки. При одновременном сбросе нагрузки до 80% часть тока берет на себя блок аккумуляторных батарей, а скорость вращения вала замедляется с помощью тормозных резисторов. Таким образом, достигается абсолютная эластичность к нагрузке без увеличения износа двигателя и существенного снижения КПД энергосистемы. Это свойство особенно важно для объектов с непрерывным, но неравномерным потреблением энергии, таких как объекты ЖКХ и инфраструктуры, городские жилые районы и коттеджные поселки.

Силовая цифровая электроника управляет работой микротурбины и всех ее вспомогатель-

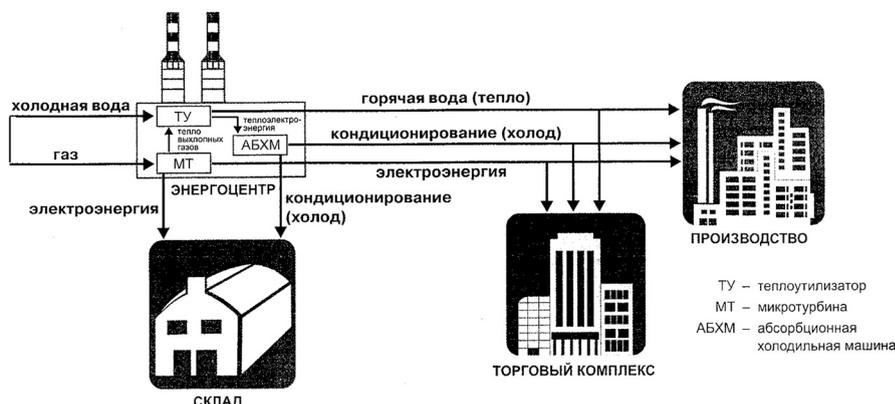


Рис. 5. Принцип работы МТУ в режиме когенерации и тригенерации

ных систем (рис. 4). Она преобразует переменный ток переменной частоты от генератора в постоянный ток, а затем – в переменный ток постоянной частоты промышленной сети – 50 Гц, 380 В. Это позволяет практически мгновенно реагировать на изменение нагрузки и выдавать требуемую мощность.

3. Режимы работы установки

Когенерация

Помимо генерации электричества, турбина может вырабатывать тепло. Для этого она должна быть укомплектована специальным устройством, утилизирующим теплоту выхлопных газов. Такие энергетические системы, совместно вырабатывающие электричество и тепло, относятся к классу СНР (Combined Heat and Power). В случае микротурбин их называют microCHP. Специально для микротурбин компанией Capstone сконструировано несколько типов таких теплообменников, рассчитанных на совместную работу с одной, двумя, четырьмя и более микротурбинами. Их производят в США, Европе, Японии. Возможно применение российских утилизаторов тепла, соответствующих по производительности, размерам соединительной арматуры и другим параметрам конструкции микротурбины. Применение установок microCHP резко повышает общий КПД (до 90% и выше) и решает задачи теплоснабжения для отопления и получения горячей воды (рис. 5).

Тригенерация

Это комбинированное производство электричества, тепла и холода. Холод вырабатывается абсорбционной холодильной машиной посредством утилизации тепла выхлопных газов турбины. Принцип действия абсорбционных холодильных машин (АБХМ) основан на том, что вода в условиях вакуума испаряется при низких температурах и при испарении уносит тепло от воздуха

системы кондиционирования. В абсорбционных холодильных машинах раствор бромистого лития (LiBr) – очень сильный абсорбент воды – поглощает пар, переносящий тепло охлаждающей воды, превращаясь в разбавленный раствор, который откачивается в генератор, где выпаривается, нагреваясь от горячего пара, воды, выхлопных газов и т.п. Концентрированный раствор LiBr возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор, чтобы процесс повторился (рис. 5).

Параллельно с сетью

В этом режиме микротурбинная установка вырабатывает электрический ток, синхронизированный с сетью по напряжению и частоте.

Автономно

Автономный режим характеризуется работой микротурбинной установки независимо от сети в качестве основного источника энергии. В этом режиме выходная мощность определяется потребителем, параметры электрического тока настраиваются в соответствии с потребностями нагрузки по напряжению и частоте. Устройство для автономной работы включает преобразователь энергии, координирующий работу блока аккумуляторных батарей (АКБ). Он имеет зарядное устройство и производит необходимые соединения между основной системой управления и блоком АКБ. Запуск и работа микротурбины осуществляются в автоматическом режиме.

Двойной режим

(автономно и параллельно с сетью)

В этом режиме микротурбина подключена к местной сети и, по желанию потребителя, может быть переключена в автономный режим работы. Переключение может производиться в ручном режиме и автоматически, через контроллер двойного режима фирмы Capstone.

В одиночном режиме или в кластере из нескольких турбин (параллельная работа нескольких установок).

Потребляемое топливо

Микротурбинные установки не требуют предварительной газоочистки при работе на большинстве видов газового топлива. При этом теплотворная способность газа должна находиться в пределах от 2500 до 24 000 ккал/м³. Это может быть:

- природный газ высокого или низкого давления по ГОСТ Р 5542-87;
- биогаз: мусорный газ; газ, получающийся при очистке сточных вод; анаэробный газ;
- попутный нефтяной газ, факельный газ;

- жидкие виды топлива: керосин, дизельное топливо, биодизельное топливо;
- низкокалорийные газы;
- газы с нестабильными характеристиками состава;
- сжиженный газ: природный газ (метан), пропан-бутан;
- шахтный метан, метан угольных пластов;
- коксовые газы;
- сингаз (синтез-газ).

Варианты размещения микротурбин:

- на открытой площадке, в легковозводимом погодном укрытии;
- в отдельном здании/сооружении;
- в основном здании объекта, внутри помещения;
- на крыше/кровле здания;
- в блочно-модульном исполнении для температурных условий от -60 до +50°С.

4. Конструкция турбогенератора

Турбогенератор микротурбинной установки включает в себя газотурбинный двигатель и генератор. Газотурбинный двигатель состоит из компрессора, рекуператора, камеры сгорания, турбины и выхлопного газохода.

Запуск микротурбинного двигателя осуществляется от встроенного блока аккумуляторных батарей. Двигатель охлаждается воздухом и не потребляет масло. Крыльчатка компрессора и ротор турбины смонтированы на одном валу с генератором (рис. 6,б). Малый вес вала двига-

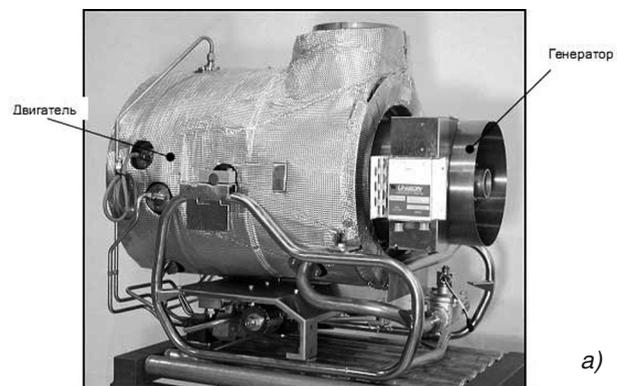


Рис. 6. Внешний вид турбогенератора (а) и единый вал турбогенератора (б)

теля уменьшает инертность микротурбины, позволяя быстрее реагировать на повышение и снижение выходной мощности. Этот вал поддерживается на воздушных подшипниках. Скорость вращения вала двигателя генератора 45 000–96 000 об/мин. При скорости 96 000 об/мин выходное напряжение составляет 277 В. Двухполюсный генератор на постоянных магнитах охлаждается потоком воздуха, поступающего в двигатель. На выходе генератора формируется трехфазный электрический ток переменного напряжения и частоты (до 1600 Гц) в зависимости от скорости вращения генератора, который конвертируется в постоянный ток, а затем ISO.

Инновацией, примененной в микротурбинах семейства Capstone, являются воздушные подшипники (рис. 7). Они поддерживают вал ротора генератора в подвешенном бесконтактном состоянии. Воздушный подшипник состоит из двух компонентов. Внешняя часть, выполненная из особого высокотемпературного сплава, имеет цилиндрическую форму. Внутренняя часть представляет собой тонкую волнообразную окружность, выполняющую роль пружины под которой расположена лента. Пружины создают силу противодействия лентам и воздуху, что позволяет валу находиться в устойчивом положении на воздушных подушках. Благодаря особой аэродинамической форме подшипника при скорости вращения свыше 2000 об/мин образуется воз-



Рис. 7. Схема воздушного подшипника МТУ

душная пленка, которая отделяет вал от ленты подшипника и защищает его от износа. Это снимает необходимость использования масел и лубрикантов, что позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы. Кроме того, малое количество сопрягаемых частей снижает до минимума риск повреждения деталей турбогенератора и обеспечивает высоконадежную и безопасную работу микротурбины. Это также является одним из ключевых факторов длительного срока службы до капитального ремонта — до 60 000 ч. За счет высокой частоты вращения вала и воздушных подшипников достигается низкий уровень шума и вибраций энергоустановки. Внешний вид турбогенератора с одетой теплоизоляцией показан на рис. 6,а.

Микротурбинная установка может эффективно использоваться в широком диапазоне углеводородных газов и жидкого топлива с различной теплотворной способностью. Топливная система мониторит, дозирует и подает топливо в двигатель от источника топлива, а также поддерживает в газообразном состоянии жидкое топливо. Это возможно благодаря конструктивным особенностям инжекторов и специальным дозирующим клапанам, создающим оптимальную топливно-воздушную смесь, что приводит к максимально эффективному сгоранию топлива.

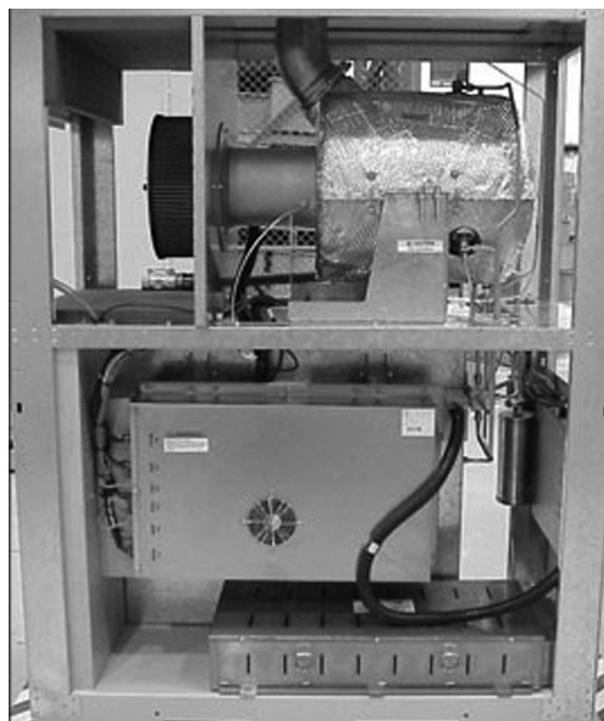


Рис. 8. Компоновка основных узлов МТУ (на примере модели С30)

Таблица

Технические характеристики базовых моделей микротурбин Capstone

| Параметры микротурбины | Capstone C30 | Capstone C65 | Capstone C200 | Capstone C600 | Capstone C800 | Capstone S1000 |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Электрическая мощность, кВт | 30 | 65 | 200 | 600 | 800 | 1000 |
| КПД по электричеству, % | 26 (±2) | 29 (±2) | 33 (±2) | 33 (±2) | 33 (±2) | 33 (±2) |
| Общий КПД электростанции (с утилизацией тепла), % | 80–90 | 80–90 | 66–90 | 66–90 | 66–90 | 66–90 |
| Диапазон рабочего напряжения, В | 380–480 | 380–480 | 380–480 | 380–480 | 380–480 | 380–480 |
| Максимальный ток в фазе, А | 46 | 100 | 275 - 290 | 930 | 1240 | 1550 |
| Частота тока, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вес, кг | 578 | 1121 | 3180–3640 | 8142–9534 | 12 600–14 400 | 15 875–18 144 |
| Длина x ширина x высота, мм | 1516 x 762 x 1943 | 1965 x 762 x 2110 | 3660 x 1700 x 2490 | 9144 x 2438 x 2896 | 9144 x 2438 x 2896 | 9144 x 2438 x 2896 |
| Вид топлива | Газ, керосин, дизель |
| Рабочее давление топлива на входе, бар | Низкое давление: 0,02–1, высокое давление: 3,6 | Низкое давление: 0,02–1, высокое давление: 5,2 |
| Расход топлива (газа) при номинальной нагрузке, нм ³ /ч | 12 | 23 | 65 | 195 | 260 | 325 |
| Максимальная температура выхлопных газов, °С | 275 | 309 | 280 | 280 | 280 | 280 |
| Выход тепловой энергии, кДж/час (Гкал/час) | 305 000 (0,073) | 591 000 (0,141) | 1 420 000 (0,339) | 4 260 000 (1,017) | 5 680 000 (1,356) | 7 100 000 (1,696) |
| Выброс вредных веществ при 15% O ₂ | < 9 ppmV NO _x |
| Уровень шума на расстоянии 10 м, дБ | не более 60 |
| Скорость вращения турбины, об/мин | 96 000 | 96 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 |
| Срок службы до капитального ремонта, ч | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 |

Тщательные рабочие испытания и опыт эксплуатации турбины показали надежную работу топливной системы и камеры сгорания, которая

пригодна для работы на разных видах топлива: природный, шахтный, сжиженный, попутный газы (в том числе с высоким содержанием серо-

водорода), биогаз, а также жидкое дизельное топливо и керосин. Низкие требования к качеству топлива (загрязненности примесями) сочетаются с малой концентрацией вредных веществ в выбрасываемых продуктах сгорания. Это было продемонстрировано в ходе специальных испытаний и подтверждено соответствующими сертификатами официальных органов по охране окружающей среды. Уровень загрязняющих выбросов столь низок, что устанавливает новые экологические стандарты для малых электростанций.

Контроль и управление микротурбиной осуществляются микропроцессорной системой автоматического управления. Благодаря высокой степени автоматизации и надежной системе управления установка работает в автоматическом режиме, не требуя постоянного присутствия персонала при нормальном режиме работы. В случае критической ситуации система автоматически выключает установку и запоминает причину аварийного отключения. Система управляет режимами автоматического пуска, остановки, контролирует параметры работы, поступающие с датчиков расхода топлива, температуры, скорости вращения, электрической нагрузки и т.д. В цифровой системе управления реализованы сложные алгоритмы, которые поддерживают устойчивую работу установки и многофункциональность применения с точки зрения пользователя. В частности, предусмотрена возможность автоматического запуска при падении напряжения в сети (при использовании микротурбины в качестве источника электроэнергии). Система управления обеспечивает работу в автономном режиме, в режиме параллельной работы с сетью для снятия пиковых нагрузок и передачи дополнительной электроэнергии в сеть.

Система управления оснащена пультом оператора для ручного управления и программирования различных режимов. Достоинством системы является функция удаленного управления через каналы связи и сети Интернет, в том числе управления группами установок, расположенными в разных местах, но работающими как единое целое. Координацию работы системы из нескольких десятков микротурбин осуществляет специальный компьютер – Advanced Power Ser-

ver, который по заданным алгоритмам синхронизирует работу генераторов и оптимизирует распределение нагрузки. Advanced Power Server позволяет осуществлять управление кластером, содержащим до 100 микротурбин. Может быть задан последовательный, параллельный или смешанный режимы работы отдельных установок, объединенных в кластер. Для первоначального пуска турбины каждая установка снабжена блоком аккумуляторных батарей.

В табл. представлены технические характеристики микротурбин Capstone, а на рис. 8 – компоновка основных узлов микротурбинной установки (на примере модели C30).

В заключение отметим, что на сегодняшний день по всему миру эксплуатируется более 4000 микротурбинных установок Capstone, нарабатывающих в совокупности более 20 млн операционных часов. В России успешно работает более 400 микротурбин. Число реализованных проектов на базе микротурбин ежегодно растет в среднем на 15–20%.

Установки Capstone не случайно пользуются спросом и активно применяются для обеспечения энергией в самых различных сферах: городское и муниципальное хозяйство, инфраструктура, сельское хозяйство, промышленность, нефтегазовая отрасль, телекоммуникации, объекты социального значения, торговоразвлекательные центры, сегмент HoReCa (отели/рестораны/кафе), малый бизнес, стратегические и военные объекты и др. Микротурбины являются одним из самых современных видов энергогенерирующего оборудования, превосходящим существующие типы генераторов по совокупности потребительских свойств: экологичности, эффективности, экономичности и надежности. Возможность использования широкого спектра топлива с различными характеристиками состава делает микротурбины Capstone незаменимыми в решении задач по выработке энергии из отходов производства и жизнедеятельности человека.

Библиографический список:

1. Быстрицкий Г.Ф., Трофимчук М.И. Источники автономного и резервного электроснабжения // *Главный энергетик*, № 9, 2007.



Тарасов А.С., аспирант
МЭИ (технический университет)

Москва, 111250,
ул. Красноказарменная, 14.
Тел. (495) 362-73-86

УДК 620.1.05

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ, ВОЗДУШНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА

В статье рассмотрены принципы построения современной системы автоматического управления системой вентиляции, главные отличия ее от других систем автоматического управления. Дается краткое описание алгоритмов и основных функций системы автоматического управления, разработанных цифрового блока управления и силовых управляющих блоков.

Ключевые слова: система автоматического управления, вентиляция, вентиляционная установка, воздушное отопление, CANopen, регулятор.

In article principles of construction of modern system of automatic control are considered by ventilation system. Its main differences from other systems of automatic control are considered. The short description of algorithms and the basic functions of system of automatic control is given, developed the digital block of management and power operating blocks is given.

Keywords: automatic control system, ventilation, ventilating installation, air heating, CANopen, regulator.

Введение

В нашей стране с очень разнообразным климатом эффективная климатическая система, которая включает в себя отопление, вентиляцию и кондиционирование, всегда являлась синонимом комфортной и уютной жизни. Воздушное отопление на сегодняшний день – это один из

самых перспективных видов отопления домов, коттеджей и производственных помещений. А основное преимущество воздушного отопления – возможность его совмещения с системами вентиляции и кондиционирования воздуха. В помещение подается именно свежий воздух, соответствующим образом очищенный и нужной

температуры и влажности. Для подачи теплого воздуха в холодный период года используются те же воздуховоды, что и для подачи холодного воздуха летом. За счет того что системы воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования используют много общих частей, общая стоимость климатической системы здания существенно снижается. Задачу воздушного отопления решают, как правило, приточные установки с секцией обогрева. Тепло в секцию обогрева поступает обычно от теплового пункта, т.е. от той же системы центрального водяного отопления. К комплексной системе кондиционирования, вентиляции и отопления относят именно воздушное отопление.

Вентиляционная установка серии Duplex

ООО «АКВАТРОЛ ПРОЕКТ» совместно с МЭИ разработал систему автоматического управления (САУ) и диспетчеризация системы отопления, вентиляции, кондиционирования (СОВК) воздуха в помещении на базе вентиляционной установки (ВУ) серии Duplex.

Установки данной серии были выбраны ввиду ряда преимуществ:

- ◆ компактность установок, которая гарантирует экономию места вплоть до 60% по сравнению с наборными установками;
- ◆ низкие расходы на приобретение;
- ◆ установка в 16 монтажных исполнениях;
- ◆ возможность нетипичного исполнения горловин по индивидуальным требованиям (круглые и прямоугольные);
- ◆ низкий уровень шума;
- ◆ низкая потребляемая электрическая мощность;
- ◆ высокая эффективность рекуперации пластинчатого рекуператора 60%.

Универсальность ВУ серии Duplex и гибкое программное обеспечение (ПО) позволят адаптировать САУ для любого вентиляционного комплекса с различным набором оборудования, в состав которого могут входить: рекуператор, охладитель, калорифер, регулирующие клапаны и насосы в контуре охладителя и калорифера, воздушные заслонки, фильтры.

Описание алгоритмов работы САУ системы вентиляции

Разработанная САУ полностью автономна. Основные задачи САУ – автоматическое поддержание заданной температуры и состава воз-

духа в обслуживаемом помещении, обеспечение пожарной безопасности и своевременная диагностика отказов вентиляционного оборудования.

Данная САУ в качестве средства управления использует электронное цифровое устройство – управляющий контроллер, выполненный на базе отечественного микроконтроллера серии МК10.5 фирмы ООО «НПФ Вектор». Разработанная система управления в совокупности с управляющим контроллером позволила комплексно решить множество задач управления, регулирования и защиты. Основные преимущества разработанной САУ вентиляцией перед аналогами:

- ◆ точное поддержание регулируемых параметров на заданном уровне с помощью самонастраивающихся программных ПИД-регуляторов;
- ◆ интеллектуальная защита от повреждения, с фильтрацией ложных срабатываний;
- ◆ сохранение (по возможности) работоспособности системы в неполнофункциональном режиме;
- ◆ контроль обрыва и правильности подключения датчиков, с сохранением, в случае неисправности, работоспособности системы путем перехода на запасной алгоритм регулирования.

Обобщенная структурная схема СОВК приведена на рис. 1.

Схема приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуператором серии Duplex приведена на рис. 2.

Система управления вентиляцией и воздушным отоплением в помещении представляет собой совокупность нескольких технологических алгоритмов и функций, и все они взаимосвязаны между собой. В общем виде основные технологические функции управления СОВК могут быть разделены на следующие группы:

- ◆ регистрация параметров;
- ◆ программное управление;
- ◆ защитные функции;
- ◆ функции регулирования параметров.

Поэтому для правильного понимания работы программы рассмотрим все аппаратные узлы, программные алгоритмы и функции системы вентиляции.

Регистрация параметров

В соответствии с [3] обязательными параметрами контроля являются:



Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении, где $T_{пр}$, $G_{пр}$, $G_{в}$ – температура приточного и вытяжного воздуха и расход приточного и вытяжного воздуха, а $T_{з.пр}$, $G_{з.п}$, $G_{з.в}$ – задания на температуру приточного и на расход приточного и вытяжного воздуха

- ♦ температура и давление в общих, подающем и обратном трубопроводах и на выходе каждого теплообменника;

- ♦ температура воздуха наружного, рециркуляционного и приточного после теплообменника, а также температура и относительная влажность (при ее регулировании) в помещении в системах кондиционирования.

Данная функция кроме регистрации параметров также осуществляет контроль правильности подключения и защиту от обрыва датчика.

Дистанционный контроль предусматривают для измерения основных параметров технологического процесса или параметров, задействованных в реализации других функций управления. Такой контроль осуществляется с помощью датчиков и измерительных преобразователей с выводом (при необходимости) измеренных пара-

метров на индикатор или экран управляющего прибора.

Функции программного управления

Основная функция программного управления – это главный дискретный автомат (ДА) САУ, который осуществляет управление системой вентиляции в целом.

Для обеспечения нормального пуска системы вентиляции в системе управления соблюдена следующая последовательность:

Предварительный прогрев калорифера

Если включить систему вентиляции, не прогрев водяной калорифер, то после запуска приточного вентилятора в помещение начнет подаваться холодный воздух, а также при низкой

ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ

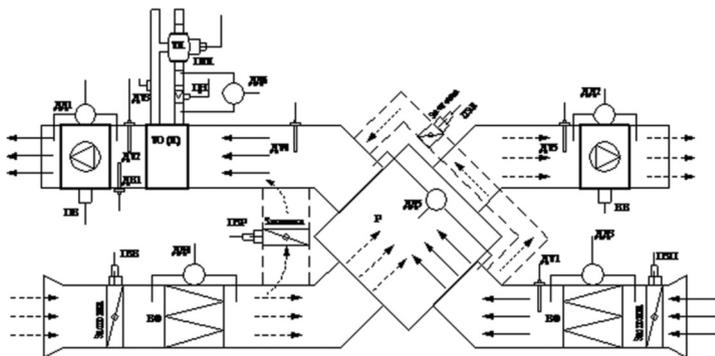


Рис. 2. Схема приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуператором

температуре наружного воздуха может сработать защита от замораживания. Поэтому при включении вентиляции необходимо открыть трехходовой клапан водяного калорифера и прогреть калорифер. Как правило, эта функция включается при температуре наружного воздуха ниже 10°C или разрешается пользователем вручную. Прогрев осуществляется по одному из двух параметров. Прогрев до заданной температуры или прогрев в течение определенного периода времени.

Предварительное открытие воздушных заслонок

Предварительное открытие воздушных заслонок до пуска вентиляторов выполняется в связи с тем, что не все заслонки в закрытом состоянии могут выдержать перепад давлений, создаваемый вентилятором, а время полного открытия заслонки электроприводом доходит до 2 мин. Входное напряжение управления электроприводом может быть 0–10 В (пропорциональное позиционное управление при плавном регулировании) или -24 В (-220 В) – двухпозиционное управление («открыто»–«закрыто»).

Пуск и разнесение моментов запуска вентиляторов

Первым запускается вентилятор вытяжки для прогрева рекуператора, потом – вентилятор притока. Вентиляторы пускаются плавно, что значительно снижает нагрузку на питающую электросеть.

На рис. 3 показан типовой график включения и отключения аппаратов и устройств приточно-вытяжной системы. Весь этот цикл система должна обрабатывать автоматически,

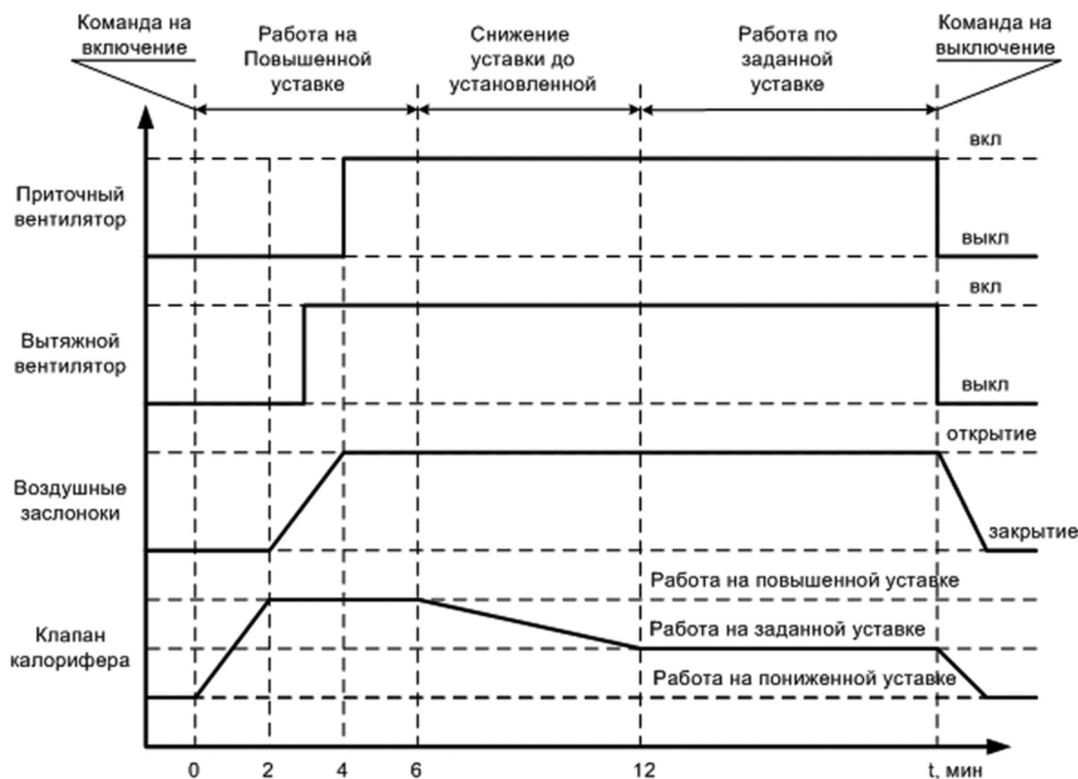


Рис. 3. Типовой график работы приточно-вытяжной вентиляции

Режимы работы САУ

| Сезон: лето – 1 зима – 0 | НГВ: есть – 1 нет – 0 | Режим работы системы управления |
|-----------------------------|--------------------------|--|
| 0 | 0 | САУ включает неполнофункциональный режим работы, пока температура приточного воздуха не снизится до критической, после чего САУ переведет систему в дежурный режим |
| 1 | 0 | САУ полностью отключает теплообменник. Летний режим работы САУ |
| 0 | 1 | Зимний режим работы САУ |
| 1 | 1 | Летний режим работы САУ с возможностью подогрева воздуха в холодные периоды |

а кроме того, должен быть предусмотрен индивидуальный пуск оборудования, который необходим при наладке и профилактических работах.

Немаловажное значение имеют функции программного управления, такие как смена режимов «зима-лето», «день-ночь» и новая для таких систем функция «наличие горячей воды». Функция определения горячей воды работает следующим образом. Открывается трехходовой клапан. Включается циркуляционный насос. При увеличении температуры обратной воды в калорифере система идентифицирует наличие горячего водоснабжения. Если температура не меняется, то горячее водоснабжение отсутствует. В результате САУ переведет ВУ в неполнофункциональный режим работы, в котором температура воздуха будет поддерживаться за счет рекуперации тепла и рециркуляции воздуха. При значительных тепловых потерях система перейдет в дежурный режим.

По двум условиям (сезон «зима/лето» и наличие горячей воды) САУ определяет режим работы системы управления по табл.

Особенно актуальна реализация этих функций в современных условиях дефицита энергетических ресурсов.

Защитные функции

Защитные функции и блокировки – общие для систем автоматики и электрооборудования (защита от короткого замыкания, перегрева, ограничения перемещения и т.п.), реализуются отдельными аппаратами (предохранителями, устройствами защитного отключения, конечными выключателями и т.д.).

Защита от замерзания

Функция автоматической защиты от замерзания должна быть предусмотрена в районах с

расчетной температурой наружного воздуха для холодного периода -5°C и ниже [3]. Защите подлежат теплообменники первого подогрева и рекуператоры.

Функция защиты

от замерзания калорифера

Данная функция активируется по выполнению одного из двух условий:

- 1) температура приточного воздуха упала ниже первой критической температуры воздуха;
- 2) температура обратной воды калорифера упала ниже первой критической температуры обратной воды калорифера.

В обоих случаях активируемая функция защиты теплообменника от замерзания сначала снижает производительность вентиляторов притока и вытяжки, тем самым уменьшая расход приточного воздуха и, соответственно, количество теплоты, уносимой с калорифера. Соответственно, трехходовой клапан полностью открыт, т.к. САУ пытается увеличить температуру. Система управления устанавливает предупреждение об угрозе замораживания калорифера. Если обе температуры продолжают снижаться дальше и каждая достигает своей второй критической температуры, система управления переходит в аварийный режим, останавливает всю установку, работает только циркуляционный насос и привод трехходового клапана, если разрешена функция контроля обратной воды калорифера.

Если в течение часа угроза замораживания возникает несколько раз, то после очередного производства вентиляторов остается на пониженном уровне.

В системе вентиляции обязательно должна быть аппаратная защита калорифера от замерзания, реализованная на базе термостата и

силового контактора. Термостат имеет стандартный выход – «сухой контакт», который управляет питанием катушкой контактора. Когда температура снижается до порогового значения уставки термостата, он срабатывает, и «сухой контакт» размыкает цепь питания катушки силового контактора. Контактор, в свою очередь, отключает от сетевого питания вентиляторы.

Сигнал аварии от термостата обязательно должен быть продублирован на систему управления типом сигнала «сухой контакт».

Функция защиты от замерзания рекуператора

Защита рекуператора реализована по двум признакам. Первый наиболее благоприятный – это сигнал с датчика дифференциального давления на рекуператоре. Датчик измеряет разность давлений на входе и выходе рекуператора, его приточного канала. Если разность давлений меньше уставки на дифманометре, то, значит, рекуператор немного подморозило, и он плохо пропускает воздух. Тогда активируется функция защиты рекуператора от замораживания, которая открывает заслонку байпаса и направляет холодный приточный воздух мимо рекуператора, что влечет за собой сильное увеличение нагрузки на калорифер. Под действием теплого вытяжного воздуха рекуператор оттаивает, о чем будет сигнализировать датчик давления. При сильных морозах и высокой влажности вытяжного воздуха функция активна большую часть времени работы установки, что сильно снижает ее энергоэффективность.

Второй признак – это температура на выходе рекуператора, которая измеряется каналным датчиком температуры (датчик ДТ4 на рис. 2). При снижении температуры на выходе рекуператора ниже порогового значения активизируется функция защиты от замораживания рекуператора, аналогичная при срабатывании дифманометра. Способ менее благоприятен, т.к. степень замораживания оценивается грубо по температуре вытяжного воздуха.

Для повышения времени работы рекуператора в системе и, соответственно, повышения энергоэффективности вентиляционной установки был разработан специальный алгоритм функции защиты рекуператора по температуре точки росы.

Для точного определения угрозы замораживания необходимо определять температуру точки росы рекуператора по двум параметрам –

относительная влажность и температура вытяжного воздуха.

Реализована защита от обрыва аналоговых датчиков и проверка правильности подключения всех датчиков при инициализации системы.

Реализованы диагностика, защита и контроль технологических силовых блоков управления ВУ.

Реализован контроль загрязненности фильтра, которая оценивается падением давления на нем, измеряемое дифференциальным датчиком давления. Датчик измеряет разность давлений воздуха до и после фильтра. Допустимое падение давления на фильтре указывается в его паспорте (обычно 150–300 Па). Эта разность устанавливается при наладке системы на дифференциальном датчике (уставка датчика). При достижении уставки от датчика поступает сигнал о предельной запыленности фильтра и необходимости его обслуживания или замены. Если в течение определенного времени (обычно 24 ч) после выдачи сигнала предельной запыленности фильтр не будет очищен или заменен, то САУ совершит аварийную остановку системы и переведет ее в дежурный режим.

Аналогичные датчики устанавливаются на вентиляторах. Если выйдет из строя вентилятор или ремень привода вентилятора, то система будет остановлена в аварийном режиме.

Функции регулирования параметров

Функции регулирования параметров – автоматическое поддержание заданных параметров, являющихся основными по определению [3] для систем воздушного отопления, приточной и вытяжной вентиляции, работающей с переменным расходом, рециркуляцией воздуха, систем кондиционирования, холодоснабжения и местного увлажнения воздуха в помещениях. При этом для систем оговаривается точность поддержания параметров воздуха (если отсутствуют специальные требования), которая составляет в точках установки датчиков $\pm 1^\circ\text{C}$ по температуре и $\pm 7\%$ по относительной влажности.

Эти функции выполняются с помощью замкнутых контуров регулирования, в которых принцип обратной связи присутствует в явном виде: информация об объекте, поступающая от датчиков, преобразуется регулирующими устройствами в управляющие воздействия.

В САУ реализована система подчиненного регулирования температуры приточного воздуха



Рис. 4. Двухконтурная система подчиненного регулирования

посредством горячего контура системы и поддержание расхода как приточного, так и вытяжного воздуха посредством вентиляторов.

Горячий контур

Горячим контуром в системе вентиляции называют теплообменник с аппаратным и программным узлом регулирования и управления этим теплообменником (калорифером). Теплообменники бывают двух типов: электрические и водяные. В САУ предусмотрено управление водяным теплообменником, поскольку этот тип калорифера является наиболее энергоэффективным и экономичным по сравнению с электрическим калорифером. Водяной теплообменник может подключаться к центральному отоплению либо к индивидуальному отоплению, на базе газового котла.

Водяной теплообменник представляет собой радиатор со множеством пластин, которые нагреваются горячей водой и передают тепло приточному воздуху. Количество тепла, передаваемое приточному воздуху, напрямую зависит от площади калорифера, его температуры и расхода воздуха, который определяется мощностью и производительностью вентилятора притока. Количество тепла, передаваемого приточному воздуху, пропорционально температуре калорифера или температуре обратной воды (воды на выходе калорифера). Соответственно, регулируя температуру калорифера или температуру обратной воды, можно регулировать количество тепла, передаваемое приточному воздуху, а следовательно, и его температуру, что и требуется от САУ вентиляцией и воздушным отоплением. Температура обратной воды калорифера регулируется посредством трехходового клапана, который, открываясь, делает подмес горячей воды к обратной, более холодной воде калорифера, вновь поступающей на вход теплообмен-

ника. Регулируя посредством трехходового клапана количество горячей воды, поступающей в теплообменник, можно регулировать температуру самого теплообменника. При этом очень важно поддерживать постоянный расход воды, для чего в горячий контур ставится водяной циркуляционный насос. Сам же трехходовой клапан управляется специальным сервоприводом. Приводы для управления трехходовым клапаном бывают трех типов:

1) Трехпозиционный привод. Эксплуатация при помощи регулятора с переключающимся выходом, ШИМ-регулирование. Питание – 220 или 24 В.

2) Двухпозиционный привод. Эксплуатация при помощи регулятора с переключающимся выходом. Регулирование по типу «открыт» – «закрыт». Питание – 220 или 24 В.

3) Аналоговый привод. Эксплуатация при помощи регулятора с аналоговым выходом. Пропорциональное регулирование (0–10 В). Питание – 220 или 24 В

Регулирование температуры приточного воздуха

Главным регулируемым параметром является температура приточного воздуха – $t_{\text{пр}}$. Регулирование температуры воздуха в помещении реализовано с помощью двухконтурной системы подчиненного регулирования (рис. 4).

Первый контур – это контур воздуха, который реализован на базе ПИД-регулятора. На вход ПИД-регулятора воздуха поступает непосредственно задание на температуру ($T_{\text{з.пр}}$), в качестве сигнала обратной связи используется текущая температура приточного воздуха ($T_{\text{пр}}$), которая представляет собой оцифрованный сигнал с канального датчика температуры воздуха, установленный в приточном вентиляционном канале после теплообменника (по схеме рис. 2

это датчик ДТ2). Далее регулятор в зависимости от разности температур (задания и текущей) выдает задание на температуру обратной воды ($T_{з.об.в}$) для регулятора второго, подчиненного первому, контура регулирования.

Второй контур – это контур управления температурой обратной воды калорифера, который реализован на базе ПД-регулятора. На вход ПД-регулятора поступает задание на температуру обратной воды калорифера ($T_{з.об.в}$). В случае подчиненного регулирования это задание определяется главным первым контуром регулирования – контуром воздуха. В других случаях задание определяется пользователем. В качестве сигнала обратной связи используется текущая температура обратной воды теплообменника ($T_{об.в}$), которая представляет собой оцифрованный сигнал с накладного (реже погружного) датчика температуры, установленного непосредственно на металлической трубе обратной воды калорифера (по схеме рис. 2 это датчик ДТ3). Выходной сигнал датчика представляет собой ШИМ трехпозиционного регулирования для управления соответствующим приводом трехходового смешительного клапана.

Расход приточного и вытяжного воздуха

Расход приточного и вытяжного воздуха (давление на выходе приточного и вытяжного каналов) – $Q_{пр}$ и $Q_{пр}$. Расход воздуха определяется производительностью вентилятора, как правило, она задается в процентном соотношении. Производительность вентилятора регулируется скоростью вращения вентилятора на базе однофазного конденсаторного или стандартного трехфазного асинхронного двигателя. Скорость вращения конденсаторного двигателя определяется приложенным к нему напряжением. Регулирование осуществляется по системе РН–АД (регулятор напряжения – асинхронный двигатель). Данная система обеспечивает диапазон регулирования скорости 2:1. Расход приточного воздуха идентичен расходу вытяжного воздуха, чтобы не создавалась разность давлений в помещении и на улице. Расход воздуха может быть изменен в небольших пределах.

Систему РН–АД можно перевести на систему ПЧ–АД (преобразователь частоты – асинхронный двигатель), которая обеспечит регулирование скорости в диапазоне 75:1. Установив датчик расхода воздуха, можно реализовать замкнутую систему управления расходом по ПИ-закону регулирования.

Блок управления вентиляционной установкой

Для управления ВУ был разработан цифровой блок управления (БУ) на базе отечественного контроллера МК10.5. Но сам по себе БУ не может обеспечить полной автоматизации СОВК. Специально для управления сервоприводами ВУ и вентиляторами фирмой ООО «НПФ Вектор» были разработаны специализированные силовые управляющие блоки на базе отечественных контроллеров.

Многоканальный регулятор напряжения

Многоканальный интеллектуальный регулятор напряжения (МИРН) предназначен для управления вентиляторами, выполненными на базе однофазных асинхронных конденсаторных двигателей. МИРН также управляет сервоприводами заслонок, циркуляционным насосом для поддержания давления воды в водяном нагревателе, трехпозиционным приводом трехходового клапана для регулировки температуры водяного нагревателя. Осуществляет контроль тока и имеет встроенную аппаратную защиту от короткого замыкания и программные защиты от перегрузки и обрыва нагрузки. Устройство содержит девять симисторных ключей, интегрированных в корпус-радиатор, и цифровую систему управления. Данное устройство позволяет полностью гальванически развязать силовую электрическую часть системы управления вентиляцией от слаботочной, что существенно повышает надежность и работоспособность системы в целом. Управление ВУ осуществляется контроллером посредством МИРН по гальванически развязанному CAN-интерфейсу.

Преобразователь частоты

Интеллектуальный преобразователь частоты (ПЧ) iCAN предназначен для управления вентиляторами, выполненными на базе трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. В частности, устройство может питаться и от однофазной сети, при этом необходимо обмотку двигателя соединить по схеме «треугольник», поскольку преобразователь будет выдавать напряжение в формате 220/127 В. Управление ПЧ осуществляется управляющим контроллером БУ по гальванически развязанному CAN-интерфейсу.

Оба устройства имеют высокую степень защиты в эксплуатации, а гермовводы обеспечивают простоту монтажа и максимально адаптированы для решения задач локальной автоматизации.

Разработка необходимого программного обеспечения позволила полностью автоматизировать систему вентиляции и увеличить долю регулируемого электропривода в ней.

Таким образом, синтезируется многофункциональная САУ системы вентиляции, которая выполняет целый ряд функций:

- ◆ автоматическое управление технологическим оборудованием в соответствии с заданными алгоритмами и режимами работы управляемых систем;
- ◆ поддержание температуры и расхода воздуха в обслуживаемых помещениях в заданных программой контроллера пределах;
- ◆ непрерывная автоматическая защита водяного теплообменника от замерзания по температуре воды и по температуре приточного воздуха, контроль загрязнения фильтра;
- ◆ взаимодействие с пожарной автоматикой здания и системой охраны;
- ◆ работа систем вентиляции в режимах «дневной/ночной» и «зимний/летний»;
- ◆ контроль состояния управляемого оборудования;
- ◆ передача на диспетчерский пульт технологических параметров, сообщений о внештатных ситуациях и данных о работе исполнительных механизмов;
- ◆ дистанционное управление для отдельных механизмов в случае необходимости, при этом сохраняется автоматическое управление для системы в целом;
- ◆ получение с диспетчерского пульта команд на внеплановое включение и отключение, а также задания на температуру в обслуживаемых помещениях.

Сам комплекс управляется от стандартных интерфейсов: RS232, RS485, CAN-сети и от местного пульта управления. Планируется разработка радиоканала для управления по беспроводной связи ZigBee. Управление различными системами комплекса осуществляется по определенному закону управления. Гибкое программное обеспечение легко адаптировать под любую задачу. Это достигается за счет разбиения программного обеспечения (ПО) в контроллере на множество программных модулей.

Заключение

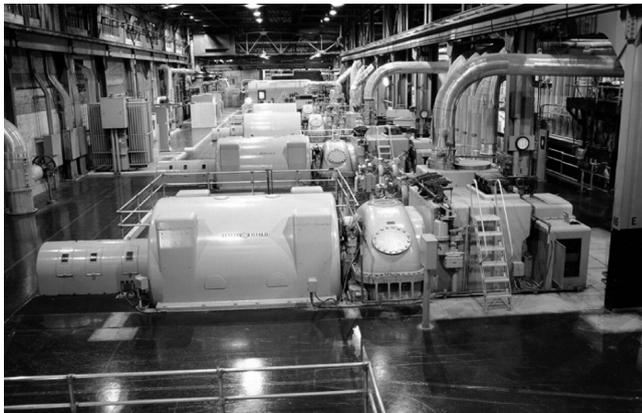
В результате работы была предложена и реализована система автоматического управления вентиляционной установкой и разработан блок управления, который содержит управляющий контроллер и силовые технологические блоки для управления приводами, используемыми в системе вентиляции. Таким образом, появилась возможность оснастить любое помещение нового типа системой отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в максимально сжатый срок и на оборудовании отечественного производства. При этом подход к управлению микроклиматом является комплексным и охватывает не только его параметры, но предусматривает контроль состояния вентиляционного оборудования. А гибкое программное обеспечение и применение современных сетевых технологий позволят интегрировать систему вентиляции в систему «умных домов».

Наличие преобразователей частоты в системе управления вентиляторами позволяют согласовать расход воздуха приточно-вытяжной системы и значительно снизить энергопотребление при пуске и в ночном режиме работы системы вентиляции.

Разработанный блок управления с цифровой САУ для управления вентиляционной установкой может быть адаптирован для любой другой системы вентиляции с любым набором вентиляционного оборудования. Разработанная САУ обладает рядом преимуществ перед существующими техническими решениями. Основные из которых – возможность безотказной работы в суровом российском климате, где другие установки не справляются, и дешевизна.

Библиографический список:

1. **Бондарь Е.С., Гордиенко А.С., Михайлов В.А., Нимич Г.В.**, Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха, ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» 2005. – 560 с.
2. СНиП 3.05.07-85 Системы автоматизации.
3. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.



Степанова Т.А., канд. техн. наук
Корнилова И.А.,
Никитина А.А.,
МЭИ (технический университет)

Москва, 111250,
ул. Красноказарменная, 14.
Тел. (495) 362-73-86

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕНСИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В настоящее время в России отсутствует эффективная система переработки и утилизации отходов, что негативно сказывается на экологической ситуации в стране и в особенности в областях с высокой плотностью населения и мегаполисах. Существующие методы переработки отходов не позволяют утилизировать отходы в их полном объеме.

В работе предложена модель комплекса совместной переработки твердых бытовых отходов, старых изношенных покрышек, металлолома на базе концепции интенсивного энергосбережения, позволяющая получать полезные вторичные товарные продукты: металлические отливки неотчетственного назначения, глиноземистый цемент или каменное литье и вторичное топливо (газ энергохимической аккумуляции (ЭХА)). Рассчитаны показатели термодинамически идеальной модели.

1. Введение

В Российской Федерации (РФ) в настоящее время достаточно остро стоит проблема накопления, переработки и утилизации разных видов отходов. Масштабы накопления огромны. Только

в нашей стране ежегодно образуется около 30–35 млн т твердых бытовых отходов (ТБО), при этом лишь 3–4% из них перерабатываются, а оставшиеся 96–97% вывозятся на свалки, занимающие порядка 90 тыс. га земли, и в дальнейшем не используются [1, 2]. Непрерывный рост парка автомобилей во всех развитых странах приводит к постоянному увеличению количества изношенных автомобильных покрышек, причем объем их переработки составляет только 20% от общего числа. Каждый год в России выводится из рабочего металлофонда около 30 млн т стального лома и только 12,5 млн т из них используется [3]. Рассмотренная проблема особенно остро стоит в районах с большой плотностью населения и мегаполисах. Москва не является исключением. В рамках города, по данным НПП «ИНФОТЕХ», ежегодно производится порядка 5,5 млн т твердых бытовых отходов и более 70 тыс. т изношенных автопокрышек.

Нельзя не принимать во внимание, что твердые бытовые отходы и шины являются крупнотоннажными энергоемкими отходами и, к сожалению, этот факт при переработке отходов в нашей стране практически не учитывается.

Ниже более подробно рассмотрены существующие методы переработки и обезвреживания указанных отходов.

2. Рассмотрение методов переработки энергонесущих отходов и поиск оптимального

2.1. Способы переработки твердых бытовых отходов

На данный момент существуют различные методы утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов: нетермические (складирование на полигонах, аэробное и анаэробное компостирование); термические (сжигание, низкотемпературный и высокотемпературный пиролиз, газификация и т.д.). Большинство стран по экономическим причинам, в том числе и Россия, отдают предпочтение самому простому и дешевому методу – складированию на полигонах (табл. 1), но складирование отходов не решает проблему, а только переносит ее решение на долгосрочную перспективу. Альтернативой является утилизация ТБО методом сжигания. В последние десятилетия стали разрабатываться технологии, которые позволяют использовать бытовые отходы как весьма распростра-

ненный возобновляемый источник энергии, обеспечивающий при горении на воздухе жаропродуктивность ТБО $t_{ж} = 1400-1450^{\circ}\text{C}$. Теплотехнические характеристики отходов близки к таковым бурых углей (табл. 1).

Однако использование ТБО в качестве топлива затруднено по следующим причинам:

- ◆ состав ТБО непостоянен и зависит от времени года, климатической зоны, уровня урбанизации и благосостояния населения;
- ◆ бытовые отходы имеют высокую влажность;
- ◆ в составе отходов содержатся такие вредные компоненты, как фтор, сера, кадмий, ртуть, тяжелые металлы и т.д.

2.2. Способы переработки изношенных автопокрышек

Существует целый ряд способов переработки и регенерации изношенных покрышек.

Технологии переработки изношенных шин, не подлежащих использованию по прямому назначению, условно можно разделить на 3 группы [7]:

- ◆ технологии, при которых резина и армирующие материалы не претерпевают каких-либо физико-химических изменений и сохраняют

Таблица 1

Использование различных видов утилизации ТБО по странам, % [4]

| Метод утилизации | Сжигание | Захоронение на свалках | Компостирование | Прочие |
|----------------------------|----------|------------------------|-----------------|--------|
| США | 17 | 81 | – | 2 |
| Великобритания | 7 | 92 | 1 | – |
| Франция | 37 | 53 | 10 | – |
| Германия | 21 | 73 | 6 | – |
| Италия | 13 | 84 | 3 | – |
| Япония | 59 | 38 | 1 | 2 |
| Россия, в том числе Москва | 6 10 | 94 90 | – | – |

Таблица 2

Сравнение теплотехнических характеристик ТБО и бурых углей

| Наименование | | ТБО [5] | Бурый уголь Башкирского месторождения (Б1) [6] | Бурый уголь Реттиховского месторождения (Б1) [6] |
|--------------------------------------|----------------|---------|--|--|
| Рабочая масса, % | C ^p | 20,3 | 25,4 | 27,3 |
| | H ^p | 2,7 | 2,4 | 2,3 |
| | O ^p | 16,7 | 8 | 10,1 |
| | N ^p | 0,6 | 0,2 | 0,3 |
| | S ^p | 0,2 | 0,5 | 0,2 |
| | A ^p | 19,3 | 7,0 | 17,3 |
| | W ^p | 40,2 | 56,5 | 42,5 |
| Q _н ^p , Мдж/кг | | 6,99 | 8,75 | 10,04 |

свою структуру (грубое дробление покрышек с целью захоронения, измельчение с получением резиновой крошки различной степени дисперсности);

♦ технологии переработки, приводящие к частичному разрушению пространственной сетки резины и каучуковых цепей (получение шинного регенерата различными методами);

♦ термические методы вторичного использования изношенных шин, при которых происходит полное разрушение каучукового вещества (пиролиз и сжигание шин в цементных печах и специальных энергетических установках).

В табл. 3 приводятся данные о количестве утильных шин и способах их вторичного использования в некоторых странах мира.

Из табл. 3 видно, что Германия и Япония практически полностью перерабатывают покрышки, используя разные методы, другие страны (Англия, Франция) вторично используют 33–48% шин, а в России полезно используется

только 4% изношенных шин. Таким образом, у России есть большой потенциал для вторичного использования отработанных шин, в том числе и энергетический, поскольку их жаропрочность 2060°C.

Сопоставление теплотехнических характеристик изношенных шин и природного топлива представлено в табл. 4.

2.3. Термический метод обезвреживания как универсальный метод переработки

Если рассматривать существующие методы обезвреживания отходов, то становится видно, что в современном подходе к переработке отходов просматриваются 3 основных направления:

1) захоронение отходов в полном объеме и перенос проблемы переработки на более дальнюю перспективу;

2) использование части отходов как сырья для получения вторичной продукции (выборка, сортировка) и захоронение оставшейся части;

Таблица 3

Количество утильных шин в России, Европе, США и Японии и способы их переработки [7]

| Страна | Объем образования, тыс. т | Вывезено на свалку, % | Получение энергии, % | Восстановление протектора, % | Получение резиновой крошки, % | Экспорт, % | Прочее, % |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------|-----------|
| Германия | 550 | 2 | 38 | 18 | 15 | 18 | 9 |
| Англия | 450 | 67 | 9 | 18 | 6 | – | – |
| Франция | 425 | 52 | 10 | 13 | 6 | 19 | – |
| Италия | 330 | 53 | 14 | 27 | – | 6 | – |
| США | 2800 | 59 | 22 | 9 | 9 | 3 | 1 |
| Япония | 840 | 8 | 43 | 9 | 12 | 25 | 3 |
| Россия, в том числе Москва | 800 70 | 96 60 | – | 1 | 3 10 | – | – |

Таблица 4

Сравнение теплотехнических характеристик шин и природного топлива

| Наименование | Шины (с кордом) [8] | Мазут малосернистый [9] | Мазут высокосернистый [9] | Уголь Букачинский [6] |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| C ^p , % | 73,738 | 84,6 | 83 | 67,9 |
| H ^p , % | 6,578 | 11,7 | 10,4 | 4,7 |
| O ^p , % | 3,864 | 0,3 | 0,7 | 8,8 |
| N ^p , % | 1,518 | | | 0,8 |
| S ^p , % | 1,334 | 0,3 | 2,8 | 0,6 |
| A ^p , % | 11,956 | 0,1 | 0,1 | 9,2 |
| W ^p , % | 1,012 | 3 | 3,0 | 8,0 |
| Q _{H^p} , Мдж/кг | 31,48 (35,0)* | 40,27 | 38,77 | 26,73 |

* Теплотворная способность резины без корда.

Таблица 5

Состав клинкера, каменного литья и шлака ТБО, %

| Оксиды | Шлак [5] | Каменное литье (усредненно) [10] | Глиноземистый цементный клинкер [11] | Портландцементный клинкер [11] |
|--------------------------------|----------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| SiO ₂ | 56,9 | 47–52 | 3 | 21–24 |
| TiO ₂ | 0,5 | – | 9 | Ост. |
| Al ₂ O ₃ | 9,4 | 7–16 | 45–60 | 4–7 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,2 | 1–18 | 4 | 2–4 |
| CaO | 11,8 | 8–22 | 18–25 | 63–67 |
| MgO | 1,6 | 6–17 | 9 | Ост. |
| K ₂ O | 1 | – | – | Ост. |
| Na ₂ O | 7 | – | – | Ост. |
| SO ₃ | 0,8 | – | – | Ост. |
| P ₂ O ₅ | 4,9 | – | – | Ост. |

3) использование энергетического потенциала отходов и захоронение на полигонах образовавшегося шлака и золы после их сжигания, поскольку в России нет ни одной реализованной в промышленном масштабе технологии их использования.

В данной ситуации во всех трех случаях прослеживается вредное экологическое воздействие на окружающую среду, особо четко проявляющееся при больших объемах накопления отходов, что характерно для крупных мегаполисов. Мусорные свалки заполняют все большие и большие площади пригодных для эксплуатации земель. Они представляют собой постоянный источник загрязнения окружающей среды и негативно влияют на здоровье человека. Вышедшие из эксплуатации изношенные шины, представляющие собой самую крупнотоннажную продукцию полимеросодержащих отходов, практически не подверженных природному разложению, также являются источником длительного загрязнения окружающей среды. В связи с этим требуются новые экологически чистые способы утилизации, позволяющие не только их обезвреживать, но и использовать отходы в 100%-м объеме как ресурс для производства различной продукции (материальной и/или энергетической), что особо актуально для сбережения и экономии первичных невозобновляемых источников энергии, поскольку твердые бытовые отходы и изношенные шины являются энергонесущими отходами и их энергетический потенциал эквивалентен при сжигании 1000 т ТБО – 250–350 т.у.т., 1000 т шин – около 1000 т.у.т.

Термические методы позволяют полностью перерабатывать указанные выше виды отходов,

используя их энергетический и материальный потенциал, причем сжигание позволяет получить максимальный энергетический эффект. Например, при использовании высококалорийного топлива, такого как шины, можно достичь высоких температур процесса (1500–1600°C), достаточных для расплавления металлолома и получения из него металлопродукта (чугуна) для производства отливок неотвественного назначения.

Образовавшийся после сжигания шлак ТБО вполне может быть использован для производства различной продукции, применяемой в нежилых помещениях и дорожном строительстве (каменного литья, цемента и т.д.) при использовании корректирующих добавок (табл. 5). Содержание вредных веществ в получаемых материалах в ряде случаев не будет превышать предельно допустимые концентрации (сравнимы с концентрацией вредных веществ в природе), к тому же при высокотемпературном воздействии часть вредных веществ перейдет в расплавленные водонерастворимые соединения.

Отходящие газы после сжигания шин обладают большой физической теплотой, часть которой можно превратить в химическую с помощью процесса энергохимической аккумуляции (ЭХА) и получить вторичное топливо, обладающее высокими пирометрическими характеристиками: жаропродуктивностью около 2000°C и теплотой сгорания до 10 МДж/м³.

Опираясь на полученные выводы, была разработана термодинамически идеальная модель переработки отработанных автопокрышек, твердых бытовых отходов, металлолома с получением товарных продуктов, схема которой представлена на рис. 1.

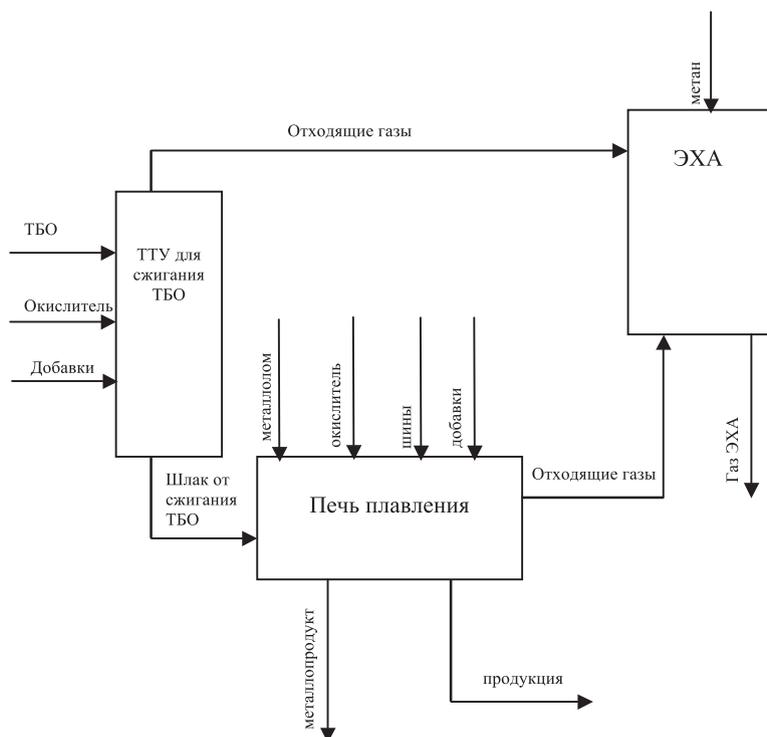


Рис. Схема переработки отработанных автопокрышек, твердых бытовых отходов, металлолома, боя кирпича и бетона и получение товарных продуктов: ТТУ – теплотехнологическая установка; ЭХА – энергохимическая аккумуляция

3. Термодинамически идеальная модель комплекса переработки отходов

Разработана технологическая схема (общий случай) сжигания твердых бытовых отходов в теплотехнологической установке (ТТУ) с одновременным сжиганием и плавлением дробленых автопокрышек, металлолома в печи плавления (рис.).

Теплотехническая установка для сжигания ТБО представляет собой слоевую печь. Сжигание бытовых отходов может осуществляться на подогретом воздушном дутье или на дутье, обогащенном кислородом. Осуществление данного процесса позволяет получить полезные вторичные продукты: металлопродукт, глиноземистый цемент или каменное литье, а также вторичное топливо (газ энергохимической аккумуляции). Шлак также можно направлять на дальнейшую переработку в печь плавления совместного сжигания автопокрышек и плавления металлолома.

Печь плавления представляет собой ванну расплава. Барботажа расплава осуществляется с помощью окислительного кислородно-воздушного дутья, подаваемого через фурмы в нижней части боковых стенок печи (ниже уровня расп-

лава). Для дожигания выходящих из расплава газов предусмотрена подача дутья через ряд верхних фурм (выше уровня расплава). Минеральная часть отходов растворяется в шлаке, а металлолом, металл содержащийся в ТБО и металлокорд, расплавляются. В результате процесса получают следующие полезные вторичные продукты: газ энергохимической аккумуляции, каменное литье и глиноземистый цемент (для этого предварительно в печь загружают необходимые добавки и флюсы); расплавленный металл (чугун), который можно использовать как литейный чугун для производства литых изделий.

Просматривается тепловая схема системы переработки отходов.

В дальнейшем планируется построение термодинамически идеальной модели (теплотехнология) системы совместной переработки трех видов отходов (ТБО, изношенных шин и металлолома) с предельно высоким энергосберегающим эффек-

том и экстремальным тепловым графиком. Она отличается предельно низкими отходами теплоты технологических полупродуктов в окружающую среду, достигаемых на основе предельно глубокой технологической регенерации теплоты, а также наиболее полной реализацией других технологических мероприятий интенсивного энергосбережения [12]. Модель позволит оценить минимум энергетических и экономических затрат, экономию первичного топлива в существующих технологиях за счет использования энергии нетрадиционных видов топлива (твердых бытовых отходов и автомобильных шин), а также создать практическую модель комплекса совместной переработки отходов.

В дальнейшем при более глубокой проработке модели полученное вторичное топливо – газ энергохимической аккумуляции – планируется использовать на собственные нужды разрабатываемого комплекса переработки отходов.

Предварительные расчетные исследования показали, что при пересчете производительности печи по шинам расход условного топлива на производство 1 т чугуна составил 220 кг.у.т./т. чугуна. Для сравнения, в табл. 6 приведены удельные расходы топлива при получении

Таблица 6

Удельный расход топлива на основные виды продукции [13]

| Вид продукции | Удельный расход топлива, кг у.т/т | |
|--------------------|-----------------------------------|---------|
| | 1985 г. | 1990 г. |
| Чугун | 603,8 | 580,7 |
| Сталь мартеновская | 137,2 | 134,0 |
| Прокат | 124,2 | 122,7 |

металлопродукта из первичного сырья в черной металлургии.

4. Вариантные расчеты добавок для получения строительной продукции в термодинамически идеальной модели комплекса переработки отходов

4.1. Результаты расчетов добавок для получения глиноземистого цемента

Согласно ГОСТ 969–91, по содержанию Al_2O_3 глиноземистые цементы подразделяют на:

- ◆ глиноземистый цемент (ГЦ);
- ◆ высокоглиноземистый цемент I (ВГЦ I);
- ◆ высокоглиноземистый цемент II (ВГЦ II);
- ◆ высокоглиноземистый цемент III (ВГЦ III).

Содержание оксидов химических элементов в цементах должно соответствовать указанным значениям в табл. 7 (ГОСТ 969–91).

Из табл. 7 видно, что содержание $Al_2O_3 = 11,2\%$ в шлаке ТБО намного меньше, чем требуется по ГОСТ 969–91 (не менее $35\% Al_2O_3$) для производства глиноземистого цемента. Поэтому для корректировки состава шлака бытовых отхо-

дов вводится только добавка Al_2O_3 , т.к. по содержанию других оксидов в ГОСТе нет ограничений (табл. 7).

В результате расчетных исследований по количеству добавляемого Al_2O_3 получено, что для достижения в шлаке ТБО содержания $Al_2O_3 = 35\%$ и более требуется добавить не менее $0,4$ кг Al_2O_3 на каждый килограмм шлака бытовых отходов. Результаты расчетных исследований приведены в табл. 9.

Для получения конкурентоспособного глиноземистого цемента из шлака ТБО требуется сравнение с составом глиноземистого цемента, производимого на цементных заводах из первичного сырья. В качестве примера сравним состав получаемого шлака с глиноземистым цементом, производимым на Нижнетагильском заводе глиноземистых цементов, состав которого приведен в табл. 9.

Из приведенного в табл. 8 состава шлака ТБО видно, что для получения глиноземистого цемента, аналогичного по составу глиноземистому цементу ГЦ–40 из табл. 10, в шлак отходов необходимо добавить Al_2O_3 и CaO , а также

Таблица 7

Содержание оксидов химических элементов по ГОСТ 969–91, %

| Вид цемента | Al_2O_3 | CaO^1 | $Fe_2O_3^2$ | SiO_2 | MgO | SO_2 | TiO_2^1 |
|-------------|-----------|----------|-------------|---------|-------|--------|-----------|
| | не менее | не более | | | | | |
| ГЦ | 35 | – | – | – | – | – | – |
| ВГЦ I | 60 | 32 | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 2,0 | 0,05 |
| ВГЦ II | 70 | 28 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,0 | 0,05 |
| ВГЦ III | 80 | 18 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,05 |

¹ рекомендуемые значения;

² содержание оксида железа представляет собой сумму Fe_2O_3 и FeO

Таблица 8

Состав шлака после сжигания твердых бытовых отходов (ТБО), %, кг [14]

| Размерность/компонент | Fe_2O_3 | TiO_2 | MgO | Na_2O | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | Всего |
|-----------------------|-----------|---------|--------|---------|---------|-----------|-------|-------|
| % | 6,8 | 0,85 | 2,45 | 5,3 | 60,5 | 11,2 | 12,9 | 100 |
| кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 0,112 | 0,129 | 1,000 |

Таблица 9

Расчетные исследования добавки Al_2O_3 в шлак ТБО для получения глиноземистого цемента, соответствующего ГОСТ 969–91

| Добавка Al_2O_3 | Размерность | Fe_2O_3 | TiO_2 | MgO | Na_2O | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | Общая масса шлак + Al_2O_3 |
|-------------------|-------------|-----------|---------|--------|---------|---------|-----------|-------|------------------------------|
| 0,20 кг | кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 0,312 | 0,129 | 1,20 кг |
| | % | 5,66 | 0,69 | 2,04 | 4,42 | 50,44 | 26,0 | 10,75 | 100 % |
| 0,40 кг | кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 0,512 | 0,129 | 1,40 кг |
| | % | 4,86 | 0,59 | 1,75 | 3,79 | 43,23 | 36,57 | 9,21 | 100 % |
| 0,60 кг | кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 0,712 | 0,129 | 1,60 кг |
| | % | 4,25 | 0,52 | 1,53 | 3,31 | 37,83 | 44,5 | 8,06 | 100 % |

Таблица 10

Состав глиноземистых цемента Нижнетагильского завода глиноземистых цемента, % [15]

| Марка цемента | Al_2O_3 | CaO | Fe_2O_3 | SiO_2 | MgO | TiO_2 |
|---------------|-----------|-------|------------|------------|------------|-------------|
| ГЦ–40 | 45–60 | 18–25 | Не более 4 | Не более 3 | Не более 9 | Не более 9 |
| ГЦ–50 | 50–55 | 30–40 | Не более 2 | Не более 3 | Не более 6 | Не более 10 |

Таблица 11

Расчетные исследования добавки Al_2O_3 и CaO в шлак ТБО для получения глиноземистого цемента, аналогичного производимому цементу на Нижнетагильском заводе

| Добавка Al_2O_3 и CaO | Размерность | Fe_2O_3 | TiO_2 | MgO | Na_2O | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | Общая масса шлак + Al_2O_3 |
|-----------------------------------|-------------|-----------|---------|--------|---------|---------|-----------|-------|------------------------------|
| 0,80 кг Al_2O_3 + 0,30 кг CaO | кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 0,912 | 0,429 | 2,10 кг |
| | % | 3,24 | 0,39 | 1,17 | 2,52 | 28,81 | 43,43 | 20,43 | 100 % |
| 2,40 кг Al_2O_3 + 2,10 кг CaO | кг | 0,068 | 0,0085 | 0,0245 | 0,053 | 0,605 | 2,512 | 2,229 | 5,50 кг |
| | % | 1,24 | 0,15 | 0,45 | 0,96 | 11,00 | 45,67 | 40,53 | 100 % |

снизить содержание SiO_2 с 60,5 до 3–10%. В табл. 10 приведены результаты расчетных исследований добавок в шлак ТБО.

4.2 Результаты расчета добавок для получения каменного литья

Каменное литье – материал, обладающий высокой износостойкостью, химической и радиационной стойкостью, с достаточно высокими механическими свойствами. Данные характеристики позволяют конкурировать ему с такими материалами, как сталь, чугун, огнеупорные материалы, железобетонные изделия, увеличивая срок службы оборудования в 2–10 раз [10].

В табл. 12 приведен состав шлака ТБО, каменного литья.

Из сопоставления видно, что все необходимые элементы для получения каменного литья присутствуют в шлаке, но процентный состав требует корректировки. Были рассчитаны необходимый объем добавок на 1 кг шлака и стоимость этого объема чистых добавок на 1 т конечной продукции.

Получение каменного литья является более выгодным по сравнению с глиноземистым цементом с энергетической и материальной точки зрения:

1) температурный уровень процесса получения каменного литья ниже (для глиноземистого цемента потребуется достижение температуры порядка 1600°C, а для каменного литья – 1500°C);

Таблица 12

Состав клинкера, каменного литья и шлака ТБО, % [5, 10]

| Оксиды | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₃ | P ₂ O ₅ |
|----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| Шлак | 56,9 | 0,5 | 9,4 | 6,2 | 11,8 | 1,6 | 1 | 7 | 0,8 | 4,9 |
| Каменное литье (усреднено) | 47–52 | Ост. | 7–16 | 1–18 | 8–22 | 6–17 | Ост. | Ост. | Ост. | Ост. |

Таблица 13

Объем и стоимость добавок

| | Износостойкое каменное литье | Термостойкое каменное литье |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Добавки на кг шлака | 0,74 | 1,11 |
| Стоимость, тыс. руб/т т.п. | 5,8 | 2,2 |

2) требуется меньше добавок (для получения глиноземистого цемента требуется 4,5 кг корректирующих добавок на каждый кг шлака ТБО, а для получения каменного литья – 0,74–1,11 кг добавок на каждый кг шлака ТБО, что видно из табл. 11 и 13).

Заключение

Уникальность разработанной термодинамической идеальной модели комплекса совместной переработки твердых бытовых отходов, старых покрышек, металлолома на базе концепции интенсивного энергосбережения позволяет наиболее экологически безопасно и энергетически эффективно совместно переработать разные виды отходов. При осуществлении данного процесса можно получить полезные вторичные продукты: металлопродукт для отливок изделий неотвественного назначения, глиноземистый цемент или каменное литье, а также вторичное топливо (газ энергохимической аккумуляции).

Библиографический список:

1. ТБО. Твердые бытовые отходы. Специализированный информационный бюллетень. – М.: ЗАО «Отраслевые ведомости», № 1 (1) май 2005, – 16 с.
2. Федоров Е.А. Методологические аспекты организации государственного контроля обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов. Вестник Российской академии государственной службы при Президенте Российской Федерации. <http://oad.rags.ru/vestnikrags/issues/issue0107/010705.htm>.
3. Казаков Д. Семинар «Переработка металлолома». Ж. «Рынок вторичных металлов», № 3 (17), 2003 г.

4. Концепция обращения с твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации. Постановление. Государственный Комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. 22 декабря 1999 г. № 17 (Д). Утверждена Постановлением коллегии Госстроя России от 22 декабря 1999 года № 17.

5. Пурим В.Р. Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 2002.

6. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973, – 296 с.

7. Шаховец С.Е. «Комплексная регенерация шин» – Спб. «проспект науки», 2008. – 192 стр.

8. Процесс Ромелт. Под редакцией В.А. Роменца. – М.: МИСиС, Руда и металлы, 2005, – 400 с.

9. Чичков В.В., Ипполитов В.А. Источники энергии теплотехнологии и теплотехнические характеристики органического топлива. – М.: МЭИ, 1990. – 64 с.

10. Евсеев В.И., Байрон В.Г. «Конструкции и изделия из каменного и шлакокаменного литья». – Спб. 1999.

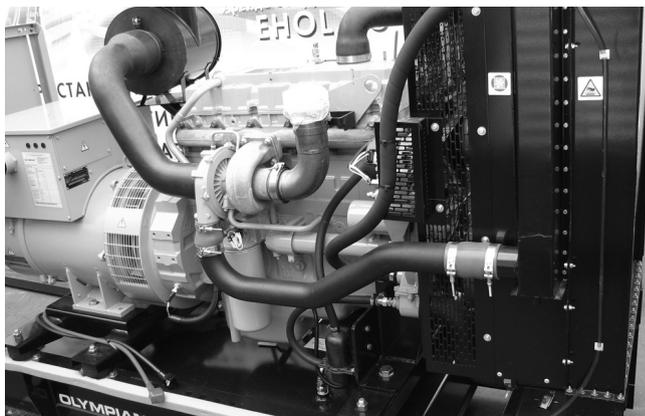
11. Технологии вяжущих веществ. Под редакцией Бута Ю.М. М.: Стройиздат, 1986.

12. Ключников А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей. – М.: Энергия, 1974 г.

13. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочное издание: в 2 кн. Книга 2 / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 768 с.

14. Гречко А.В. Исследование свойств расплавов при пирометаллургическом методе решения проблемы переработки отходов в энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве // Промышленная энергетика. № 3. 2006 г.

15. <http://www.ntcz.ru/page.php?id=7>.



Анучин А.С.,
Лисицкая А.М.,
МЭИ (технический университет)

Москва, 111250,
ул. Красноказарменная, д. 14.
Тел. +7 (495) 362-71-51,
e-mail: anuchinas@mpei.ru,
Lisitskaya_AM@fsk-ees.ru

УДК 681.356

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СО СВОБОДНО КОНФИГУРИРУЕМОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

В статье рассмотрен подход к проектированию системы управления учебного преобразователя со структурой системы управления, построенной на основе свободных функциональных блоков, которые могут соединяться друг с другом пользователем в произвольном порядке для формирования любых структур систем регулирования. Приведено обоснование целесообразности данного подхода, определены структуры данных для решения задачи и представлены алгоритмы компилятора ядра системы управления.

Ключевые слова: свободно конфигурируемые системы управления, преобразователь частоты, лабораторное оборудование.

Approach for control system development of educational static converter is presented. The control system has structured base that consists of free-configurable blocks, which can be connected with each other by different ways. This gives possibility to create a variety of control systems for different electrical drives. A study is given, that shows practical necessity of suggested approach for educational process, defined structure of blocks and shown special compilation algorithms that was developed for hard real-time control system execution.

Keywords: free-configurable control system, frequency converter, educational equipment.

Введение

Сегодня оставшаяся со времен Советского Союза лабораторная база по электроприводу и сопутствующим предметам сильно устарела и не позволяет исследовать новые способы управления, протоколировать должным образом результаты работы электропривода, эффективно использовать лабораторные площади, быстро переконфигурируя исследуемую систему электроприводов. Так, на кафедре Авто-

матизированного электропривода Московского энергетического института основным способом создания нагрузки остается двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТНВ), включенный по схеме «источник тока – двигатель» или подключенный к тиристорному преобразователю с аналоговой системой управления. Протоколирование результатов работы осуществляется аналоговым записывающим осциллографом и, в лучшем случае, встроенными

средствами осциллографирования преобразователей частоты (ПЧ) фирмы Siemens (если исследуется работа именно этих преобразователей). Исследование структур векторного управления сводится к анализу результатов работы ПЧ фирмы Siemens, являющимся для студентов «черным ящиком», не дающим никакого представления о работе самих структур системы управления, за исключением их выходных свойств.

В связи с этим во время создания новой учебной лаборатории «Энергосберегающий электропривод» при поддержке внедряющей организации ООО «ЦЕНТРТЕХКОМПЛЕКТ» была поставлена цель сделать оборудование максимально гибким и перенастраиваемым, позволяющим исследовать производные структуры систем управления электроприводами переменного и постоянного токов. Для разрабатываемых лабораторных стендов были поставлены и решены следующие задачи:

Обеспечить исследование массового асинхронного частотно-регулируемого электропривода и привода постоянного тока. Электродвигатель постоянного тока является математически идеальным электромеханическим преобразователем, поэтому, несмотря на то что данный тип привода практически перестает использоваться в новых разработках, исследование его студентами позволит им лучше понять основы энергетики электроприводов, почувствовать принципы работы различных структур систем управления (подчиненное регулирование, двухзонное регулирование, работу релейных контуров тока).

Обеспечить доступ к каждому узлу структуры системы управления. Это позволит изучать поведение сигнала в каждой точке системы управления, лучше понимать принципы ее функционирования.

Реализовать все основные структуры управления электроприводами. Для двигателя постоянного тока – это подчиненное регулирование, регулирование с ослаблением поля, система «источник тока – двигатель», система подчиненного регулирования с релейным контуром тока, разомкнутая система, система с отрицательными и положительными связями по току и скорости и др. Для асинхронного электропривода – это система скалярного управления, система векторного управления с ориентацией по потокосцеплению ротора, система прямого управления моментом.

Оборудование лаборатории

Как уже было сказано выше, в лаборатории запланировано изучение приводов постоянного и переменного токов. Отечественные ПЧ для асинхронных двигателей, разработанные в научных группах кафедры автоматизированного электропривода Московского энергетического института, серийно выпускаются ООО «Энергосбережение» на заводе в гор. Пущино по заказу ООО «ЦЕНТРТЕХКОМПЛЕКТ» и ОАО «МОЭК». Их и решено было использовать при создании лаборатории. Преобразователи построены по стандартной схеме «выпрямитель – звено постоянного тока – инвертор напряжения» на базе интеллектуальных самозащитных IGBT-модулей IPM фирмы Mitsubishi, а система управления выполнена на контроллере МК10.5 [1], разработанном на кафедре АЭП в научной группе д-ра техн. наук Козаченко В.Ф., выполненном на базе высокопроизводительного микроконтроллера фирмы Texas Instruments TMS320LF2406A производительностью 40 млн операций в секунду с полным набором периферийных устройств для управления электрическими преобразователями.

Для управления двигателем постоянного тока обычно применяют тиристорные преобразователи напряжения, однако они обладают рядом существенных недостатков для разрабатываемой лаборатории. Это низкое быстродействие и высокая стоимость, что особенно важно, т.к. поддержка внедряющей организации заключалась в безвозмездной поставке преобразователей, производимых на собственном производстве, поэтому было принято решение использовать для питания двигателя постоянного тока стандартный ПЧ, перепрограммировав его на работу с ДПТНВ.

На рис. 1. приведена схема подключения ДПТНВ к преобразователю. Так, якорь двигателя подключается к выходам первой и второй стоек инвертора, а обмотка возбуждения – к третьей стойке и точке для подключения резистора приема энергии генераторного торможения. Таким образом, разность потенциалов, выдаваемых первой и второй стойками, определяет напряжение якоря, а третьей стойки и дополнительного седьмого ключа – напряжение обмотки возбуждения.

Программное обеспечение системы управления должно быть написано из расчета на такое подключение. В дальнейшем будем называть этот преобразователь преобразователем напряжения (ПН).

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

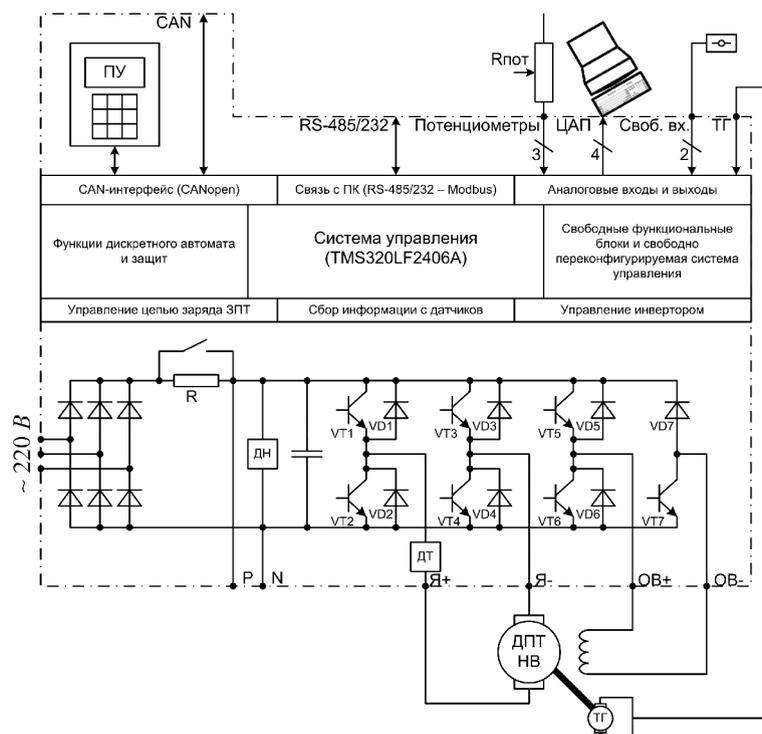


Рис. 1. Функциональная схема электропривода постоянного тока

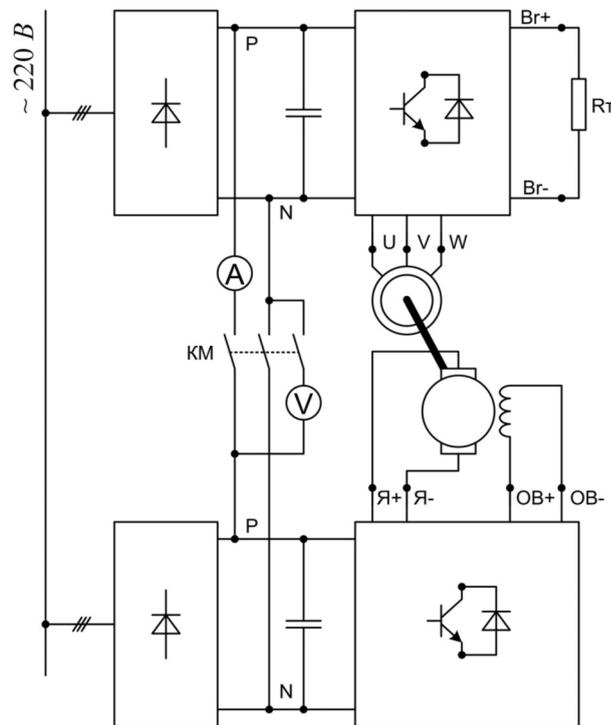


Рис. 2. Схема включения ПЧ и ПН для циклического использования мощности

Для наблюдения за параметрами систем управления в схему ПН и ПЧ включен четырехканальный ЦАП, который подключен к встроенному в лабораторный стенд компьютеру, осна-

щенному 16-канальным дифференциальным аналого-цифровым преобразователем L-791 фирмы L Card, позволяющим производить осциллографирование аналоговых величин на частотах до 400 кГц (для одного канала).

Изображенная на рис. 1 схема не может использоваться для работы двигателя в генераторном режиме, т.к. в этом случае вырабатываемая двигателем энергия вызовет рост напряжения на конденсаторе фильтра звена постоянного тока, поэтому в лабораторном стенде была предусмотрена возможность объединения звеньев постоянного тока ПЧ и ПН. Таким образом, когда один из двигателей генерирует энергию, она передается по объединенным звеньям на другой преобразователь и второй двигатель ее потребляет. Схема такого циклического использования мощности показана на рис. 2. Кроме того,

тормозной транзистор ПЧ работает независимо от того, подключен ли асинхронный двигатель к ПЧ или к сети, и может выполнять прием энергии генераторного торможения ДПТНВ в любом случае.

Подходы к организации системы управления

При разработке системы управления были проанализированы все опыты, которые хотелось бы выполнять на данном оборудовании. В результате получился внушительный список структур систем управления, которые необходимо было заложить в программное обеспечение контроллера. Однако еще более остро встал вопрос с необходимостью произвести отладку и настройку всех структур. Такой подход породил громоздкие описания систем управления, и нельзя было исключать, что какая-либо структура оказалась не предусмотрена и ее надо будет реализовывать в будущем, исправляя и дополняя методический материал.

В итоге было решено выделить в структурах систем управления типовые блоки, а связи между ними конфигурировать произвольно. Такой подход позволяет, заложив в системе управления избыточное количество блоков ПИ-регуляторов, сумматоров, релейных элементов, фильтров, фазных и координатных преобразо-

ваний, моделей двигателей и т.д., собирать произвольные системы управления.

Было определено, что каждый элемент в отдельности может содержать четыре типа данных:

- ◆ **источники данных или выходные переменные**, которые имеют доступ только для чтения и могут быть связаны со входами других блоков (например, выход ПИ-регулятора);

- ◆ **параметры**, которые применяются для его настройки (например, коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих ПИ-регулятора);

- ◆ **потребители данных или входные переменные**, которые могут быть связаны с выходными параметрами конфигурируемыми связями (например, задание и обратная связь ПИ-регулятора);

- ◆ **потребители данных или входные переменные – параметры**, которые могут оставаться неподключенными и работают как параметры, но, будучи подключенными к источникам данных, начинают работать как входные переменные (например, параметры ограничения выхода ПИ-регулятора могут быть заданы определенным числом, а в других структурах требуется их динамическое изменение).

При этом важно отметить, что устанавливается связь именно от входных переменных к источникам данных, а не наоборот, т.к. к одному источнику может потребоваться подключить несколько потребителей, но нельзя к одной входной переменной подключить несколько источников данных.

В качестве свободных функциональных блоков для электропривода постоянного тока были выделены:

- ◆ блок управления инвертором (получает на вход задания напряжений якоря и обмотки возбуждения);

- ◆ блок ЦАП (получает на вход данные с любых источников);

- ◆ блок встроенного аналого-цифрового преобразователя контроллера системы управления (передает в систему информацию о измеренных токах, скорости с тахогенератора, сигналах задания с потенциометров и свободных входов);

- ◆ 8 программируемых констант;

- ◆ 5 ПИ-регуляторов с настройкой коэффициентов и ограничением выхода;

- ◆ 5 сумматоров с тремя входами и программируемым режимом сложения или вычитания по каждому входу;

- ◆ 5 усилителей с программируемым коэффициентом усиления и смещением;

- ◆ 3 релейных элемента с программируемыми порогами и уровнями выходного сигнала;

- ◆ 5 инерционных фильтров с программируемой постоянной времени;

- ◆ 4 мультиплексора (один из которых связан с тумблером, а остальные переключаются при смене режима работы);

- ◆ задатчик интенсивности.

Для асинхронного электропривода добавляются следующие блоки:

- ◆ блок управления трехфазным инвертором (принимает задания в осях α , β);

- ◆ блок формирования кривой напряжения в функции частоты;

- ◆ блок вычисления угла в функции частоты;

- ◆ блок фазных преобразований из a , b в α , β ;

- ◆ блок координатных преобразований из u , v в α , β ;

- 3 блока координатных преобразований из α , β в u , v ;

- ◆ блок координатных преобразований из α , β в m , θ ;

- ◆ модель асинхронного двигателя для систем векторного управления, вычисляющая потокосцепление ротора по известной скорости и токам фаз в осях α , β ;

- ◆ модель асинхронного двигателя для систем прямого управления моментом, вычисляющая потокосцепление статора по напряжениям двигателя и токам фаз в осях α , β .

Сборка систем управления осуществляется со встроенного в преобразователи пульта оперативного управления, подключенного по интерфейсу CAN с протоколом верхнего уровня CANopen [2]. Пульт имеет интуитивно понятный русифицированный интерфейс. Так, для каждого входа, имеющего ясное текстовое обозначение (например, «ПИР1.ОС», что значит «вход обратной связи первого ПИ-регулятора»), можно установить значение связи, определяемое текстовым перечислением возможных вариантов (например, «Ток якоря» или «Скорость»). В будущем планируется разработать компьютерную программу, позволяющую соединять блоки визуально, подобно тому, как это делается в системе Simulink пакета MATLAB, и передавать конфигурацию в преобразователь через RS-232. Так как сборка больших систем управления занимает достаточно долгое время и требует от студента хорошей подготовки и крайней сосредоточенности, то в систему управления были заложены

Таблица 1

Описание функциональных блоков

| № блока | Адрес блока в памяти программ | Признак готовности |
|---------|-------------------------------|--------------------|
| 0 | doNothing | 0 |
| 3 | piContr3 | 0 |
| 16 | relay1 | 0 |
| 24 | filter5 | 0 |

Таблица 2

Описание источников данных

| № источника | Адрес источника в памяти | Номер функционального блока | Признак готовности |
|-------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0 | main_null | 0 | 1 |
| 1 | const1 | 0 | 1 |
| 9 | main_speed | 0 | 1 |
| 13 | contr1_out | 3 (первый ПИ-регулятор) | 0 |
| 26 | relay1_y | 16 (первый релейный элемент) | 0 |
| 64 | main_iA | 0 | 1 |

Таблица 3

Описание связей

| № связи | Адрес потребителя данных | Номер источника данных | Номер блока | Признак опциональности | Признак готовности |
|---------|--------------------------|-------------------------|-------------|------------------------|--------------------|
| 0 | contr1_xSet | 0 (не подсоединен) | 0 | 0 | 0 |
| 10 | contr3_xSet | 1 (первая константа) | 3 | 0 | 0 |
| 12 | contr3_max | 0 (не подсоединен) | 3 | 1 | 0 |
| 65 | ab2alfaBeta_a | 64 (ток фазы <i>a</i>) | | | |
| 31 | 0 | 0 | | | |

производится поиск блоков с готовыми входными данными.

Следует заметить, что в некоторых структурах могут оказываться связи, имеющие заикленности, которые нельзя разрешить описанным способом, тогда проводится дополнительный этап поиска блоков, у которых входные данные уже частично сформированы. Для них генерируется программный код из расчета, что их выходные данные будут востребованы каким-либо другим блоком, который, в свою очередь, выдаст недостающие данные этому частично определенному блоку позже. Данный подход вносит задержку в работу системы регулирования, однако подобные ситуации возникают редко и сложно предложить какой-либо другой способ разрешения проблемы, который будет кардинально лучше и не отнимет больше вычислительных ресурсов.

Все свободные блоки описываются в массиве `blocks`, представленном в сокращенном виде в табл. 1. Здесь каждому номеру блока ставится в

соответствие адрес процедуры, которую использует компилятор для вызова данного блока. Если компилятор отработал какой-либо из блоков, то он устанавливает в массиве функциональных блоков признак готовности.

Все источники данных помещаются в массиве `sources`, который в сокращенном виде представлен в табл. 2. Здесь в первом столбце указывается номер по порядку, который используется для выбора источника сигнала. Во втором столбце содержится информация об адресе в памяти микроконтроллера, откуда следует брать данные. Если в качестве источника для связи задан нулевой источник, то это означает, что вход отключен. Для источников, значение которых всегда определено в системе (№ 1 – первая константа, № 9 – скорость вращения двигателя, № 64 – значение тока фазы *a*, получаемое со встроенного АЦП, и т.д.), «признак готовности» равен 1, что дает компилятору информацию о том, что данную связь можно обрабатывать. Кроме того, для каждого источ-

Листинг 1. Выходной код ядра системы управления

```

prog:
    ldp    #const1
    bldd  const1, #contr3_xSet
    ldp    #main_speed
    bldd  main_speed, #contr4_xFdb
    ldp    #main_speed
    bldd  main_speed, #isOmega2psiR_speed
    ldp    #adc_free3
    bldd  adc_free3, #gain1_x
    ldp    #adc_free3
    bldd  adc_free3, #mux_in1
    ldp    #main_iA
    bldd  main_iA, #ab2alfaBeta_a
    ldp    #main_iB
    bldd  main_iB, #ab2alfaBeta_b
    call  gain1
    call  ab2alfaBeta
    ldp    #gain1_y
    bldd  gain1_y, #mux_in2
    
```

ния можно настроить «Номер источника данных». Так, в показанном примере вход третьего ПИ-регулятора подключен к первой константе, вход составляющей по оси a фазного преобразования « a, b в α, β » подключен к току фазы a . «Признак опциональности» указывается для тех входов, значения которых могут определяться через конфигурируемые параметры. Так, если ограничение сверху третьего ПИ-регулятора (contr3_max) будет подключено к источнику данных, то данные будут поступать из этого источника, иначе, если связь не установлена, значение ограничения будет определяться параметром. В первом случае оно сможет меняться динамически в процессе работы системы управления. При успешной отработке компилятором конкретной связи в массиве в «признаке готовности» формируется признак, что связь отработана. «Номер блока» служит для определения готовности всех данных конкретного блока.

Программное обеспечение было написано в соответствии с алгоритмами, представленными на рис. 4. Основная программа содержит поочередный вызов функций поиска готовых связей и поиска готовых функциональных блоков. Она выполняется, пока функция поиска блоков выдает, что нашла и скомпилировала программу очередного блока. После этого считается, что преобразование структуры закончено.

Функция поиска блоков приведена в упрощенном виде, в ней свернут фрагмент поиска частично подключенных блоков, т.к. по своей

структуре он почти полностью повторяет основной текст функции, за исключением фрагмента отсеивания блоков с частично подключенными связями.

В результате работы компилятора получается готовый исполняемый код ядра системы, пример которого для структуры рис. 3 показан в листинге 1. Видно, что в результате работы компилятора получается достаточно эффективный код, состоящий из операций копирования данных и запуска подпрограмм, в которых эти данные обрабатываются и готовятся новые. Так, вначале выполняется копирование готовых данных, после вызываются процедуры усилителя (gain1) и фазного преобразования (ab2alfaBeta), после чего производится копирование данных, полученных в результате отработки этих блоков.

Заключение

В результате работы была предложена и реализована система управления для преобразователей лабораторных стендов, построенная по принципу свободных функциональных блоков. Алгоритмы управления реализованы для современных микроконтроллеров TMS320LF24xx, и планируется внедрение данной технологии в стандартном программном обеспечении отечественной серии преобразователей частоты «Универс» и «Универсал», а также перенос алгоритмов на следующее поколение микроконтроллеров TMS320F28xx.

Апробация проводилась в лаборатории «Энергосберегающий электропривод» кафедры АЭП МЭИ(ТУ) в рамках лабораторных работ по курсу «Теория электропривода» и «Системы управления электроприводами». Система дала возможность проектировать произвольные структуры управления, что было высоко оценено студентами и преподавателями кафедры.

Библиографический список:

1. Козаченко В.Ф., Обухов Н.А., Анучин А.С., Жарков А.А. Модульная микроконтроллерная система управления для отечественной серии преобразователей частоты «Универсал» // Труды V Международной конференции «Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение» МКЭЭЭ-2003. Ч. 1. Крым, – 2003. – С. 725–726.

2. Анучин А.С. Сеть CAN и протокол верхнего уровня CANopen в современном электроприводе // Электричество, № 5 2008, – С. 23–29.

ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОМ ЖУРНАЛЕ «ГЛАВНЫЙ ЭНЕРГЕТИК»

В Редакцию журнала предоставляются:

1. Авторский оригинал статьи (на русском языке) – в распечатанном виде (с датой и подписью автора) и в электронной форме (первый отдельный файл на CD-диске / по электронной почте), содержащей текст в формате Word (версия 1997–2003).

2. Весь текст набирается шрифтом Times New Roman Cyr, кеглем 12 pt, с полуторным междустрочным интервалом. Отступы в начале абзаца – 0,7 см, абзацы четко обозначены. Поля (в см): слева и сверху – 2, справа и снизу – 1,5. Нумерация – «от центра» с первой страницы. Объем статьи – не более 15–16 тыс. знаков с пробелами (с учетом аннотаций, ключевых слов, примечаний, списков источников).

Структура текста:

- **Сведения об авторе / авторах:** имя, отчество, фамилия, должность, место работы, ученое звание, ученая степень, домашний адрес (с индексом), контактные телефоны (раб., дом.), адрес электронной почты – размещаются перед названием статьи в указанной выше последовательности (с выравниванием по правому краю).

- **Название статьи и УДК.**

- **Аннотация** статьи (3–10 строк) об актуальности и новизне темы, главных содержательных аспектах, размещается после названия статьи (курсивом).

- **Ключевые слова** по содержанию статьи (8–10 слов) размещаются после аннотации.

- **Основной текст статьи** желательно разбить на подразделы (с подзаголовками).

Инициалы в тексте набираются через неразрывный пробел с фамилией (одновременное нажатие клавиш «Ctrl» + «Shift» + «пробел». Между инициалами пробелов нет).

Сокращения типа **т. е.**, **т. к.** и подобные набираются через неразрывный пробел.

В тексте используются кавычки «...», если встречаются внутренние и внешние кавычки, то внешними выступают «елочки», внутренними «лапки» – «...“...”».

В тексте используется длинное тире (–), получаемое путем одновременного нажатия клавиш «Ctrl» + «Alt» + «-», а также дефис (-).

Таблицы, схемы, рисунки и формулы в тексте должны нумероваться; схемы и таблицы должны иметь заголовки, размещенные над схемой или полем таблицы, а каждый рисунок – подрисуночную подпись.

- **Список использованной литературы / использованных источников** (если в список включены электронные ресурсы) оформляется в соответствии с принятыми стандартами, выносится в конец статьи. Источники даются в алфавитном порядке (русский, другие языки). Отсылки к списку в основном тексте даются в квадратных скобках [номер источника в списке, страница].

- **Примечания** нумеруются арабскими цифрами (с использованием кнопки меню текстового редактора «надстрочный знак» – x²). При оформлении библиографических источников, примечаний и ссылок автоматические сноски текстового редактора не используются. Сноска дается в подстрочнике на одной странице в случае указания на продолжение статьи и/или на источник публикации.

- **Подрисуночные подписи** оформляются по схеме: название/номер файла иллюстрации – пояснения к ней (что/кто изображен, где; для изображений обложек книг и их содержимого – библиографическое описание; и т. п.). Номера файлов в списке должны соответствовать названиям/номерам предоставляемых фотоматериалов.

3. Материалы на английском языке – информация об авторе/авторах, название статьи, аннотация, ключевые слова – в распечатанном виде и в электронной форме (второй отдельный файл на CD / по электронной почте), содержащей текст в формате Word (версия 1997–2003).

4. Иллюстративные материалы – в электронной форме (фотография автора обязательна, иллюстрации) – отдельными файлами в форматах TIFF/JPG разрешением не менее 300 dpi.

Не допускается предоставление иллюстраций, импортированных в Word, а также их ксерокопий.

Ко всем изображениям автором предоставляются подрисуночные подписи (включаются в файл с авторским текстом).

5. Заполненный в электронной форме Договор авторского заказа (высылается дополнительно).

6. Рекомендательное письмо научного руководителя – желательно для публикации статей аспирантов и соискателей.

Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.

Редакция не всегда разделяет мнения авторов и не несет ответственности за недостоверность публикуемых данных.

Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или общепринятые нормы научной этики.

О факте изъятия статьи редакция сообщает автору, который представил статью, рецензенту и организации, где работа выполнялась.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Статьи и предоставленные CD-диски, другие материалы не возвращаются.

Статьи, оформленные без учета вышеизложенных Правил, к публикации не принимаются.

Правила составлены с учетом требований, изложенных в Информационном письме Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ от 14.10.2008 № 45.1–132 (<http://vak.ed.gov.ru/ru/list/inflletter-14-10-2008/>).

Профессиональные праздники и памятные даты

1 ИЮНЯ



Международный день защиты детей. Решение о проведении этого ежегодного праздника было принято Международной демократической федерацией женщин на специальной сессии в ноябре 1949 г. ООН поддержала инициативу и объявила защиту прав, жизни и здоровья детей одним из приоритетных направлений своей деятельности.



День Северного флота России. 1 июня 1933 г. в СССР была образована Северная военная флотилия, прославившая себя героической обороной рубежей Отчизны. Ныне это самый мощный из всех военных флотов нашего государства.

4 ИЮНЯ



Международный день невинных детей — жертв агрессии. Дата принята в 1982 г. на Чрезвычайной сессии ООН по вопросу о Палестине. Основанием памятного дня стало огромное число невинных палестинских и ливанских детей — жертв актов агрессии Израиля.

5 ИЮНЯ



Всемирный день охраны окружающей среды (в России — День эколога). 5 июня 1972 г. была впервые проведена специальная конференция ООН по вопросам окружающей среды. В тот же год по инициативе Генеральной Ассамблеи с целью «обратить внимание общественности на необходимость сохранять и улучшать окружающую среду» был установлен сам праздник. В России День эколога отмечается согласно Указу Президента РФ от 21 июня 2007 г.

6 ИЮНЯ



Пушкинский день России. В этот день 1799 г. в Москве родился великий русский поэт Александр Сергеевич Пушкин. В советские времена эта дата традиционно отмечалась как праздник поэзии. Свой новый государственный статус день получил в 1997 г. согласно Указу Президента РФ «О 200-летию со дня рождения А.С. Пушкина».



День мелиоратора. Профессиональный праздник специалистов по использованию земельных и водных ресурсов установлен Указом Президиума Верховного Совета СССР от 24 мая 1976 г. В России он введен Указом Президента РФ в 2000 г. и отмечается ежегодно в первое воскресенье июня.

8 ИЮНЯ



День социального работника. 8 июня 1701 г. Петр I принимает Указ, положивший начало созданию государственной системы социальной защиты, — «Об определении в домовых Святейшего Патриархата богадельни нищих, больных и престарелых». Исходя из этой даты, Президент РФ своим Указом от 27 октября 2000 г. и определил праздник работников, помогающих малообеспеченным и слабозащищенным гражданам.

12 ИЮНЯ



День России. В этот день 1990 г. на Первом съезде народных депутатов РСФСР был подписан документ о государственном суверенитете Российской Федерации. Спустя четыре года первый Президент РФ Борис Ельцин своим указом придал дате государственное значение. В 1998 г. он же предложил отмечать ее как День России. Официально название праздника гражданского мира и национального единения страны укоренилось в феврале 2002 г.



День пивовара. Профессиональный праздник производителей популярного напитка учрежден решением Совета Союза российских пивоваров от 23 января 2003 г. С тех пор день отмечается каждую вторую субботу июня. Целью проведения праздника является формирование традиций российского пивоварения и развитие культуры потребления пива в России.

13 ИЮНЯ



День работников текстильной и легкой промышленности. Профессиональный праздник работников легкой промышленности был введен Указом Президиума Верховного Совета СССР от 1 октября 1980 г. и с тех пор стал ежегодно отмечаться во второе воскресенье июня. В соответствии с Указом Президента РФ от 17 июня 2000 г. почетный день подтвердил свою календарную прописку.

14 ИЮНЯ



День работников миграционной службы. Федеральная миграционная служба (ФМС) России была создана в 1992 г. С тех пор структура видоизменялась, но в итоге сохранила статус самостоятельного федерального органа исполнительной власти по контролю и надзору в сфере миграции. А 6 мая 2007 г. Президент РФ Владимир Путин подписал Указ «Об установлении Дня работника миграционной службы».

Поздравим друзей и нужных людей!



Всемирный день донора крови. В мае 2005 г. участники Всемирной ассамблеи здравоохранения приняли заявление о приверженности и поддержке добровольного донорства крови. Согласно решению министров здравоохранения, ежегодно 14 июня проводится World Blood Donor Day, пропагандирующий благотворительность и взаимную поддержку людей планеты.

17 ИЮНЯ



Всемирный день борьбы с опустыниванием и засухой. Дата установлена ООН исходя из принятия 17 июня 1994 г. Конвенции по борьбе с опустыниванием. Процессы, наносящие вред экологии и здоровью людей, угрожают и России, особенно в регионах Поволжья, Забайкалья, Калмыкии и Астраханской области.

20 ИЮНЯ



День медицинского работника. Профессиональный праздник защитников здоровья отмечается на основании Указа Президиума Верховного Совета СССР от 1 октября 1980 г. Традиционное почетное место дня — третье воскресенье июня.



Всемирный день беженцев. Впервые официально признанные права беженцев были определены в 1951 г., в конвенции ООН о статусе беженцев. А в декабре 2000 г. ООН провозгласила отмечать Международный день людей, находящихся в изгнании.



День кинолога. В этот день 1909 г. в Санкт-Петербурге состоялось открытие первого в России питомника полицейских сыскных собак, на базе которого была создана школа дрессировщиков. В настоящее время с помощью обученных собак у нас в стране раскрывается около 20 тысяч преступлений.

22 ИЮНЯ



День памяти и скорби. В этот день 1941 г. началась Великая Отечественная война. Печальная и горестная дата всегда будет напоминать о погибших, замученных в фашистском плену, умерших в тылу от голода и лишений.

23 ИЮНЯ



Международный Олимпийский день. 23 июня 1894 г. в Париже на Международном конгрессе по проблемам физического воспитания барон Пьер де Кубертен представил свой план организации Олимпийских игр. В 1967 г. Международный олимпийский комитет принял решение считать эту дату всенародным праздником.

24 ИЮНЯ



Иван Купала. Народный праздник отмечается в России в день летнего солнцестояния. Он совместил в себе день Иоанна Крестителя и дохристианского славянского праздника языческого бога Купалы. Иванов день заполнен обрядами, связанными с водой, огнем и травами.

25 ИЮНЯ



День дружбы и единения славян. Наиболее широко эта дата отмечается тремя восточно-европейскими странами — Россией, Украиной и Беларусью. Это народный праздник, идущий от общих корней, культурных традиций и обычаев. А в целом славянские народы составляют основную часть населения Европы.

26 ИЮНЯ



День изобретателя и рационализатора. Дата была введена по предложению Академии наук СССР в конце 50-х годов прошлого века, когда авторы ценных предложений получали государственные награды и премии. Сегодня последняя суббота июня — праздник людей, стремящихся провести в жизнь новые идеи и реализовать свой талант.



Международный день борьбы против злоупотребления наркотиками и их незаконного оборота. В этот день 1987 г. на конференции в Вене был принят Всеобъемлющий план деятельности по борьбе со злоупотреблением наркотическими средствами. Вскоре ООН утвердила всемирный статус дня, призванного усилить меры по избавлению от наркотического зла.

27 ИЮНЯ



День молодежи России. С 1958 г. в последнее воскресенье июня в СССР традиционно отмечался День советской молодежи. Дату нового российского праздника узаконил 24 июня 1993 г. Президент Борис Ельцин. В этот день муниципальные власти страны организуют мероприятия для пропаганды здоровья, патриотизма и развития молодежных организаций.



Всемирный день рыболовства. Дата установлена решением Международной конференции по регулированию и развитию рыболовства, состоявшейся в июле 1984 г. в Риме. Идея праздника связана с сохранением экологии, популярностью культурного отдыха и здоровых увлечений.

Стоимость подписки на журнал указана в каталоге
Агентства «Роспечать»

ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ на ~~газету~~ журнал **82717**
(индекс издания)

Главный энергетик
(наименование издания) Количество комплектов.

на 20 10 год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | |

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

ДОСТАВочная КАРточка

Главный энергетик
(наименование издания)

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|
| ПВ | место | литер |
| | | |
| Стоимость | подписки руб. коп. | Количество комплектов |
| | периодической руб. коп. | |

на 20 10 год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | |

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

Стоимость подписки на журнал указана в каталоге
«Почта России»

ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ на ~~газету~~ журнал **16579**
(индекс издания)

Главный энергетик
(наименование издания) Количество комплектов.

на 20 10 год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | |

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

ДОСТАВочная КАРточка

Главный энергетик
(наименование издания)

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|
| ПВ | место | литер |
| | | |
| Стоимость | подписки руб. коп. | Количество комплектов |
| | периодической руб. коп. | |

на 20 10 год по месяцам:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | | | | | | | | | |

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

**ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ
ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!**

На абонементе должен быть проставлен оттиск кассовой машины.

При оформлении подписки (передрессовки)
без кассовой машины на абонементе проставляется оттиск
календарного штемпеля отделения связи.

В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией
об оплате стоимости подписки (передрессовки).

**ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ
ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!**

На абонементе должен быть проставлен оттиск кассовой машины.

При оформлении подписки (передрессовки)
без кассовой машины на абонементе проставляется оттиск
календарного штемпеля отделения связи.

В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией
об оплате стоимости подписки (передрессовки).

Для оформления подписки на газету или журнал,
а также для передрессования издания бланк абонемента
с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами,
разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями,
изложенными в подписных каталогах.

Заполнение месячных клеток при передрессовании
издания, а также клетки «ПВ-МЕСТО» производится
работниками предпритий связи и подписных агентств.

Для оформления подписки на газету или журнал,
а также для передрессования издания бланк абонемента
с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами,
разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями,
изложенными в подписных каталогах.

Заполнение месячных клеток при передрессовании
издания, а также клетки «ПВ-МЕСТО» производится
работниками предпритий связи и подписных агентств.

Выгодное предложение!

Подписка на 2-е полугодие по льготной цене – 3120 руб. (подписка по каталогам – 3900 руб.)

Оплатив этот счет, **вы сэкономите на подписке около 20%** ваших средств.

Почтовый адрес: 125040, Москва, а/я 1

По всем вопросам, связанным с подпиской, обращайтесь по тел.:

(495) 211-5418, 749-2164, 749-4273, тел./факс (495) 250-7524 или по e-mail: podpiska@panor.ru

ПОЛУЧАТЕЛЬ:

ООО Издательство «Профессиональная Литература»

| | | | |
|----------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|
| ИНН 7718766370 | КПП 771801001 | р/сч. № 40702810438180001886 | Вернадское ОСБ №7970, г. Москва |
|----------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|

БАНК ПОЛУЧАТЕЛЯ:

| | | |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|
| БИК 044525225 | к/сч. № 30101810400000000225 | Сбербанк России ОАО, г. Москва |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|

СЧЕТ № 2ЖК2010 от « ____ » _____ 2010

Покупатель:

Расчетный счет №:

Адрес:

| №№ п/п | Предмет счета (наименование издания) | Кол-во экз. | Цена за 1 экз. | Сумма | НДС 0% | Всего |
|-----------------|---|----------------|-------------------|-------|-----------|-------|
| 1 | Главный энергетик (подписка на II полугодие 2010 г.) | 6 | 520 | 3120 | Не обл. | 3120 |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| ИТОГО: | | | | | | |
| ВСЕГО К ОПЛАТЕ: | | | | | | |

Генеральный директор



Дельсколенко

К.А. Москаленко

Главный бухгалтер

Москаленко

Л.В. Москаленко

ВНИМАНИЮ БУХГАЛТЕРИИ!

В ГРАФЕ «НАЗНАЧЕНИЕ ПЛАТЕЖА» ОБЯЗАТЕЛЬНО УКАЗЫВАТЬ ТОЧНЫЙ АДРЕС ДОСТАВКИ ЛИТЕРАТУРЫ (С ИНДЕКСОМ) И ПЕРЕЧЕНЬ ЗАКАЗЫВАЕМЫХ ЖУРНАЛОВ.

НДС НЕ ВЗИМАЕТСЯ (УПРОЩЕННАЯ СИСТЕМА НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ).

ОПЛАТА ДОСТАВКИ ЖУРНАЛОВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ИЗДАТЕЛЬСТВОМ. ДОСТАВКА ИЗДАНИЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПО ПОЧТЕ ЦЕННЫМИ БАНДЕРОЛЯМИ ЗА СЧЕТ РЕДАКЦИИ. В СЛУЧАЕ ВОЗВРАТА ЖУРНАЛОВ ОТПРАВИТЕЛЮ, ПОЛУЧАТЕЛЬ ОПЛАЧИВАЕТ СТОИМОСТЬ ПОЧТОВОЙ УСЛУГИ ПО ВОЗВРАТУ И ДОСЫЛУ ИЗДАНИЙ ПО ИСТЕЧЕНИИ 15 ДНЕЙ.

ДАННЫЙ СЧЕТ ЯВЛЯЕТСЯ ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ ОПЛАТЫ ПОДПИСКИ НА ИЗДАНИЯ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ И ЗАПОЛНЯЕТСЯ ПОДПИСЧИКОМ. СЧЕТ НЕ ОТПРАВЛЯТЬ В АДРЕС ИЗДАТЕЛЬСТВА.

ОПЛАТА ДАННОГО СЧЕТА-ОФЕРТЫ (СТ. 432 ГК РФ) СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О ЗАКЛЮЧЕНИИ СДЕЛКИ КУПИ-ПРОДАЖИ В ПИСЬМЕННОЙ ФОРМЕ (П. 3 СТ. 434 И П. 3 СТ. 438 ГК РФ).

ОБРАЗЕЦ ЗАПОЛНЕНИЯ ПЛАТЕЖНОГО ПОРУЧЕНИЯ

| | | |
|---|----------------------|---------------|
| Поступ. в банк плат. | Списано со сч. плат. | |
| ПЛАТЕЖНОЕ ПОРУЧЕНИЕ № | | [] |
| | Дата | Вид платежа |
| Сумма прописью | | |
| ИНН | КПП | Сумма |
| Плательщик | | Сч.№ |
| Банк Плательщика | | БИК |
| Сбербанк России ОАО, г. Москва | | Сч.№ |
| Банк Получателя | | БИК |
| ИНН 7718766370 КПП 771801001 | | Сч.№ |
| ООО Издательство «Профессиональная Литература» Вернадское ОСБ 7970 г. Москва | | Сч.№ |
| Получатель | | Вид оп. |
| | | Срок плат. |
| | | Наз.пл. |
| | | Очер. плат. |
| | | Код |
| | | Рез. поле |
| Оплата за подписку на журнал Главный энергетик (___ экз.) на 6 месяцев, без налога НДС (0%). ФИО получателя _____ Адрес доставки: индекс _____, город _____, ул. _____, дом _____, корп. _____, офис _____ телефон _____, e-mail: _____ | | |
| Назначение платежа | | |
| Подписи | | Отметки банка |
| М.П. | _____ | |
| | _____ | |



При оплате данного счета в платежном поручении в графе «**Назначение платежа**» обязательно укажите:

- 1 **Название издания и номер данного счета**
- 2 **Точный адрес доставки (с индексом)**
- 3 **ФИО получателя**
- 4 **Телефон (с кодом города)**

По всем вопросам, связанным с подпиской, обращайтесь по тел.:

(495) 211-5418, 749-2164, 749-4273

тел./факс **(495) 250-7524**

или по **e-mail: podpiska@panor.ru**