

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік
университетінің ғылыми журналы
Научный журнал Павлодарского государственного
университета имени С. Торайғырова

*1997 ж. құрылған
Основан в 1997 г.*



İ İ Ó
ÕÀÁÀÐØ ÛÑÛ

ÃÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÃÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

1 2014

Научный журнал Павлодарского государственного университета
имени С. Торайгырова

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации
№ 14310-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан
17 апреля 2014 года

Кислов А.П., к.т.н., доцент (главный редактор);
Леньков Ю.А., к.т.н., доцент (зам. гл. редактора);
Акаев А.М., магистр (отв. секретарь);

Редакционная коллегия:

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, зав.каф.НГТУ (г. Новосибирск, Россия);
Боровиков Ю.С., к.т.н., профессор Национального исследовательского
ТПУ, проректор-директор Энергетического института (г. Томск, Россия);
Глазырин А.И., д.т.н., профессор;
Горюнов В.Н., д.т.н., профессор ОмГТУ, директор Энергетического
института (г. Омск, Россия);
Говорун В.Ф., д.т.н., профессор;
Захаров И.В., д.т.н., профессор;
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;
Никифоров А.С., д.т.н., профессор;
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;
Хацевский В.Ф., д.т.н., профессор;
Нургожина Б. В. (тех. редактор).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.
Рукописи и дискеты не возвращаются.
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

МАЗМҰНЫ

Әмренова Д. Т., Бектасова А. А., Габдулов А. О., Нұржауова Ж. А. CDMA технологиясының дамуының болашақтары	9
Әмренова Д. Т., Бектасова А. А., Габдулов А. О., Нұржауова Ж. А. Наноэлектрониканың негізгі бағыттары	13
Аубакиров А. М. Алюминийдің электролиттік өндірісін энергетикалық тіндерін ұстау және көдеге жарату өсерлі жолы сияқты қаланың экологиялық жағдайын жақсарту	19
Байдельдинова А. А., Глазырин А. А. Жезқазған ЖЭЦ-тың бойлер қондырғыларының технологиялық нобайдың шаюсы және химиялық химиялық жаман-жұманының қорданың құрамының есебімен зерттемесі.....	24
Байдельдинова А. А., Глазырин А. И. Жезқазғанның ЖЭЦ-тың бойлер қондырғыларының реагентінің ашпасымен химиялық жаман-жұманының нәтижелері.....	30
А. А. Байдельдинова, А. И. Глазырин Жезқазғанның ЖЭЦ-тың бойлер қондырғыларының қызбасының бетінен қорданын аулақтауының бар технологиялық нобайы	37
Бороденко В. А. MATLAB-тағы іргелі қалыптасасын есептеп шығару	44
Бороденко В. А. SIMULINK MATLAB-тағы сарала және кешікпелі буындармен жүйелерінің үлгілеу ерекшеліктері	52
Бороденко В. А. MATLAB-тағы асимптотикалық ЛАЖМ-нің құрылымы.....	60
Глазырин А. И., Глазырина Н. С. Суды иониттарды пайдаланғанда тазарту: тұзу мақсаттың шешімі ақырғы айырымның әдісімен.	65
Мазур И. П., Койнов Т. А., Суюндиков М. М. Ыстықилемделетін металл бетінің сапасын бақылау жүйесі.....	70
Мусалиев Б. П., Шәкіров Б. С., Қалдыбаев А. Б. Ионитті сүзгілерді шаю және қалпына келтіру барысында түзілетін ақаба суларды электрокоагуляциялық тазарту.....	83
Новожиллов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А. Синхронды қарымталағыштың релелік қорғанысын зерттеуге арналған сынақтық қондырғы.....	90
Новожиллов А. Н., Крюкова Е. В., Новожилов Т. А., Исупова Н. А. Асинхронды қозғағыш роторының бұзылуын анықтауға арналған белгіні өңдеу әдістері.....	95
Новожиллов А. Н., Крюкова Е. В., Новожилов Т. А. Асинхронды қозғағыш күштер роторының бұзылуын диагностикалау	101

Оришевская Е. В., Приходько Е. В. Екібастұз көмір күлдігінің ситолық анализі.....	116
Риттер Д. В., Анарбаев А. Е., Молдахметов С. С. Аса жоғары жиілік қыздыру құрылғыда үстіңгі толқын өткізгіш желіні қолдануы	122
Рук В. А., Нуржауов А. ДТ-75М «Қазақстан» тракторының беріліс қорабы шестерняларының инерция моментін анықтау.....	130
Рындин В. В. Термодинамикадағы ағыс үшін энергия теңдеулерін қорытындының әдістері.....	135
Рындин В. В. Қайтымсыз термодинамикамен бірігуіне оның және термодинамиканың атын өзгерту туралы мәселе.....	145
Сатыбалдиева Ф. А., Арыстанбаев К. Е., Нурмаганбетов Б. Д. Оқу мекемесін электрлік қамтамасыз етудің аппаратты – өлшеу жүйелері.....	153
Сейтенова Г. Ж., Ильчубаева Р. М., Сергеев Я. Құбыр желісінің парафинделу механизмі және оны есептеу әдістемесі ...	159
Сейтенова Г. Ж., Ильчубаева Р. М., Сергеев Я. ҚМ-ің антикоррозиялық қорғау.....	164
Кабдуалиева М. М., Асенова С. С. Дисперсті материалдардың ішінде қатты отынның таратылуымен олардың жылулық қалпын зерттеу.....	169
Кислов А. П., Марковский В. П., Нарынбаев Д. С. Энергия жинақтаушыларды гибридік жүйелерде – күн сәулесі мен жел электр станцияларында пайдалану	177
Марковский В. П., Волошанин О. Г., Кайдар А. Б. Күн, жел энергетикалық, жылусорғыштық жүйелер мен биогаздық қондырғыларды біріктіріп қолданудың болашағы	183
Лукутин Б., Сурков М., Сарсикеев Е., Мұстафина Р., Мұстафина Г. Желдизельдік генерациялы электржабдықтың автономиялы жүйесінің жұмысының режимін қалыптастыру	189
Лукутин Б., Сурков М., Сарсикеев Е., Мұстафина Р. Желдизельдік генерациялы электржабдықтың автономиялы жүйесінің жұмысының тиімділігін бағалау	197
Біздің авторлар	204
Авторлар үшін ереже.....	207

СОДЕРЖАНИЕ

Амренова Д. Т., Бектасова А. А., Габдулов А. У., Нуржауова Ж. А. Перспективы развития технологии CDMA.....	9
Амренова Д. Т., Бектасова А. А., Габдулов А. У., Нуржауова Ж. А. Основные направления нанoeлектроники.....	13
Аубакиров А. М. Улавливание и утилизация энергетических веществ при электролитическом производстве алюминия как эффективный путь улучшения экологической обстановки города	19
Байдельдинова А. А., Глазырин А. А. Разработка технологической схемы-технологии промывки, химической очистки бойлерных установок Жезказганской ТЭЦ с учетом состава химических отложений	24
Байдельдинова А. А., Глазырин А. И. Результаты химической очистки бойлерных установок раствором реагентов Жезказганской ТЭЦ	30
Байдельдинова А. А., Глазырин А. И. Существующая технология-схема удаления отложений с поверхности нагрева бойлерных установок Жезказганской ТЭЦ.....	37
Бороденко В. А. Вычисление фундаментальной матрицы в MATLAB	44
Бороденко В. А. Особенности моделирования систем с дифференцирующим и запаздывающим звеньями в SIMULINK MATLAB.....	52
Бороденко В. А. Построение асимптотической ЛАЧХ в MATLAB	60
Глазырин А. И., Глазырина Н. С. Очистка воды с использованием ионитов: решение прямой задачи методом конечных разностей.	65
Мазур И. П., Койнов Т. А., Суюндиков М. М. Система контроля качества поверхности горячекатанного металла	70
Мусалиев Б. П., Шакиров Б. С., Калдыбаев А. Б. Электрокоагуляционная очистка сточной воды, образующейся при регенерации и отмывке ионитовых фильтров.....	83
Новожилов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А. Экспериментальная установка для исследования релейной защиты синхронного компенсатора	90
Новожилов А. Н., Крюкова Е. В., Новожилов Т. А., Исупова Н. А. Методы обработки сигнала для выявления повреждений ротора асинхронного двигателя	95
Новожилов А. Н., Крюкова Е. В., Новожилов Т. А. Диагностирование повреждений ротора асинхронных двигателей.....	101

Оришевская Е. В., Приходько Е. В. Ситовый анализ золы Экибастузского угля	116
Риттер Д. В., Анарбаев А. Е., Молдахметов С. С. Использование линии поверхностного волновода в устройствах сверхвысокочастотного нагрева	122
Рук В. А., Нуржауов А. Определение моментов инерции шестерен коробки передач трактора ДТ-75М «Казахстан»	130
Рындин В. В. Методы вывода уравнений энергии для потока в термодинамике	135
Рындин В. В. К вопросу о переименовании термодинамики и слиянии её с необратимой термодинамикой	145
Сатыбалдиева Ф. А., Арыстанбаев К. Е., Нурмаганбетов Б. Д. Информационно-измерительные системы в электроснабжении учебных заведений	153
Сейтенова Г. Ж., Ильчубаева Р. М., Сергеев Я. Механизм парафинизации трубопровода и методика его расчета	159
Сейтенова Г. Ж., Ильчубаева Р. М., Сергеев Я. Антикоррозионная защита МТП	164
Кабдуалиева М. М., Асенова С. С. Содержательное значение терминов употребляемых в отрасли энергетики	169
Кислов А. П., Марковский В. П., Нарынбаев Д. С. Применение накопителей энергии в гибридных системах – солнечных и ветряных электростанциях	177
Марковский В. П., Волошанин О. Г., Кайдар А. Б. Перспектива совместного использования солнечных, ветроэнергетических, теплонасосных систем и биогазовых установок	183
Лукутин Б. В., Сурков М. А., Сарсикеев Е. Ж., Мустафина Р. М. Мустафина Г. М. Формирование режимов работы автономной системы электроснабжения с рассредоточенной ветродизельной генерацией	189
Лукутин Б. В., Сурков М. А., Сарсикеев Е. Ж., Мустафина Р. М. Оценка эффективности работы автономной системы электроснабжения с рассредоточенной ветродизельной генерацией	197
Наши авторы	204
Правила для авторов	207

CONTENT

Amrenova D. T., Bektasova A. A., Gabdulov A. U., Nurzhauova Z. A. Prospects for the development of CDMA technology	9
Amrenova D. T., Bektasova A. A., Gabdulov A. U., Nurzhauova Z. A. Main directions of nanoelectronics	13
Aubakirov A. M. Capture and disposal of power substances in electrolytic production of aluminum as an effective way to improve the ecological situation in the city	19
Baidel'dinova A. A., Glazyrin A. A. Development of the technological scheme of washing and chemical cleaning of boilers of Zhezkazgan thermal power station taking into account the structure of chemical deposits	24
Baidel'dinova A. A., Glazyrin A. I. Results of chemical cleaning of boilers by solution of reagents of Zhezkazgan thermal power station	30
Baidel'dinova A. A., Glazyrin A. I. Existing technology and scheme of removing of deposits from the heating surface of boilers of the Zhezkazgan thermal power station	37
Borodenko V. Calculation of the fundamental matrix in MATLAB	44
Borodenko V. Features of modelling systems with differential and delayed blocks in MATLAB SIMULINK	52
Borodenko V. Construction of DUFR asymptote in MATLAB	60
Glazyrin A. I., Glazyrina N. S. Water purification using Ion exchangers: solution of the direct problem by the method of finite differences	65
Mazur I., Koinov T., Suyundikov M. Control system of quality of a surface of hot-rolled metal	70
Musaliev B. P., Shakirov B. S., Kaldybayev A. B. Electrocoagulative purification of sewage forming during regeneration and washing of the ionite filters	83
Novozhilov A. N., Akayev A. M., Novozhilov T. A. Experimental setup for studying relay protection of synchronous compensator	90
Novozhilov A. N., Krukova E. V., Novozhilov T. A., Isupova N. A. The methods of the signal processing for detection of the rotor's faults in an induction electrical machine	95
Novozhilov A. N., Krukova E. V., Novozhilov T. A. The diagnostics of the rotor's faults in an induction electrical machine	101
Orishevskaya E. V., Prichodko E. V. Sieve analysis of Ekibastuz coal ash	116

Ritter D. V., Anarbaev A. E., Moldakhmetov S. S. Using the line of surface waveguide in microwave heating devices.....	122
Ruk V. A., Nurzhauov A. The definition of the moments of inertia of the pinions of gearbox of tractor DT-75M «Kazakhstan».....	130
Ryndin V. V. Methods of deducing equations of energy for a stream in thermodynamics	135
Ryndin V. V. To a question of renaming of thermodynamics and its confluence with nonreversible thermodynamics.....	145
Satybaldieva F. A., Arystanbayev K. E., Nurmaganbetov B. D. Information and measuring systems in power supply of educational institutions	153
Seytenova G. Zh., Ilchubayeva R. M., Sergeevs Y. Mechanism of pipeline waxing and method of calculation.....	159
Seytenova G. Zh., Ilchubayeva R. M., Sergeevs Y. Corrosion protection of MP.....	164
Kabdualieva M. M., Assenova S. S. The research of dispersive materials in thermal condition with distributed solid fuel.....	169
Kislov A. P., Markovsci V. P., Narynbayev D. S. Application of energy storage in hybrid systems - solar and wind power stations	177
Markovsci V. P., Voloshanin O. G., Kaidar A. B. The prospects of joint use of solar, wind, heat pump systems and biogas plants	183
Lukutin B., Surkov M., Sarsikeyev E., Mustafina R., Mustafina G. Modes of autonomous power systems formation with dispersed wind-diesel generation.....	189
Lukutin B., Surkov M., Sarsikeyev E., Mustafina R. Evaluating the performance of an autonomous system with dispersed wind- power generation	197
Our authors.....	204
Rules for authors	207

УДК 621.39

**Д. Т. Амренова, А. А. Бектасова, А. У. Габдулов,
Ж. А. Нуржауова**

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ CDMA

Обладая целым рядом преимуществ перед системами GSM, системы сотовой связи, основанные на технологии CDMA, в силу своих особенностей, открывают перед потребителями мобильной связи наряду с голосовыми услугами широкие перспективы по доступу в глобальное информационное пространство, независимо от своего местоположения и перемещений.

Стандарт 3G был разработан Международным союзом электросвязи (International Telecommunication Union, ITU) и носит название IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000). Основная цель – гармонизация систем третьего поколения для обеспечения глобального роуминга в настоящее время труднодостижима, так как многие из них работают в разных стандартах: под аббревиатурой IMT-2000, объединены 5 стандартов, а именно:

- W-CDMA;
- CDMA-2000;
- TD-CDMA/TD-SCDMA;
- DECT;
- UWC-136.

Из этих пяти только три первых – W-CDMA, CDMA-2000 и TD-CDMA/TD-SCDMA обеспечивают полное покрытие в макро, микро и пикосотах, и поэтому фактически только они могут рассматриваться в качестве полноценных 3G-решений. В числе остальных стандартов, DECT используется, в частности, в беспроводных телефонах домашнего и офисного назначения. Кроме того, он может применяться для организации 3G хот-спотов /reviews/wireless2004/ с небольшой зоной обслуживания (с этой точки зрения его можно рассматривать в качестве подмножества «большой» 3G-сети). И, наконец, UWC-136 – это просто другое название технологии EDGE, которую обычно относят к 2,5G.

Согласно стандартам IMT-2000 под мобильной связью третьего поколения понимается интегрированная сеть, обеспечивающая следующие скорости передачи данных: для абонентов с высокой мобильностью (до 120 км/ч) – не менее 144 кбит/с, для абонентов с низкой мобильностью (до 3 км/ч) – 384 кбит/с, для неподвижных объектов на коротких расстояниях – 2,048 Мбит/с.

W-CDMA (другое название – UMTS, Universal Mobile Telecommunication System – универсальная система мобильной связи), – это стандарт, который принят в Европе и Японии. UMTS, по сути дела, – это апгрейд стандарта GSM через GPRS и EDGE. Наземная часть UMTS известна как UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). FDD-компонент UTRA основан на стандарте W-CDMA (UTRA FDD). Теоретически он обеспечивает передачу данных со скоростью до 2 Мбит/с, однако на практике скорости гораздо ниже: системы W-CDMA обладают определенными техническими ограничениями. (TDD-компонент UTRA, называемый TD-CDMA (или UTRA TDD) будет рассмотрен ниже.) Работа по стандартизации UMTS координируется группой Third Generation Partnership Project (3GPP).

Этот стандарт, продвигаемый американским оператором Qualcomm, является основным конкурентом европейской версии UMTS. Работа по стандартизации CDMA 2000 координируется группой Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2, группа развития CDMA (CDMA Development Group) обращается за советами к 3GPP2).

Несмотря на то, что стандарты «W-CDMA» и «CDMA 2000» имеют общую аббревиатуру в своих названиях, это совершенно разные системы, использующие различные технологии. Тем не менее, есть надежда, что мобильные терминалы, работающие в этих несовместимых стандартах, когда-нибудь научатся «общаться» друг с другом.

CDMA 2000 имеет 2 фазы развития: первая 1XRTT, также известная как 1X, обеспечивает скорость передачи данных до 144 Кбит/с, и может быть усовершенствована до второй фазы – 3XRTT (или 3X), где скорость достигает 2 Мбит/с.

Другая эволюционная ступень (рисунок 1.1) подразумевает 2 стандарта CDMA 2000 1X EV («EV» = «Evolution», «эволюция, развитие»). CDMA 2000 1X EV-DO («Data Only» – «только данные») будет использовать различные частоты для передачи голоса и данных. В следующей ступени – стандарт CDMA 2000 1X EV-DV («Data and Voice» – «данные и голос») произойдет интеграция голоса и данных в одном частотном диапазоне.

Технология UMTS также содержит другой стандарт радиопередачи, который упоминается гораздо реже, чем W-CDMA – TD-SCDMA (другое название – TDD UTRA). Стандарт TD-CDMA, разработанный немецким концерном Siemens, использует технологию TDD, и, в отличие от W-CDMA, использующей технологию FDD, которая требует так называемого парного спектра, может использовать непарный спектр. Считается, что технология TDD хорошо приспособлена для передачи данных в Интернет.



Рисунок 1.1 – Пути эволюции к сетям третьего поколения

Компания «Алтел», национальный оператор сотовой связи в Республике Казахстан, осуществила коммерческий запуск нового припейд-бренда – PATHWORD. Это первая в Казахстане сеть мобильной связи третьего поколения (3G) стандарта CDMA-2000 1X, с карточной системой обслуживания. В настоящий момент пользоваться услугами 3G-связи можно в 11 крупных городах Казахстана. Общая абонентская база сетей сотовой связи, использующих технологии третьего поколения (W-CDMA, CDMA 2000 1x EV/DO) и приближающихся к ним по ряду существенных признаков (CDMA 2000 1x) в 2003 г. достигла 88 млн. человек, что составляет 6,6% мировой абонентской базы сетей сотовой связи всех стандартов. В развитии 3G лидирует Азиатско-Тихоокеанский регион. Здесь общая абонентская база сетей 3G достигла 6,5 млн. Впечатляющие результаты достигнуты благодаря очевидным, но, в то же время, не тривиальным решениям по распространению технологий W-CDMA в 2001 году и CDMA 2000 1x EV-DO в 2002 году. Лидирующие позиции в этом регионе принадлежат Республике Корея (компании KTF, SK Telecom) – в ней насчитывается 4,8 млн. абонентов, использующих технологию CDMA 2000 1x EV-DO. В начале 2004 года абонентская база полноценных 3G-сетей (за исключением CDMA 2000 1x) насчитывала 7,5 млн. человек; к концу года она, как ожидается, удвоится (рисунок 1.2).

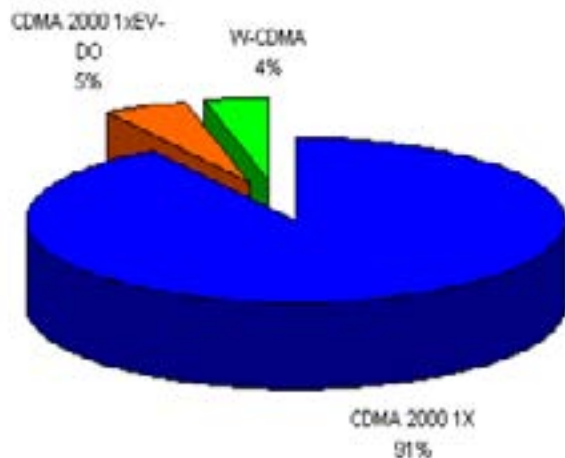


Рисунок 1.2 – Распределение абонентов 2,75 – 3G по технологиям

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Неразрушающий контроль и диагностика: справочник под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1995. – 488 с.
- 2 **Шелихов, Г. С.** Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. – М. : ГПНТЦ «Эксперт», 1995. – 224 с.
- 3 **Хусанов, М. Х.** Магнитографический контроль сварных швов. – М. : Недра, 1973. – 216 с.
- 4 Интроскопия и автоматизация неразрушающего контроля: практ. пособие под ред. Сухорукова В. В. – М. : Высш. шк., 1993. – С. 290-322.
- 5 **Амеличев, В. В., Галушков, А. И., Романов, И. М., Чаплыгин, Ю. А.,** Патент N2055422 от 11.04.96 г., “Двухстоковый МОП-магнитотранзистор”, патентообладатель МИЭТ.
- 6 **Амеличев, В.В., Галушков, А.И., Чаплыгин, Ю.А., Шубин, С.В.** Интегральные магниточувствительные матрицы с высоким уровнем разрешения // Известия вузов, Электроника, №1, 2000. – С. 45-50.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 14.01.14.

Д. Т. Амренова, А. А. Бектасова, А. У. Габдулов, Ж. А. Нұржауова
CDMA технологиясының дамуының болашақтары

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 14.01.14 редакцияға түсті.

D. T. Amrenova, A. A. Bektasova, A. U. Gabdulov, Zh. A. Nurzhauova
Prospects for the development of CDMA technology

S.Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 14.01.14.

Бүтіндікпен артықшылықтың қатарының алдым GSM жүйелерінің ие бола, бас CDMA технологиясында негіздеген жүйелер ұялы байланыс, күш өзінің өзгешеліктерінің, бірге мен дауыстың қызмет атқару кең болашақ рұқсат алу, галамдық ақпараттық ая алды ұтқыр байланыс тұтынушы, тәуелсіз өз мекен және ауыспалылыққа жетеді.

With a number of advantages over GSM system, cellular system based on the technology of CDMA, by its character, opens broad perspectives on access to the global information space to consumers of mobile voice services regardless of their location and movements.

ӘОЖ 621.382

**Д. Т. Амренова, А. А. Бектасова, А. О. Габдулов,
Ж. А. Нұржауова**

НАНОЭЛЕКТРОНИКАНЫҢ НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫ

Наноэлектроника ғылымның және бүгін баста негізде соңғы табыстардың физика қатты дене, кванттық электрониканың, физикалық химияның және технологияның шалаөткізгіштің электроника белгілі нысанға техниканың жаңа облысы болып табылатын.

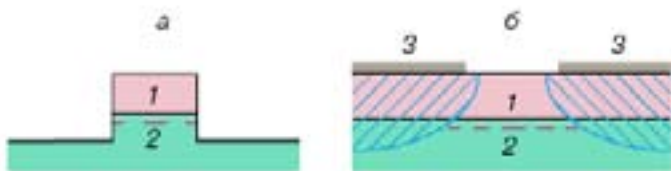
Электрондарының қозғалысы бір координатаның бойымен шектелгендегі жартылай өткізгішті құрылымдарда координата бойымен квантталу әсері байқалады. Нәтижесінде электронның еркін қозғалысы үшөлшемдіден екіөлшемдіге айналады, ал бұл сәйкесінше электронды қасиеттердің

түбегейлі өзгеріске ұшырауына, жаңа әсерлердің, сонымен қоса Холл әсерінің пайда болуына әкеледі. Бұл бағытта тағы бір қадам жасап, кванттық жіптер деп аталатын бірөлшемді электронды жүйелер құруға болады. Ол үшін жіпке ұқсайтын бірдене болуы қажет, яғни бұған электрондардың қозғалысы үш бағыттың тек екі бағыты (x осі деп атайық) бойында еркін болуын жатқызамыз. Көлденең өлшемдерінің аз болуына байланысты уз жазықтығы квантталады және оның энергиясы тек дискретті мәндерді ($E_i, i = 1, 2, \dots$) қабылдай алады, соның салдарынан дисперсияның толық заңы мынандай түрге келеді

$$E = E_i + \frac{p_x^2}{2m},$$

мұндағы m – электронның тиімді массасы. E_i -дің әрбір дискретті деңгейіне P_x импульсімен ерекшелінетін мүмкін жағдайлар жинағы сәйкес келетіні көрініп тұр. Мұндай жағдайда деңгейден гөрі, i нөмірлі өлшемді кванттаудың бөлімшесі туралы сөз қозғалады.

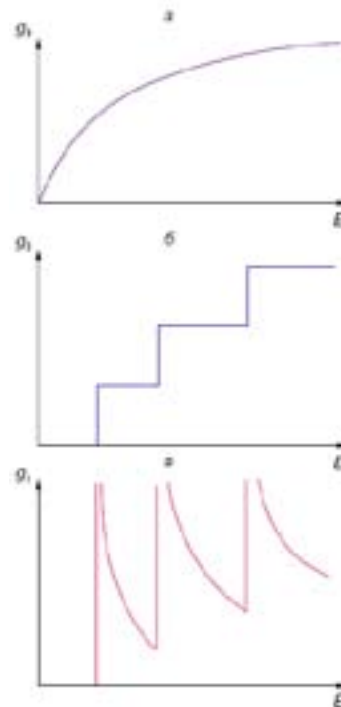
Кванттық жіпшелерді алудың көп тәсілі бар. Солардың бірі – жартылай өткізгішті құрылымның бетінде Шоттки байланысын қалыптастырып, жіңішке саңылауды тудыратын металдан жасалған электродпен жабады (6-сурет, б). Егер гетерошегара сыртқы бетке жеткілікті түрде жақын бірігу қабатында орналасса, онда екіөлшемді электрондар шегараның барлық аймағында болмайды, тек саңылау астындағы тар аймақтан ғана қатысады.



6 сурет - Субмикронды литография көмегімен алынған кванттық жіпшелері бар жартылай өткізгішті гетероқұрылымдар: 1 – қалың тыйым салынған аймаққа ие жартылай өткізгіш, 2 – тар тыйым салынған аймаққа ие жартылай өткізгіштік, 3 – металды бекітпе. Штрихталған аймақ электрондардың азайған аймағы

Мұндай бірөлшемді құрылымның түрі қосымша артықшылықтарға ие: Бекітпедегі кернеуді өзгерте отыра, біз кванттық жіптің тиімді енін және ондағы тасымалдаушылардың концентрациясын басқара аламыз.

7-суретте қалып-күйлердің тығыздығы сызбалар түрінде көрсетілген. Мұндағы үш түрлі жағдай әр түрлі сипаттамаларға ие екендігі байқалады. Үшөлшемді жағдайда қалып-күйдің тығыздығы энергияға қатысты монотонды, ал екіөлшемдіде горизонтальді баспалдақтар тәрізді, кванттық жіпшелерде жоғарыға қарай, яғни энергияның келесі кванттық деңгейіне қарай ұмтылған сайын шексіз өсетінін көреміз.



7 сурет – Массивті үшөлшемді өткізгіште (а), екіөлшемді электронды құрылымда – кванттық шұңқырлардағы (б), бірөлшемді құрылымдарда – кванттық жіпшелердегі (в) қалып-күйдің тығыздығы

Кванттық жіптер жартылай өткізгішті құрылымдар түрінде келеді. Мұндағы құрылымдарда тасымалдаушылардың қозғалысы екі бағытта шұғыл шектелген, сондықтан оның энергиясы кванттық қасиетке ие.

Ал енді кванттық жіптердің тәжірибелік қолданысына тоқталсақ, онда осы кванттық жіптердің мүмкіндіктері әлі зерттелуде. Жартылай өткізгішті лазерлермен байланысты аймағы толық зерттелуге алынды.

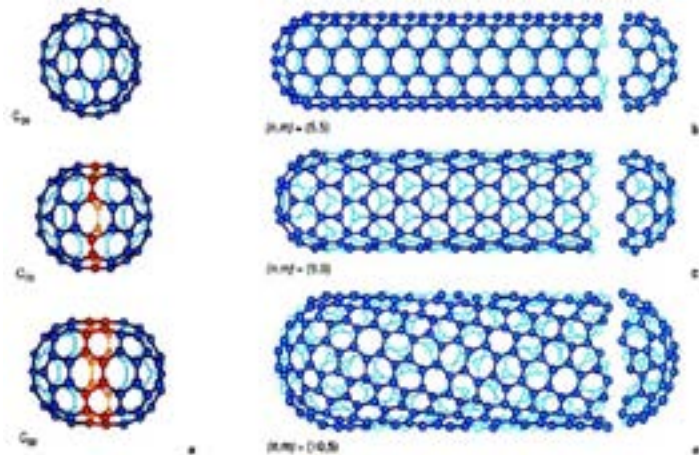
Генерация режимінде лазердің жұмыс істеуі үшін резонатордағы жарықтың күшеюі толық шығыннан көп болуы қажет. Өтпелі токты

азайту үшін қалып-күйі үлкен тығыздыққа ие құрылым болуы қажет. Өз уақытында лазерлерді құру кезінде алға даму кванттық шұңқырлары бар жартылай өткізгішті құрылымдарды қолданумен байланысты. Мұның себебін 7-суреттің *a* және *b* бөлімдерін салыстыра отырып түсінеміз. Көріп отырғанымыздай, мұндағы тығыздық аймақтың шетіне жақындай бергенде кванттық шұңқырларда белгілі бір қорытқы шамаға ие, ал массивті жартылай өткізгіште шетінде ол нөлге айналады. 7-суреттің *b*-бөлімінен тығыздықтың шексіздікке қаратылуына байланысты кванттық жіптер лазердің сипаттамаларын жақсартуға көбірек әсер ете алатынын байқаймыз. Әрине, шынайы құрылымдарда кванттық деңгейлердің кеңеюіне байланысты қалып-күйдің тығыздығы қорытқы шамаға ие болады. Бірақ бұған қарамастан, жоғарғы сапалы кванттық жіптерде өтпелі токтың әрі қарай төмендеуіне мүмкіндік бар деп есептеуге болады.

Кванттық жіптердің болашақтағы зерттеулері құрылғылық коданысын кеңейтетіндігіне кәміл сенеміз.

Наноматериалдардың ең маңызды түрлерінің бірі – нанотүтікшелер (нанотубулендер). Олардың ең кең таралғаны және зерттелгені көміртекті нанотүтікшелер NEC компаниясының (Жапония) зертханасында ашылған.

Нанотүтікшелерді алудың классикалық тәсілдеріне тоқтала кетейік. Электронды микроскопияның көмегімен бірнеше нанометр болатын диаметрге ие жіпшелер анықталды. Ал олардың ұзындығы бірден бірнеше микронға дейін болған екен.



8 сурет – Нанотүтікше мен фуллереннің көпшілікпен қабылданған модельдері

Нанотүтікшелер адам шашының талшығынан 50-100 мың есе жіңішке. Ол бірнеше қабаттардан құралған, осы қабаттардың әрқайсысы графиттің гексагональді торы түрінде болады. Түтікшелердің соңы бесбұрышты немесе алтыбұрыштылардан құралған жартылай сфералы қақпақшалармен жабылды. Нанотүтікшелердің ашылуы ерекше қасиетке ие материалдармен айналысатын зерттеушілердің қызығушылығын арттырды.

Жерден айға дейін жететін «наносым» кішкентай дәнді орауға жетіп қалады. Тығыздығы болаттан алты есе аз болса да, мықтылығы бойынша одан 50-100 рет асып түседі. Түтікшелер сонымен қатар иілгішті болып келеді. Нанотүтікшелерден құралған 1 мм диаметрге ие жіп өзінің массасынан жүздеген миллиардқа асатын 20 т жүкті көтере алушы еді.

Нанотүтікшелер – ішкі қуыстарында газды қауіпсіз сақтауға арналған таптырмас материал. Көміртекті нанотүтікшелер құрылысына (немесе деформациясына) байланысты металдың немесе жартылай өткізгіштің қасиетіне ие бола алады. Нанотүтікшелерді электронды сызбалардың негізгі элементі өрістік транзисторларды құруға мүмкіндік туғаннан бастап, молекулалық электрониканың аңсағаны аздап жүзеге аса түсті. Диодты, яғни *p-n* ауысуына ие құрылғыны жай ғана екі әр түрлі геометриялық формаға ие нанотүтікшені бір-бірімен жалғау арқылы жасауға болады. Нанотүтікшелерді қолданудан бастап, компьютерлер үшін жаңа элементтер де пайда бола бастады. Бұл элементтер құрылғылар өлшемінің азаюын қамтамасыз етеді. Жақын арада нанотүтікшелер электронның эмиттері сияқты жұмыс істей бастайды. Нанотүтікшелер «орманы» жалпақ дисплейдің өрістік катод рөлін керемет атқара алады.

Енді нанотүтікшелердің қолдану аймағына келетін болсақ, ол өте кең ауқымға ие. Біріншіден, нанотүтікшенің өте мықты микроскоптық өзекшелер мен жіпшелер ретінде қолданылатыны айдан анық. Қазіргі уақытта олардың ұзындығы ондаған, жүздеген микрондарды құрайды, бұл әрине атомдық масштабпен өте үлкен шама, бірақ тұрмыста қолдану үшін өте кішкентай. Алайда зертханада алынып жатқан нанотүтікшелердің ұзындығы ақырындап болса да өсуде. Сондықтан болашақта бір сантиметрге, тіпті метрге жететін нанотүтікшелер қолданысқа шығатынына үміт артуға негіз бар. Бұның бәрі технологияның дамуына өз әсерін тигізбей кетпесі сөзсіз.

Нанотүтікшелер тек зерттелуші материал ретінде қарастырылмай, зертеу құралы ретінде де негізге алынды. Мысалға, олардың негізінде микроскопиялық таразыны алуға болады. Ең алдымен, еркін нанотүтікшенің тербелу жиілігін анықтап, содан кейін зерттелетін үлгіні оған тіркейміз де, жүктелінген нанотүтікшенің тербелу жиілігін анықтаймыз. Бұдан алынған жиілік еркін түтікшенің жиілігінен аздау болады, себебі жүйенің массасы ұлғайып, ал қаттылығы сол баяғы қалпында сақталған.

Нанотүтікшелердің осындай ерекше қасиеттерінің арқасында наноэлектрониканың негізгі тақырыптар қатарына кіріп отыр.

Компьютерлік индустриядағы нанотүтікшелердің қолданысы кеңейе түсті.

Түтікшенің ортасындағы қуыс та адамның назарын аударарлық жайт. Шын мәнінде, егер фуллереннің ішіне қандай да бір заттың атомын енгізсек, ендіру құбылысының нәтижесінде фуллереннің электрлік қасиеттері өзгеріске ұшырайды, тіпті изоляторды жоғарғы өткізгіштікке түрлендіре алуы мүмкін. Дәл осылай нанотүтікшелердің де қасиеттерін өзгертуге болады. Ғалымдар түтікшенің ішіне гадолия атомдары орналасқан фуллеренді енгізіп, оның қасиеттері өзгеріске ұшырағанын байқады.

Нанотүтікшеге тек атом мен молекулаларды тек қана бір-бірлеп емес, тобырмен де енгізуге болады. Атомдар мен молекулалар түтікшенің ішіне кіріп, одан кері шыға алмайды. Себебі оның бір шеті ашылмастай дәнекерленеді. Осылайша, нанотүтікшелердің химиялық немесе биологиялық активті заттарды, яғни ақуызды, улы газдарды, мұнай компоненттерін, тіпті балқыған металдарды бір орыннан екінші орынға тасымалдауға арналған микроскоптық контейнер ретінде қолданылады. Бұл – қиял емес! Осындай тәжірибелер әлем зертханаларында сәтті жүріп жатыр.

Қорыта келгенде, нанотүтікшенің қасиеттері мен қабілеттерін белсенді түрде зерттеп, технология саласында көптеген пайдалы жаңалықтарға қол жеткізуге болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Нанотехнологии в электронике / Под редакцией Чаплыгина Ю. А. – М. : Техносфера, 2005.

2 **Адамов, Д.Ю.** Наноэлектроника – путь к информационному обществу // Электросвязь. 2008. № 7. – С. 7-11.

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.01.14 редакцияға түсті.

Д. Т. Амренова, А. А. Бектасова, А. У. Габдулов, Ж. А. Нуржауова

Основные направления наноэлектроники

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайғырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 17.01.14.

Д. Т. Амренова, А. А. Бектасова, А. У. Габдулов, Ж. А. Нуржауова

Main directions of nanoelectronics

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 17.01.14.

Наноэлектроника является новой областью науки и техники, формирующейся сегодня на основе последних достижений физики твердого тела, квантовой электроники, физической химии и технологии полупроводниковой электроники.

Nanoelectronics is a new area of science and technology, emerging today on the most recent advances in solid state physics, quantum electronics, physical chemistry and technology of semiconductor electronics.

УДК 669.002.8

А. М. Аубакиров

УЛАВЛИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ГОРОДА

В настоящей статье автор дает анализ очистки вредных веществ алюминиевой промышленности на АО «Казахстанский электролизный завод», рассматривается метод сухой сорбционной очистки газов, приводятся данные исследования эффективности улавливания вредных веществ.

Фактически все живое на земле существует в тонком слое атмосферы, расположенном на расстоянии до пятидесяти метров от уровня земли. В этом же слое находятся в основном и все источники, загрязняющие атмосферу.

Пыль и газы, выбрасываемые в атмосферу промышленными предприятиями, изменяют ее состав, уменьшая количество кислорода, что негативно воздействует на человека и все живые организмы на земле. Загрязненный воздух наносит огромный материальный ущерб, повышая коррозию металлов, разрушая строительные и другие материалы.

Защита окружающей среды в настоящее время стала одной из острых проблем современности. Неизбежный рост промышленного производства и, следовательно, дальнейшее увеличение вредных выбросов в атмосферу может повлечь за собой самые серьезные последствия.

На долю предприятий черной и цветной металлургии приходится около 20 – 25% общих вредных выбросов в атмосферу, а в районах расположения крупных металлургических комбинатов и заводов – более 50% всего количества загрязнений.

Основными источниками загрязнения являются электролизные ванны, выделяющие большое количество газов, содержащих фтористый водород, сернистые соединения, смолистые возгоны и пыль, состоящую в основном из глинозема и криолита. Концентрация вредных веществ в неочищенных газах составляет не более: фтористого водорода 65 мг/м³, сернистых соединений 40 мг/м³, смолы 55 мг/м³, пыли 100 мг/м³.

Технология для АО «Казахстанский Электролизный Завод» выбрана таким образом, чтобы образование твердых отходов, сброс жидких отходов и выброс газообразных отходов были по возможности минимальными и соответствовали требованиям международных природоохранных стандартов, а также требованиям Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Казахстана. Используемая система газоочистки позволяет довести показатель очистки до 99,3 – 99,4%.

При формировании технической части завода первостепенное значение придается охране окружающей среды. Еще на стадии проектирования завода проводился мониторинг по выбору современной газоочистки в мире. Рассматривалось газоочистное оборудование России, Китая, Германии, Франции и Норвегии. Среди всех перечисленных лучших газоочисток мира выбор был сделан в пользу самой современной и востребованной газоочистки в мире фирмы «Alstom» (Норвегия).

На этапе предпроектного обоснования инвестиций была проведена оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), разработаны проекты обоснования санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Санитарно-защитная зона – зона разрыва между промышленными предприятиями и ближайшими жилыми или общественными зданиями. Создается с целью защиты населения от влияния вредных производственных факторов (шум, пыль, газообразные и другие вредные выбросы, содержащие промышленные яды). На этапе выполнения проектных работ была осуществлена разработка всех необходимых экологических разделов проектной документации: «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» (ПМ ООС), «Проект обоснования санитарно-защитной зоны» (СЗЗ), «Технологический регламент обращения со строительными отходами». Проведена полная процедура согласования в надзорных органах необходимой природоохранной документации:

- санитарно-защитная зона (СЗЗ);
- проект предельно-допустимых выбросов (ПДВ);
- проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР);
- нормативы допустимых сбросов (НДС);
- разработка программы проведения экологического мониторинга;
- составление необходимой экологической отчетности и расчет экологических платежей.

Проведенные аналитические исследования проводимые на АО «Казахстанский электролизный завод» показывают, что для алюминиевой промышленности более перспективными являются сухие адсорбционные методы газоочистки [1] с применением в качестве адсорбента глинозема. Использование сухих методов позволит повысить эффективность очистки газа до 98—99,9 %. Это, казалось бы, незначительное повышение степени очистки оказывается очень существенным, если учесть, что от одной электролизной ванны количество отсасываемого газа составляет несколько десятков тысяч кубических метров в час, а общее количество газов может доходить до миллионов кубометров в час. Кроме того, сухой метод очистки снимает целый ряд проблем: образование отложений в оборудовании, каплеунос, регенерация шлама, коррозия оборудования, трубопроводов и дымовых труб. Технико-экономические сопоставления также показывают преимущество сухих методов очистки.

Сухая сорбционная очистка газов основана на адсорбции фтористого водорода глиноземом, служащим сырьем для получения алюминия. Глинозем, получаемый в промышленных условиях, содержит ряд модификаций оксида алюминия, среди которых наименьшей активностью по отношению к фтористому водороду характеризуется α -Al₂O₃ наибольшей - γ -Al₂O₃. Содержание α -Al₂O₃ в глиноземе, как правило, не превышает 30%. Это обуславливает достаточную сорбционную активность глинозема по отношению к фтористому водороду. Процесс адсорбции можно выразить уравнением:



с частичным переходом полученного продукта в AlF₃. Количество фтористого водорода, адсорбируемого глиноземом без снижения степени очистки, зависит от его сорбционной емкости. Сухая сорбционная очистка газов основана на адсорбции фтористого водорода глиноземом, служащим сырьем для получения алюминия.

Сорбционная емкость (α) определяется массовой емкостью мономолекулярного слоя фтористого водорода на поверхности глинозема и определяется по формуле:

$$\alpha = 0,292 S \text{ мг/г (мг HF на г Al}_2\text{O}_3) \quad (2)$$

где S - удельная поверхность глинозема, $\text{м}^2/\text{г}$; 0,292 - величина, определенная опытным путем в лабораторных условиях.

Удельная поверхность промышленных глиноземов колеблется от 40 до 130 $\text{м}^2/\text{г}$. Соответственно, сорбционная емкость составляет от 12 до 29 мг/г, или от 1,2 до 2,9% масс.

В целях получения такой сорбции необходимо обеспечить достаточный контакт между молекулами фтора и находящимися в газе частицами глинозема.

Контакт между газом и глиноземом осуществляется последовательно в два этапа. Первый этап происходит в реакторе, где идет перемешивание газа с глиноземом, на втором этапе газ проходит через слой глинозема на рукавных фильтрах.

На установке с заданными геометрическими размерами реактора эффективность очистки регулируется только изменением концентрации глинозема в газе путем изменения подачи свежего глинозема и изменения процента рециркуляции глинозема.

Количество рециркулируемого глинозема задается на пульте управления газоочисткой. Окончательная сорбция на рукавных фильтрах зависит от толщины слоя глинозема на рукавах. Толщина слоя глинозема зависит прямо пропорционально от длительности паузы очистки. Глинозем, перед тем как попасть в бункер фильтра, несколько раз после встряхивания силой разряжения оседает на рукавах. Более высокая длительность паузы очистки увеличивает толщину слоя глинозема на рукавах и улучшает степень очистки, но одновременно увеличивает сопротивление установки.

Анализ образцов глинозема после газоочистки на АО «КЭЗ» показывает, что количество фтористых соединений во фторированном глиноземе составляет 1,5-2,1%, эффективность улавливания вредных веществ газоочистных установок составила 99,5%.

Таблица – Эффективность улавливания вредных веществ ГОУ на АО «КЭЗ»:

Наименование вредных веществ	процентное содержание, %
Фтористый водород	99,3
Фториды неорганические плохорастворимые	99,4
Пыль общая	99,4

Итоги работы АО «Казахстанский электролизный завод» за 2013 год показали, что завод выполняет все требования по нормам выбросов загрязняющих веществ. Так, общие выбросы фторидов составили 198 тонн

(фтористый водород - 66,5, фториды неорганические - 131,9), при объеме ПДВ около 240 тонн. При этом удельные выбросы составили 0,87 кг/т Al при норме 1 кг/т Al.

Таким образом, еще одним не менее важным преимуществом сухого способа очистки газов по сравнению с мокрым способом является то, что в процессе очистки газа получается готовое сырье для производства алюминия – фторированный глинозем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Страус, В.** Промышленная очистка газов. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
- 2 **Протасов, В. Ф., Молчанов, А. В.** Экология, здоровье и природопользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 525 с.
- 3 Поволжский экологический вестник - учебное пособие (Л.К. Квартовкина).
- 4 **Ибрагимов, А. Т., Пак, Р. В.** Электрометаллургия алюминия. Казахстанский Электролизный Завод. – Павлодар : 2009. – 256 с.
- 5 **Ибрагимов, А. Т., Пак, Р. В.** Технология производства алюминия на электролизерах АО «Казахстанский Электролизный Завод». – Павлодар : 2012. – 284 с.

АО «Казахстанский Электролизный Завод».
Материал поступил в редакцию 24.02.14.

А. М. Аубакиров

Алюминийдің электролиттік өндірісін энергетикалық тіндерін ұстау және кәдеге жарату әсерлі жолы сияқты қаланың экологиялық жағдайын жақсарту

«Қазақстандық Электролизді Зауыт» АҚ.
Материал 24.02.14 редакцияға түсті.

А. М. Aubakirov

Capture and disposal of power substances in electrolytic production of aluminum as an effective way to improve the ecological situation in the city
JSC «Kazakhstan Electrolysis plant».
Material received on 24.02.14.

Осы мақалада автор АО “Қазақстандық электролиз зауыт” алюминий өнеркәсіптің заралы затының жаман-жұманының анализін, газдың құрғақ сорбция жаман-жұманының әдісін және заралы заттың қақпақылдауының тиімділігінің айтылмышы келтіреді.

In the given article the author analyzes cleanup of hazardous substances on the aluminum industry «Kazakhstan Electrolysis Plant», describes a method of dry sorption gas cleaning, data is given on capture pollutants research performance.

УДК 621.182

А. А. Байдельдинова*, А. А. Глазырин**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ- ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ, ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БОЙЛЕРНЫХ УСТАНОВОК ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ТЭЦ С УЧЕТОМ СОСТАВА ХИМИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рассматриваются технологическая схема промывки и химическая очистка бойлерных установок.

Бойлер – пароводяной теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды, поступающей в систему теплоснабжения. Греющей средой является конденсирующийся пар, поступающий из теплофикационного отбора турбин при давлении 0,05-0,25 МПа. Подогрев сетевой воды осуществляется от 40-70 до 80-120⁰С.

Трубки прямые, что облегчает возможность очистки их от внутренних отложений. В связи с применением прямых трубок греющая система имеет нижнюю трубную доску, к которой крепится поворотная водяная камера. Греющая секция, состоящая из латунных трубок, висит на верхней трубной доске и свободно удлиняется к низу.

Рабочим телом бойлера является вода и её пар. В процессе работы в воду и пар постоянно поступают примеси с подпиточной водой и присосами, а также примеси, образующиеся в результате коррозии металла оборудования.

Надежность работы теплопередающих поверхностей зависит не только от водного режима, но и от организации процесса теплообмена и непосредственно связанной с ним гидродинамики.

Причиной внутреннего зарастания труб служат как происходящие в них коррозионные процессы, так и загрязнения, заносимые водой.

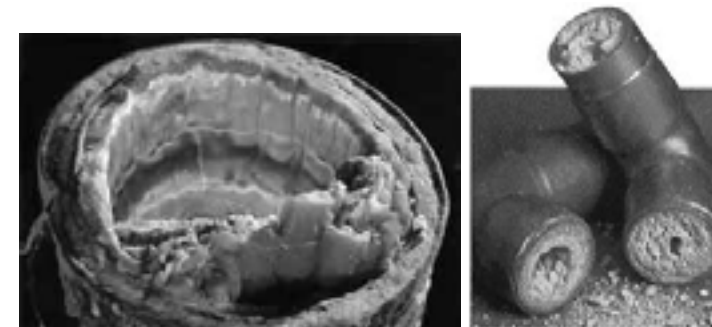


Рисунок 1 - Разрезы труб бойлера, заросшие накипью

Отложения представляют:

1) первичную накипь, выделяющуюся на наиболее нагретых и теплонапряженных участках поверхности нагрева, т.е. там, где в результате парообразования концентрирования солей-накипееобразователей в воде протекает наиболее интенсивно;

2) вторичную накипь – прикипевшие к поверхности металла частицы шлама, которые образовались в объёме котловой воды или были занесены в котёл из питательного тракта. Обычно отложения этого вида образуются при низких скоростях движения воды и низких теплонапряжениях;

3) продукты коррозии металла; они либо входят в состав вторичных накипей, либо образуют первичные железистоокисные или медные накипи.

Все накипи вызывают ухудшение теплопередачи и, как следствие, увеличение пережога топлива и перегрева металла. При большой толщине накипи увеличивается сопротивление проходу воды, происходит нарушение циркуляции, что ведет к пережогу металла. Шлам, скапливающийся в нижних коллекторах, в опускных трубах и в трубах с малыми скоростями движения воды, также может вызвать нарушение циркуляции.

Теплопроводность накипи зависит от её структуры; наименее теплопроводны и потому наиболее опасны пористые и рыхлые отложения, имеющие теплопроводность 0,1-0,2 кВт/(м·ч·⁰С). Коэффициент теплопроводности латуни составляет 60-86 Вт/(м·К), а коэффициент теплопроводности накипи находится в пределах от 0,11 до 1,7 Вт/(м·К).

На Жезказганской ТЭЦ: всего - 25 бойлеров, из них 12 - пиковые, 9 основных и 4 - для подогрева сырой воды и химическую очистку.

На Жезказганской ТЭЦ механическая очистка выполняется с полной разборкой бойлера, удалением накипи из труб, а также электрогидроимпульсным методом. Общая длительность удаления накипи этими способами составляет не менее 14 дней. Стоимость такой очистки колеблется в пределах 1-3 млн. тенге.

В составе отложений около 40% солей жёсткости, а также около 40% показателя «потери при прокаливании». При прокаливании сторают органические вещества и частично разлагаются карбонатами.

Состав химических отложений Жезказганской ТЭЦ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав отложений на бойлерных установках Жезказганской ТЭЦ

Бойлерные установки	Описание	Качественный и количественный анализ отложений
ОБ№2 (вход)	Внутренняя поверхность трубки покрыта отложениями бежевого цвета. Отложения мягкие, нанесены ровным слоем на внутреннюю поверхность трубки, легко снимаются, на магний не притягиваются, толщина не более 0,5 мм.	1. SiO ₂ - 2,49% 2. Fe ₂ O ₃ - 2,38% 3. CuO - отс 4. ZnO - 20,7% 5. CaO - 4,9% 6. MgO - 23,4% 7. R ₂ O ₃ - 2,7% 8. потери при прокаливании - 40,43 %
ОБ№4 (выход)	Внутренняя поверхность трубки покрыта отложениями светло-коричневого цвета. Отложения твёрдые, на магний не притягиваются, толщиной до 1 мм., механически тяжело снимаются.	1. SiO ₂ - 3,01% 2. Fe ₂ O ₃ - 4,92% 3. CuO - отс 4. ZnO - 20,85% 5. CaO - 12,6% 6. MgO - 17,8% 7. R ₂ O ₃ - 5,2% 8. потери при прокаливании - недостаточно пробы
ПБ№13	На внутренней стороне бойлерной трубки ПБ№13 отложения двух видов. I слой отложений серого цвета, твёрдые, трудно снимаются механически.	1. SiO ₂ - 1,34% 2. Fe ₂ O ₃ - 0,78% 3. CuO - отс 4. ZnO - отс 5. CaO - 5,6% 6. MgO - 28% 7. SO ₃ - 7,8% 8. потери при прокаливании - 55,6%
ПБ№13	II слой отложений чёрного цвета, хрупкие, на магний не притягиваются	1. SiO ₂ - 19,4% 2. Fe ₂ O ₃ - 8,34% 3. CuO - отс 4. ZnO - 1,4% 5. CaO - 9,8% 6. MgO - 14,6%

Реагент ТМС ДТ выпускается с ингибиторами коррозии, однако при использовании его для промывки медьсодержащих сплавов выполняется дополнительное ингибирование мощного раствора тиомочевинной.

ТМС ДТ - прозрачная или слабоокрашенная жидкость с характерным запахом. В состав входят: комплекс кислот, эффективные ингибиторы коррозии, комплексоны, поверхностно-активные вещества.

Тиомочевина — CS(NH₂)₂ — диамид тиоугольной кислоты, тиокарбамид, белые кристаллы горького вкуса, t_{пл} = 180-182°C (при быстром нагревании; при медленном — разлагается); умеренно растворима в воде, метаноле, пиридине, хорошо — в 50 %-ном водном пиридине.

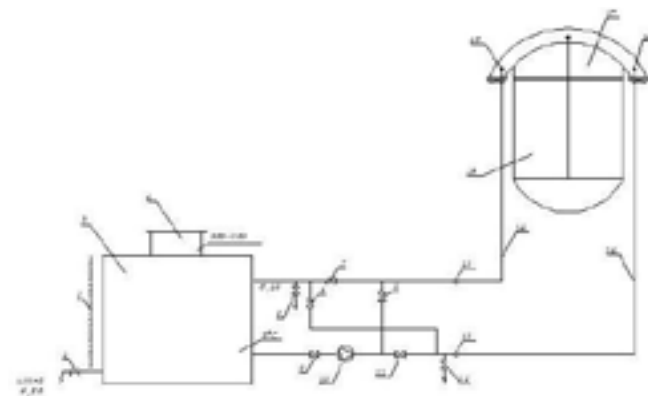
Для промывки одного бойлера требуется около 650 кг. (реагент ДТ) кислоты и 30 кг. тиомочевинной.

Реагент ДТ (22%) (ТУ 2383-002-56478541-01) стоит 111 руб. 58 коп., по курсу на 22.01.2014 г. 1 рубль стоит 4,6 тенге, следовательно, затраты на препаратом ТМС ДТ при расходе его на один бойлер около 650 кг. составят 111,58 • 4,6 • 650 = 333624,2 тенге

Стоимость 1 кг. тиомочевинной (97,5 %) (ГОСТ 6344-73) - 736 тенге. На промывку одного бойлера требуется от 0,5 до 1% тиомочевинной, что составит от 20 до 40 кг., в среднем 30 кг. на бойлер или 30 • 768 = 22080 тенге

Дополнительные расходы составляют 20%. Общая сумма затрат на ТМС ДТ и тиомочевинну - (333624,2 + 22080) • 1,2 = 426845,04 тенге

Учитывая химический состав отложений, нами была разработана схема и технология химической очистки бойлера от отложений с использованием химических реагентов в течение 2-3 дней (рисунок 2).



1, 6-9, 11, 12 - задвижки d_y 50; 2 - водомерное стекло; 3 - бак объемом 2÷2,5 м³; 4 - люк для загрузки реагентов; 5 - вентиль d_y 10, P_y 10; 10 - насос типа "X", производительность 30 м³/ч, напор 30-40 м. в ст.; 13 - фланцевые соединения Ø50; 14 - кислотостойкие резиновые шланги d_y 50 на P до 10 м. в ст.; 15 - бойлер; 16 - штуцер с фланцами d_y 50;

17 - верхняя крышка бойлера

Рисунок 2 - Схема химической очистки бойлера

На рисунке 2 представлена схема промывки бойлера. Технология предусматривает выполнение промывки ингибированным раствором химических реагентов с дополнительным ингибированием (раствором тиомочевинной) с концентрацией 0,5-1%. В промывочный бак 3 загрузили тиомочевину и подали реагент ТМС ДТ, так чтобы расчётная концентрация моющего раствора была на уровне не более 4%. Заполнили бойлер 15 и частично бак 3 сетевой водой так, чтобы организовать циркуляцию воды при минимальном уровне её в промывочном баке 3, это позволяет получить максимально высокую концентрацию моющего раствора. Загрузку реагента вели с использованием воздуха, подаваемого в ёмкость 3 с кислотой. Началом промывки бойлера 15 считать время появления кислоты на сбросе не ниже 1% при циркуляции раствора. Раствор проходит через задвижки 9 и 11, прокачиваясь насосом, поступает в бойлер 15. Через каждые 30 минут определять концентрацию циркулирующего моющего раствора кислоты на сбросе в бак 3, температуру моющего раствора поддерживать на уровне 40-50°C. Циркуляцию раствора вели в течении в одном направлении в течение 2-х часов. Затем поменяли направление циркуляции, организовали повторный ввод кислоты. Циркуляция в обратном направлении также происходит в течение 2-х часов. Задвижки 7 и 11 закрыли. Раствор поступает в бойлер 15 через клапаны 8 и 9. Сбросной трубопровод вывести так, чтобы можно было из него отбирать пробу раствора на анализ. При окончании промывки вытесненный раствор проходит через промывочный бак 3 и сбрасывается через дренаж, который монтируется на днищах трубопроводов в приемок турбинного цеха и затем в ГЗУ с нейтрализацией его негашеной известью. Промыли бойлер 15 водой на сброс через вновь врезанную задвижку. Вскрыли верхнюю 17 и нижнюю крышки для проверки состояния труб и наличия отмытых отложений. Трубки, которые до химической очистки были полностью забиты отложениями, как и ожидалось, не отмылись из-за отсутствия через них протока кислотного раствора. Остальные трубки отмыты до металла.

В связи с интенсивной отмывкой отложений и быстрым расходом реагентов промывку следует вести с изменением направления подачи раствора в бойлер.

Моющий раствор готовить на конденсате с низким рН, чтобы максимально сохранить концентрацию кислоты. Для этого следует предусмотреть подвод конденсата трубопроводом.

Промывка кислотой происходит не свыше 6 ч. с последующим вытеснением моющего кислого раствора в канал гидрозолоудаления с одновременной нейтрализацией раствора известью или другими реагентами.

Общее время промывки составило около 2 суток.

В последующей операции восстанавливаем схему бойлерной установки и осуществляем доотмывку поверхности нагрева сетевой водой с расходом до 1200 м³/ч.

Рекомендации:

- в связи с интенсивной отмывкой отложений и быстрым расходом реагентов промывку следует вести с изменением направления подачи раствора в бойлер. Для этого в схеме смонтировать дополнительно три вентиля на 50 мм. согласно прилагаемого эскиза;

- желательно схему подключения установки к бойлеру выполнить на трубопроводах с фланцевыми соединениями;

- после кислотной промывки бойлер можно включить непосредственно в работу без проведения операций по консервации поверхностей нагрева (предпочтительный вариант);

- в случае простоя бойлера до пуска его в работу более 5 суток его следует консервировать растворами реагентов и оставлять в таком состоянии до включения бойлера в работу. Для консервации следует применять реагенты, которые не будут предусматривать дополнительной отмывки поверхностей нагрева, например, силикат натрия. При консервации силикатом натрия загрузить в бак 9 кг. жидкого стекла на 1 м³ воды и более 5 суток циркулировать по контуру в течение 8 часов, после чего оставить раствор в бойлере, а при пуске в работу раствор подать в тепловые сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глазырин, А. И., Музыка, Л. П., Кабдуалиева, М. М. Водно-химические режимы тепловых электростанций и котельных промышленных предприятий: учебное пособие. – Алматы : РИК, 1994. – 83 с.

2 Глазырин, А.И., Глазырин, А.А. Орумбаев, Р.К. Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар : ЭКО, 2011. – 728 с.

3 Кострикин, Ю. М., Мещерский, Н. А., Коровина, О. В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник – М. : Энергоатомиздат. 1990. – 254 с.

4 Арсеньев, Г. В., Белоусов, В. П., Дранчеко, А. А. и др. Тепловое оборудование и тепловые сети. – М. : Энергоатомиздат. 1988. – 400 с.

*Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова;

**ТОО «Kazakhmys Energy», г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 07.03.14.

*А. А. Байдельдинова**, *А. А. Глазырин***

Жезказган ЖЭЦ-тың бойлер қондырғысыларының технологиялық нобайдың шаюсы және химиялық жаман-жұманының қорданың құрамының есебімен зерттемесі

*С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті;
**ТОО «Kazakhmys Energy», Павлодар қ.
Материал 07.03.14 редакцияға түсті.

*A. A. Baidel'dinova**, *A. A. Glazyrin***

Development of the technological scheme of washing and chemical cleaning of boilers of Zhezkazgan thermal power station taking into account the structure of chemical deposits

*S. Toraighyrov Pavlodar state university;
**LLP «Kazakhmys Energy», Pavlodar.
Material received on 07.03.14.

Бұл мақалада бойлер қондырғыларының технологиялық нобайдың шаюсы және химиялық жаман-жұманының зерттемесі қарастырылады.

The article describes the development of the technological scheme of washing and chemical cleaning of boilers.

УДК 621.182

А. А. Байдельдинова, А. И. Глазырин

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БОЙЛЕРНЫХ УСТАНОВОК РАСТВОРОМ РЕАГЕНТОВ ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ТЭЦ

Рассматриваются ингибиторы коррозии, их виды и область применения.

В настоящее время в нашей стране основная часть электрической энергии вырабатывается на тепловых электростанциях, работающих на органическом и ядерном топливах. Рабочим телом паротурбинных электростанций, как обычных, так и атомных, является вода и её пар. В процессе работы в воду

и пар постоянно поступают примеси с подпиточной водой и присосами, а также примеси, образующиеся в результате коррозии металла оборудования. Наличие примесей в рабочем теле приводит к образованию на поверхностях, соприкасающихся с водой и паром, твердых отложений, содержащих соли кальция, магния, натрия и свободную кремнекислоту. Присутствие в рабочем теле кислорода и свободной углекислоты вызывает коррозию металла и образование отложений, содержащих окислы железа и меди. Образование отложений в пароводяном тракте оказывает отрицательное влияние на работу, как основного, так и вспомогательного оборудования, поэтому предотвращение таких отложений является одной из основных задач водно-химического режима.

Одним из таких теплообменников является бойлер, предназначенный для подогрева сетевой воды, поступающей в систему теплоснабжения. Греющей средой является конденсирующийся пар, поступающий из теплофикационного отбора турбин при давлении 0,05-0,25 МПа. Подогрев сетевой воды осуществляется от 40-70 до 80-120°C.

Основной бойлер – бойлер, работающий при температуре в пределах 100°C. Пиковый бойлер - бойлер, устанавливаемый для дополнительного нагрева прямой сетевой воды от 100 до 150°C. Из-за различных температур и режима работы количество отложений у них разное.

Были проведены опытные промывки бойлеров растворами химических реагентов ТМС ДТ (ТУ 2383-002-56478541-01) с дополнительным ингибированием раствора тиомочевинной.

Тиомочевина — $CS(NH_2)_2$ — диамид тиоугольной кислоты, тиокарбамид, белые кристаллы горького вкуса, $t_{\text{пл}} = 180-182$ °С (при быстром нагревании; при медленном — разлагается); умеренно растворима в воде, метаноле, пиридине, хорошо — в 50 %-ном водном пиридине.

ТМС ДТ - прозрачная или слабоокрашенная жидкость с характерным запахом. В состав входят: комплекс кислот, эффективные ингибиторы коррозии, комплексоны, поверхностно-активные вещества.

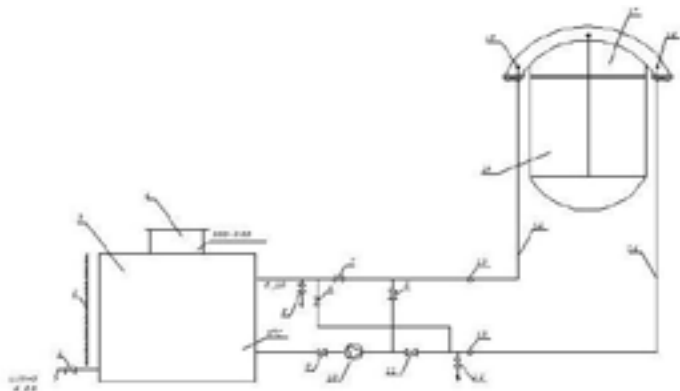
Реагент ТМС ДТ выпускается с ингибиторами коррозии, однако при использовании его для промывки медьсодержащих сплавов выполняется дополнительное ингибирование моющего раствора тиомочевинной.

На Жезказганской ТЭЦ: всего - 25 бойлеров, из них 9 основные, 12 - пиковые и 4 - для подогрева сырой воды и химическую очистку.

На Жезказганской ТЭЦ механическая очистка выполняется с полной разборкой бойлера, удалением накипи из труб, а также электрогидроимпульсным методом. Общая длительность удаления накипи этими способами составляет не менее 14 дней. Стоимость такой очистки колеблется в пределах 1-3 млн. тенге.

Нами разработана схема и технология химической очистки бойлера от отложений с использованием химических реагентов в течение 2-3 дней.

Нами разработана технология и схема химической очистки отложений с бойлерных установок Жезказганской ТЭЦ.



1, 6-9, 11, 12 - задвижки d_y 50; 2 - водомерное стекло; 3 - бак объемом $2 \div 2,5$ м³; 4 - люк для загрузки реагентов; 5 - вентиль d_y 10, P_y 10; 10 - насос типа "X", производительность 30 м³/ч, напор 30-40 м. в ст.; 13 - фланцевые соединения Ø50; 14 - кислотостойкие резиновые шланги d_y 50 на P до 10 м. в ст.; 15 - бойлер; 16 - штуцер с фланцами d_y 50; 17 - верхняя крышка бойлера

Рисунок 1 - Схема химической очистки бойлера

По этой схеме удаление отложений осуществляется за счёт рециркуляции моющего раствора. Моющий раствор готовить на конденсате с низким рН, чтобы максимально сохранить концентрацию кислоты. Для этого следует предусмотреть подвод конденсата трубопроводом. Промывка кислотой происходит не свыше 6 ч. с последующим вытеснением моющего кислого раствора в канал гидрозолоудаления с одновременной нейтрализацией раствора известью или другими реагентами.

Технология проведения промывки осуществляется методом циркуляции по контуру: промывочный бак одна половина трубок бойлера - вторая половина трубок бойлера - промывочный бак. Промывку провести в один заход раствором ТМС ДТ концентрации не более 4% с дополнительным ингибированием моющего раствора тиомочевинной. Для получения такого раствора в объёме 4 м³ потребуется 3,3 м³ воды и 0,72 т. концентрата ТМС ДТ (концентрация исходного раствора по HCl 22%). В моющий раствор добавляется тиомочевина 0,5% или 20-25 кг. технического продукта.

Концентрация моющего раствора уточняется при его приготовлении. Температуру моющего раствора поддерживать на уровне до 30-45°C.

Циркуляцию раствора вести в течении 2 часов в одном направлении, затем поменять на правление циркуляции на два часа.

Все анализы по качеству с различных бойлеров ЖТЭЦ практически мало отличаются. В составе отложений около 40% солей жёсткости, а также около 40% показателя «потери при прокаливании». При прокаливании сгорают органические вещества и частично разлагаются карбонатами.

В 2013 г. проведена опытная промывка основного бойлера №12 растворами химических реагентов ТМС ДТ (ТУ 2383-002-56478541-01) с дополнительным ингибированием раствора тиомочевинной.

По данным анализов химической лаборатории от 7.08.2012 г. поверхности бойлеров с водяной стороны занесены отложениями в количестве от 428,3 до 728,2 г/м². Имеются случаи, когда трубки бойлеров полностью забиты отложениями.

По окончании отмывки поверхности трубок имелись отмытые рыхлые отложения в виде шлама.

Химические анализы промывочного раствора перед его сбросом следующие: содержание железа - 12,1 г/дм³, меди - 0,9 г/дм³, солей жёсткости - 1,3 г/дм³, взвешенных веществ 0,8 г/дм³, перманганатная окисляемость не определили.

После подачи раствора с концентрацией 4% через 30 минут в первом отборе концентрация моющего раствора снизилась до 2,4%. Промывка продолжалась около 4 часов.

Анализ химической очистки основного бойлера №12 представлен на рисунках 2, 3 и 4.

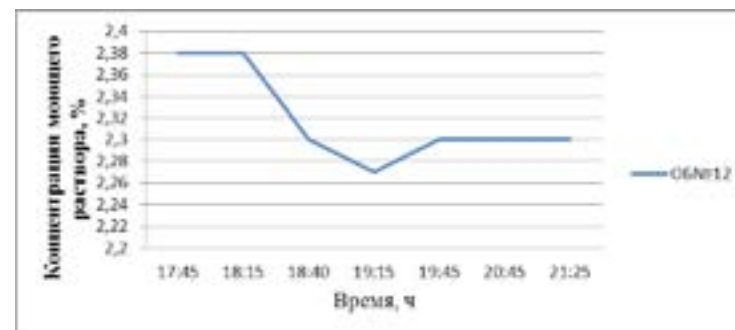


Рисунок 2 - Химическая очистка ОБ№12 (2013 г.)

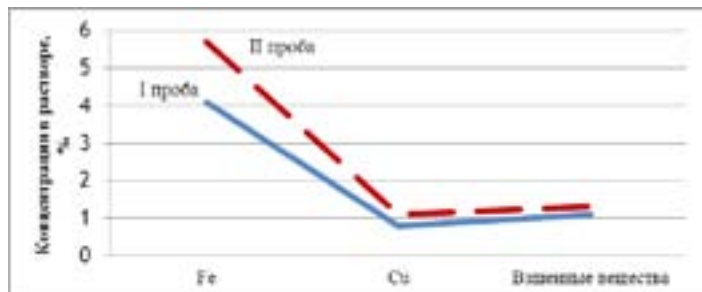


Рисунок 3 - Анализ кислотного раствора ОБ№12 (2013 г.)

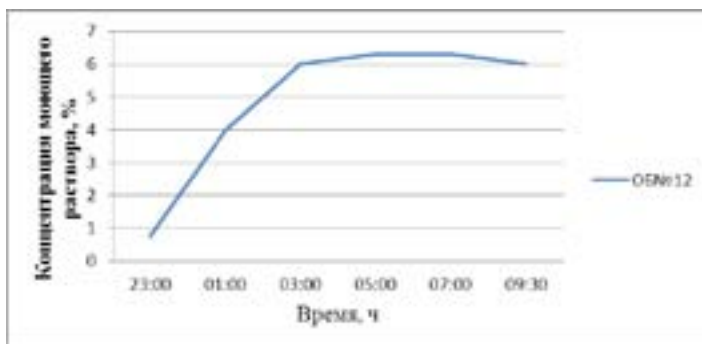


Рисунок 4 - Значение pH (ед) промывочной воды (2013 г.)

Количество отмытых отложений из бойлера ОБ№12 составляет: железа - 54,5 кг, меди - 4,05 кг, солей жёсткости - 5,85 кг, взвешенных веществ - 3,6 кг. При вскрытии верхней крышки обнаружили большое количество рыхлых отложений, на уровне 4-5 кг.

В 2013 г. проведена опытная промывка пикового бойлера №13 растворами химических реагентов ТМС ДТ (ТУ 2383-002-56478541-01) с дополнительным ингибированием раствора тиомочевинной. Часть трубок бойлеров были забиты полностью отложениями. Бойлер был вскрыт, забитые трубки не отмылись. Из 1920 трубок 100 были полностью забиты, поэтому не отмылись.

Водяной объём промываемого контура, по данным турбинного цеха - 4 м³. В промывочном баке также необходимо иметь около 0,5 м³ раствора. Таким образом, объём контура составляет 4,5 м³ раствора.

В связи с большим количеством отложений на промывку затрачено 1 т. реагента ТМС ДТ или общая расчётная концентрация кислоты 6%. В 1 бочке – 240 кг. реагента ТМС ДТ. Всего израсходовано $4 \cdot 240 = 960$ кг. ТМС ДТ.

Промывка продолжалась около 7 часов.

Анализ химической очистки пикового бойлера №13 представлен на рисунках 5, 6 и 7.

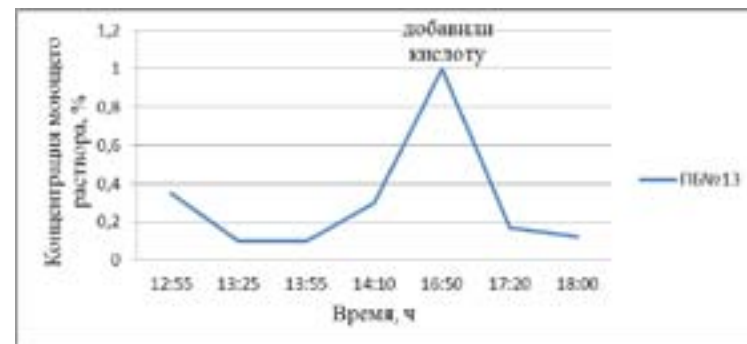


Рисунок 5 - Химическая очистка ПБ№13 (2013 г.)

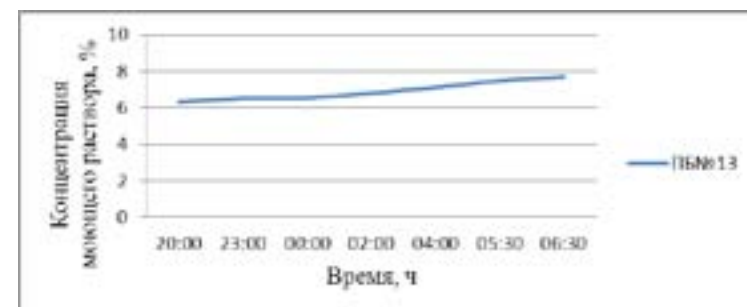


Рисунок 6 - Значение pH (ед) промывочной воды (2013 г.)

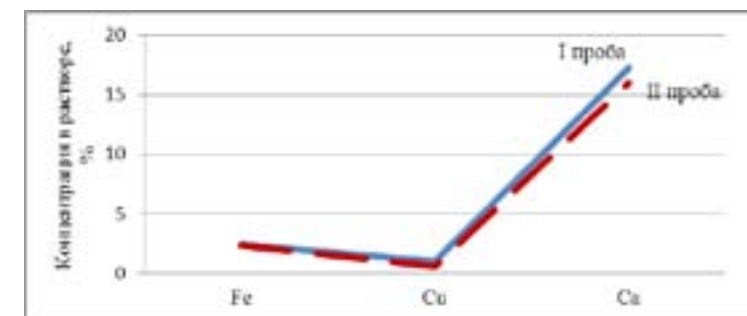


Рисунок 7 - Анализ кислотного раствора ПБ№13

Также проведена опытная промывка бойлера №14 растворами химических реагентов ТМС ДТ (ТУ 2383-002-56478541-01) с дополнительным ингибированием раствора тиомочевинной. Залили 3 бочки реагента ТМС ДТ (1 бочка=240 кг.), следовательно, всего израсходовано $3 \cdot 240 = 720$ кг. ТМС ДТ.

Данные по анализу химической очистки основного бойлера №14 представлены на рисунках 8 и 9.

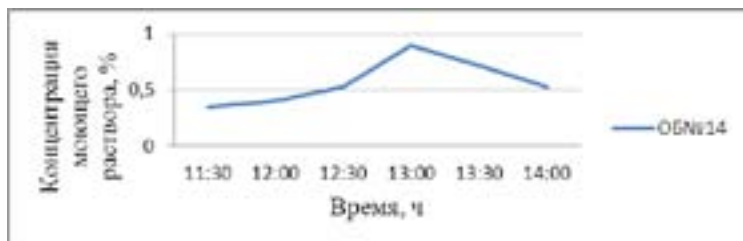


Рисунок 8 - Химическая очистка ОБ№14

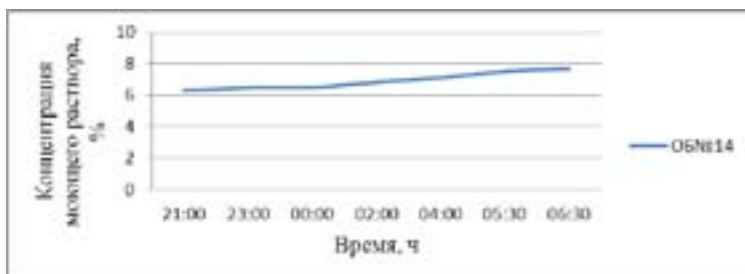


Рисунок 9 - Значение pH (ед) промывочной воды ОБ№14

Самый лучший способ удаления отложений – химическая очистка, так как она эффективнее, экономичнее и не занимает много времени (2-3 дня).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Иванов, Е. С.** Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах – М.: Металлургия, 1986. – 175 с.
- 2 **Антропов, Л. И., Макушин, Е. М., Панасенко, В. Ф.** Ингибиторы коррозии металлов – М: Металлургия, 1986. – 186 с.
- 3 **Глазырин, А. И., Глазырин, А. А.** Р.К. Орумбаев Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар, 2011. – 728 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 17.03.14.

А. А. Байдельдинова, А. И. Глазырин

Жезказганның ЖЭЦ-тың бойлер қондырғысыларының реагентінің ашпасымен химиялық жаман-жұманының нәтижелері

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.03.14 редакцияға түсті.

A. A. Baidel'dinova, A. I. Glazyrin

Results of chemical cleaning of boilers by solution of reagents of Zhezkazgan thermal power station

S.Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 17.03.14.

Бұл мақалада коррозияның ингибиторлары және олардың қолданыстары қарастырылады.

The article describes the inhibitors of corrosion, their types and range of application.

УДК 621.182

А. А. Байдельдинова, А. И. Глазырин

СУЩЕСТВУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СХЕМА УДАЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА БОЙЛЕРНЫХ УСТАНОВОК ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ТЭЦ

Рассматриваются существующая технология и схема удаления отложений с поверхности нагрева бойлерных установок.

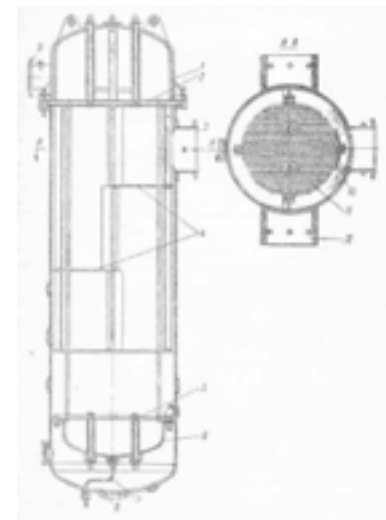
Бойлер – пароводяной теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды, поступающей в систему теплоснабжения.

Греющей средой является конденсирующийся пар, поступающий из теплофикационного отбора турбин при давлении 0,05-0,25 МПа. Подогрев сетевой воды осуществляется от 40-70 до 80-120°C.

Подвод греющего пара производится в верхнюю часть корпуса, отвод конденсата – в нижнюю. Направление движения пара в межтрубном пространстве обуславливается специальными перегородками (рассечками), которые предотвращают образование толстой пленки конденсата на трубках, снижающей коэффициент теплоотдачи от пара к металлу, и препятствуют истиранию трубок от вибрации. Нагреваемая сетевая вода подводится и отводится из верхней водяной камеры, разделенной перегородками, которые делят трубный пучок на несколько частей по числу ходов.

Трубный пучок состоит из прямых трубок, развальцованных в верхней и нижней трубных досках. Плоскости соприкосновения разделительных перегородок с трубными досками и верхней водяной камеры с корпусом подогревателя уплотняются асбестовыми или свинцовыми прокладками для предотвращения перетекания воды мимо трубок и утечек пара. Нижняя водяная камера крепится к нижней трубной доске и может перемещаться вдоль стенок корпуса подогревателя при температурных деформациях. На входе пара в подогреватель перед фронтом трубок устанавливается отбойный лист для гашения кинетической энергии струи, а в нижней части – специальные штуцера для отвода воздуха и спуска воды из парового и водяного пространства и присоединения регулятора уровня конденсата. Крепится подогреватель на опорах, приваренных к корпусу.

Основной бойлер – бойлер, работающий при температуре до 100°C. Пиковый бойлер – бойлер, устанавливаемый для дополнительного нагрева прямой сетевой воды от 100 до 150°C. Из-за различных температур и режима работы количество и химический состав отложений у них разные.



- 1 – верхняя водяная камера; 2 – верхняя трубная доска;
 3 – паровпускной патрубок; 4 – направляющие перегородки для пара; 5 – нижняя трубная доска; 6 – нижняя подвесная водяная камера;
 7 – спускная труба сетевой воды из водяной камеры; 8 – слив конденсата греющего пара; 9 – патрубок сетевой воды;
 10 – пароотражательный лист; 11 – трубка; 12 – опорные лапы.
 Рисунок 1 – Конструкция бойлера

Рабочим телом бойлера является вода и её пар. В процессе работы в воду и пар постоянно поступают примеси с подпиточной водой и присосами, а также примеси, образующиеся в результате коррозии металла оборудования. Наличие примесей в рабочем теле приводит к образованию на поверхностях, соприкасающихся с водой и паром, твердых отложений, содержащих соли кальция, магния, натрия и др.. Присутствие в рабочем теле кислорода и свободной углекислоты вызывает коррозию металла и образование отложений, содержащих окислы железа и меди.

Водно-химический режим оказывает значительное влияние, как на экономичность эксплуатации, так и на надежность работы бойлера. Нарушения водно-химического режима приводят к преждевременному останову оборудования или к ограничению его использования, то есть уменьшению числа часов использования установленной мощности.

Надежность работы теплопередающих поверхностей зависит не только от водного режима, но и от организации процесса теплообмена и непосредственно связанной с ним гидродинамики.

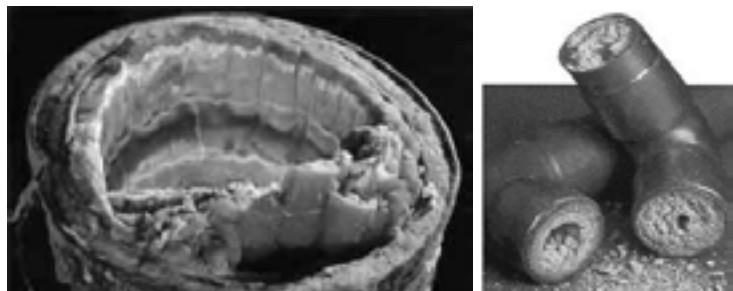


Рисунок 2 - Разрезы труб бойлера, заросшие накипью

Загрязнение, как внутренней так и наружной поверхностей нагрева способствует снижению эффективности процесса теплообмена. Процесс теплообмена в поверхностях нагрева представляет собой теплопередачу через многослойную стенку, состоящую из трех слоёв: металла трубы, слоя накипи (с внутренней стороны) и слоя накипи (с наружной стороны).

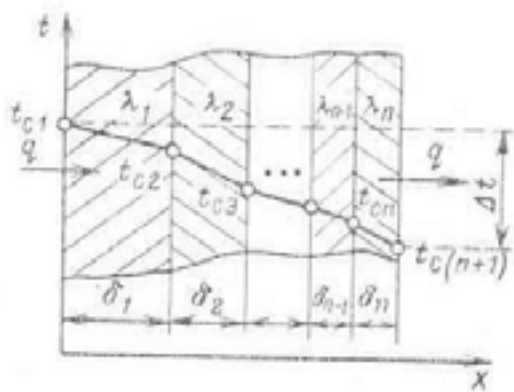


Рисунок 3 – Теплопроводность многослойной плоской стенки

Количественной характеристикой передачи теплоты является коэффициент теплопередачи (рисунок 3). Для многослойной стенки величину коэффициента теплопередачи k , Вт/(м²·К), можно вычислить по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1)$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от газов к стенке поверхности нагрева, Вт/(м²·К);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, Вт/(м²·К);

$\delta_c, \delta_{ct}, \delta_n$ - соответственно толщина сажевых отложений на наружной поверхности трубы, толщина стенки трубы и толщина накипи, м;

$\lambda_c, \lambda_{ct}, \lambda_n$ - соответствующие коэффициенты теплопроводности для сажи, материала стенки и накипи, Вт/(м·К).

Коэффициент α_2 характеризует отложения, которые необходимо отмыть. Передача теплоты от внешней поверхности нагрева к внутренней через слой накипи, металлическую стенку и загрязнений трубки снаружи осуществляется только путём теплопроводности. Различные вещества имеют разные коэффициенты теплопроводности в зависимости от внутренней структуры, плотности, давления и температуры, так коэффициент теплопроводности для металла находится в пределах от 20 до 50 Вт/(м·К). Коэффициент теплопроводности латуни составляет 60-86 Вт/(м·К), а коэффициент теплопроводности накипи находится в пределах от 0,11 до 1,7 Вт/(м·К).

На Жезказганской ТЭЦ: всего - 25 бойлеров, из них 9 основные, 12 - пиковые и 4 - для подогрева сырой воды и химическую очистку.

На Жезказганской ТЭЦ удаление отложений выполняется механическим способом, удалением накипи из труб, электрогидроимпульсным методом. Общая длительность удаления накипи этими способами составляет не менее 14 дней. Стоимость такой очистки колеблется в пределах 1-3 млн. тенге.

В составе отложений около 40% солей жёсткости, а также около 40% показателя «потери при прокаливании». При прокаливании сгорают органические вещества и частично разлагаются карбонатами.

Электрогидроимпульсный метод принадлежит к технологиям, использующим сильные импульсные токи. Ударная волна представляет собой в жидкости скачек плотности, который распространяется от канала разряда со скоростью, превышающей звуковую (в воде больше 1500 м/с). Давление на фронте ударной волны в жидкости может достигать десятков килобар. Воздействие этого давления на обрабатываемый объект может вызывать структурную перестройку материала объекта (дробление хрупких материалов, деформацию, упрочнение поверхности и т.д.). Потoki жидкости, распространяющиеся со скоростью 102÷103 м/с, передают кинетическую энергию обрабатываемому объекту, вызывая, как и ударная волна, его механические изменения.

Механические проявления импульсного разряда в жидкости принято называть электрогидравлическим эффектом, а установки с использованием этого эффекта - электрогидравлическими. В качестве рабочей среды в таких установках используется, как правило, техническая вода, керосин, масла; в бойлерах используется вода.

Принцип действия электрогидроимпульсного метода очистки внутренних поверхностей труб заключается в том, что в заполненную водой трубу помещается коаксиальный кабель, подключенный к источнику высоковольтных электрических импульсов. Источник импульсов формирует на срезе кабеля высоковольтные электрические разряды, повторяющиеся с частотой 1–10 Гц, которые создают ударные волны и гидродинамические потоки и приводят к разрушению отложений на внутренней поверхности трубы. Таким образом, при перемещении кабеля по всей длине трубы происходит ее полная очистка, а разрушенные отложения вымываются наружу проточной водой.

Если технология нарушается, увеличивается напряжение и образуется электрокоррозия в виде точек, которые развиваются в процессе эксплуатации.

Методика промывки и технология могут отличаться на разных ТЭЦ в зависимости от химического состава отложений.

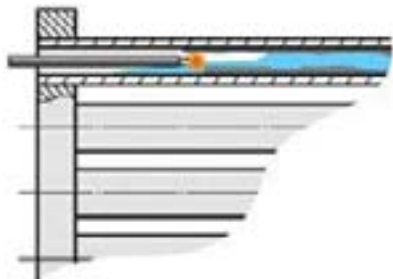


Рисунок 4 - Принцип действия установок

Электрогидроимпульсные установки ЗЕВС предназначены для очистки от накипи и отложений широкого спектра оборудования

Преимущества очистки установками ЗЕВС от механической очистки:

– удаляются практически любые виды накипи и отложений. Очистка производится полностью, «до металла», что значительно замедляет новое образование накипи;

– возможна очистка труб сложной конфигурации, в т. ч. спиралевидных;

– очистка производится на месте, без демонтажа оборудования;

– не повреждается очищаемое оборудование и не уменьшается ресурс его службы;

– простота в эксплуатации и обслуживании;

– экологическая чистота.



Рисунок 5 - Скоростная установка ЗЕВС-36

Скоростная установка ЗЕВС-36 предназначена для очистки теплообменных аппаратов различного назначения, трубопроводов.

Новая схема на основе электромеханических короткозамыкателей значительно повышает надежность установки. Благодаря высокой частоте следования импульсов увеличивается скорость очистки и расширяется диапазон регулирования.

Электрогидроимпульсный метод характеризуется простотой обслуживания, надежностью, но экономически не выгодно, так как очень большие затраты, длительность удаления накипи занимает не менее 14 дней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глазырин, А. И., Музыка, Л. П., Кабдуалиева, М. М. Водно-химические режимы тепловых электростанций и котельных промышленных предприятий: учебное пособие. – Алматы : РИК, 1994. – 83с.

2 Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К. Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. - Павлодар: ЭКО, 2011. – 728 с.

3 Кострикин, Ю. М., Мещерский, Н. А., Коровина, О. В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.

4 Арсеньев, Г. В., Белоусов, В. П., Дранченко А. А. и др. Тепловое оборудование и тепловые сети. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 27.03.14.

А. А. Байдельдинова, А. И. Глазырин

Жезқазғанның ЖЭЦ-тың бойлер қондырғысыларының қызбасының бетінен қорданын аулақтауының бар технологиялық нобайы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 27.03.14 редакцияға түсті.

A.A. Baidel'dinova, A.I. Glazyrin

Existing technology and scheme of removing deposits from the heating surface boilers of the Zhezkazgan thermal power station

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 27.03.14.

Бұл мақалада бойлер қондырғысының қызбасының бетінен қорданын аулақтауының бар технологиялық нобайы қарастырылады.

The article reviews the existing technology and scheme of removing deposits from the heating surface boilers.

УДК 681.5

В. А. Бороденко

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ В MATLAB

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при вычислении фундаментальной матрицы многомерных систем управления в MATLAB.

При работе с системами автоматического управления необходимо вычислять их системную (резольвенту) $\Phi(s)$ и фундаментальную переходную $\Phi(t)$ матрицы. Пусть матрица A описанного в пространстве состояний объекта равна

```
>> a=[-6.667 -0.5835 -0.6665;2 0 0;0 1 0]
a =
-6.6670    -0.5835    -0.6665
 2.0000         0         0
 0         1.0000         0
```

Воспользовавшись функциями символьной математики, получим в MATLAB [1] характеристическую $(s^*I - A)$ и системную $\Phi(s) = (s^*I - A)^{-1}$ матрицы

```
>> syms s t
>> sa=s*eye(3)-a
sa =
[ s + 6667/1000, 1167/2000, 1333/2000]
[          -2,         s,         0]
[          0,         -1,         s]
>> fs=inv(sa)
fs =
[ (1000*s^2)/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333),
[ (2000*s)/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333),
[ 2000/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333),
-(1167*s + 1333)/(2*(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333)),
{s*(1000*s + 6667)}/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333),
(1000*s + 6667)/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333),
-(1333*s)/(2*(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333))]
-1333/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333)]
(1000*s^2 + 6667*s + 1167)/(1000*s^3 + 6667*s^2 + 1167*s + 1333)]
```

Вычислим фундаментальную матрицу $\Phi(t)$, используя обратное преобразование Лапласа. Покажем здесь только начало матрицы – элемент $\Phi_{11}(t)$.

```
>> ft=ilaplace(fs)
ft =
[ 1000*sum((r5^2*exp(r5*t))/(3000*r5^2 + 13334*r5 + 1167), r5 in
RootOf(s^3 + (6667*s^2)/1000 + (1167*s)/1000 + 1333/1000, s)),
...
```

Во-первых, полный результат совершенно не помещается в пределах печатной страницы, во-вторых, непонятны обозначения sum, r5, s5 и RootOf. Попытаемся перевести символьный формат в числовой (приводим лишь первый столбец матрицы).

```
>> vpa(ft,3)
ans =
[ exp(t*(- 0.0738 + 0.446*i))*(- 0.00908 + 0.0343*i) + exp(t*(-
0.0738 - 0.446*i))*(- 0.00908 - 0.0343*i) + 1.02/exp(6.52*t),
[ exp(t*(- 0.0738 + 0.446*i))*(0.156 + 0.0149*i) + exp(t*(-
0.0738 - 0.446*i))*(0.156 - 0.0149*i) - 0.312/exp(6.52*t),
[ exp(t*(- 0.0738 + 0.446*i))*(- 0.024 - 0.346*i) + exp(t*(-
0.0738 - 0.446*i))*(- 0.024 + 0.346*i) + 0.0479/exp(6.52*t),
...

```

Выражение становится более понятным, хотя по-прежнему занимает достаточно большое пространство. В документ Word матрицу придётся переносить по столбцам. Кроме того, для расчета при построении временной характеристики придётся в последнем слагаемом транспонировать массив t (поставить у него апостроф), чтобы согласовать вертикальный и горизонтальный массивы, составляющие выражение.

Покажем другую возможность – представление системной матрицы $\Phi(s)$ совокупностью передаточных функций. Для этого определим переменную s как элементарную передаточную функцию и введём присоединенную матрицу **adj** и характеристический полином den, взяв их значения из предыдущих расчетов

```
>> s=tf('s');
>> adj=[s^2 -0.5835*s-0.6665 -0.6666*s; 2*s s^2+6.667*s -1.333; 2*s+6.667
s^2+6.667*s+1.067];
>> den=s^3+6.667*s^2+1.067*s+1.333;
>> fs=adj/den

```

Transfer function from input 1 to output...

$$\#1: \frac{s^2}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

$$\#2: \frac{2 s}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

$$\#3: \frac{2}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

Transfer function from input 2 to output...

$$\#1: \frac{-0.5835 s - 0.6665}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

$$\#2: \frac{s^2 + 6.667 s}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

$$\#3: \frac{s + 6.667}{s^3 + 6.667 s^2 + 1.067 s + 1.333}$$

Приведем результат к приемлемому виду, разделив и числитель, и знаменатель на один и тот же коэффициент

```
>> [ad,de]=rmden(fs)
ad =
[ 2.81e14,      0,      0]
[      0, 7.21e16,      0]
[      0,      0, 7.21e16]
de =
[ 2.82e14*s + 1.83e15,      1,      1]
[ 1,      7.21e16*s + 5.32e15 - 3.22e16*i,      1]
[ 1,      1, 7.21e16*s + 5.32e15 + 3.22e16*i]
>> ad=ad/7.21e16;
>> de=de/7.21e16;
>> fs=ad./de;
>> ft=vpa(ilaplace(fs),3)
ft =
[ 1.0/exp(6.52*t),      0,      0]
[      0, 1.0*exp(t*(- 0.0738 + 0.446*i)),      0]
[      0,      0, 1.0*exp(t*(- 0.0738 - 0.446*i))]
```

Фундаментальную матрицу можно получить как матричную экспоненту, что даёт неудобоваримый результат для обычной матрицы A и вполне приемлемый для модальной матрицы AA

```
>> vpa(expm(aa*t),3)
ans =
[ 1/exp(6.52e0*t),      0,      0]
[      0, exp(t*(- 7.38e-2 + 4.46e-1*i)),      0]
[      0,      0, exp(t*(- 7.38e-2 - 4.46e-1*i))]
```

Наконец, фундаментальную матрицу можно получить как разложение в ряд

```
>> ff=eye(3)+a*t+a^2*t^2/2+a^3*t^3/6;
>> vpa(ff,4)
ans =
[ - 4.702e1*t^3 + 2.164e1*t^2 - 6.667e0*t + 1.000e0,
[      1.443e1*t^3 - 6.667e0*t^2 + 2.000e0*t,
[      - 2.222e0*t^3 + t^2,

- 3.469e0*t^3 + 1.612e0*t^2 - 5.835e-1*t,
      1.075e0*t^3 - 5.035e-1*t^2 + 1.000e0,
      - 1.945e-1*t^3 + t,

- 4.000e0*t^3 + 2.222e0*t^2 - 6.665e-1*t]
      1.401e0*t^3 - 6.665e-1*t^2]
      1.000e0 - 2.222e-1*t^3]
```

Однако это представление фундаментальной матрицы использовать не рекомендуется ввиду низкой точности расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бороденко, В. А.** Исследование систем управления в среде MATLAB. – Павлодар : Кереку, 2011. – 318 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 07.04.14.

В. А. Бороденко

MATLAB-тағы іргелі қалыптамасын есептеп шығару

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 07.04.14 редакцияға түсті.

V. Borodenko

Calculation of the fundamental matrix in MATLAB

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 07.04.14.

Мақалада MATLAB-тағы іргелі қалыптаманың көп өлшемді басқару жүйесін іргелі қалыптамасын есептеп шығару кезінде шығатын мәселелер қарастырылады.

In article the problems arising at calculation of a fundamental matrix of MIMO control systems in MATLAB are considered.

УДК 681.51

В. А. Бороденко

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ С ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМ И ЗАПАЗДЫВАЮЩИМ ЗВЕНЬЯМИ В SIMULINK MATLAB

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при моделировании систем управления с дифференцирующим или запаздывающим звеньями в Simulink MATLAB.

Весомым подспорьем при изучении теории автоматического управления служит программа MATLAB [1] фирмы MathWorks, Inc. В числе прочих опций она позволяет создать в среде Simulink из типовых элементов S-модель (структурную схему), а затем линеаризовать её для получения временных и частотных характеристик, оценки показателей качества и запасов устойчивости системы. В работе рассматриваются проблемы моделирования систем с дифференцирующим и запаздывающим звеньями на примере версии MATLAB 8.1.

При моделировании в Simulink система с ПИД-регулятором (рисунок 1) по осциллографу Scope (рисунок 2) имеет перерегулирование 17,1 % и время регулирования примерно 3,28 с.

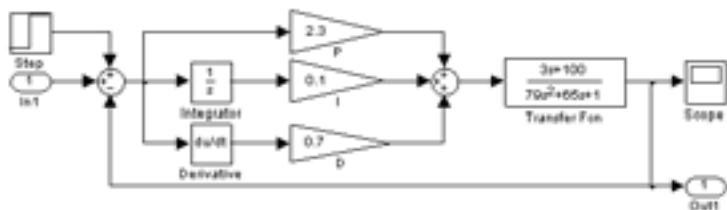


Рисунок 1

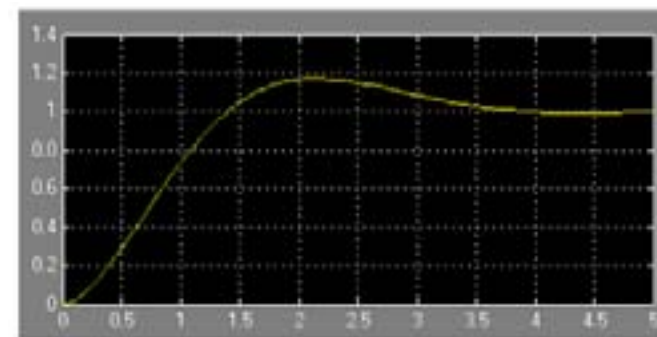


Рисунок 2

В окне Scope отсутствует автоматический расчет показателей качества (перерегулирование, время регулирования) и копирование графика в буфер, не вычисляется передаточная функция (ПФ). Эти возможности появляются после линеаризации модели

```
>> [num,den]=linmod('untitled'); w=tf(num,den)
```

Transfer function:

$$0.08885 s^2 + 2.967 s + 0.1742$$

$$s^3 + 0.9095 s^2 + 2.98 s + 0.1742$$

```
>> step(w)
```

однако полученные таким образом показатели качества значительно отличаются от полученных в Scope, например, перерегулирование составляет уже 44,6 % (рисунок 3), время регулирования равно 6,36 с и процесс имеет существенно колебательный характер.

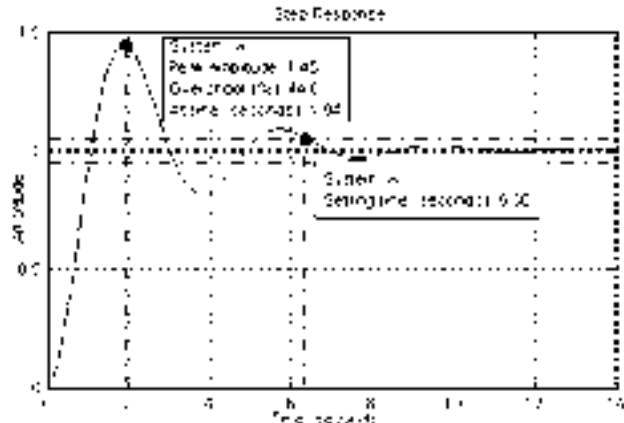


Рисунок 3

Исследования показали, что линеаризация данной модели даёт одну и ту же передаточную функцию системы как при наличии D -цепи в регуляторе, так и при её отсутствии. Иначе говоря, несмотря на отсутствие каких бы то ни было диагностирующих сообщений по этому поводу при линеаризации модели блок du/dt (*Derivative*) программой *MATLAB* не учитывается.

Проще сформировать ту же структурную схему прямо в рабочем окне

```
>> w2=tf(0.1,[1 0]); w3=tf([0.7 0],1); w4=tf([3 100],[79 65 1]);
>> ww=feedback((2.3+w2+w3)*w4,1)
```

Transfer function:

$$2.1 s^3 + 76.9 s^2 + 230.3 s + 10$$

$$81.1 s^3 + 141.9 s^2 + 231.3 s + 10$$

```
>> step(ww)
```

тогда получим ПФ и график командой *step*, причем перерегулирование по переходной характеристике отличается лишь на два процента (19,2 %) от кривой, полученной на осциллографе *Scope*, что лежит в пределах допустимой погрешности двух разных методов представления дифференцирующего звена.

Заметим, что довольно часто в учебниках и учебных пособиях по исследованию систем регулирования в *MATLAB* рекомендуется строить ПД и ПИД регуляторы именно с блоком *Derivative*, что, как подтверждает приведенный пример, при попытке линеаризировать подобную схему приводит к ошибочному результату (но без сообщения об ошибке!).

В версии *MATLAB* 8.1 (R2013a) для линеаризации можно использовать усовершенствованный блок *Switched derivative for linearization* из библиотеки *Simulink Extras-Linearization* с установленным в 1 флажком *Switch value* (1 for linearization, 0 for simulation), тогда результатом линеаризации являются передаточная функция

Transfer function:

$$2.746 s^3 + 100.3 s^2 + 291.6 s + 12.66$$

$$s^4 + 103.6 s^3 + 182.5 s^2 + 292.9 s + 12.66$$

и переходная характеристика (рисунок 4), близкая к предыдущей.

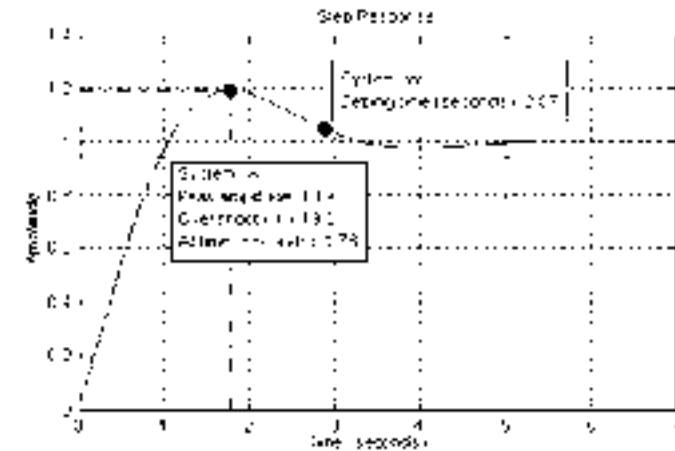


Рисунок 4

Нередко стандартной ошибкой сопровождается и линеаризация S -модели при использовании в структурной схеме звена чистого запаздывания *Transport Delay*, когда задаётся время запаздывания *Time Delay*, но не задаётся порядок аппроксимации звена рядом Паде *Pade order* (по умолчанию равный нулю). Вызывается эта ошибка, как правило, тем, что при моделировании непосредственно в среде *Simulink* задержка правильно воспроизводится на экране *Scope* при любом порядке аппроксимации, в том числе и при нулевом. Например, для схемы (рисунок 5) при величине задержки 1 с процесс отображается нормально (рисунок 6) как при *Pade order* 0, так и при *Pade order* 2.

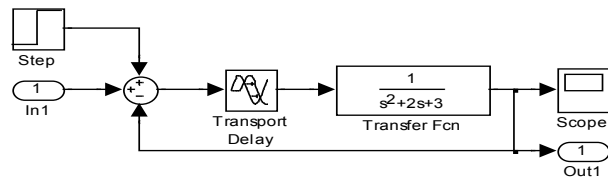


Рисунок 5

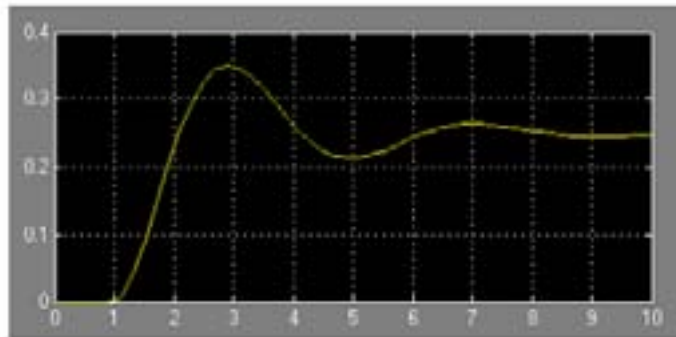


Рисунок 6

Однако линеаризация модели без указания *Pade order* приводит к тому, что программой звено чистого запаздывания из системы вообще исключается:

```
>> [num,den]=linmod('untitled'); w=tf(num,den)
```

```
Transfer function:          % Pade order = 0
```

```
      1
-----
s^2 + 2 s + 4
```

```
Transfer function:          % Pade order = 1
```

```
      -s + 2
-----
s^3 + 4 s^2 + 6 s + 8
```

С другой стороны, при указании порядка аппроксимации переходная характеристика линеаризованной модели отличается от аналогичной кривой на экране осциллографа – она имеет провал в начальной части (*Undershoot*), форма которого зависит от заданного порядка аппроксимации. В данном случае (рисунок 7) провал соответствует *Pade order* 1 и составляет 15,5 % от установившегося значения.

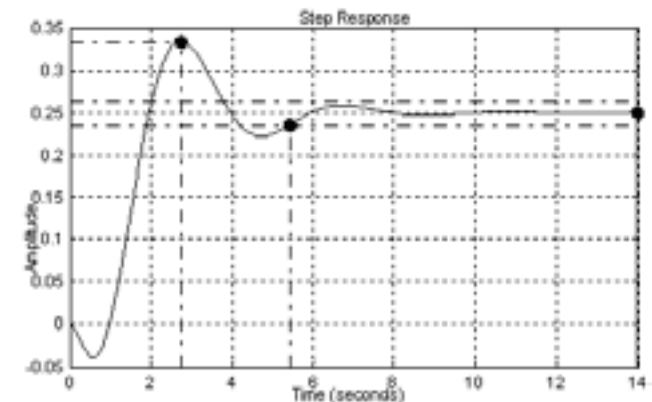


Рисунок 7

Как следствие, в определенной степени изменяются и показатели качества – например, перерегулирование при отсутствии провала равно 33,5 %, при его наличии 40,1 %, время регулирования 7,36 с и 5,43 с соответственно. В диаграмме Найквиста системы с аппроксимацией теряется характерное закручивание кривой по спирали относительно начала координат. Следовательно, при анализе переходной и частотной характеристик линеаризованной модели следует учитывать искажающее влияние *Pade order* на их вид.

Использование специального блока *Switched Transport Delay* из библиотеки *Library Simulink Extras/Linearization* не дает сколько-нибудь заметных преимуществ. В этом блоке, наоборот, по умолчанию стоит *Pade order 2*, и есть специальная опция *Direct Feedthrough of input during linearization*, принудительно устанавливающая порядок аппроксимации в ноль при линеаризации, хотя это можно сделать и самостоятельно вручную. На наш взгляд, смысла в этой опции и этом блоке нет, так как именно при линеаризации и нужна аппроксимация задержки рядом Паде, т. е. выключать аппроксимацию не следует. Кроме того, при различных экспериментах не выявлено какого-либо влияния этой опции на реакцию системы.

Если получение передаточной функции не требуется, для анализа целесообразно применить специальные графопостроители *Linear Analysis*

Plots из библиотеки *Simulink Control Design* (рисунок 8) – *Linear Step Response Plot* для оценки прямых показателей качества по переходной характеристике, *Gain and Phase Margin Plot* для оценки запасов устойчивости. Последний позволяет использовать любой из частотных критериев устойчивости – Найквиста, Боде, Николса. При этом какой либо источник сигнала на входе системы не требуется.

Для правильной работы графопостроителей нужно в окне их параметров указать на схеме точку входа для воздействия и точку выхода для прибора, а для анализа устойчивости ещё и разомкнуть (виртуально) систему на выходе для прибора. Кроме того, в опции *Algorithm Options* каждого графопостроителя нужно установить флажок *Use exact delays*, что обеспечит точную передачу задержки на графике, и флажок *Show Plot* (показать график).

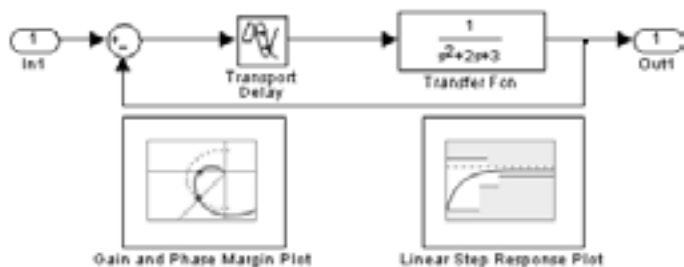


Рисунок 8

Теперь прямо в структурной схеме получаем переходную характеристику с показателями качества (рисунок 9) и частотную характеристику с запасами устойчивости (рисунок 10).

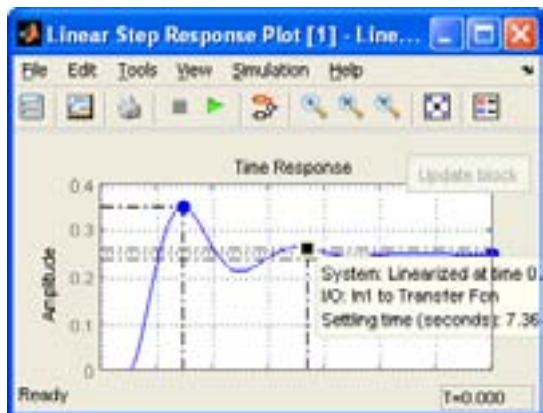


Рисунок 9



Рисунок 10

Графики копируются – сначала в фигуру командой *Edit-Print to figure*, затем в буфер командой *Edit-Copy figure*. Обратите внимание – в окнах *Figure* не получится вызвать маркеры, если они не были вызваны в окнах графопостроителей. Кроме того, в диаграмме Найквиста не убирается кривая для отрицательных частот, что затрудняет анализ при сложном характере АФЧХ.

Кстати, заметим, что стоящая по умолчанию в блоке источника скачкообразного воздействия *Step* задержка *Step Time* со значением 1 с также нередко приводит к ошибкам при моделировании систем управления студентами, если её забывают сбросить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бороденко, В. А.** Исследование систем управления в среде MATLAB. – Павлодар : Кереку, 2011. – 318 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 07.03.14.

В. А. Бороденко
**SIMULINK MATLAB-тағы сарала және кешікпелі буындармен
жүйелерінің үлгілеу ерекшеліктері**

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 07.03.14 редакцияға түсті.

V. Borodenko

Features of modelling of systems with differential and transport delayed blocks in MATLAB Simulink

S.Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.

Material received on 07.03.14.

Мақалада Simulink MATLAB -тагы сарала немесе кешікпелі буындармен басқарлама жүйесінің үлгілеуінде шығатын мәселелер қарастырылады.

In article the problems arising at modelling of control systems with differentiating or delayed links in Simulink MATLAB are considered

УДК 681.5

В. А. Бороденко

ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ЛАЧХ В MATLAB

В статье описаны m-файлы для программы MATLAB, позволяющие строить асимптотическую ЛАЧХ с отметками частот сопряжения.

При изучении курса теории автоматического управления довольно сложно овладеть умением строить логарифмическую амплитудную частотную характеристику (ЛАЧХ). Обычно учатся строить вручную так называемую асимптотическую ЛАЧХ из отрезков, проведенных со стандартным наклоном, кратным ± 20 дБ/дек. Перелом характеристики происходит на частотах сопряжения (натуральных частотах Natural Frequency), соответствующих корням полиномов числителя и знаменателя (нулям и полюсам) передаточной функции (ПФ) системы.

В широко используемом для исследования систем управления программном продукте MATLAB® средства для построения асимптотической ЛАЧХ отсутствуют [1]. Имеются предложения по реализации подобных функций в виде m-файлов, например, функция freqasump [2]. После знакомства с этой функцией представляется, что для подобной учебной программы желателен больший объем вспомогательных сведений: целесообразно сравнивать обычную и асимптотическую ЛАЧХ, представлять, нулём или полюсом обусловлена частота сопряжения, выбирать величину и

направление отклонения очередной асимптоты. Должно быть предусмотрено исследование и SS объектов, а не только TF или ZPK.

Нами предложена функция bd(sys, arg), которая строит ЛАЧХ и логарифмическую фазовую частотную характеристику (ЛФЧХ) в виде, близком к стандартной диаграмме Боде, формируемой MATLAB. На график обычной ЛАЧХ функция наносит вертикальные линии, обозначающие положение частот сопряжения, и совмещает её с асимптотической ЛАЧХ. Аргумент arg, если указан, разрешает нанесение на график логарифмической масштабной сетки, он может быть любого типа числом или строковой постоянной. Система sys может быть lti-объектом типа TF, ZPK или SS.

Дополнительно функция выводит в виде таблицы значения частот начала и конца исследуемого диапазона, который выбирается автоматически, и между ними значения частот сопряжения. Для каждой частоты сопряжения указывается отклонение от предшествующего направления, с плюсом для частот числителя, с минусом – для частот знаменателя ПФ. У начальной частоты отклонение определяется коэффициентом астатизма, т. е. разностью числа нулевых корней числителя и знаменателя. Объем программы приблизительно вчетверо меньше упомянутой функции [2] совместно с запускающим её скриптом.

```
function bd(sys, ~)
% Асимптотическая ЛАЧХ и ЛФЧХ системы sys с частотами сопряжения
% вызов bd(sys) или bd(sys,1); второй аргумент - масштабная сетка
% выводятся опорные частоты и отклонения асимптот (вверх +1, вниз -1)
%
zss=damp(1/sys); % частоты числителя ПФ
if ~isempty(zss) % если частоты есть
    iz=find(zss,1,'first'); % то ищем ненулевые
    if isempty(iz) % были только нулевые
        iz=length(zss)+1; nz=0;
    else
        zps=zss(iz:end); % оставшем ненулевые
        nz=size(zps,1); zps(1,2)=-1; % ставим отклонение вверх
    end
else
    iz=1; nz=0; % не было частот вообще
end
pss=damp(sys); % частоты знаменателя ПФ
if ~isempty(pss) % если частоты есть
    ip=find(pss,1,'first'); % то ищем ненулевые
    if isempty(ip) % были только нулевые
        ip=length(pss)+1; pps=[];
```



```

else
    pr=pr+(ip:end); % оставляем ненулевые
    pr(:,2)=-1; % ставим отклонение вниз
end
else
    ip=1; pr=[]; % не было частот вообще
end
[mag, phase, w]=bode(sys); % амплитуда, фаза, частота
a=20*log10(mag(:)); % амплитуда в децибелах
pr(1,1)=w(1); pr(1,2)=iz-ip; % начало графика, эстетика
zr=(nz+1,1)=w(end); zr(nz+1,2)=0; % конец графика
pr=[pr; sortrows([pr; zr])]; % итоговая сортировка
disp ' w, рад/с отклонение*20 дБ/дек' % заголовок таблицы
disp(pr) % таблица отрывка частот
wn=pr(2:end-1,1); n=length(wn); % массив частот сопряжения
clf; subplot(2,1,1) % первое окно -----
semilogx(w,a); ax=axis; % обычная ЛАЧХ
title('Bode Diagam'),ylabel('20lg(A), dB') % заголовок и подпись оси
if nargin>1, grid, end % сетка, если нужно
line(ones(2,n)*diag(wn),diag([ax(3) ax(4)])*ones(2,n),'color',[1 0 0])
aa=a(1); k=0; % начало НЧ-асимптоты
for ii=1:length(pr)-1 % асимптотическая ЛАЧХ
    d=log10(pr(ii+1,1))-log10(pr(ii,1)); % разность частот
    k=k+pr(ii,2); da=du*20*k; % текущее отклонение
    line([pr(ii) pr(ii+1)], [aa aa+da], 'color',[0 0 1], 'linewidth',1.5)
    aa=aa+da; % следующая точка
end
p=phase(:); % фаза в градусах -----
subplot(2,1,2) % второе окно
semilogx(w,p); ax=axis; % строим ЛФЧХ
xlabel('Frequency, rad/s'), ylabel('Phase, deg') % подписи осей
if nargin>1, grid, end % сетка, если нужно
line(ones(2,n)*diag(wn),diag([ax(3) ax(4)])*ones(2,n),'color',[1 0 0])
end

```

Для сравнения в качестве примера исследуем объект sys типа TF [2].

```

>> sys=tf([52.8 264 330],[1 10.1 1 329]);
>> hd(sys, 'grid')
w, рад/с    отклонение*20 дБ/дек
0.1000      0
2.5000      1.0000
2.5000      1.0000
5.1885      -1.0000
5.1885      -1.0000
12.2210     -1.0000
100.0000    0

```

На графике (рисунок 1) показаны обычные ЛАЧХ и ЛФЧХ (тонкая синяя линия), асимптотическая ЛАЧХ (толстая синяя линия) и положение частот сопряжения (сплошные тонкие красные вертикальные линии). Одновременное присутствие на графике обычной и асимптотической ЛАЧХ хорошо иллюстрирует их возможное (как в данном случае) расхождение. Вывод отклонений в таблице позволяет понять направление перелома асимптотической ЛАЧХ (вверх $1*20$ дБ/дек для нулей, вниз $-1*20$ дБ/дек для полюсов).

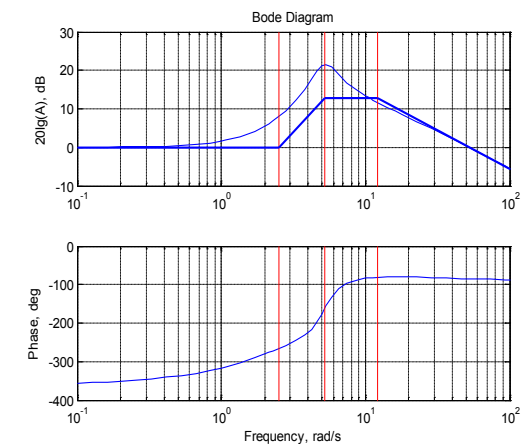


Рисунок 1

В качестве неудобства следует отметить десятичную шкалу измерения фазы (0-100-200...), тогда как удобнее была бы шкала, ориентированная на градусы (0-90-180...).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бороденко, В. А.** Исследование систем управления в среде MATLAB. – Павлодар : Керек, 2011. – 318 с.

2 **Гайдук, А. Р.** Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. – СПб. : Лань, 2011. – 464 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 17.03.14.

V.A. Borodenko

MATLAB-тағы асимптотикалық ЛАЖМ-нің құрылымы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.03.14 редакцияға түсті.

V. Borodenko

Construction of DLFR asymptote in MATLAB

S.Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 17.03.14.

Мақалада түйін жиілік белгісімен асимптотикалық ЛАЖМ-сін құруға мүмкіндік беретін MATLAB бағдарламасына m-файлдары сипатталған.

In article m-files for program MATLAB are described, allowing to build of DLFR asymptote with marks of natural frequencies.

УДК 519.6, 519-7

А. И. Глазырин*, Н. С. Глазырина**

**ОЧИСТКА ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОНИТОВ:
РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ
РАЗНОСТЕЙ**

В настоящей статье рассматривается решение начально-краевой задачи для уравнения переноса методом конечных разностей. Приведены результаты использования явной конечно-разностной схемы и схемы бегающего счета.

В задачах подготовки воды для технологических циклов предприятий в качестве одного из наиболее эффективных методов применяется очистка с использованием ионитов в ионитных фильтрах. В этом методе очистки ионы воды, от которых следует ее очистить обмениваются с замещающими их ионами в ионите. Технологический процесс работы ионитного фильтра состоит из этапа фильтрации и регенерации. Процесс регенерации проходит в три этапа, на одном из них через фильтр пропускается регенерирующий раствор соли, кислота или щелочи, из которого восстанавливаются утраченные в ходе фильтрации ионы ионита, т.е. происходит восстановление функциональных групп ионита. Рассмотрим математическую модель ионного обмена, следуя [1]. Будем рассматривать процесс регенерации. При этом задача расчета концентраций обменивающихся ионов сводится к начально–краевой задаче для уравнения переноса в области переменных $Q_T = \{x, t | 0 < x < L, 0 < t < T\}$

$$\begin{cases} \varepsilon C_t + w_a C_x = -q_t & x \in (0, L) \quad t \in (0, T) \\ q_t = \alpha(C - C^*) \\ C^* = f(q) \\ q(x, 0) = 0, \\ C(0, t) = \tilde{n}_0(t) \end{cases} \quad (1)$$

где C – концентрация иона в растворе,
 q – концентрация того же иона в ионите,
 ε – пористость слоя ионита в фильтре,
 w_a – скорость течения жидкости в свободном поровом пространстве фильтра.

В модели (1) рассматривается случай обмена двух ионов, но задача формулируется только для обмена одного вида иона. Второе уравнение выражает факт, что скорость перехода ионов из ионита в раствор тем больше, чем дальше текущая концентрация ионов в растворе от равновесного значения $C^* = f(q)$. Равновесное значение может быть получено из уравнения Никольского [1], описывающего связь концентраций ионов в условиях термодинамического равновесия. В случае обмена двух одновалентных ионов, например, водорода H^+ и натрия Na^+ уравнение равновесия имеет вид [1]:

$$\theta = \frac{k\varphi}{1 + (k-1)\varphi},$$

где k – постоянная, т.н. концентрационная константа,

$\theta = q/q_0$, $\varphi = C/C_0$ – относительные концентрации обменивающихся ионов в ионите и растворе соответственно,

q_0 , C_0 – полные концентрации ионов в ионите и растворе.

Например, для поглощения ионов натрия из раствора сильно кислотным катионитом КУ-2 константа $k=1,2$. В этом случае C_0 – суммарная концентрация ионом натрия и водорода в растворе, а q_0 – суммарная концентрация этих же ионов в ионите.

Математическая модель работы ионитного фильтра в безразмерных переменных

Модель (1) принято записывать в безразмерных переменных, принимаем:

$$\theta = q/q_0, \quad \varphi = C/C_0, \quad h = C_0/q_0;$$

$$T = \omega h \left(t - \frac{xv}{w_a} \right);$$

$$X = \frac{\omega h}{w_a} x.$$

Т.к. величины q и C являются функциями двух переменных, а $X \neq f(t)$, получаем

$$\frac{dC}{dx} = \frac{dC}{dX} \frac{dX}{dx} + \frac{dC}{dT} \frac{dT}{dx};$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dT} \frac{dT}{dt};$$

$$\frac{dX}{dx} = \frac{\alpha}{w_a}; \quad \frac{dT}{dt} = \omega h; \quad \frac{dT}{dx} = \frac{\omega h \varepsilon}{w_a}.$$

Уравнение статики:

$$\varphi^* = \frac{k}{1 + (k-1)\theta}.$$

Тогда, математическую модель работы ионитного фильтра в неравновесных условиях записываем так:

$$\begin{cases} \varphi_x = -\theta_r; & X \in (0, L), T \in (0, T) \\ \theta_r = \varphi - \varphi^*; \\ \varphi^* = \frac{k}{1 + (k-1)\theta}; \\ \varphi(X, 0) = 0; \\ \varphi(0, T) = \varphi_0(T). \end{cases} \quad (2)$$

С математической точки зрения система (2) совершенно аналогична системе (1).

Метод конечных разностей

Для численного решения начально-краевой задачи (2) применили метод конечных разностей (явную конечно-разностную схему и схему бегущего счета). Достоинство этого метода состоит в том, что он сводит решение краевой задачи для дифференциального уравнения к решению системы алгебраических уравнений относительно значений искомой функции на заданном множестве точек. [2] Это достигается заменой производных, входящих в дифференциальное уравнение, их конечно-разностными аппроксимациями. Для решения задачи мы ввели конечно-разностную неравномерную сетку, выбрали $h=L/N_{max}$ – шаг сетки по пространственной координате и $\tau=T/N_{max}$ – шаг сетки по времени и представили производные в конечно-разностной форме. На рисунке 1 представлены результаты расчета с использованием явной конечно-разностной схемы.

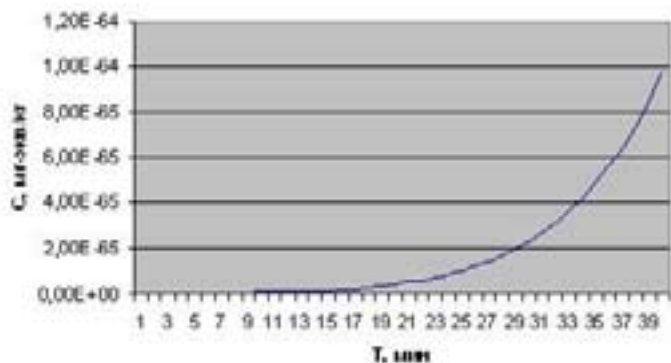


Рисунок 1 - Результат расчета, явная конечно-разностная схема

Расчет производился при начальных данных $w_a=6$ м/ч, начальная концентрация иона в растворе $C_0=0.2$ мг-экв/дм³, полная емкость ионита $q_0=800$ мг-экв/дм³, пористость слоя ионита в фильтре $\varepsilon=0.4$.

На рисунке 2 представлен результат расчета с использованием схемы бегущего счета.

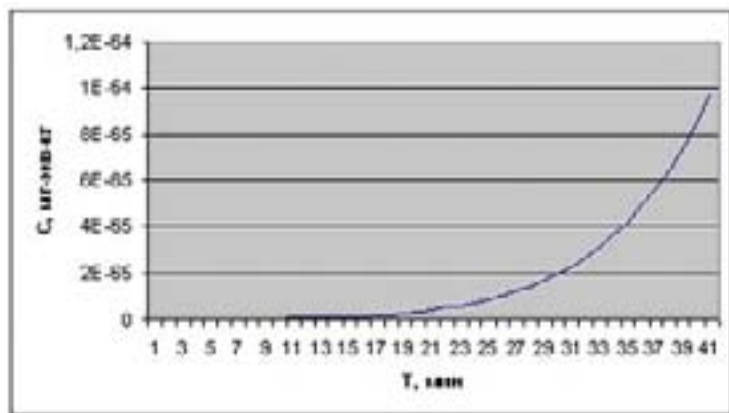


Рисунок 2 - Результат расчета, схема бегущего счета

Из рисунков 1 и 2 видно, что явная конечно-разностная схема и схема бегущего счета дают практически идентичные результаты решения начально-краевой задачи (2), поэтому для решения прямой задачи можно использовать обе схемы, однако явная конечно-разностная схема является менее устойчивой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Громогласов, А. А., Копылов, А. Ц., Пильщиков, А. Б. Водоподготовка: Процессы и аппараты. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.

2 Самарский, А. А. Теория разностных схем. – М. : Наука, 1977. – 656 с.

*Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар;

**Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 06.03.14.

*А.И. Глазырин**, *Н.С. Глазырина***

Суды иониттарды пайдаланғанда газарту: түзу мақсаттың шешімі ақырғы айырымның әдісімен.

*С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

**Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.

Материал 06.03.14 редакцияға түсті.

*A. I. Glazyrin**, *N. S. Glazyrina***

Water purification using Ion exchangers: solution of the direct problem by the method of finite differences

*S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.

**L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Material received on 06.03.14.

Осы мақалда алғы-шекті мақсаттың шешімі тасымалдың теңдеу үшін ақырғы айырымның әдісімен қарастырылады. Ашық ақырғы-айырымды сұлбесінің және жүргізуші есептердің сұлбесінің нәтижелері келтіріген.

In the given article is presented the solution of the initial value problem for the transport equation by the finite difference method. The results of the use of the explicit finite-difference scheme and the scheme of the running account.

I. Mazur*, T. Koinov, M. Suyundikov*****

CONTROL SYSTEM OF QUALITY OF A SURFACE OF HOT-ROLLED METAL

The modern ideas about the quality of products are based on the principle of the absolute satisfaction of requirements of recommendations of the buyer. A presence of surface defects of steel-smelting and rolling origin is peculiar to the production of hot-rolling mill. The automatic surface inspection system (ASIS) includes two digital line video cameras for the filming of the upper and lower surfaces of the flat bar, block of illumination of the upper and lower surfaces of the flat bar, computer equipment. A system that secures 100 % control of the surface of rolled metal (of the upper and lower side) detects automatically and classifies the sheet defects in the real time mode was mounted in the domestic practice in the first time in 2003 on hot rolling mill 2000 JSC «Novolipetsk Iron & Steel Corporation» (NISC). The whole assortment of the mill 2000 was divided for the five groups by the outward appearance of the surface. The works on the identification of defects of hot-rolled metal and widening of data base of knowledge of ASIS were continued after the carrying out of guarantee tests. More than 10 thousand images of defects were added to the data base during the year.

Keywords: hot, rolling, sheet, quality, control, surface

1. Introduction

The modern ideas about of quality of products are based on the principle of the absolute satisfaction of requirements of recommendations of the buyer [1]. It is defined as a totality of product characteristics necessary for the use in accordance with its destination. The mechanical properties and geometrical adjectives of the flat bar are for the first turn such characteristics for the rolling.

The main producers of metal production guarantee and document to the buyer these quality ratings at the today's level of development of rolling-mill production. It is attained by the introduction of automated control systems and by the introduction of control of technological process [2-4].

The state of surface of rolled metal is a separate item of quality. The most mass use of control of surface is accomplished on the final process stages of production of metal production (after of cold rolling, etching, annealing, deposition and so on.). It excludes a delivery of production that does not meet the requirements of the buyer. If the process stage on which such discrepancies are detected becomes deeper then the losses caused by rejects are deeper and so the introduction of control systems in all process stages has its logic.

A presence of surface defects of steel-smelting and rolling origin is peculiar to the production of hot-rolling mill. That production could be a commodity output and pre-rolling. It is not always possible to identify them precisely on the outward signs on the finished commodity. The main methods used for the detection and study of defects of surface of sheet steel, visual – using an external examination without or with the use of special systems [5].

But the speed of the flat bar, its temperature and oxidation of surface complicate the performance of inspection. That is why the rolls are checked for the purpose of presence of defects after a cooling-down as a rule. A volume of insufficient production is increased in that way especially when the defect has a rolling origin (a periodical caused by worker for example).

2. System of quality control of surface of sheet products

Today there are only a limited number of creators of such systems (Codnex, EES, Matra, Parsytec, Siemens-VAI, Sipar and the others) in spite of great need of the enterprises of ferrous metallurgy in the systems of automatic inspection and identification of surface defects.

It is explained by the fact that the systems suitable for the rolling are considerably expensive because the surfaces of steels rolled in one company are greatly differ by the outward appearance that leads to the complication of algorithms of detection and classification of surface defects [6-8].

A considerable break-through in the working out and in the introduction of systems of machine check of surface occurred thanks to the creation of highly productive computers and digital video camera of high-resolution that made it possible to obtain and process the image of the moving flat bar in the real time mode.

At that time two detections of systems based on the obtaining of primary image from the line scanning video cameras registering the image of surface with the scanning of line by line and matrix fixing the image of surface area had the development.

A discussion on the advantages of different systems that took place in different publications is not always constructive because of narrowness of consideration. It is connected, for the most part, with the primary image processing obtained from the cameras.

The discussion loses the importance and the criteria for the sake of which these systems are introduced on the metallurgical plants become of current importance on the development and improvement of image processing algorithms, introduction of computers with high data-rate. Namely the accuracy detection and classification of defects, their minimal size and a possibility of use of these results in further technological process stages.

3. Control of surface of hot rolled metal on the continuous broad-strip mill 2000

A system that secures 100 % control of the surface of rolled metal (of the upper and lower side) detects automatically and classifies the defects *полосы* in the real time mode was mounted in the domestic practice in the first time in 2003 on hot rolling mill 2000 JSC «Novolipetsk Iron & Steel Corporation» (NISC).

The companies SYTCO AG, SIEMENS-VAI and the Lipetsk State Technical University (LSTU) took part in the realization of the project together with NISC.

The automatic surface inspection system (ASIS) includes two digital line video cameras for the filming of the upper and lower surfaces of the flat bar, block of illumination of the upper and lower surfaces of the flat bar, computer equipment (fig. 1).

A resolution of digital video cameras amounts 0,5×1,0 mm. by the width and length of the flat bar correspondingly that defines lower limit size of the fixed surface defect.

A graphic presentation of the upper and lower surfaces of the flat bar is received by video cameras and is transmitted to the computer part of the system.

The image processing of surface defects occurs in four main stages – preliminary correction of image, determination, segmentation and classification.

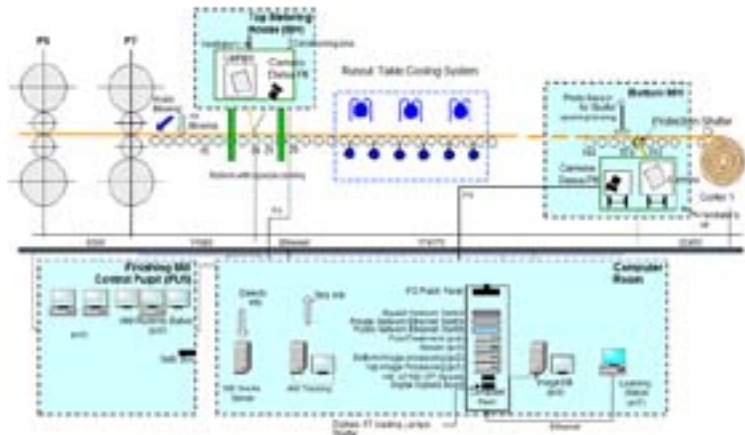


Figure 1 - Placement of ASIS equipment

The system that received from the video cameras a primary image of surfaces corrects the general background that always should be constant in time for the correct classification of defects. Several algorithms of detection of defects (for the vertical, horizontal and diagonal contrast, of thin and lengthy, of dark or light defects) are used in parallel to the received. Then a morphological grouping of

the obtained signs occurs for the obtaining of the information necessary on the stage of classification.

A method, based on the method of classification spheres is realized for the classification of defects in the given system of control of quality of surface. A comparison of found defects of surface with the samples of defects from the existing data base on which the classification is based is in the foundation of method. Not less than 20-40 samples of analogous defects are necessary to have in the data base for the automatic classification of defects.

The results of the processing are transmitted to the control station informing the operator of the mill about the state of the surface of the rolled metal after the classification of image and also are recorded to the data base for the further analysis of the quality of the rolled metal.

The main difficulties achieved on the stage of development of ASIS on mill 2000, consisted in the setting of the system for the detection of defects on the current assortment of the mill and also in «training» of the system to classify the detected defects. The training consisted in the accumulation of samples of defects in the data base (base of «knowledge of defects»).

The actions on the setting of the system of control of quality of the surface consisted out of four stages for the obtaining of maximum of detection of surface defects:

- fragmentation of assortment of steels rolled on the mill for the groups by the outward appearance of the surface of the rolled metal;
- decrease of quantity of water on the upper the surface of the rolled metal;
- determination in the system of threshold valuation of contrast of detection of defects for the groups singled out in the assortment of steels;
- creation of class file.

The whole assortment of the mill 2000 was divided for the five groups by the outward appearance of the surface after short-lived operation of the system because the surfaces of steel strip are different by the outward appearance (for example, transformer steel grades have, for the most part a homogeneous grey surface, of dynamo steel grades and carbon steel grades have a dark and heterogeneous):

- group 1 – rolled metal 10UA, 20 and transformer steel grade;
- group 2 – rolled metal 08U, DC04 and St3sp;
- group 3 – rolled metal of dynamo and alloyed steel grade;
- group 4 – rolled metal S355J2G3, St5sp, 09G2 and A36;
- group 5 – rolled metal with corrugation,

and a threshold valuations of contrast were defined for each group and classification spheres were done [9].

A presence of drops of water on the upper side of rolled metal was one more problem for the detection of surface defects on the upper side of rolled metal and also a presence of water splashes and vapor between the flat bar and upper

video. Not less than 50-100 images of water will be classified as «defect» at the presence of 4-5 thousand images of water on one flat bar even at the high rate of classification (98-99 %).

The design of water cooling of the roll-table rollers mounted in the zone of measurement shelters was altered for the elimination of water and another hydraulic blow-off assigned for the water drops moving off from the surface of flat bars with the width of more than 1200 mm., was installed in addition to the regular hydraulic blow-off after the fifth 5 roller and air blow off for the rolled metal with the width of 900-1200 mm. was installed after the seventh roller.

It became possible to go to the next stage – a training of the system for the automatic classification of defects in the result of the setting of ASIS for the detection of the surface defects of rolled metal and the elimination of negative influence of water splashes for the detection. And though the use of data base of knowledge of standard images of defects obtained on different metallurgical plants was possible for this the stage of setting of ASIS for the automatic classification was performed in the manual mode.

This is more laborious method of setting connected with the stoppages of units but effective because precision of classification of unknown defects is increased due to visual inspection. The examination of rolls containing the defects of unknown type was realized on the units of cutting and lines of preparation of hot-rolled rolls. An identification of defects, and their documenting and digital photographing was carried out by the experts of quality. A complex of metallographic examinations was carried out when it was necessary.

A primary training of ASIS for the automatic classification of defects was carried out from the December 2003 up to the May of 2004.

About 120 rolls with defects were examined altogether at that period of time and more than 1000 image of defects were entered into the data base of knowledge.

It became possible to carry out the training of the system without carrying out of laborious visual examination of rolls or resort to it in the exceptional cases after the accumulation of a definite experience of work with the images of defects obtained from the system.

A catalogue of digital images of defects developed by LSTU assisted to it (fig. 2). Accumulated data base of knowledge ASIS and digital images of defects detected in the result of visual examination and identification of defects of surface of hot-rolled metal became a basis of that catalogue.

The guarantee tests were carried out (June 2004) jointly with the participation of companies SYTCO AG and SIEMENS-VAI when the volume of trained images of defects became sufficient. The rolls with the surface defects detected by the system were selected for it. The selected rolls were examined according to the method analogous to the method used for the training of ASIS to the automatic classification. The defects were registered manually on the units of preparation of

hot-rolled rolls. A coordinate of defect from the trailing end of roll, the dimensions of the defect were fixing and its class and tenseness were defined. Then, a rate of detection and a rate of classification according to the results of manual and automated detection of defects of surface of hot-rolled metal was calculated:

$$P_d = \frac{N_d}{N_e} \cdot 100\%, \quad P_c = \frac{N_c}{N_d} \cdot 100\%.$$

where: N_d – the number of defects of the given class detected simultaneously by the system in automatic mode and by the expert at the visual examination on all the rolls the selected for the test;

N_e – the total number of defects of the given class detected by the expert at the visual examination on all rolls the selected for the test;

N_c – the number of defects of the given class detected simultaneously detected by the system in automatic mode and by the expert at the visual examination on all the rolls the selected for the test and classified correctly by the system (as the given class) at that.

Only the defects that are the defects from the point of view of the expert were taken into consideration at the calculation of the rate of detection of defects but a class of defect назначенный for them by the system in automatic mode was not taken into consideration. Altogether 16 rolls were examined in the course of guarantee tests.

The analysis of the obtained results showed that the main surface defects of hot-rolled flat bars are skins (ingot and stitch) and also the bubbles and rolled-in foreign particles. The rate of detection and a classification of these defects amounted 100 % and 94,2 %, 95 % and 95 %, correspondingly. The level of detection of pseudo-defects (drops of water, «not defects») amounted 99 % and 98,3 % of the classification. The average rate for the selected lot of detection of defects is equal to 99,7 % at the classification in 97,3 %. So the guarantee indices were confirmed and the ASIS was put into commercial operation.

3. Using of results of detection and classification of defects

The works on the identification of defects of hot-rolled metal and widening of data base of knowledge of ASIS were continued after the carrying out of guarantee tests. More than 10 thousand images of defects were added to the data base during the year. The images of skins (ingot and stitch), slags, rolled-in foreign particles, cracks (longitudinal and transversal), hairlines, imprints, ruffle, edged cracks, water and other defects detected on the surface of hot-rolled metal are among them.

A high rate of detection and a classification of surface defects on the hot-rolled metal, generated volume data base of knowledge and a catalogue of digital images of defects created an objective basis for the realization of tasks connected with the use of results obtained from ASIS. A software executed in the form of separate applications was worked out in LSTU [9-11]:

- digital catalogue of images of defects (fig. 2);
- module of processing of periodical defects (fig. 3);
- module of certification of hot-rolled rolls (fig. 4);
- module of monitoring for the critical defects at the preparation to the cold rolling on the mills 2030 and 1400 (fig. 5);
- module of visualization and analysis of rise of defects of surface (fig. 6).

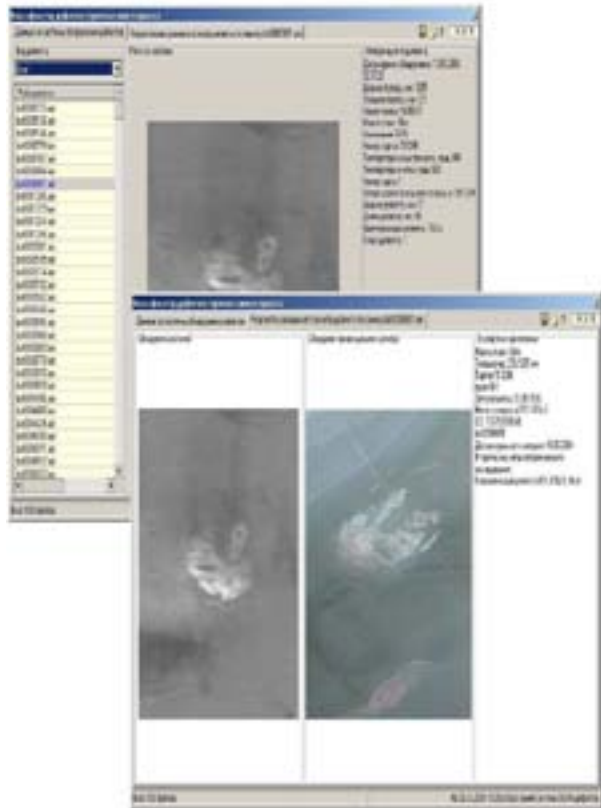


Figure 2 - Digital catalogue of defects of surface of hot rolled metal

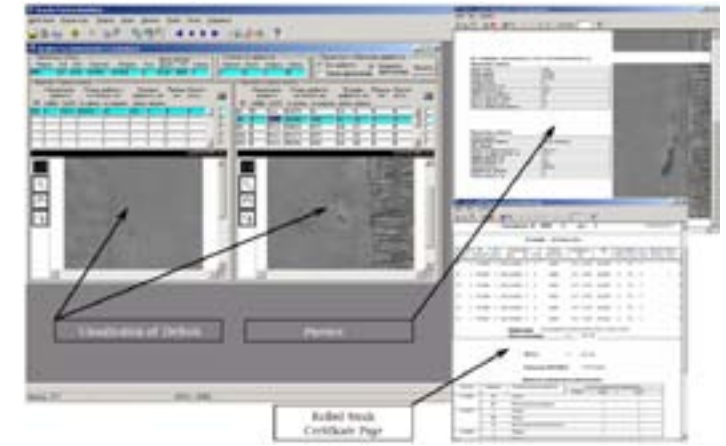


Figure 3 - Visualization of application for the certification of hot rolled rolls



Figure 4 - Visualization of application of processing of periodical defects

The functioning of modules is based on the notion of a «criticality» of defect. The criticality is defined for the cold-rolling mill by the probability of emergency shutdown of the mill due to the breach of flat bar caused by the surface defect.

An algorithm of conferment of code of criticality (from 0 up to 7) against of the steel grade, of the type of defect, its location (edge, center of pre-rolling) and of linear sizes is worked out on the basis of experimental data on the breakness of flat bars obtained on the mills 2030 and 1400.

A decision is made on the further processing of roll (the change of status «critical/ uncritical», cutting out of defect, decrease of speed of rolling on the problem sectors and the others) or its destination is altered at the processing of rolls on the units of preparation (in front of the mill of cold rolling) according to the information about the defects presenting on the flat bar and their codes of criticality.

The functioning of modules is based on the notion of a «criticality» of defect. The criticality is defined for the cold-rolling mill by the probability of emergency shutdown of the mill due to the breach of flat bar caused by the surface defect.

An algorithm of conferment of code of criticality (from 0 up to 7) against of the steel grade, of the type of defect, its location (edge, center of pre-rolling) and of linear sizes is worked out on the basis of experimental data on the breakness of flat bars obtained on the mills 2030 and 1400.

A decision is made on the further processing of roll (the change of status «critical/ uncritical», cutting out of defect, decrease of speed of rolling on the problem sectors and the others) or its destination is altered at the processing of rolls on the units of preparation (in front of the mill of cold rolling) according to the information about the defects presenting on the flat bar and their codes of criticality.

A module of visualization of defects of surface of hot-rolled flat bars with the reference to the identifier of roll is intended for the analysis of rise of defects depending on the fusion, lot, metal grade, mode of its rolling and so on (fig. 6). The algorithm materialized in the module makes it possible to carry out the analysis of formation of surface defects on-line mode for the flat bars rolled on the mill 2000, and in the mode off-line on the archive data of rolled flat bars. It makes possible to reveal in time the regularity of distribution of defects, to find the causes of rise, to propose the actions for their elimination and to decrease the losses from rejects and insufficient production thereby. These are some results of introduction of ASIS:

- the use of system of control of surface condition with additional applications led to the decrease of stoppages of the mill 2030 for 14,4 % in 2004, for 31,2 % in 2005 as compared with 2003;

- in April – August 2009 the control with the use of ASIS of hot-rolled steel of the grade St24 supplied to the europium client made it possible to the experts of quality to take from the shipping and move it into the insufficient production of 112 rolls at the certification of the production that amounted 3,0% from shipped.

The considered user's applications are installed on the working stations of production engineers of different services included into information net of the industrial complex. The engineering center, oxygen-converter plants, sheet-rolling production sectors, subdivisions of market department and other subdivisions are among them.

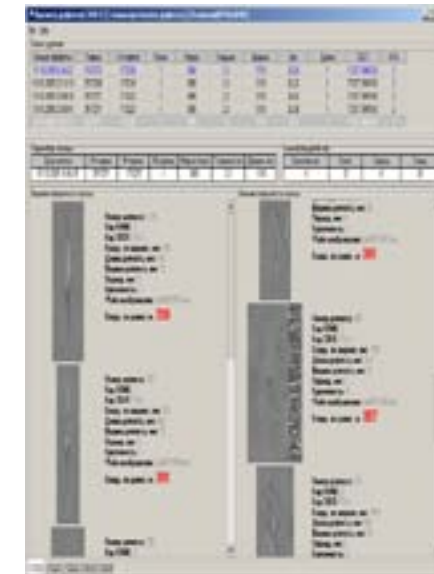


Figure 5 - Visualization of application for the monitoring for the critical defects on the mill 2030

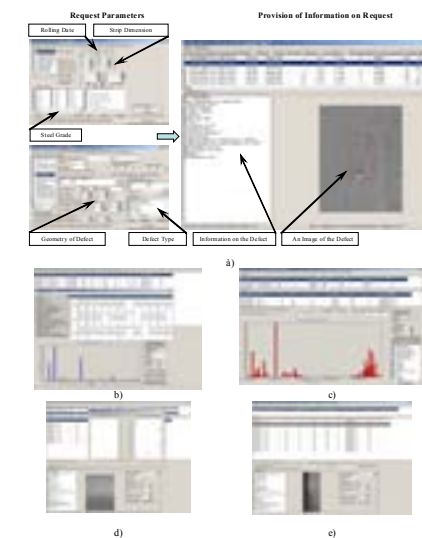


Figure 6 - Application of visualization and analysis of rise of defects of surface. Examples: a) – formation of inquiry; b), c), d), e) – results of processing of inquiries

4. Conclusion

The diagnosis of surface defects в rolling production is a complicated and multiple-factor process. The experience of introduction of the system of control of quality of surface on the uninterrupted wide strip mill of hot-rolling and also its further use showed that automatic detection and classification of surface defects in the end-to-end technology of production of sheet products make it possible:

to secure a provision of the requirements of consumers on the quality of the surface of the rolled metal with the submission of electronic passport;

to provide 100 % control of surface of all flat bars rolled on the mill for the detection of defects of pouring and hot rolling;

to provide automated systems of subsequent process stages by the information about the defects of surface of hot-rolled metal;

to carry out monitoring of quality of surface in the adjacent process stages;

to carry out an audit of the existing technologies of rolled metal production and develop the actions on their improvement.

The management of technology of process stages adjacent with hot rolling with the use of results obtained by the system of control of quality of surface opens good prospects on the decrease of insufficient production and to the increase of productive efficiency.

LIST OF REFERENCES

1 **Бережная, Г. А., Салганик, В. М., Песин, А. М.** Разработка и использование сбалансированной системы показателей для улучшения качества продукции // Производство проката. 2007. № 12. – С. 34-38.

2 **Mazur, I. P.** Improvement of Consumer Qualities Stability of the Technological Process of Hot Rolled Stock Production // Materials Science Forum Vols. 575-578. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2008/Apr/08. – pp. 379-384.

3 **Шаталов, Р. Л., Койнов, Т. А., Литвинова, Н. Н.** Автоматизация технологических процессов прокатки и термообработки металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 2010. – 368 с.

4 **Бёрхерс, Й., Антуан, К. П.** Технологические измерения: повышение качества продукции и стабильности производственного процесса // Черные металлы. – 2006. – № 2. – С. 38-49.

5 **Новокшенова, С. М., Виноград, М. И.** Дефекты стали. – М.: Металлургия, 1984. – 199 с.

6 **Штольценберг, М., Грубер, К., Хенкенмайер, Х., Йонкур, К.** Системы осмотра поверхности листовой стали: Результаты исследований // Черные металлы. – 2002. – № 12. – С. 40-48.

7 **Лемон, С.** Автоматический осмотр поверхности полосы для обеспечения сплошного контроля качества в линии // Черные металлы. – 2003. – № 4. – С. 49-54.

8 **Байндорф, Й., Анстотс, Т., Эберле, А., Эрнстпуч, Л., Хольцхауэр, Й.** Оптимизация технологического процесса и качества коррозионностойкой полосы на основе системы контроля поверхности // Черные металлы. – 2005. – № 3. – С. 45-56.

9 **Мазур, И. П., Барышев, В. В., Тищенко, Д. А.** Обнаружение и классификация дефектов поверхности горячекатаной полосы / Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов: Труды международной науч.-техн. конф. - СПб.: Из-во Политехн. ун-та, 2005. – С. 284-287.

10 **Тищенко, Д. А.** Разработка алгоритмов контроля, режимов подготовки и эксплуатации рабочих валков чистовой группы НШСГП для обеспечения качества проката : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.05. Защищена 26.10.06 г. в дис. совета Д 217.038.01. – М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2006. – 22 с.

11 **Койнов, Т., Шаталов, Р.** Теория и практика на пластичната деформация на метали и сплави. София, 2008, 346с.

*Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia;

**University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria;

***S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan.

Material received on 17.02.14

И. П. Мазур, Т. А. Койнов**, М. М. Суюндиков****

Ыстықилемделетін металл бетінің сапасын бақылау жүйесі

*Липецк мемлекеттік техникалық университеті, Липецк қ., Ресей;

**Химиялық-технологиялық және металлургиялық университеті, София қ., Болгария;

***С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан.

Материал 17.02.14 редакцияға түсті.

И. П. Мазур, Т. А. Койнов**, М. М. Суюндиков****

Система контроля качества поверхности горячекатанного металла

*Липецкий государственный

технический университет, г. Липецк, Россия;

**Химико-технологический и

металлургический университет, г. София, Болгария;

***Павлодарский государственный университет

имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Қазақстан.

Материал поступил в редакцию 17.02.14.

Өнім сапасы жайындағы қазіргі заманауи идеялар сатып алушының қоятын талаптарын барынша қанағаттандыра түсу қағидасына негізделді. Металды ыстықтай илемдеу кәсіпорындары болат балқыту мен илемдеу нәтижесінде түзілетін беттік ақаулардың болуымен ерекшеленеді. Автоматты беттік бақылау жүйесі (АББЖ) жайпақ илемнің жоғарғы және одан төмендеу беттерін түсіретін екі сандық бейнекамерадан, жайпақ илемнің жоғарғы және одан төменгі беттерін жарықтандыратын жинақтан, компьютерлік жабдықтан тұрады. Илемделетін металл бетін (жоғарғы және одан төмендеу беттерін) 100% бақылауды қамтамасыз ететін, жайпақ парақтар ақауларын автоматты түрде тауып, жедел жіктелетін бақылау жүйесі алғаш рет «Novolipetsk Iron & Steel Corporation» АҚ (NISC) 2000 ыстық илемдеу орнағында 2003 жылы орнатылған еді. Ол үшін 2000 орнағында алынатын өнімнің барлық түрі сыртқа қарап тұрған беттерінің сипатына байланысты бес топқа бөліп алынды. Тәжірибелік сынақтар аяқталған соң ыстық илемделген металл ақауларын анықтау және АББЖ мәліметтер қорын кеңейту жұмыстары одан әрі жалғасты. Бір жыл ішінде мәліметтер қорына 10 мыңнан аса ақаулар бейнесі қосылды.

Түйінді сөздер: ыстық, илемдеу, жайпақ парақ, сапа, бақылау, бет.

Современные идеи о качестве продуктов основаны на принципе абсолютного удовлетворения требований рекомендаций покупателя. Присутствие поверхностных дефектов, появляющихся после плавки и проката стали, специфично для производства предприятий горячего проката. Автоматическая поверхностная контрольная система (АПКС) включает две цифровых видеокамеры линии для съемки верхних и более нижних поверхностей плоского проката, блока освещения верхних и более нижних поверхностей плоского проката, компьютерного оборудования. Система, которая обеспечивает 100%-й контроль поверхности прокатываемого металла (верхней и более нижней стороны), обнаруживает автоматически и классифицирует листовые дефекты оперативным способом, была установлена во внутренней практике в первый раз в 2003 году на стане горячей прокатки 2000 АО «Novolipetsk Iron & Steel Corporation» (NISC). Весь ассортимент стана 2000 был разделен для этого на пять групп по видам обращенных наружу поверхностей. После завершения гарантийных испытаний были продолжены работы по идентификации дефектов горячекатаного металла и расширению базы данных АПКС. Больше чем 10 тысяч изображений дефектов были добавлены к базе данных в течение года.

Ключевые слова: горячий, прокатка, лист, качество, контроль, поверхность

УДК 66.087.5

Б. П. Мусалиев, Б. С. Шакиров, А. Б. Калдыбаев

ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНОЙ ВОДЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ РЕГЕНИРАЦИИ И ОТМЫВКЕ ИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

В данной статье рассматривается метод электрокоагуляционной очистки сточных вод, образующихся при регенерации и отмывке ионитовых фильтров на АО «Энергоорталык-3» г. Шымкента. Показано, что вышеуказанный метод позволяет осуществлять процесс очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых установках.

В современных условиях при возросших требованиях к качеству теплоносителя особое внимание следует уделять разработке и внедрению автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами приготовления добавочной воды для технологических процессов получения тепловой и электрической энергии на энергетических предприятиях.

Объектом [1] исследования является «Тепловая электрическая станция» (ТЭС) - конденсационная станция с незначительным отпуском тепла потребителям, работающая в пиковом режиме. В ее состав входит оборудование с начальными параметрами 90 кгс/см² и 535 °С, имеющее поперечные связи по пару и питательной воды:

- котлоагрегаты типа Е-500/140 (ТГМЕ-464) Таганрогского котельного завода, однобарабанные, с естественной циркуляцией, двумя выносными циклонами - паропроизводительностью 500 т/ч, рабочим давлением 15,5 МПа, давлением на выходе 13,7 МПа, температурой перегретого пара 5600С. Котлоагрегаты рассчитаны на сжигание газа и мазута. На котлоагрегатах по два регенеративных воздухоподогревателя типа, два дутьевых вентилятора, два дымососа типа.

- турбины паровые с производственным отбором пара типа ПТ-100/80-130/13 номинальной мощностью 100 МВт, одновальные, состоящие из цилиндров высокого и низкого давления и рассчитанные на начальные параметры 12,7 МПа, 5600 С. Турбина имеет два конденсатора.

- питательная вода в котлоагрегаты поступает из общего коллектора, в который она подается питательными насосами типа ПЭ-560-220. Схема паропроводов предусматривает параллельную работу котлов

Для питания паровых котлов и подпитки теплосети предназначены водоподготовительные установки: обессоливающая (ОУ) и установка подпитки теплосети (УПТС) с использованием химических методов, которые включают: механическое фильтрование, методы ионного обмена и мембранный метод.

Схема ОУ включает в себя: три механических фильтра, два Н-катионных карбоксильных фильтра, семь двухкорпусных Н-катионитных фильтра I ступени, семь ОН-анионитных фильтра I ступени, два декарбонизатора, семь Н-катионитных фильтров II ступени, пять ОН-анионитных фильтров II ступени, одной обратноосмотической установки. Производительность ОУ 250 куб.м/ч.

Схема УПТС включает в себя: десять механических фильтров, шесть Н-катионитных карбоксильных фильтра, четыре декарбонизатора. Производительность установки 800 куб.м/ч.

Прогрессивным направлением в технологии очистки сточных вод является применение электрохимических методов, в частности, метода очистки воды в электролизерах с растворимыми электродами, известного в литературе под названием «электрокоагуляция» [2].

Этот метод обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерального, органического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды и т.д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии [1-4]. Электрокоагуляция позволяет осуществлять процесс очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых установках.

Современное развитие теплоэнергетики, радиоэлектроники, целлюлозно-бумажных, текстильных и других производств предъявляет повышенные требования к качеству воды особенно к содержанию в ней соединений кремния, железа, солей жесткости, кислорода, органических и других веществ [3-6]. Высокая сорбционная способность электрохимически получаемой гидроокиси алюминия по отношению к загрязнениям воды и ряд других преимуществ метода электрокоагуляции позволяют использовать этот метод для очистки технических, питьевых и сточных вод [7].

Таким образом, использование сорбционных свойств гидроокисей металлов, получаемых при электролизе, является высокоэффективным способом извлечения из воды загрязнений. Вместе с этим возможность осуществления процесса очистки воды в компактных и автоматически действующих установках делают применение метода электрокоагуляции особенно перспективным.

Влияние температуры воды на процесс анодного растворения алюминия изучено в пределах от 2 до 90° С. Показатели качества исследуемой воды приведены в табл. 1. Поверхность анодов перед каждым опытом зачищалась мелкозернистой наждачной бумагой, после чего обезжиривалась в течение 15 с в 10%-ном растворе NaOH и обрабатывалась в течение 30 с в 30%-ном растворе HNO₃. После тщательной промывки аноды высушивались фильтровальной бумагой. Для поддержания постоянной температуры воды в электролизере его помещали в ультратермостат U-8. Постоянный ток поступал от выпрямителя ВС-24М, сила тока и напряжение на электродах фиксировались ампервольтметрами с классом точности 0,5. С целью подтверждения точности результатов, полученных аналитическим определением, в отдельных опытах производилось взвешивание анода до и после электролиза.

Таблица 1 - Среднегодовой состав сточных вод АО «3 - Энергоорталык»

Показатель	Ед.изм.	Кол-во
Жесткость общ	мг-экв/л	59
Кальций	мг/л	841,68
Магний	мг/л	206,7
Щелочность	мг/л	152,5
pH	у. е.	8,25
Хлориды	мг/л	28
Фосфаты	мг/л	4,5
Нитраты	мг/л	22
Кремневка	мг/л	17,5
Железо	мг/л	0,07
Натрий	мг/л	280
Сульфаты	мг/л	2950
Окисляемость	мг/л	1,72
Взв. вещества	мг/л	91
Сухой остаток	мг/л	4500

Результаты исследований представлены в виде кривых и таблиц, отражающих зависимость выхода алюминия по току от температуры воды, при разной продолжительности электролиза и плотности тока (Рис. 1 и таб.2).

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы. В первые несколько часов электролиза при повышении температуры воды от 2 до 80° С выход алюминия по току увеличивается и зависит от плотности тока. Чем выше плотность тока при данной температуре воды, тем выше выход алюминия по току в начале электролиза. Особенно резкое возрастание выхода алюминия по току наблюдается при изменении температуры от 2 до 30° С. При плотности тока 2, 5 и 10 ма/см² и температуре воды 2° С выход алюминия по току составляет 115, 120,3 и 125%; повышение температуры воды до 30°С увеличивает выход соответственно на 9,4; 7,0 и 7,5%. При температуре 60° С и выше рост выхода алюминия начинает несколько замедляться.

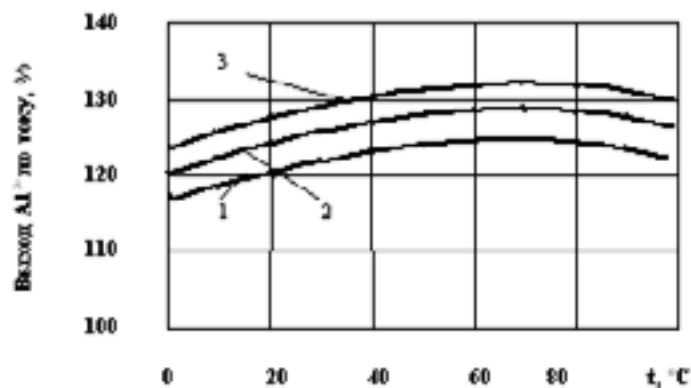


Рисунок 1 - Зависимость выхода алюминия по току от температуры воды: 1,2 и 3 – плотность тока соответственно 2, 5 и 10 ма/см².

Скорость химического взаимодействия алюминия с водой на активных участках поверхности (т. е. местах с разрушенной окисной пленкой), такое же действие оказывает в начальный период электролиза и увеличение плотности тока (за счет интенсификации процесса разрушения окисной пленки).

Снижение выхода алюминия по току при дальнейшем повышении температуры воды связано с объемным уплотнением коллоидной гидроокиси алюминия в макропорах алюминиевого анода за счет ее гидратации и набухания [1,7]. При этом происходит сужение межмицеллярных пространств и частичное капсулирование макропор.

Расход электроэнергии на обработку единицы объема воды при постоянной плотности тока и повышении температуры воды от 2 до 80°С

значительно уменьшается. Например, при плотности тока 2 ма/см² и температуре воды 2°С расход электроэнергии составляет 4 вт-ч/м³, а при 80°С уменьшается примерно в три раза.

Таблица 2 - Зависимость расхода электроэнергии от температуры воды.

Наименование показателей	Е д и н и ц а измерения	Температуры воды, оС									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	
Напряжение	В	4,5	4,3	4,0	2,9	2,65	2,5	2,1	1,8	1,5	
Расход электроэнергии	вт-ч/м ³	4,0	3,8	3,6	2,6	2,4	2,3	1,9	1,6	1,3	

Таким образом, активное растворение алюминиевого анода происходит при температуре воды от 2 до 60°С и плотностях тока от 1 до 4 ма/см². При более высоких плотностях тока с повышением температуры воды выход алюминия по току снижается и возрастает напряжение на электродах.

Исследования по влиянию рН на процесс электрохимического растворения алюминиевого анода с целью получения коагулянта— гидроокиси алюминия проводилось в пределах рН = 2-12. При этом были определены границы рН, в которых образуется твердая дисперсная фаза гидроокиси алюминия.

Выход алюминия по току в кислых и щелочных средах резко повышается по сравнению с областью нейтральных растворов. При этом наблюдается плавный подъем кривой в кислой области и более крутой в области щелочной. Например, при изменении рН от 7 до 2 выход алюминия по току возрастает на 7,3%, в то время как при повышении рН от 7 до 12 он увеличивается на 25,2%.

Плотность тока и скорость движения воды по отношению к поверхности электродов

Протекание электрохимических процессов, удельный расход электроэнергии, а также количество и качество выделяющихся при электролизе веществ во многом зависят от плотности тока i , т. е. от силы тока I , приходящейся на единицу поверхности электрода 5

$$i = I/S.$$

Так как рекомендуемые показатели плотности тока при растворении анода весьма противоречивы и колеблются в широких пределах (от 0,5 до 20 ма/см²), была изучена зависимость выхода алюминия по току при изменении плотности тока от 0,1 до 10 ма/см² в проточном и непроточном электролизерах при кратковременной и длительной их работе. Плотность тока на электродах изменялась путем понижения или повышения силы тока по отношению к постоянной площади электродов.

Анализ приведенных данных показывает, что с повышением плотности тока при одной и той же температуре воды выход алюминия по току повышается прямолинейно.

Кинетика электродных процессов во многом зависит от скорости движения жидкости в межэлектродном пространстве. Исследования проводились при температуре исходной воды 22° С и плотности тока 0,1; 0,5; 1; 2; 5 и 10 *ма/см²* в проточном и непроточном электролизерах. Скорость движения воды относительно поверхности электродов в проточном электролизере изменялась от 1,2 до 400 м/ч. Наряду с определением выхода алюминия по току регистрировалось напряжение на электродах и велись наблюдения за состоянием их поверхности.

Исследования показывают, что при изменении скорости движения воды от 1,2 до 400 м/ч выход алюминия по току изменяется незначительно и зависит в основном от плотности тока. В непроточном электролизере при плотности тока 5 и 10 *ма/см²* выход алюминия по току на 1,5—2% ниже, чем при этих же условиях в проточном, что связано с замедлением отвода продуктов электролиза от поверхности анода и повышением его поляризации. Движение жидкости в межэлектродном пространстве снижает поляризацию электродов, что приводит к снижению на 15—25% напряжения на электродах. При скоростях движения воды 60—400 м/ч и плотностях тока 1—4 *ма/см²* на поверхности анода не образовывалась пассивная пленка и выход алюминия по току оставался постоянным до полного растворения анода. При этих же скоростях движения воды и плотностях тока 5 и 10 *ма/см²* активное растворение анода продолжалось лишь в течение 10—30 часов; в дальнейшем выход алюминия по току резко снижался, а напряжение на электродах возрастало. Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных рассмотрены влияния температуры воды, рН, плотности тока и скорости движения воды в электролизере и определены оптимальные режимы процесса электрокоагуляционной очистки исходной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Отчет о НИР по теме «Разработка технологий электрокоагуляционной очистки сточной воды, образующиеся при регенерации и отмывке ионитовых фильтров» Шакиров Б. С., Сарбасов А. С., Калдыбаев А. Б. и др. – Шымкент : ЮКГУ, 2010. – 53 с.

2 **Шаляпин, С. Н.** Обеззараживание питьевой воды бактерицидным ультрафиолетовым излучением // Сумма технологий. – М., 1999.

3 **Альшин, В. М., Безделин, С. М., Волков, С. В.** и др. Применение технологии УФ-облучения воды взамен первичного хлорирования. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – №12. – С. 13-16.

4 **Преображенский, А. Б.** Обеззараживание воды УФ-облучением: универсальный метод // Аква-терм. – 2002. – №(9).

5 **Базалеев, Н. И., Клепиков, В. Ф., Литвиненко, В. В.** Электрофизические радиационные технологии. – Харьков : Акта, 1998. – 206 с.

6 **Николадзе, Г. И., Минц, Д. М., Кастальский, А. А.** Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М. : Высшая школа, 1986. – 386 с.

7 **Леонов, С. Б., Макотрина, Л. В., Маргынова, Т. М.** Комбинированные методы извлечения фторидов и сульфатов из сточных вод// Информ. лист № 135-92. – Иркутск : ГАСНТИ, 1992. – 4 с.

Южно-Казахстанский государственный университет
имени М. Ауезова, г. Шымкент.
Материал поступил в редакцию 19.02.14.

Б. П. Мусалиев, Б. С. Шәкіров, А. Б. Қалдыбаев

Ионитті сүзгілерді шаю және қалпына келтіру барысында түзілетін ақаба суларды электрокоагуляциялық тазарту

М. Әуезов атындағы
Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.
Материал 19.02.14 редакцияға түсті.

B. P. Musaliev, B. S. Shakirov, A. B. Kaldybayev

Electrocoagulative purification of sewage forming during regeneration and washing of the ionite filters

The southern Kazakhstan state university
of M. Auyezov, city. Shymkent.
Material received on 19.02.14.

Бұл мақалада Шымкент қ. АҚ «Энергорталық-3» - тегі ионитті сүзгіштерді қалпына келтіру және шаю барысында бөлінетін ақаба суларды электрокоагуляция әдісімен тазарту қарастырылған. Жоғарыда көрсетілген әдіс суды шағын, автоматты түрде жұмыс жасайтын және жеңіл күтімді қажет ететін қондырғыларда тазарту процессін қамтамасыз етеді.

In this article the method to the electrocoagulative sewage treatment, being formed at regeneration and washing of ionite filters on JSC «Energoortalyk-3» of the city of Shymkent is considered. It is shown that the above method allows to carry out water purification process in compact, automatically operating and easily served installations.

А. Н. Новожилов*, А. М. Акаев*, Т. А. Новожилов**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА

Разработан и изготовлен стенд, позволяющий проводить экспериментальные исследования релейной защиты синхронного компенсатора.

Синхронные компенсаторы (СК) используются в электроэнергетических системах для компенсации реактивной мощности и поддержания нормального уровня напряжения в районах сосредоточения потребительских нагрузок. Что повышает устойчивость работы энергосистемы и качество электроэнергии у потребителей. Это обусловлено тем, что в зависимости от режима работы СК способны не только потреблять реактивную мощность из сети, но и отдавать ее в сеть [1-3].

Конструктивно СК выполняются так же, как и синхронные двигатели (СД) с горизонтально расположенным явнополюсным ротором. По своей сути СК являются СД, которые работают в режиме холостого хода. Подключение СК к сети в зависимости от мощности может осуществляться по разному [1-3]. В одних случаях это прямой пуск, а в других – пуск через реакторы.

Естественными эксплуатационными режимами работы СК [4,5] являются пуск, самозапуск и рабочий режим. К аномальным режимам работы относят работу на пониженном напряжении, обрыв одной фазы статора или разрыв цепи возбуждения ротора, замыкание на землю в одной или двух точках обмотки ротора, а также витковое замыкание в этой обмотке и эксцентриситет ротора. Аварийными режимами считаются междуфазные, витковые и однофазные замыкания на землю обмотки статора, а также двойное на землю и витковое замыкания обмотки ротора.

В соответствии с [4,5] СК должны иметь дешевую и в тоже время чувствительную защиту. Для сокращения ущерба от коротких замыканий в обмотках статора СК традиционно используют токовые отсечки и максимальные токовые защиты. На более мощных и дорогих СК устанавливают продольные и поперечные дифференциальные защиты. А от ее замыканий на землю используют специальные «земляные защиты» типа КРЗ-2.

Однако традиционные защиты на трансформаторах тока недостаточно чувствительны к витковым замыканиям в обмотках статора и ротора.

Что, в свою очередь, приводит к увеличению времени аварии и размеров повреждения СК [2-8].

Для решения этих проблем авторами был предложен новый способ защиты СК, основанный на измерении магнитных полей рассеяния. При реализации защит, применяющих этот способ защиты, используются точечные измерительных преобразователей. Однако теоретические исследования этих защит требуют экспериментальной проверки. Для чего в лаборатории профессора Новожилова А. Н. был разработан и изготовлен экспериментальный стенд.

Экспериментальный стенд состоит из станины, СК и панели управления. Общий вид этого стенда показан на рисунке 1, а его электрическая схема на рисунке 2.

СК для стенда переделан из трехфазного синхронного генератора ГАБ-2-Т/230. При его переделке алюминиевый корпус заменен на стальной, обмотка статора перемотана на напряжение 380 В и имеет выводы для имитации витковых и междуфазных замыканий. Из обмотки ротора также сделаны выводы на дополнительные кольца для имитации замыканий на землю и витковых замыканий.



Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки

В соответствии со схемой на рисунке 2 пуск СК осуществляется магнитным пускателем КМ1, который управляется кнопками S1 и S2. Ток цепи статора измеряется амперметром А1.

Блок питания обмотки возбуждения регулируемый. Он выполнен в виде автотрансформатора TV1, понижающего трансформатора TV2 и выпрямительного моста А1. Что позволяет обеспечить высокую плавность

регулирования тока возбуждения в пределах 0-8А. Блок питания подключается к сети выключателем К1, а цепь обмотки возбуждения СК замыкается выключателем К2. Контроль напряжения и тока в цепи возбуждения СК осуществляется по показаниям вольтметра V2 и амперметра А2.

Витковые замыкания в статоре и роторе имитируются путем замыкания выводов из этих обмоток с помощью магнитного пускателя КМ2, управляемого кнопками S3 и S4.

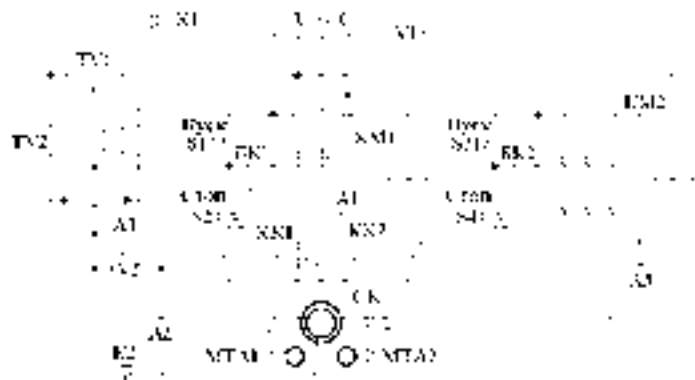


Рисунок 2 – Электрическая схема экспериментальной установки

В качестве измерительных преобразователей защиты предполагается использовать катушки от промежуточных реле типа РП-25 или РП -211. На схеме они обозначены МТА1 и МТА2.

Регистрация результатов экспериментов осуществляется с помощью двухлучевого осциллографа на базе персонального компьютера (ПК) с программным обеспечением «Елена 2012», в котором в качестве аналого-цифрового преобразователя использовалась звуковая карта [9]. Программное обеспечение «Елена 2012» разработано д.т.н. Новожиловым А. Н. и докторантом Крюковой Е.В. на кафедре «Автоматика и управление» в ПГУ. Схема измерений и фиксации сигналов приведена на рисунке 3. Для согласования напряжения на выходе измерительных преобразователей МТА и входного напряжения звуковой карты используется разработанное на кафедре «Автоматика и управление» нормирующее устройство.

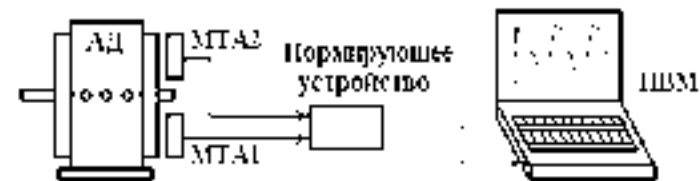


Рисунок 3 – Схема регистрации сигналов на экспериментальном стенде

В результате, экспериментальный стенд позволяет осуществлять запись двух сигналов одновременно во всех естественных эксплуатационных и аномальных режимах работы СК, а также при междуфазных и витковых замыканиях в обмотке статора, замыканиях на землю и витковых замыканиях обмотки ротора.

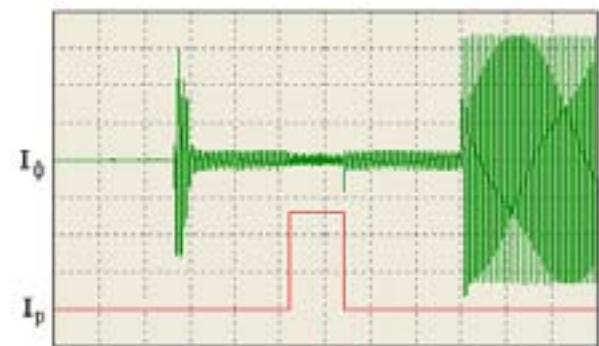


Рисунок 4 – Осциллограммы режимов работы защиты при ОЗК

На рисунке 4 в качестве примера приведены осциллограммы тока фазы I_{ϕ} СК и тока I_p в цепи контактов реле защиты при однофазном замыкании на землю (ОЗК) обмотки статора в сети с изолированной нейтралью.

Таким образом, экспериментальный стенд позволяет исследовать поведение СК и новых видов его релейной защиты на встраиваемых измерительных преобразователях во всех естественных эксплуатационных и аномальных режимах работы, а также при междуфазных и витковых замыканиях в обмотке статора, замыканиях на землю и витковых замыканиях обмотки ротора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. – 909 с.
- 2 **Вольдек, А. И.** Электрические машины. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
- 3 **Сыромятников, И. А.** Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М. : Энергоатомиздат. – 1984. – 240 с.
- 4 **Корогодский, В. И., Кужеков, С. П., Паперно, Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
- 5 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 1991. – 496 с.
- 6 **Ермолин, Н. П., Жерихин, И. П.** Надежность электрических машин. – Л. : Энергия, 1976. – 247 с.
- 7 **Гемке, Р. Г.** Неисправности электрических машин. – Л. : Энергия, 1975. – 296 с.
- 8 **Котеленец, Н. Ф., Кузнецов, Н. Л.** Испытания и надежность электрических машин. – М. : Высшая школа, 1988. – 232 с.
- 9 **Новожилов, А. Н., Антонцев, А. В., Мануковский, А. В., Исупова, Н. А., Крюкова, Е. В.** Особенности построения системы диагностики электрических машин на базе персонального компьютера со встроенной звуковой картой // Электротехника. – 2012. – №5. – С. 36-40.

*Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар;
**Омский государственный
технический университет, г. Омск, Россия.
Материал поступил в редакцию 16.01.14.

А. Н. Новожилов, А. М. Акаев*, Т. А. Новожилов***

Синхронды қарымталағыштың релелік қорғанысын зерттеуге арналған сынақтық қондырғы

*С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;
**Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей.
Материал 16.01.14 редакцияға түсті.

А. N. Novozhilov, A. M. Akayev*, T. A. Novozhilov***

Experimental setup for studying relay protection of synchronous compensator

*S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar;
**Omsk state Technical university, Omsk, Russia.
Material received on 16.01.14.

Синхронды қарымталағыштың релелік қорғанысын әзірлеу және сынақтық зерттеулерді өткізуге мүмкіндік беретін стенд әзірленді және дайындалды.

Designed and manufactured stand, allows you to develop and conduct experimental research of relay protection of synchronous compensator.

УДК 621.313.13

**А. Н. Новожилов, Е. В. Крюкова, Т. А. Новожилов,
Н. А. Исупова**

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
ПОВРЕЖДЕНИЙ РОТОРА АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ**

В статье рассмотрены возможности наиболее популярных методов спектрального анализа в области диагностики повреждений ротора асинхронного двигателя.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в диагностике повреждений ротора асинхронного двигателя является то, в котором эксцентриситет и обрыв стержней определяют по результатам измерения потребляемого тока статора или магнитного поля рассеяния [1-3]. В первом случае источником информации служит трансформатор тока, а во втором измерительный преобразователь в виде катушки индуктивности. Однако в измерительном сигнале кроме информации о повреждении ротора есть много других составляющих, величины и частоты которых зависят от внешних воздействий на АД в виде колебаний параметров напряжения сети [4] и нагрузки двигателя. Для надежного выделения информации о повреждении ротора из сигнала источника информации используют различные методы цифровой обработки сигналов.

В соответствии с [5,6] при статическом эксцентриситете ротора в АД возникает неравномерность воздушного зазора, а следовательно, модуляция его магнитного поля. Эти магнитные поля воздушного зазора индуцируют в витках обмоток статора и ротора ЭДС с такой же частотой. Однако суммарная величина этих ЭДС в обмотке статора из-за особенностей ее конструкции всегда равна нулю, а токи от нее в обмотке статора отсутствуют. Однако в «беличьей клетке» ротора такие токи есть. Они создают свое магнитное поле в воздушном зазоре. Все эти процессы в свою очередь сопровождаются появлением в токах фаз статора, а, следовательно, в магнитных полях рассеяния внутри и снаружи АД дополнительных гармонических составляющих с частотами:

$$f_{\nu} = f_1 (\nu \pm 1/p), \quad (1)$$

где f_1 - частота основной гармоники сети; p - число пар полюсов АД; $\nu=0, 1, 2, 3, \dots$ - номер гармоники сети.

Обрыв стержней ротора сопровождается перераспределением токов в «беличьей клетке» и искажением синусоидальности магнитного поля ротора в воздушном зазоре. В результате в воздушном зазоре появляются дополнительные магнитные поля, а в токах фаз статора АД дополнительные гармонические составляющие с частотами:

$$f_{\nu} = f_1 [\nu \pm (1-s)/p \pm s], \quad (2)$$

где s - скольжение ротора.

Как показали многочисленные эксперименты на различных АД, для выявления информации о повреждении ротора следует использовать спектральный анализ. Основополагающим методом спектрального анализа электрических сигналов, в частности тока фазы АД I_{ϕ} , является дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [7]. С его помощью временной сигнал $I_{\phi}(t)$ преобразуют в отдельные синусоидальные составляющие I_{ν} с частотой f_{ν} . Пример такого преобразования приведен на рисунке 1, где спектрограмма тока $I_{\phi}(t)$ получена экспериментально с помощью анализатора спектра на базе персонального компьютера с программным обеспечением «Елена 2012», в котором в качестве аналого-цифрового преобразователя использовалась звуковая карта [7]. Следует добавить, что в этом анализаторе спектра измеряемому току в 1А соответствует 1812 единиц на шкале анализатора.

Алгоритм дискретного преобразования Фурье прост и удобен. Но использовать его следует только для анализа стационарного сигнала.

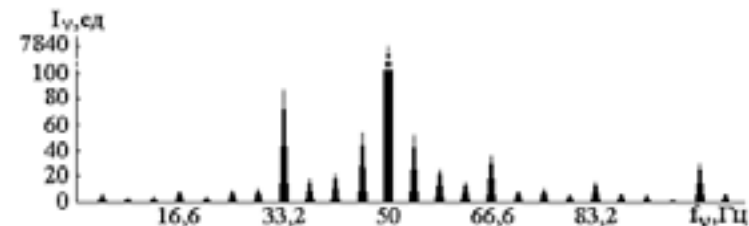


Рисунок 1 - Спектрограмма зависимости $I_{\nu}(t)$ АД АО-41-6 при эксцентриситете ротора

В реальных условиях сигнал с трансформатора тока не стационарен, поэтому использование ДПФ сопровождается искажением его спектра.

В этом случае следует применять метод оконного преобразования Фурье. В нем сигнал разделяют на сегменты – окна, затем к каждому из окон применяют дискретное преобразование Фурье и строят зависимости $I_{\nu}(n)$, где n - номер окна. При этом считается, что сигнал в пределах окна стационарен [10]. Для этого используют окна с коротким промежутком времени, а диагностирование осуществляют в режиме холостого хода АД. Пример зависимости $I_{\nu}(n)$ с частотой $f_{\nu}=33,333$ Гц для АД АО-41-6 при эксцентриситете ротора в режиме холостого хода с $n=20$ при ширине окна $t_{ок}=0,24$ с. приведена на рисунке 2.

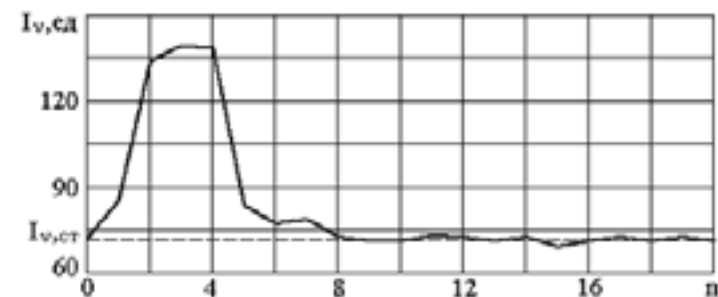


Рисунок 2 - Зависимость $I_{\nu}(n)$ для АД АО-41-6 при эксцентриситете ротора

Из рисунка видно, что этот метод позволяет надежно выявить время и длительность воздействия на АД со стороны питающей сети в виде колебаний напряжения. Для данного случая это бросок напряжения на 3-4% длительностью порядка 0,72с. Из него также можно определить величину дополнительного тока $I_{\nu,ст}$, которую тот должен иметь без воздействий на

АД со стороны питающего напряжения. В данном случае она составляет порядка 70 единиц.

Следует добавить, что зависимость $I_v(n)$ имеет некоторые ограничения в разрешении частоты и времени, определяемые неравенством Гейзенберга – Габора. Кроме того она имеет ограниченную точность, которая зависит от размера окна. Очевидно, хорошую разрешающую способность по времени при плохой частотной разрешающей способности получают при небольшом временном окне, и наоборот. Оптимальным считается оконное преобразование Фурье с гауссовым окном [9], которое получило название преобразование Габора.

Реальные нестационарные сигналы при диагностике повреждений ротора обычно состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов. Для их анализа целесообразно использовать преобразование, которое бы обеспечивало окна различной ширины для различных частот: узкие окна для высоких частот, а широкие - для низких [9]. Этот принцип лежит в основе метода вейвлет – преобразования.

Вейвлет - преобразование представляет собой передвижение некоторой аналитической функции вдоль оси времени и ее взаимодействие с контролируемым сигналом. Эту аналитическую функцию принято называть материнским вейвлетом. В качестве материнского вейвлета обычно используют вейвлеты Хаара, Шеннона, Добеши, Мейера, «мексиканская шляпа» и т.д. [10-12].

Если обозначить материнский вейвлет как $\Psi(t)$, то вейвлет преобразование сигнала $I_\phi(t)$ с масштабным параметром a и временным сдвигом τ определяется как:

$$W_\tau(\tau, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} I_\phi(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (3)$$

где $\Psi^*(t)$ – сопряженный материнский вейвлет.

Областью определения функции $W_s(\tau, a)$ является множество всех возможных комбинаций a и τ . Масштабный параметр является, в сущности, величиной, обратной частоте. Поскольку он находится в знаменателе, то при $a > 1$ сигнал растягивается, а при $a < 1$ сжимается.

Особенностью графиков вейвлет - преобразования является то, что на горизонтальных осях вместо частот откладываются время и масштабный параметр.

Оценке эффективности вейвлет - преобразования в различных областях диагностирования исправности электрических машин и механизмов посвящено множество работ [11-14]. Однако алгоритм вычисления этого метода достаточно сложен. Наиболее простым его вариантом является вейвлет - преобразование Хаара, рассмотренное в [15, 16].

Из [11-16] видно, что преимущества использования вейвлет - преобразования начинают проявляться в том случае, когда требуется выполнять спектральный анализ $I_\phi(t)$ в переходном процессе, например, при пуске АД. Примером может служить [17], где для диагностирования обрыва стержней ротора АД в режиме пуска используется вейвлет Хаара. Однако использование вейвлет - преобразования для диагностирования статического эксцентриситета ротора авторам найти не удалось.

ВЫВОДЫ

1 Метод дискретного преобразования Фурье может использоваться только для выявления статического эксцентриситета, но только при отсутствии колебаний напряжения и частоты питающей сети.

2 Метод оконного преобразования Фурье прост и позволяет выявлять время и длительность колебаний напряжения сети и осуществлять диагностику АД во время их отсутствия.

3 Алгоритм реализации вейвлет – преобразования сложен, а преимущества заключаются в возможности анализа сигнала в переходных процессах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Вайнреб, К.** Диагностика неисправности ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора [Текст] // Электричество. – 2012. – №7. – С.51-57.

2 **Новожилов, А. Н.** Обзор способов диагностики эксцентриситета ротора машин переменного тока [Текст] / А. Н. Новожилов, В. И. Полищук, Н. А. Исупова // Известия вузов. Электромеханика. – 2011. – № 6. – С.26–29.

3 **Новожилов, А. Н.** Особенности конструкции индуктивных преобразователей для релейной защиты и диагностики электрических машин переменного тока [Текст] / А. Н. Новожилов, М. П. Воликова, О. А. Андреева, Т. А. Новожилов // Электричество. – 2009. – №4. – С. 19–24.

4 Национальный стандарт РФ. ГОСТ Р 54149 — 2010 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в система электроснабжения общего назначения. Введен в действие с 01.01.2013.

5 **Геллер, Б. Гамата, В.** Высшие гармоники в асинхронных машинах. – М. : Энергия, 1981. – 351 с.

6 **Новожилов, А. Н.** Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете [Текст] // Электротехника. — 1994. – №11. – С. 45–48.

7 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. – М. : Высшая школа, 1967. – 775 с.

8 **Новожилов, А. Н.** Особенности построения системы диагностики электрических машин на базе персонального компьютера со встроенной звуковой картой [Текст] / А. Н. Новожилов, А. В. Антонцев, А. В. Мануковский, Н. А. Исупова, Е. В. Крюкова // Известия вузов Электромеханика. – 2012. – № 5. – С. 36–40.

9 **Кухарчук, В. В.** Применение вейвлет-преобразований в задачах мониторинга, вибродиагностирования машин и оборудования [Текст] / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацыв // Автоматика и информационно-измерительная техника. – 2009. – №4. – С. 1–7.

10 **Staszewski, W. J.** Application of the wavelet transform to fault detection in a spur gear [Text] / W. J. Staszewski, G. R. Tomlinson // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1994. – No.8. – pp. 289-307.

11 **Wang, W. J.** Application of wavelets to gearbox vibration signals for fault detection [Text] / W. J. Wang, P. D. McFadden // Journal of Sound and Vibration. – 1996. No.192. – pp. 927-939.

12 **Rubini, R.** Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearings [Text] / R. Rubini, U. Meneghetti // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – No.15. – pp. 287-302.

13 **Luo, G. Y.** On-line vibration analysis with fast continuous wavelet algorithm for condition monitoring of bearing [Text] / G. Y. Luo, D. Osypiw, M. Irle // Journal of Vibration and Control. – 2003. – No.9. – pp. 931-947.

14 **Dalpiazz, G.** Condition monitoring and diagnostics in automatic machines: comparison of vibration analysis techniques [Text] / G. Dalpiazz, A. Rivola // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1997. – No.11. – pp. 53-73.

15 **Xu, Y.-G.** Research on Haar spectrum in fault diagnosis of rotating machinery [Text] / Y.-G. Xu, Y.-L. Yan // Applied Mathematics and Mechanics (English Edition). – 1991. No.12. – pp. 61-66.

16 **Tonshoff, H. K.** Application of fast Haar transform and concurrent learning to tool-breakage detection in milling [Text] / H. K. Tonshoff, X. Li, C. Lapp // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2003. – No.8. – pp. 414-417.

17 **Глазырина, Т. А.** Функциональная вейвлет-диагностика состояния обмоток роторов трехфазных электрических машин [Текст] / Т. А. Глазырина, В. И. Полищук [и др.] // Электричество. – 2012. №6. – С. 42-45.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 16.01.14.

А. Н. Новожилов, Е. В. Крюкова, Т. А. Новожилов, Н. А. Исупова
Асинхронды қозғағыш роторының бұзылуын анықтауға арналған белгіні өңдеу әдістері

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 16.01.14 редакцияға түсті.

A. N. Novozhilov, E. V. Krukova, T. A. Novozhilov, N. A. Isupova
The methods of the signal processing for detection of the rotor's faults in an induction electrical machine

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 16.01.14.

Бұл мақалада асинхронды қозғағыш роторының бұзылуы диагностикасы облысындағы спектральді анализ әдістерінің көбінесе белгілі мүмкіндіктерін қарастыру. Кем түспейді және оны ғылыми-зерттеу мақсаттарында пайдалануға болады.

This paper reviews the possibilities of the most popular spectral analysis methods in diagnosis of the rotor's faults of an induction electrical machine.

УДК 621.313.13

А. Н. Новожилов, Е. В. Крюкова, Т. А. Новожилов

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ РОТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье описаны источники информации о повреждениях ротора АД, рассмотрены наиболее известные методы обработки их сигналов и приведен сравнительный анализ эффективности этих методов.

Постановка задачи. В настоящее время в эксплуатации находится порядка 5÷6,5 млн. асинхронных двигателей (АД). Значительная часть их повреждений приходится на статический и динамический эксцентриситет ротора, повреждения его «беличьей клетки» и подшипников [1-3]. Как показывает опыт эксплуатации АД на различных производствах, до 30-50% из них длительное время работают с этими видами повреждений ротора [2,3].

Такая эксплуатация АД сопровождается ухудшением эксплуатационных характеристик и повышенным потреблением электроэнергии. При этом в поле воздушного зазора появляются дополнительные магнитные поля, в обмотках ротора и статора дополнительные токи [4], а также возникают силы одностороннего притяжения ротора и вибрации корпуса [5,6]. В настоящее время известно огромное количество информации о диагностировании тех или иных повреждений ротора. Однако эта информация не систематизирована, а потому не дает полной картины в этой области.

Источники информации о повреждении. Выявление повреждений ротора АД в режиме эксплуатации осуществляют путем измерений тока статора, магнитного поля рассеяния и вибраций отдельных элементов машины.

В случае использования в качестве источника информации тока статора АД, сигнал получают с трансформаторов тока [7]. Трансформаторы тока АД, как правило, устанавливаются в ячейках комплектных распределительных устройств (КРУ).

Для получения информационного сигнала из магнитного поля рассеяния используются измерительные преобразователи в виде катушек индуктивности различной конструкции [8], которые устанавливают внутри или снаружи АД. При этом преобразователи, которые устанавливают внутри АД, являются стационарными, а внешние преобразователи – переносными, их устанавливают только на период диагностики.

Так как при работе АД с повреждениями ротора возникают вибрации корпуса двигателя, то для получения информации о повреждении ротора пользуются специальными вибрационными датчиками [5,9,10]. Иногда [11], в качестве источника информации о повреждении ротора используют акустический сигнал.

Диагностические признаки повреждений. В соответствии с [4,12] при эксцентриситете ротора в АД возникает неравномерность воздушного зазора, а следовательно, модуляция его магнитного поля. В результате в нем появляются дополнительные магнитные поля с частотами:

$$f_v = f_1 (v \pm 1/p), \quad (1)$$

где f_1 - частота основной гармонической сети; p - число пар полюсов АД; $v=0, 1, 2, 3, \dots$ - номер гармоники сети.

Эти магнитные поля воздушного зазора индуцируют в витках обмоток статора и ротора ЭДС с такой же частотой. Однако суммарная величина этих ЭДС в обмотке статора из-за особенностей ее конструкции всегда равна нулю, а токи от нее в обмотке статора отсутствуют. Однако в «беличьей клетке» ротора такие токи есть. Они создают свое магнитное поле в воздушном

зазоре и ослабляют основное. Такое ослабление учитывается коэффициентом демпфирования $D_{p \pm 1}$. Все эти процессы в свою очередь сопровождаются появлением в токах фаз статора, а также в магнитных полях внутри и снаружи АД дополнительных гармонических с частотами f_v .

Обрыв стержней ротора сопровождается перераспределением токов в неповрежденных стержнях «беличьей клетки» и искажением за счет этого синусоидальности магнитного поля в воздушном зазоре. В результате в магнитном поле воздушного зазора появляются дополнительные магнитные поля, а в токах фаз статора АД дополнительные гармонические [13] с частотами

$$f_v = f_1 (v \pm (1-s)/p \pm s) \quad (2)$$

где s - скольжение ротора.

Разрушение подшипника качения или его износ [14] сопровождается колебанием и микроударами его вращающихся и неподвижных элементов в виде внешнего и внутреннего кольца, тел качения и сепаратора. С учетом того, что скорость вращения тел качения значительно выше скорости вращения вала ротора АД, вызываемые вибрации являются высокочастотными. Поэтому диагностирование состояния подшипников качения в настоящее время в основном осуществляется по анализу высокочастотных вибраций.

Методы анализа стационарных сигналов. В системах диагностики повреждений ротора для выделения гармонических составляющих с характерными для повреждений частотами используется, как правило, спектральный анализ. Классификацию методов спектрального анализа применительно к диагностированию повреждений АД можно представить в виде схемы на рисунке 1.

В подавляющем большинстве существующих систем диагностики электрических машин предполагается, что сигнал с вращающейся машины стационарен, то есть его амплитудно-частотный спектр не изменяется во времени. В этом случае пользуются широко известным методом дискретного преобразования Фурье. Он заключается в представлении любого стационарного периодического сигнала $x(n)$ в виде суммы отдельных гармонических составляющих [15]

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\omega n}, \quad (3)$$

где N – количество отсчетов сигнала, ω - частота ($0 \leq \omega \leq 2\pi$)



Рисунок 1 – Классификация методов спектрального анализа

При вычислении коэффициентов ряда Фурье по описанной выше формуле требуется выполнить $(N - 1)^2 \approx N^2$ операций умножения и $N(N - 1) \approx N^2$ операций сложения. Это приводит к тому, что с ростом резко увеличивается объем вычислений. В связи с этим, в настоящее время, во многих системах диагностики повреждений АД широко применяется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Алгоритм быстрого преобразования Фурье прост. Поэтому его наиболее часто используют для определения различных повреждений ротора.

Однако сигнал с преобразователя практически всегда нестационарен [16], что делает нецелесообразным применение метода Фурье, так как он не показывает временную локализацию повреждения. Также недостатком метода преобразования Фурье является растекание спектра [17]. Для уменьшения растекания спектра применяются весовые функции в виде окна, в которых осуществляется коррекция сигнала, путем затухания его к краям весовой функции.

Другим не менее популярным непараметрическим методом спектрального анализа является метод оценки спектральной плотности мощности Уэлча (PSD) [18]. В этом периодограммном методе последовательность данных $x(n)$ сначала делится на Z сегментов. Длина каждого сегмента состоит из L выборок, и эти сегменты могут накладываться друг на друга с $(L-S)$ перекрываемых выборок, где S - число точек расположенных между сегментами. На практике, как правило, используется 50% перекрытия

[18]. Строго говоря, оптимальная степень перекрытия зависит от вида применяемого окна. Таким образом:

Сегмент 1: $x[0], x[1], \dots, x[L-1]$

Сегмент 2: $x[S], x[S+1], \dots, x[L+S-1]$

.....

Сегмент Z : $x[N-L], x[N-L+1], \dots, x[N-1]$

Взвешенный сегмент Z будет состоять из следующих выборок:

$$x^z[n] = w[n]x[n+zS], \text{ для } 0 \leq n \leq L-1; 0 \leq z \leq Z-1 \quad (4)$$

Функция окна $w[n]$ применена к данным в каждом сегменте перед вычислением периодограммы сегмента. Тогда дискретное преобразование Фурье для каждого сегмента определяется как

$$X^z(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{L-1} x^z(n) e^{-j\omega n} \quad (5)$$

Далее по [19] для взвешенных сегментов вычисляются модифицированные периодограммы

$$P_x^z(e^{j\omega}) = \frac{1}{UL} |X^z(e^{j\omega})|^2, \quad (6)$$

где $U = \sum_{n=0}^{L-1} w^2[n]$ и $w[n]$ - энергия и функция окна.

Разновидности окон приведены в [17]. Спектральная плотность мощности по методу Уэлча вычисляется как

$$P(e^{j\omega}) = \frac{1}{Z} \sum_{z=0}^{Z-1} \frac{1}{UL} \left| \sum_{n=0}^{L-1} x^z[n] e^{-j\omega n} \right|^2 \quad (7)$$

Применение весовой функции позволяет ослабить растекание спектра и уменьшить смещение получаемой оценки спектра плотности мощности ценой незначительного ухудшения разрешающей способности. Перекрытие сегментов дает возможность увеличить их число и уменьшить дисперсию оценки [19].

Идея кепстр-анализа заключается в том, чтобы заменить в спектре сигнала от источника информации ось частоты на ось времени, т.е. представить, что этот спектр является просто сигналом. Тогда, определив спектр этого «сигнала» (кепстр), можно легко определить невидимые явно

периодичности в этом «сигнале [20-23]. Что позволяет разделить во времени информацию о сигнале и оценить техническое состояние различных узлов асинхронных двигателей, для которых характерно присутствие иногда десятков гармоник основных частот возбуждения.

Методы анализа нестационарных сигналов. Практически всегда сигнал с измерительного преобразователя не стационарен, то есть изменяется во времени его амплитудно-частотный спектр [24]. Причиной этого является изменение условий эксплуатации АД.

Одним из методов, позволяющих учитывать нестационарность сигнала, является метод оконного преобразования Фурье (STFT) [25-29]. Метод заключается в том, что сигнал делят на сегменты-окна с коротким и одинаковым промежутком времени. После чего к каждому из окон применяют преобразование Фурье [15]

$$X(f, \tau) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w[n - \tau]e^{-j\omega n}, \quad (8)$$

где $w[n - \tau]$ – оконная функция, τ – сдвиг по времени.

По результатам преобразования строится спектрограмма [30] в виде зависимости $x_v(n)$, по которой легко установить сегменты со стационарным и нестационарным сигналами.

Полученная спектрограмма имеет ограниченное разрешение и точность, которые определяются размером окна. Оптимальным считается оконное преобразование Фурье с гауссовым окном [25], которое получило название преобразование Габора. Главным недостатком метода оконного преобразования Фурье является постоянный размер окна [25].

Преобразование Гильберта-Хуанга также очень известный метод анализа сигналов, который применяется в диагностике электрических машин [31-33]. Это преобразование представляет собой разложение сигнала на эмпирические моды (метод EMD), с последующим применением к полученным компонентам разложения преобразования Гильберта. Метод EMD представляет собой итерационную вычислительную процедуру, в результате которой исходный сигнал $x(n)$ раскладывается на эмпирические моды или внутренние колебания. В отличие от гармонического анализа, где модель сигнала задается заранее, эмпирические моды вычисляются в ходе процесса. Разложение на эмпирические моды позволяет анализировать локальные явления, поэтому данный метод может быть использован при обработке нестационарных процессов [34].

В сравнении с традиционным методом преобразования Фурье метод преобразования Гильберта-Хуанга исключает растекание спектра и позволяет с высокой точностью выявить очень низкие частоты.

Реальные нестационарные сигналы чаще всего состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов, поэтому для их анализа целесообразно было бы применять преобразование, которое бы обеспечивало узкие окна для высоких частот и широкие окна для низких частот [25]. Вейвлет-анализ основан на использовании окна переменного размера. Его можно представить как передвижение функции материнского вейвлета вдоль оси времени и ее взаимодействие с контролируемым сигналом. В качестве материнского используются вейвлеты Хаара, Шеннона, Добеши, Мейера, «мексиканская шляпа» и т.д.

Если обозначить материнский вейвлет как $\varphi(n)$, то вейвлет преобразование сигнала $x(n)$ с масштабным параметром a и временным сдвигом τ определяется как

$$W(a, \tau) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\varphi\left[\frac{n - \tau}{a}\right], \text{ где } \varphi(n) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{n}{a}\right) \quad (9)$$

Масштабный параметр является, в сущности, величиной, обратной частоте. Поскольку он находится в знаменателе, то при $a > 1$ растягивает сигнал, а при $a < 1$ сжимает его. Особенностью графиков вейвлет-преобразований является то, что на горизонтальных осях вместо частот откладываются время и масштабный параметр. Следует добавить, что при общей эффективности метода его алгоритм вычисления сложен [30, 35-39]. Наиболее простым его вариантом является вейвлет – преобразование Хаара [40,41].

В [30-35] показано, что преимущества вейвлет-преобразования начинают проявляться тогда, когда требуется сигнал разделить на его постоянную и переменную составляющие. Кроме того, этот метод преобразования сигнала позволяет выполнять спектральный анализ переходных процессов, например, при пуске АД [42].

Параметрические методы предполагают наличие некоторой статистической модели, наиболее близко аппроксимирующей исходный сигнал, а процесс спектрального анализа в данном случае включает в себя определение параметров этой модели. Наиболее популярным параметрическим методом является авторегрессионный метод Юла – Уолкера [17], в котором на первом этапе определяются параметры авторегрессионной модели сигнала $x(n)$, с помощью имеющихся данных сигнала и функций автокорреляции.

Затем по полученным параметрам авторегрессионной модели рассчитывается спектральная плотность мощности для данной модели [19] как

$$P(\epsilon^{j\omega}) = \rho / \left| 1 + \sum b_k(m) \epsilon^{-j\omega n} \right|^2 \quad (10)$$

где ρ – дисперсия белого шума, $b_k(m)$ – параметры модели, при $0 \leq m \leq k$, k – порядок авторегрессионной модели.

Параметры модели определяются путем решения системы линейных уравнений

$$\sum_{m=1}^N b_m R_x(m-k) = R_x(k), \quad (11)$$

где $k = 1, 2, \dots, N$; R_x – коэффициенты корреляционной матрицы сигнала, b_m – коэффициенты авторегрессионной модели

В свою очередь коэффициенты корреляционной матрицы

$$r_x(h) = \frac{1}{N} \sum x(n+h)x^*(n) \quad (12)$$

где $x^*(n)$ – сдвинутая копия исходного сигнала; $0 \leq h \leq k$.

Следует отметить, что существуют и другие известные авторегрессионные методы, такие как метод Берга, ковариационный метод, модифицированный ковариационный метод. Но, как показано в [43] результаты оценивания спектра по всем этим методам мало отличаются друг от друга для реальных сигналов.

Ценность авторегрессионных методов состоит в том, что при хорошем соответствии выбранной модели исходному сигналу получаются более точные оценки спектра при более высоком разрешении, чем при традиционном методе преобразования Фурье. В диагностических системах эти методы практически не используются из-за сложности алгоритма.

Классические методы спектрального анализа просты и эффективны. Однако, главным их недостатком является растекание спектра. Применение весовых функций позволяет смягчать эффект растекания, но за счет уменьшения разрешения спектра.

Чтобы улучшить статистическую стабильность спектральной оценки, то есть, чтобы минимизировать оценочное различие, используется усреднение данных, что в свою очередь уменьшает разрешение спектра. Таким образом, необходим компромисс между уровнем стабильности, спектральным разрешением и подавлением растекания спектра.

Одним из таких методов является метод MUSIC (Multiple Signal Classification), в основе которого лежит анализ собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы сигнала [17, 30-35].

Сигнал представляется в виде суммы L -синусоид и белого шума как

$$x(n) = \sum_{k=1}^L A_k \exp(j2\pi f_k n + \varphi_k) + \epsilon(n), \quad (13)$$

где $x(n)$ – исходный сигнал, $\epsilon(n)$ – сигнал белого шума с дисперсией σ^2 , A_k , f_k , φ_k – соответственно амплитуда, частота и фаза k -той синусоиды.

Сам метод основан на представлении информации автокорреляционной матрицы R . Он позволяет улучшить или поддержать высокую разрешающую способность, не жертвуя стабильностью, использовать только основные спектральные компоненты сигнала и уменьшить шумовое влияние.

Примеры использования методов анализа, информация о повреждении АД, измеряемом сигнале и методах его обработки для систем диагностики приведены в таблице.

Таблица 1 – Анализ использования методов обработки сигналов в диагностике повреждений АД

Публикация	Краткая характеристика публикации
[44]	Информация о повреждении - ток статора, мощность. Метод обработки сигнала - БПФ. В статье показано, что БПФ может быть использовано для диагностики повреждений ротора. Однако в случае использования в качестве информации о повреждении тока статора, результаты будут неточны из-за влияния нагрузки АД. В тоже время анализ мощности дает более достоверные результаты.
[16]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - БПФ и преобразование Гильберта-Хуанга. В работе показано, что преобразование Гильберта-Хуанга более точно определяет признаки повреждения стержней ротора и требует меньше вычислений.
[19]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - БПФ, метод Уэлча и Юла-Уолкера. Авторы показали, что при прямоугольном окне методы ДПФ и Уэлча дают значительное растекание спектра. В тоже время метод Юла-Уолкера может с успехом применяться для распознавания повреждений стержней ротора, но при условии фильтрации основной частотной составляющей.
[26]	Информация о повреждении - ток статора. Методы обработки сигнала - периодограммный, Уэлча, оконного преобразования Фурье и вейвлет-анализ. В статье сравниваются возможности четырех методов при диагностике повреждений эксцентриситета, повреждений «беличьей клетки» и повреждений подшипников. Результаты использования классического периодограммного метода и метода Уэлча очень близки, однако в случае зашумленного сигнала метод Уэлча показывает лучшие результаты. По сравнению с ними метод оконного преобразования Фурье и вейвлет-анализ позволяют определить время возникновения отклонений от нормальной работы.

[30]	Информация о повреждении -ток статора. Методы обработки сигнала - БПФ и биспекстр, методы спектрального анализа высокого разрешения и вейвлет-анализ. Авторы не отрицают диагностическую ценность классического метода БПФ, но показывают что остальные методы позволяют более точно диагностировать повреждения. Возможности вейвлет-анализа для диагностики повреждений ротора более широки, так как он позволяет осуществлять диагностику и во время переходных процессов. В статье показано также, что наилучшие результаты дает комбинация оконного преобразования Фурье и вейвлет-анализа.
[35]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - MUSIC и ROOT-MUSIC. Результаты экспериментов показывают, что эти методы значительно превосходят традиционное БПФ при диагностике эксцентриситета ротора, повреждения «беличьей клетки», небаланса ротора и повреждения подшипников.
[45]	Информация о повреждении - вибрационный сигнал. Метод обработки сигнала - БПФ и вейвлет-анализ. В статье показано, что при использовании вейвлет-анализа амплитуды характерных для повреждений подшипников частот намного больше, чем при использовании классического метода БПФ. Проведенные эксперименты также показали большую эффективность вейвлет-анализа при диагностике повреждений подшипников.
[46]	Информация о повреждении - акустический и вибрационный сигналы, а также ток статора. Метод обработки сигнала - БПФ. В статье подчеркивается, что метод спектрального анализа потребляемого тока наиболее чувствителен для определения повреждений «беличьей клетки», независимо от изменения скорости и нагрузки АД.
[47]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - БПФ. Метод спектрального анализа тока статора с применением БПФ позволяет достаточно точно и быстро диагностировать повреждения «беличьей клетки» АД.
[48]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - вейвлет-анализ. Позволяет определить повреждения с высокой точностью, при этом предложенный алгоритм позволяет уменьшить количество итераций.
[49]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - Уэлча. Позволяет однозначно идентифицировать повреждение стержней ротора, а применение искусственных нейронных сетей повышает точность при распознавании вида повреждений.
[50]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - ковариационный. Дает возможность получать частотный состав сигнала с большим разрешением, чем ДПФ. Этот метод наиболее чувствителен к изменениям частоты.
[51]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала - вейвлет-анализ. В соответствии с этой работой вейвлет-анализ превосходит оконное преобразование Фурье при диагностировании коротких замыканий и повреждений стержней ротора в случае непостоянной нагрузки АД.
[52]	Информация о повреждении - ток статора. Метод обработки сигнала БПФ и вейвлет-анализ. Как показали авторы, в сравнении с традиционным методом БПФ, вейвлет-анализ способен выделять характерные для эксцентриситета ротора и повреждений «беличьей клетки» частоты с большим разрешением. Это дает возможность идентифицировать повреждения даже в случае небольшой нагрузки. Метод БПФ точен для установившегося режима работы АД, в случае переходных режимов необходимо использовать вейвлет-анализ.

ВЫВОДЫ

1. Чаще всего для выявления повреждений ротора АД при стационарном сигнале используется метод быстрого преобразования Фурье.
2. Метод оконного преобразования Фурье позволяет легко выделять временные промежутки нестационарности сигнала.
3. Наиболее универсальным для обработки сигнала в системах диагностики можно считать вейвлет-анализ из-за его способности эффективно выявлять повреждения АД в переходных процессах, например при пуске.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Гемке, Р. Г.** Неисправности электрических машин [Текст] / Р. Г. Гемке. – Л. : Энергия, 1975. – 296 с.
- 2 **Ермолин, Н. П.** Надежность электрических машин [Текст] / Н. П. Ермолин, И. П. Жерихин. – Л. : Энергия, 1976. – 247 с.
- 3 **Корогодский, В. И.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В [Текст] / В. И. Корогодский, С. П. Кужеков, Л. Б. Паперно. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
- 4 **Новожилов, А. Н.** Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете [Текст] / А. Н. Новожилов // Электротехника. – 1994. – №11. – С. 45-48.
- 5 **Ахмедшина, М. В.** Поход к учету вибрационных параметров асинхронных двигателей при изменении состояния конструктивных элементов [Текст] / М. В. Ахмедшина, В. В. Прусс // Вестник КГУ им. М. Остроградского, Электрические машины и аппараты. – 2010. – №4(63). – С. 77-82.
- 6 **Шубов, И. Г.** Шум и вибрация электрических машин [Текст] / И. Г. Шубов. – Л. : Энергоатомиздат, – 1986. – 206 с.
- 7 **Вайнреб, К.** Диагностика неисправности ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора [Текст] / К. Вайнреб // Электричество. – 2012. – №7. – С. 51-57.
- 8 **Новожилов, А. Н.** Особенности конструкции индукционных преобразователей для релейной защиты и диагностики электрических машин переменного тока [Текст] / А. Н. Новожилов, М. П. Воликова, О. А. Андреева, Т. А. Новожилов // Электричество. – 2009. – №4. – С. 19-24.
- 9 **Григорьев, В. И.** Приборы и средства диагностики электрооборудования и измерений в системах электроснабжения: Справ.пособие [Текст] / В. И. Григорьев. – М. : Колос, – 2006. – 272 с.
- 10 **Ширман, А. Р.** Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования [Текст] / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Издательский центр «Академия», 1996. – 317с.

11 **Głowacz A.**, Sound recognition of induction motor with the use of discrete Meyer wavelet transform and classifier based on words [Text] / A. Głowacz // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – No.6. – pp. 152-154.

12 **Геллер, Б.** Высшие гармоники в асинхронных машинах [Текст] / Б. Геллер, В. Гамата. – М. : Энергия, 1981. – 351 с.

13 **Новожилов, А. Н.** Метод численного моделирования работы асинхронного двигателя с обрывом стержней в короткозамкнутом роторе [Текст] / А. Н. Новожилов, А. П. Кислов, О. А. Андреева // Электричество. – 2004. – №11. – С. 41-45.

14 **Александров, А. А.** Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования [Текст] / А. А. Александров, А. В. Барков, Н. А. Баркова, В. А. Шафранский. – Л. : Издательство Судостроение, 1986. – 276 с.

15 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники [Текст] / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1967. – 775 с.

16 **Panaderio, R. P.** Review diagnosis methods of Induction Electrical Machines based on Steady State Current [Text] / R. P. Panaderio, J. R. Llinares // XIII Spanish-Portuguese conference on electrical engineering (XIII CHLIE), Spain, 3-5 July 2013.

17 **Сергиенко, А. Б.** Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов [Текст] / А. Б. Сергиенко. — 2-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 751 с.: ил.

18 **Kia, H. H. S. H.** A high-resolution frequency estimation method for three-phase induction machine fault detection [Text] / H.H.S.H. Kia, G.A.Capolino // IEEE Transaction Ind. Electron. 2007. – vol.54. – pp. 2305-2314.

19 **Ayhan, B.** On the Use of a Lower Sampling Rate for Broken Rotor Bar Detection With DTFT and AR—Based Spectrum Methods [Text] / B. Ayhan, H. J. Trussell, M-Y. Chow, M-H. Song // IEEE Transaction on Industrial Electronics. 2008. – vol.55. – pp. 1421-1434.

20 Технологии обслуживания оборудования “по состоянию” [Электронный ресурс] URL: http://www.vitec.ru/upload/iblock/3ef/kepstralni_analiz.pdf

21 **Кравченко, В. М.** Техническое диагностирование механического оборудования. Учебник [Текст] / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. Я. Седуш. – Донецк : ООО Юго Восток, Лтд, 2009. – 459 с.

22 **Гольдин, А. С.** Вибрация роторных машин [Текст] / А. С. Гольдин. – М. : Машиностроение, 1999. – 344 с.

23 Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред.совет: В. Н. Челомей (пред.) – М. : Машиностроение, 1981. – Т.5, Измерения и испытания./ Под ред. М. Д. Генкина. 1981. – С.389-396.

24 **Кухарчук, В. В.** Применение вейвлет-преобразований в задачах мониторинга, вибродиагностирования машин и оборудования [Текст] / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацыв // Автоматика и информационно-измерительная техника. – 2009. – №4. – С. 1-7.

25 **Da Silva, A. A.** Rotating machinery monitoring and diagnosis using short-time Fourier transform and wavelet techniques [Text] / A. A. Da Silva [et al.] // International Conference Maintenance and Reliability. – 1997. – vol.1. – pp.1401-1415.

26 **AI Ahmar, E.** Advanced signal processing techniques for fault detection and diagnosis in a wind turbine induction generator drive train: a comparative study [Text] / E. AI Ahmar, V. Choqueuse, M.E.H. Benbouzid, Y. Amirat, J.EI Assad, R. Karam, and S. Farah // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). — 2010. – pp. 3576 – 3581.

27 **Wang, W. J.** Early detection of gear failure by vibration analysis i. calculation of the time-frequency distribution [Text] / W. J. Wang, P. D. McFadden // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1993. – No.7. – pp. 193-203.

28 **Andrade, F. A.** Gearbox fault detection using statistical methods, time-frequency methods (STFT and Wigner-Ville distribution) and harmonic wavelet – A comparative study [Text] / F. A. Andrade, I. Esat, M. N. M. Badi // in: Proceedings of COMADEM '99, Chipping Norton. – 1999. – pp. 77-85.

29 **Cohen, L.** Time-frequency distribution – a review [Text] / L. Cohen // Proceedings of the IEEE. – 1989. No.7. – pp. 941-981.

30 **Benbouzid, M.** A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection [Text] / M. Benbouzid // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2000. – vol.47, No.5. – pp. 983-993.

31 **Ho, D.** Optimisation of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing fault signals [Text] / D. Ho, R. B. Randall // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2000. – No.14. – pp. 763-788.

32 **Randall, R. B.** The relationship between spectral correlation and envelope analysis in the diagnostics of bearing faults and other cyclostationary machine signals [Text] / R. B. Randall, J. Antoni, S. Chobsaard // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – No.15. – pp. 945-962.

33 A survey of signal processing and decision technologies for CBM [Электронный ресурс]. <http://www.livingreliability.com/en/posts/a-survey-of-signal-processing-and-decision-technologies-for-cbm/>

34 Цифровая обработка сигналов. Преобразование Гильберта-Хуанга [Электронный ресурс] <http://gendocs.ru/v37409/> лекция_ - _преобразование_ гильберта-хуанга

35 **Benbouzid, M.E.H.** Induction motors fault detection and localization using stator current advanced signal processing techniques [Text] / M.E.H. Benbouzid [et al.] // IEEE Transaction Power Electron. – 1999. – vol.14. – pp. 14-22.

36 **Wang, W. J.** Application of wavelets to gearbox vibration signals for fault detection [Text] / W. J. Wang, P. D. McFadden // Journal of Sound and Vibration. – 1996. No.192. – pp. 927-939.

37 **Rubini, R.** Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearings [Text] / R. Rubini, U. Meneghetti // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – No.15. – pp. 287-302.

38 **Luo, G. Y.** On-line vibration analysis with fast continuous wavelet algorithm for condition monitoring of bearing [Text] / G. Y. Luo, D. Osypiw, M. Irle // Journal of Vibration and Control. – 2003. – No.9. – pp. 931-947.

39 **Dalpiazz, G.** Condition monitoring and diagnostics in automatic machines: comparison of vibration analysis techniques [Text] / G. Dalpiazz, A. Rivola // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1997. – No.11. – pp. 53-73.

40 **Xu, Y.-G.** Research on Haar spectrum in fault diagnosis of rotating machinery [Text] / Y.-G. Xu, Y.-L. Yan // Applied Mathematics and Mechanics (English Edition). – 1991. No.12. – pp. 61-66.

41 **Tonshoff, H. K.** Application of fast Haar transform and concurrent learning to tool-breakage detection in milling [Text] / H. K. Tonshoff, X. Li, C. Lapp // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2003. – No.8. – pp. 414-417.

42 **Глазырина, Т. А.** Функциональная вейвлет-диагностика состояния обмоток роторов трехфазных электрических машин [Текст] / Т. А. Глазырина, В. И. Полищук [и др.] // Электричество. – 2012. – №6. – С. 42-45.

43 **Марпл – мл., С. Л.** Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С. Л. Марпл мл.; перевод с англ. О. И. Хабарова, Г. А. Сидоровой; под ред. И. С. Рыжака. – М. : Мир, 1990. – 545с.

44 **Zagirnyak, M.** Taking stator cores properties into account when induction motors vibration parameters are calculated [Text] / M. Zagirnyak, V.Prus, I.Kolotylo, D. Miljavec // Przegląd Electrotechniczny. – 2013. – No.12. – pp. 192-195.

45 **Dalpiazz, G.** Condition monitoring and diagnostics in automatic machines: comparison of vibration analysis techniques [Text] / G. Dalpiazz, A. Rivola // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1997. – No.11. – pp. 53-73.

46 **Li, W.** Detection of induction motor faults: A comparison of stator current, vibration and acoustic methods [Text] / W.Li, C.K.Mechefske // Journal of Vibration and Control. – 2006. – No.12(2). – pp. 165-188.

47 **Bellini, A.** Quantitative evaluation of induction motor broken bars by means of electrical signature analysis [Text] / A. Bellini, F. Filippetti, G. Franceschini, C.Tassoni, G.B.Kliman // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2001. – No. 37(5). – pp. 1248-1255.

48 **Ye, Z.** Mechanical fault diagnosis for induction motor with variable speed drives using Adaptive Neuro-fuzzy Inference System [Text] / Z.Ye, A.Sadeghian, B.Wu // Electric Power Systems Research. – 2006. – No.76(9-10). – pp. 742-752.

49 **Ayhan, B.** Multiple discriminant analysis and neural-network-based monolith and partition fault-detection schemes for broken rotor bar in induction motors [Text] / B. Ayhan, M. Y. Chow, M. H. Song // IEEE Transactions on Industry Electronics. – 2006. – No.53(4). – pp. 1298-1308.

50 **Bellini, A.** Monitoring of induction machines by maximum covariance method for frequency tracking [Text] / A.Bellini, G.Franceschini, C.Tassoni // IEEE Transaction on Industry Applications. – 2006. – No.42(1). – pp. 69-78.

51 **Cusido, J.** Fault detection in induction machines using power spectral density in wavelet decomposition [Text] / J. Cusido, L. Romeral, J. A. Ortega, J. A. Rosero, A. G. Espinosa // IEEE Transaction on Industrial Electronics. – 2008. No. 55(2). – pp. 633-643.

52 **Ye, Z.** Current signature analysis of induction motor mechanical faults by wavelet packet decomposition [Text] / Z. Ye, B. Wu, A. Sadeghian // IEEE Transaction on Industrial Electronics. – 2003. – No. 50(6). – pp. 1217-1228.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 24.01.14.

A. N. Novozhilov, E. V. Krukova, T. A. Novozhilov

**Асинхронды қозғағыш күштер роторының бұзылуын
диагностикалау**

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 24.01.14 редакцияға түсті.

A. N. Novozhilov, E. V. Krukova, T. A. Novozhilov

The diagnostics of the rotor's faults in an induction electrical machine

S.Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 24.01.14

Мақалада АД роторының зақымдалуы туралы ақпарат көздері суреттелген, олардың дабылдарының өңдеуінің ең белгілі әдістері қарастырылған және осы тәсілдердің тиімділігіне салыстырмалы саралау келтірілген.

In this paper there are described the sources of information on rotor's fault in an induction electrical machine, the most known methods of processing signals are considered and the comparative analysis of efficiency of these methods is provided.

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

СИТОВЫЙ АНАЛИЗ ЗОЛЫ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ

Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению степени улавливания инерционного золоуловителя в зависимости от фракционного состава золы.

Первостепенное влияние на работу золоуловителей оказывает крупность пыли. Так как летучая зола состоит из частиц разных размеров, то характеристикой крупности ее служит фракционный состав, показывающий, какое количество частиц того или другого размера содержится в ней.

Фракционный состав золы, определяемый по диаметру частиц (дисперсный состав), зависит от исходного состояния (помола) топлива, типа установленного золоулавливающего оборудования и степени очистки газов в нем. В связи с широким классом применяемых мельничных устройств, фракционный состав золы на предприятиях Казахстана может меняться.

Дисперсный состав летучей золы в уходящих газах котлов ТЭС, сжигающих уголь, определяется экспериментально следующими методами: ситовым, воздушной сепарации, жидкостной седиментации, центробежной сепарации, микроскопический анализ.

Наиболее простым способом определения фракционного состава является ситовый анализ, заключающийся в просеивании пробы пыли через ряд сит с последовательно уменьшающимися размерами отверстий. Для просеивания пыли применяют сита, плетенные из тонкой металлической проволоки. Такая последовательность позволяет разделить пробу на фракции за один анализ. Рассевка может производиться ручным или механическим способом.

На основании результатов просеивания строят кривую полных остатков. Эта кривая показывает, какое количество пыли задерживается на данном сите, т.е. весовое содержание в пыли частиц размерами более. Содержание данной фракции выражается кривой распределения, которая получается путем графического дифференцирования кривой полных остатков.

С помощью ситового анализа можно определить содержание частиц только больших 40 мкм, так как сита с более мелкими отверстиями изготовить нельзя, остальные методы могут быть рекомендованы для разделения летучей золы на фракции менее 40 мкм. [1]

Ситовый анализ производился для золы Экибастузского угля энергетических предприятий Павлодарского региона. Затем зола улавливалась лабораторной моделью аэрофильтра [2, 3].

В начале экспериментального исследования был произведен ситовый анализ пробы золы до прохождения аэрофильтра весом Мисх = 100 гр. Использовались сита размером ячеек 280, 250, 200, 160 и 140 мкм.

Таблица 1 – Результаты ситового анализа золы до прохождения золоуловителя.

Номер сита	Остаток на сите, г	Доля, %
280	1,8	1,8
250	3,15	3,15
200	19,8	19,8
160	25,9	25,9
140	9,85	9,85
дно	38,5	38,5

Кривая полных остатков, получаемая на основании результатов ситового анализа строилась согласно методике [6]. Данные для построения кривой распределения приведены в таблице 2, дифференциальная кривая распределения частиц по размерам изображена на рисунке 1.

Как видно из таблицы 1, основная доля приходится на частицы размером менее 140 мкм. и 160 мкм. Максимум дифференциальной кривой (рисунок 1) приходится на значение 160 мкм.

Таблица 2 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам

δ , мкм	130	140	160	200	250	280
$\Delta\delta$, мкм	130	10	20	40	50	30
ΔD , %	38,5	9,85	25,9	19,8	3,15	1,8
$\Delta D/\Delta\delta$	0,3	0,985	1,3	0,5	0,063	0,06

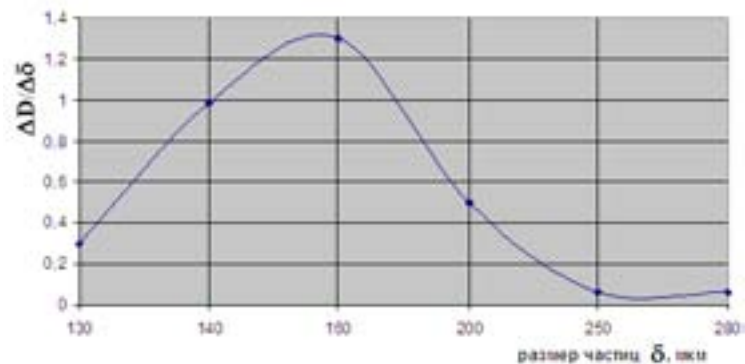


Рисунок 1 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при ситовом анализе до аэрофильтра

После пропускания порции золы через аэрофильтр производим ситовый анализ уловленной золы весом Мисх = 106 г. по той же методике. Результаты представлены ниже.

Таблица 3 – Ситовый анализ золы после аэрофильтра

Номер сита	Остаток на сите, г	Доля, %
280	1,8	1,7
250	5,39	5,1
200	20,78	19,6
160	18,42	17,4
140	5,89	5,6
дно	53,35	50,3

Таблица 4 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам после аэрофильтра

δ , мкм	130	140	160	200	250	280
$\Delta\delta$, мкм	130	10	20	40	50	30
ΔD , %	50,3	5,6	17,4	19,6	5,1	1,7
$\Delta D/\Delta\delta$	0,4	0,56	0,87	0,49	0,102	0,06

Из полученной кривой распределения можно заметить, что после прохождения золы через золоуловитель, максимальное количество в ней составляют частицы размером менее 140 мкм и 160 мкм, как и до аэрофильтра.

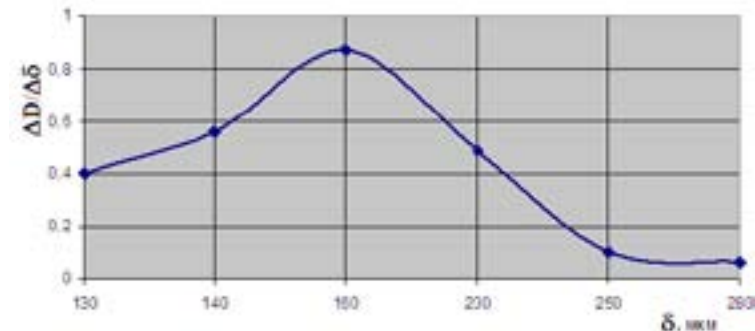


Рисунок 2 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при ситовом анализе после аэрофильтра

При проведении экспериментального исследования степени улавливания золоуловителя для разных фракций золы было взято два вида золы Экибастузского угля, состав которых приведен в таблицах 5 и 6. Результаты полученной степени улавливания аэрофильтра при пропускании порций взятых образцов приведены в таблице 7.

Как видно из таблицы 7, при улавливании золы, содержащей в своем составе преобладающее количество мелких частиц, степень улавливания аэрофильтра значительно снижается.

Таблица 5 – Фракционный состав золы I

Номер сита	Остаток на сите, г	Доля, %
280	1,80	1,80
250	3,15	3,15
200	19,80	19,80
160	25,90	25,90
140	9,850	9,850
Провал (дно)	38,50	38,50

Таблица 6 – Фракционный состав золы II

Номер сита	Остаток на сите, г	Доля, %
280	3,30	3,30
250	2,05	2,05
200	6,70	6,70
160	8,70	8,70
140	2,00	2,00
100	13,45	13,45
Провал (дно)	63,40	63,40

Таблица 7 – Результаты эксперимента

Частицы, запыляющие поток	Количество опытов	Степень очистки установки, %
Зола I	20	88 – 93,7
Зола II	15	78 – 84

В связи с вышеупомянутым наблюдением было решено определить степень улавливания установки для различных фракций золы. Это даст возможность, проведя ситовый анализ имеющейся на предприятии золы, сделать вывод о рациональности применения аэрофилтра на данном предприятии.

С помощью ситового анализа были отобраны массы различных фракций золовой пыли, и производилось определение влияния фракционного состава улавливаемой пыли на степень улавливания аэрофилтра. Результаты эксперимента сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – результаты эксперимента при скорости потока 18 м/с

Фракция золы, мкм	Степень очистки установки, %
Более 280	89,6
R ₂₅₀	84,1
R ₂₀₀	90,4
R ₁₆₀	91,6
R ₁₄₀	92,1
R ₁₀₀	93,8
Менее 100	64,0

Как видно из таблицы 8, максимальная степень улавливания имеет место для фракции 100-140 мкм, для частиц меньшего размера степень улавливания резко снижается, и процесс улавливания сопровождается интенсивным пылением. Большую эффективность улавливания золы I можно объяснить наличием преобладающей фракции частиц 160 мкм и значительно меньшим содержанием субмикронных частиц, трудно поддающихся улавливаю инерционным способом.

Так как образующаяся на предприятиях Казахстана зола Экибастузского угля имеет в своем составе значительную долю фракции размером 100 мкм, можно с уверенностью полагать, что испытуемый аэрофилтр может применяться на энергетических предприятиях с целью улавливания пыле- золовых выбросов.

Выводы: 1. Среди разных способов определения фракционного состава золовых частиц в дымовых газах ТЭС для нашего исследования рационально использовать 2 метода: ситовый и микроскопический анализ.

2. По результатам проведенных исследований представляется следующий фракционный состав:

- до улавливания в аэрофилтре основную массу занимают частицы размером 10 - 15 и 160 мкм.

- максимальное количество частиц, уловленных аэрофилтром, составляют фракции менее 140 мкм (из них 15 - 20 и 50 мкм) и 160 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 153-34.1-02.319-2001. Методические указания по определению коэффициента оседания f при оценке загрязнения атмосферы твердыми выбросами ТЭС с учетом дисперсности летучей золы. – М. : РАО “ЕЭС России”, 2002. – 9 с.

2 **Оришевская, Е. В., Приходько, Е. В.** Анализ разработок современных инерционных пылеуловителей. – «Вестник ПГУ», № 3-4. – Павлодар, 2012. – С. 171-178.

3 Патент № 12071. Поперечно-струйный аэрофилтр. / Агапов Ю. Е., Белоглазов В. П., Оришевская Е. В; опубл 15.10.2002, Бюл № 10. – 5с : ил.

4 Порошковая металлургия и напыленные покрытия : Учебник для вузов / В. Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. – М. : Металлургия, 1987. – 792 с.

5 **Мизонов, В. Е., Ушаков, С. Г.** Аэродинамическая классификация порошков. – М. : Химия, 1989. – 160 с.

6 **Коузов, П. А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 24.01.14.

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

Екібастұз көмір күлдігінің ситолық анализі

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 24.01.14 редакцияға түсті.

E. V. Orishevskaya, E. V. Prichodko

Sieve analysis of Ekibastuz coal ash

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 24.01.14

Инерционды кулдікті фракционды құрамына байланысты ұстап қалудың зертханалық сынақтардың нәтижелері қарастырылған.

Results of laboratory experiment on studying the degree of catching inertial ash catcher depending on fractional structure of ashes are presented.

УДК 615.471.681.31

Д. В. Риттер*, **А. Е. Анарбаев****, **С. С. Молдахметов****

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНОВОДА В УСТРОЙСТВАХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА

В статье рассматриваются особенности процесса облучения и нагрева. Подробно излагаются режимы минимального переизлучения энергии и максимального поглощения энергии. Уделено особое внимание концентрации энергии. Многоходовое устройство возбуждения позволяет достаточно просто осуществлять ступенчатую регулировку тепловой мощности в нагреваемом объекте. Применение поля поверхностного волновода для нагрева протяженных объектов позволяет решить многие проблемы, в отличие от традиционных способов, то есть является весьма перспективным. Предварительный анализ и расчеты показали, что использование в установках по СВЧ нагреву поверхностных волноводов имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными установками.

Ключевые слова: рефлектор, вибратор, рупор, провод, поверхностные волны

Чтобы применение СВЧ энергии было экономически оправдано, необходимо выбирать такие СВЧ приборы, которые имели бы в сочетании следующие характеристики: высокий КПД преобразования энергии промышленной частоты в СВЧ энергию (не менее 50%, а лучше 70% — 90%); высокий уровень выходной мощности в непрерывном режиме (около 1 кВт и более); простые и дешевые источники питания (желательно питать СВЧ прибор, непосредственно подключая его к вторичной обмотке силового трансформатора промышленной электросети без выпрямителей и фильтров); простота конструкции, надежность, большой срок службы (не менее 2 — 5 тысяч часов); возможность эффективной работы при переменной нагрузке.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют магнетроны, пролетные многорезонаторные клистроны и амплитроны.

Наибольшее распространение в качестве источника СВЧ энергии получили магнетроны. Относительная простота конструкции, малые размеры и высокий КПД делают их наиболее пригодными для использования во многих областях СВЧ энергетики. Опыт применения магнетронов и исследования их свойств привели к тому, что в настоящее время они почти исключительно применяются в промышленных СВЧ установках.

В настоящее время в СВЧ энергетике получили широкое распространение установки резонаторного типа, которые являются системами универсального действия, позволяющие производить термообработку диэлектрических материалов различной формы, обладающих произвольными свойствами в рабочем диапазоне температур. Универсальность данного класса СВЧ нагревательных установок приводит к невозможности достижения однородной удельной плотности тепловых источников в объеме обрабатываемого материала и, соответственно, равномерности его нагрева, вследствие неоднородности электрического поля в объеме резонатора в заданном диапазоне частот. В связи с этим одним из практически важных направлений улучшения равномерности нагрева обрабатываемого материала является совершенствование системы возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере.

В данной статье обсуждаются возможности использования поверхностного волновода для СВЧ нагрева.

Общая теория поверхностного волновода разработана в конце 19 — начале 20 столетий. С развитием техники излучения и приема радиоволн в область все более коротких волн в конце 50-х годов ученые вновь обратились к открытым волноводам, в частности, к однопроводным линиям передачи. Особенно интенсивное развитие линии поверхностной волны наблюдалось в 60-е годы в нашей стране [1-4]. Уже в конце 60-х годов однопроводные линии передачи нашли отражение в учебной литературе [3], в целом сформулирована не только общая теория открытых волноводов, но и показана возможность технической реализации для систем телевидения [2] и связи.

В последующие годы интерес несколько спал, что обусловлено достаточно полным описанием свойств линии и выявлением определенных ее недостатков. Из недостатков, ограничивающих широкое распространение однопроводных линий передачи, следует указать такие, как уязвимость параметров линии в сантиметровом диапазоне волн под действием осадков, сложность конструкции устройств возбуждения и связанное с этим натяжение провода в дециметровом и метровом диапазонах волн, узкополосность. Кроме того, область использования однопроводной линии передачи ограничивалась лишь фидерными линиями.

В 90-е годы открытые линии передачи вновь вызвали определенный интерес. Толчком в данном случае послужили обстоятельства, связанные с расширением области использования однопроводных линий передачи. В частности, линия поверхностной волны была использована в качестве устройства для распределения энергии между переизлучателями, находящимися в зоне с наибольшей интенсивностью поверхностной волны.

В качестве устройств возбуждения поверхностных волн обычно применяют рупорные или рупорно-диэлектрические возбудители, создающие поверхностную волну [2]. Рупорно-диэлектрические возбудители поверхностной волны представляют собой рупорный возбудитель с диэлектрической вставкой, надетой на провод [5]. Диэлектрическая вставка играет роль замедляющего устройства для замедления и концентрации электромагнитного поля при переходе от коаксиального кабеля к плоскости апертуры рупора с дальнейшим постепенным уменьшением концентрации поля. В [5] в качестве замедляющего устройства применена диэлектрическая вставка из полистирола в виде двух конусов, соединенных основаниями.

Наибольшее распространение получило устройство возбуждения поверхностной волны в виде конического рупора, диаметр раскрытия которого составляет $D > 2\lambda$ [2]. Отметим, что применение конических рупоров для возбуждения имеет ряд недостатков: небольшая механическая прочность в местах крепления конического рупора и натянутого провода поверхностного волновода, а также относительно большие размеры рупора, объемная конструкция. Пожалуй, только конструктивные недостатки делают эту систему возбуждения малоприменимой.

В [6] предложен альтернативный вариант системы возбуждения в виде ряда вибраторов, располагаемых вокруг провода вдоль радиальных линий напряженности электрического поля E_r – составляющих компоненты волны E_{00} (рис. 1).

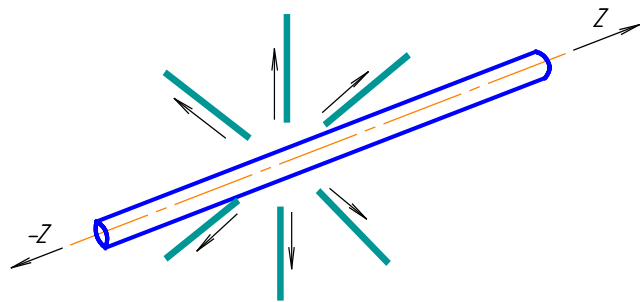


Рисунок 1 – Схема системы возбуждения, состоящей из совокупности радиальных вибраторов

Указанная система образует в проводе бегущие в разные стороны поверхностные волны. Положительным моментом данной системы возбуждения является то, что в сущности, она является сосредоточенной в одном сечении. Дальнейшее ее развитие шло по пути упрощения. В частности, ее эффективность не снижается в случае уменьшения количества вибраторов. Так система возбуждения из трех вибраторов, определенным образом связанных друг с другом, оказалась наиболее оптимальной с конструктивной точки зрения (рис. 2).

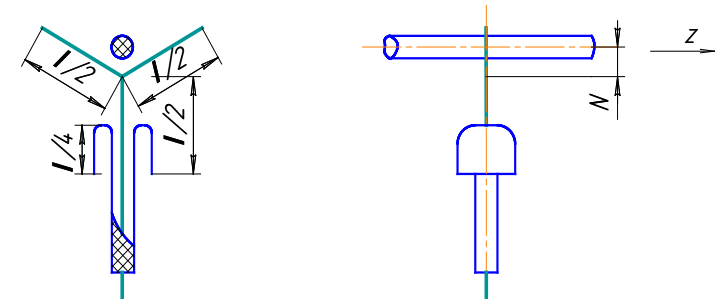


Рисунок 2 – Система возбуждения поверхностной волны из трех вибраторов

Наибольшие преимущества проявляются в случае установки около рассматриваемой системы плоского отражателя. При этом достигается однонаправленное возбуждение поверхностных волн, а также возможность механического крепления возбуждающих элементов непосредственно к отражателю (рис. 3 а, б).

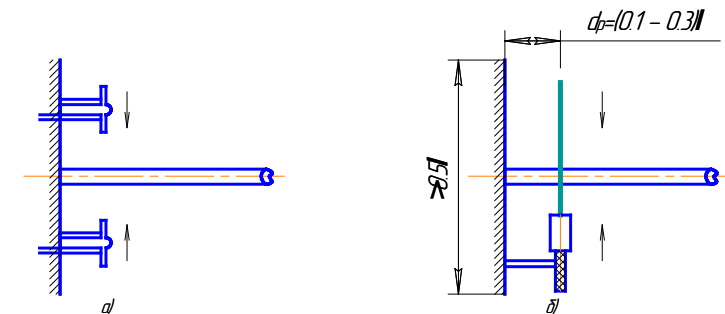


Рисунок 3 – Устройство возбуждения поверхностной волны с рефлектором

Поверхностные волноводы (ПВ) находят все большее применение в различных областях. Исторически это, прежде всего, линии передачи высокочастотной энергии для связи, телевидения [1 – 4]. Дальнейшее развитие поверхностные волноводы получили при использовании их в антенно-фидерной технике, системах измерений распределения поля вдоль апертуры антенн и т.п. [5 – 7].

Промышленность все чаще ставит проблему нагрева тех или иных объектов промышленного производства. Среди них древесина, опилки, битумные массы, локальный разогрев грунтов, зерно и т.д. В конечном итоге, это некоторые органические объекты, которые требуют дозированного объемного нагрева.

Существует множество различных способов нагрева. Среди них высокочастотный (индукционный) нагрев, нагрев горячим воздухом, перегретым паром. Особое место занимает СВЧ нагрев. Его преимущества несомненны, однако реализация вызывает определенные трудности.

Так, для нагрева протяженных объектов требуется достаточно высокая концентрация СВЧ энергии, вредное для здоровья излучение, необходимость утилизации неиспользованной энергии и т.д. В данной работе рассматривается СВЧ нагрев в поле поверхностного волновода без применения специальных облучателей. Суть предложения сводится к следующему.

Известно, что поверхностный волновод представляет собой провод с покрытием в виде относительно тонкого слоя диэлектрика или поглощающего слоя. И в том, и в другом случае это электродинамическая система, вдоль которой возбуждают квазиТЕМ волну (E_{00}), характерной особенностью которой является наличие симметричных относительно оси провода поперечных составляющих E_r , H_ϕ и продольной составляющей E_z [4]:

$$E_z = -C_0 H_0^{(1)}(jkr) e^{-\gamma z},$$

$$E_r = C_0 j \frac{\gamma}{k} H_1^{(1)}(jkr) e^{-\gamma z},$$

$$H_\phi = -C_0 \frac{\omega \varepsilon_a}{k} H_1^{(1)}(jkr) e^{-\gamma z},$$

где $k = \gamma^2 + \omega^2 \varepsilon_a \mu_a$, $H_0^{(1)}$, $H_1^{(1)}$ - функции Ганкеля 1-го рода, γ - постоянная распространения, z - продольная координата вдоль оси провода.

Характер изменения составляющих поля в поперечном направлении таков, что амплитуды полей за пределами воображаемого цилиндра

с радиусом x_0 (граничный радиус) быстро спадают, а в продольном направлении имеет место распространение энергии в зависимости от составляющих постоянной распространения поля. Величина граничного радиуса, где сосредоточено 90% энергии, зависит от покрытия провода и соотношения диаметр провода – диаметр покрытия.

Таким образом, в поперечном сечении в пределах площади, определенной граничным радиусом, сосредоточена практически вся энергия, поступающая от генератора. Эта энергия будет взаимодействовать с любой неоднородностью, помещенной в данную область. В частности, если это проводник, то наведенные токи будут переизлучаться, а если диэлектрик, то наряду с переизлучением, будут иметь место потери, а, следовательно, нагрев. Это обстоятельство позволяет осуществлять СВЧ нагрев диэлектрических материалов, помещенных в область, ограниченную граничным радиусом.

Одна из задач заключается в обеспечении возможно более равномерного нагрева протяженных диэлектрических объектов. Это может быть достигнуто аналогично тому, как это осуществляется в антенных решетках, элементы которой возбуждаются полем открытого волновода [7]. В нашем случае это установка оси волновода под некоторым углом к оси протяженного объекта таким образом, что начало объекта находится в области с меньшей напряженностью по сравнению с его концом.

Следующая задача состоит в достижении минимизации отражения. Она решается обычными компенсационными способами в начале линии поверхностной волны.

Далее представляется необходимым решить задачу утилизации неиспользованной энергии (энергия в балластной нагрузке). Нагрузку поверхностного волновода в простейшем случае можно реализовать путем установки на его конце обычного отражателя в виде проводящего диска с установленным около него устройством возбуждения в виде ряда вибраторов. В целом такая конструкция оказывается достаточно сложной. В этой связи представляют интерес варианты нагрузок, непосредственно надеваемые на провод волновода. Принцип работы таких нагрузок состоит в помещении поглощающих материалов в плоскость колебаний вектора напряженности электрического поля.

В отличие от существующих систем СВЧ-нагрева, в нашем случае утилизации подлежит незначительная часть мощности, поэтому особых трудностей не вызывает.

Схематично установка для СВЧ нагрева представлена на рис.4.

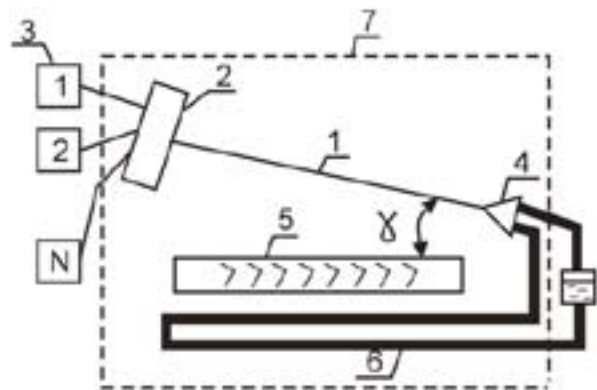


Рисунок 4 – Схема установки для СВЧ нагрева

где 1 – волновод поверхностной волны, 2 – многоходовое устройство возбуждения поверхностного волновода, 3 – группа генераторов, 4 – балластная нагрузка, 5 – нагреваемый объект, 6 – регистр водооборотной системы, 7 – экранирующая оболочка.

Установка работает следующим образом. Энергия от генераторов 3 через устройство согласования поступает на устройство возбуждения ПВ 2, соединенное с нагрузкой 4, которая охлаждается водой. Мощность, рассеянная объектом, воспринимается устройством утилизации 6.

Предварительный анализ и расчеты показывают, что использование в установках по СВЧ нагреву поверхностных волноводов имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными. Основные из них сводятся к следующим:

- минимальная металлоемкость установки,
- минимальная мощность, которую требуется утилизировать,
- минимально излучаемая мощность,
- возможность реализации равномерного нагрева, в том числе и в длинномерных объектах сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трошин, Г. И., Макарова, Л. И., Худякова, В. А., Чистин, Э. Ф. Однопроводная линия передачи // Труды НИИКП, 1962. – Вып. 6. – С. 34 – 54.
- 2 Семенов, Н. А., Польшковский, А. М. Линии поверхностной волны для передачи телевидения. – М. : ВЗЭИС, 1963.
- 3 Семенов, Н. А. Параметры волны E00 в линии поверхностной волны // Радиотехника и электроника. – 1964. – Т.9. – № 9. – С. 1634 – 1641.

4 Ефимов, И. Е. Радиочастотные линии передачи. – М. : Сов. Радио, 1964.

5 Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н. Использование открытых линий передачи в технике средств связи // Информационные технологии и радиосети – 96. Первая международ. научно-практ. конференция. – Материалы конференции. – Омск, 1996. – С.29.

6 Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н. Моделирование линейной антенной решетки на основе однопроводной линии передачи // Приборы и техника эксперимента. – 1996. – № 5. – С. 85 – 86.

7 Кисмерешкин, В. П., Лобова Г. Н. Об использовании открытых линий передачи в антенной технике // Антенно-фидерные устройства, системы и средства радиосвязи. Сборник трудов 3-й Междунар. научно-практ. конференции. – Воронеж. – 1997. – Т.2. – С. 290–300.

*Северо – Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск;

**Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 13.02.14.

Д. В. Риттер, А. Е. Анарбаев, С. С. Молдахметов

Аса жоғары жиілік қыздыру құрылғыда үстіңгі толқын өткізгіш желіні қолдануы

*М. Қозыбаев атындағы Солтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Петропавловск қ.;

**Қ. И. Сатбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы қ.
Материал 13.02.14 редакцияға түсті.

D. V. Ritter, A. E. Anarbaev, S. S. Moldakhmetov

Using the line of surface waveguide in microwave heating devices

*North-Kazakhstan state university after M. Kozybayev, Petropavlovsk;

**Kazakh National Technical university, Almaty.
Material received on 13.02.14.

Мақалада сәулеге түсіру және қыздыру процестердің ерекшеліктері қарастырылған. Қуаттың минималды аса мол сәулеленуі және қуаттың максималды жұтуының тәртіптері толық баяндалады. Қуаттың шоғырлануына ерекше назар аударылады. Осы мақалада қарастырылған құрылғы радиотехникалық жүйеде бір қатар мүмкіндіктерді ұлғайтуға және тәжірибелік есептерді

шешуге ерік береді. Өткізгіште үстіңгі толқынды бір немесе бірнеше дірілдеткіштермен қозудың процесін зерттеудің нәтижелері көрсетілген.

Негізгі сөздер: рефлектор, дірілдеткіш, рупор, сым, үстіңгі толқын.

In the present article the peculiarities of interaction process between object and field of waveguide are considered. Here are given the modes of minimum energy reemission and maximum of energy absorption. Multi-outlets device of stimulation allows to realize multi-staged adjustment of thermal capacity in the heated object. An application of a field of surfacing waveguide for heating of spreaded objects allows to solve some problems better than by traditional ways and is very perspective. The preliminary analysis and calculations show, that use in installations on SHF to heating of superficial wave guides has essential advantages in comparison with the traditional.

Keywords: reflector, vibrator, loud-hailer, wire, surface waves.

UDC 629.015.001

V. A. Ruk, A. Nurzhauov

THE DEFINITION OF THE MOMENTS OF INERTIA OF THE PINIONS OF GEARBOX OF TRACTOR DT-75M «KAZAKHSTAN»

This article states the way of the determination of the moment of inertia of the cylindrical pinions of the gearbox of the tractor DT-75M «Kazakhstan»

While doing the theoretical study of movement of transport vehicles arises necessity in their dynamic modeling. Dynamic model of transport vehicle is represented as rotationally or translationally moving masses, applied to the shaft and connected between each other by elastic connections. The quantity of masses and the degree of freedom in the system depend on the specific approach to the solution of the problem. The measure of inertia in the applied rotational mass determines by the applied moment of inertia relative to the axis of rotation. For the definition of the value of applied moment of inertia it is necessary to know moments of inertia of every mass relative to its own axis of rotation, which will be led to the axis of adduction then. The construction of transport vehicle consists

of big quantity of joints and aggregates, which have very different configurations. The definition of the moments of inertia in all details is not possible. At the same time, it's possible to determine theoretically in the first approximation moments of inertia of details by the analyzing of their construction and by the defining of their locations and kinds of moving.

In the transmission of the tractor DT-75 M «Kazakhstan» the most common details are cylindrical pinions. For the definition of the moment of inertia relative to the axis of rotation let's take like an example the pinion of seventh gear, located on the secondary shaft in gearbox of crawler tractor DT-75M «Kazakhstan». The sketch of this pinion is shown at the figure 1.

Axial moment of inertia is the sum of multiplication of points' masses in this system and of squaring of distances from the axis [1]:

$$I_x = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2, \quad (1)$$

where I_x – moment of inertia of system relative to the axis Ox ;
 m_i – mass of point i in the system;
 r_i – distance of this point from the axis.

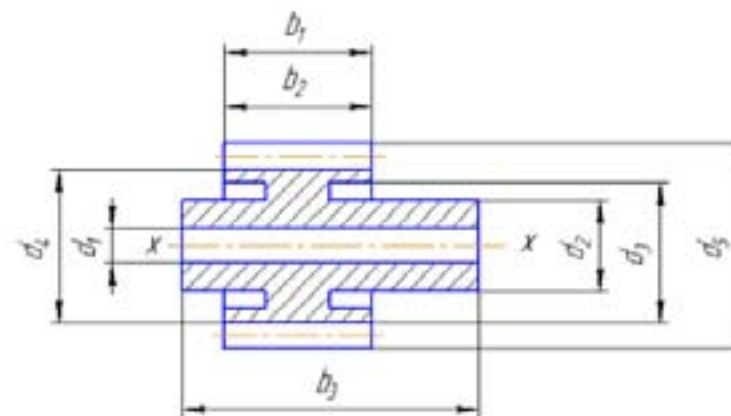


Figure 1 – The sketch of pinion

For the definition of moment of inertia of pinion let's divide it to the simple geometrical parts.

At the picture pinion is shown like a detail, consisted of cylindrical parts with the diameter d_i and the length b_i ($i = 1, 2, \dots$ - numbers of parts). By looking at

the sizes of parts and by the using of known formulas it's possible to determine the values of volumes V_i . Also by the using of drawings or parts' catalog we can find the weight of detail and its mass m_i .

While determining of axial moment of inertia we can divide the pinion to four parts. Three parts are thick-walled hollow cylinders. The fourth part consists of teeth and empty spaces between neighboring teeth, surrounded mentally by cylindrical surfaces in the foot and top of teeth.

The moment of inertia of hollow cylinder with mass m , outer radius R_1 and inner radius R_2 is determined by the formula [2, 3]:

$$I = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2), \quad (2)$$

According to this formula the moment of inertia of thick-walled hollow cylinder with inner diameter d_1 , outer diameter d_2 and height b_3 is determined by the formula:

$$I_1 = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{d_1^2}{4} + \frac{d_2^2}{4} \right), \quad (3)$$

The mass of thick-walled cylinder m_1 is determined from the formula:

$$m_1 = \frac{\rho \pi b_3}{4} (d_2^2 - d_1^2), \quad (4)$$

where ρ – density of the pinion.

By analogy let's make the formulas of two next thick-walled hollow cylinders with inner diameters d_2 and d_3 , outer diameters d_3 and d_4 and heights b_2 и b_1 :

$$I_2 = \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{d_2^2}{4} + \frac{d_3^2}{4} \right), \quad (5)$$

$$I_3 = \frac{1}{2} m_3 \left(\frac{d_3^2}{4} + \frac{d_4^2}{4} \right), \quad (6)$$

$$m_2 = \frac{\rho \pi b_2}{4} (d_3^2 - d_2^2), \quad (7)$$

$$m_3 = \frac{\rho \pi b_1}{4} (d_4^2 - d_3^2), \quad (8)$$

Then we will accept that moment of inertia of teeth in the pinion is equal to the half of moment of inertia of hollow cylindrical body relative to its axis, coincident to the axis of pinion. Now we can determine the moment of inertia of fourth part in our pinion [4]:

$$I_4 = 0,25 m_4 \frac{d_3^2 + d_4^2}{4}, \quad (9)$$

where m_4 – mass of hollow cylindrical body with the length b_4 , inner diameter d_3 and outer diameter d_4 .

Moment of inertia of examined pinion relative to the axis x , passing the centre of masses, is equal to the sum of moments of inertia of its parts, determined relative to this axis:

$$\begin{aligned} I_x &= \sum_{i=1}^4 I_i = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \\ &= \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{d_1^2}{4} + \frac{d_2^2}{4} \right) + \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{d_2^2}{4} + \frac{d_3^2}{4} \right) + \\ &+ \frac{1}{2} m_3 \left(\frac{d_3^2}{4} + \frac{d_4^2}{4} \right) + 0,25 m_4 \frac{d_3^2 + d_4^2}{4} \end{aligned} \quad (10)$$

Axial moments of inertia in similar from the view of geometry pinions of other mechanisms in transport vehicles are determined by this formula. For details with other construction formulas must be created with the sequence, described above.

LIST OF REFERENCES

- 1 Савин, Г. Н., Путята, Т. В., Фрадлин, Б. Н. Курс теоретической механики. Издательское объединение «Вища школа», 1973. – 360 с.
- 2 Дерюгин, Е. Е. Динамика вращательного движения абсолютно твердого тела [Текст]: учебное пособие / Е. Е. Дерюгин, Л. А. Теплякова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. 65 с.
- 3 Whittaker, E. T. A Treatise on the Analitical Dynamics of Particles and Rigid Bodies. Библиотека “R&C Dynamics”, 1999. – 587 с.

4 Нуржауов, А. Н. Исследование динамики гусеничного трактора класса 30–40кН тяги и ресурса его планетарного механизма поворота : монография. – Павлодар : Кереку, 2009. – 329 с.

Pavlodar state university named after S.Toraighyrov, Pavlodar.
Material received on 22.02.14

В. А. Рук, А. Нуржауов

ДТ-75М «Қазақстан» тракторының беріліс қорабы шестерняларының инерция моментін анықтау

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 22.02.14 редакцияға түсті.

В. А. Рук, А. Нуржауов

Определение моментов инерции шестерен коробки передач трактора ДТ-75М «Казахстан»

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 22.02.14.

Мақалада ДТ-75М «Қазақстан» тракторының беріліс қорабының цилиндрлі шестерняларының инерция моменттерін анықтау жолы баяндалған

В статье изложен подход к определению моментов инерции цилиндрических шестерен коробки передач трактора ДТ-75М «Казахстан».

УДК 636.72:532.536

В. В. Рындин

МЕТОДЫ ВЫВОДА УРАВНЕНИЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОТОКА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

Дан критический анализ методов вывода уравнений энергии для потока в учебных курсах термодинамики. Предложены новые методы вывода так называемых уравнений «энергии для потока в механическом виде» и «первого закона термодинамики для потока» в случае неустановившегося течения.

Введение. В учебниках по термодинамике приводятся различные методы вывода уравнения первого закона термодинамики (ПЗТ) для стационарного потока. Однако аналитического выражения ПЗТ для нестационарного (неустановившегося) потока не приводится, хотя для нестационарного потока балансовое уравнение изменения энергии играет ту же роль, что и для стационарного потока. Можно выделить три метода вывода уравнений ПЗТ для потока, основанные либо на совместном решении уравнений движения гидромеханики [1, 2] с уравнением ПЗТ для хаотического движения микрочастиц закрытой системы (подвижной или неподвижной) относительно их центра инерции

$$d\varepsilon = \delta q - p d\nu = \delta q_{\text{мех}} + \delta q_{\text{тр}} - p d\nu, \quad (1)$$

либо на составлении балансовых уравнений энергии для подвижного элемента среды (подвижной закрытой термодинамической системы) [3, 4] или для открытой термодинамической системы (ОТС) [4, 5]. Рассмотрим преимущества и недостатки этих методов.

Вывод уравнения ПЗТ для потока с использованием уравнений гидромеханики и термодинамики. В работах [1, 2] в качестве исходных уравнений берутся уравнения гидромеханики Эйлера и Бернулли для частного случая стационарного изэнтропного течения в готовом виде, что не позволяет понять смысл работы - νdp и требуется логическое обоснование применимости получаемого уравнения энергии не только для изэнтропного течения, но и для течения с трением. Поэтому рассмотрим вывод первого исходного уравнения этого метода в общем виде.

При рассмотрении неравновесных процессов, протекающих при движении среды, в подвижной среде выделяется элемент потока (микрочастица) в виде параллелепипеда (рисунок 1). Элемент потока при

движении деформируется и изменяет свой объём, но масса его остаётся неизменной, т.е. рассматривается подвижная закрытая равновесная термодинамическая система, состояние которой однозначно определяется макроскопическими параметрами (p, ρ, T).

Балансовое уравнение энергии для упорядоченного макроскопического движения элемента потока как целого (без учёта хаотического движения молекул относительно центра инерции элемента) – изменение полной механической энергии (кинетической и потенциальной) элемента потока равно сумме работ внешних сил давления, трения и технических (под техническими силами понимаются силы, которые возникают при взаимодействии элемента потока с лопатками турбины и компрессора) – имеет следующее выражение:

$$\begin{aligned} d(\delta E_{\text{мех}}) &= d^2 E_{\text{мех}} = d(c^2/2 + gz) \delta m = \sum \delta^2 W'_i = \\ &= \delta^2 W'_{\text{пер}} + \delta^2 W'_{\text{тр}} + \delta^2 W'_{\text{тех}} = \delta^2 W'_{\text{пер}} - \delta^2 W'_{\text{тр}} - \delta^2 W'_{\text{тех}} \end{aligned} \quad (2)$$

(здесь и далее W' – работа внешних сил, а $W = -W'$ – работа внутренних сил).

Для определения работы сил давления по перемещению элемента среды как целого (работа сил давления по деформации элемента, а также теплота не изменяют запас полной механической энергии и поэтому здесь не рассматриваются) необходимо знать распределение давления на поверхности макрочастицы.

Давление, как и любой параметр состояния элемента, может быть представлено как функция других термодинамических параметров, например, в функции от удельного объёма $p = p(v)$ – термодинамический подход; времени с начала движения макрочастицы $p = p(t)$ – подход Лагранжа (в гидромеханике) либо координат x, y, z и времени $t: p = p(x, y, z, t)$ – подход Эйлера (в гидромеханике).

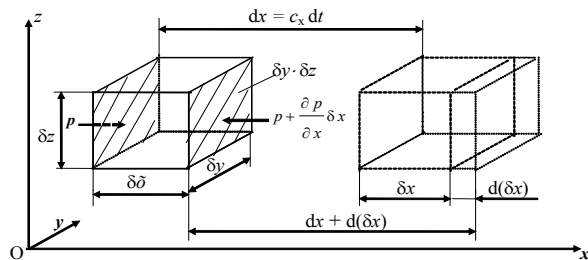


Рисунок 1 – К расчёту работы сил давления по перемещению элемента среды как целого

Полное изменение параметров в этих методах одинаково и определяется выражениями:

$$\begin{aligned} dp &= dp_{\text{тер}} = \frac{\partial p(v)}{\partial v} dv = dp_{\text{пак}} = \frac{\partial p(t)}{\partial t} dt = dp(t) = dp_{\text{эил}} = \\ &= \frac{\partial p}{\partial t} dt + \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \partial p_{\text{пак}} + \partial p_{\text{конв}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\partial p_{\text{пак}} = \frac{\partial p(x, y, z, t)}{\partial t} dt$ – локальное приращение давления, обусловленное переменностью (нестационарностью) поля давлений;

$\partial p_{\text{конв}} = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$ – конвективное приращение давления, обусловленное неоднородностью поля давлений.

Состояние макрочастицы, как и газа в цилиндре двигателя, принимается равновесным, а поле однородным, следовательно, $dp_{\text{конв}}$ для этих систем равно нулю. В потоке же, состоящем из совокупности макрочастиц, давление различно и перепад давлений на противоположных гранях макрочастицы, где с ней соприкасаются другие макрочастицы, не равен нулю, т.е. $dp_{\text{конв}} \neq 0$. Подход Эйлера позволяет определять силы давления, действующие на макрочастицу в данный момент времени со стороны окружающих её макрочастиц, и найти работу сил давления по перемещению элемента среды как целого.

Так, если на левую грань макрочастицы (см. рисунок 1) действует давление p , то на правую грань в тот же момент времени действует давление

$$p + \partial p_{\text{конв},x} = p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x$$

и результирующая сил давления в направлении оси x будет равна $-\frac{\partial p}{\partial x} \delta x \delta y \delta z = -\frac{\partial p}{\partial x} \delta V$, а работа этой силы, приложенной в центре инерции элемента, на пути dx , –

$$\delta^2 W'_{\text{пер},x} = \delta F_{\text{рез},x} dx = -\frac{\partial p}{\partial x} dx \delta V = -v \frac{\partial p}{\partial x} dx \delta m.$$

С учётом двух других направлений работа результирующей сил внешнего давления в случае нестационарного течения равна

$$\delta^2 W'_{\text{пер}} = -v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \delta m = -v \partial p_{\text{конв}} \delta m. \quad (4)$$

В случае стационарного течения, согласно (3), термодинамическое приращение равно конвективному ($\partial p_{\text{лок}} = 0$): $dp = dp_{\text{тер}} = dp_{\text{конв}}$. В этом случае работу сил давления по перемещению элемента среды как целого можно определить чисто термодинамически, не прибегая к понятию поля,

$\delta^2 W'_{\text{тер}} = -v dp \delta m$. Последнее выражение в термодинамике называют располагаемой работой (критика этой работы дана в [6, 7]).

С учётом (4) уравнение энергии для упорядоченного движения элемента потока (в механическом виде) запишется так:

$$d(c^2/2 + gz) \delta m = -v \partial p_{\text{конв}} \delta m - \delta^2 W_{\text{тр}} - \delta^2 W_{\text{тех}}$$

и для удельных величин

$$dc^2/2 + g dz = -v \partial p_{\text{конв}} - \delta w_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тех}}, \quad (5)$$

или с учётом (3)

$$dc^2/2 + g dz = -v dp + v \partial p_{\text{лок}} - \delta w_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тех}}. \quad (6)$$

Это уравнение можно получить также путём интегрирования векторного уравнения Навье-Стокса вдоль траектории макрочастицы [8].

Складывая уравнения энергии для направленного движения (5) и (6) с (1) для хаотического движения, получим уравнение энергии для абсолютного движения молекул относительно стенок канала (первого закона термодинамики для нестационарного потока):

$$du + dc^2/2 + g dz = \delta q - p dv - v \partial p_{\text{конв}} - \delta w_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тех}}; \quad (7)$$

$$dh + dc^2/2 + g dz = \delta q + v \partial p_{\text{лок}} - \delta w_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тех}}, \quad (8)$$

где $dh = du + d(pv)$ – приращение энтальпии.

В частном случае одномерного энергоизолированного изэнтропного течения газа уравнения (7) и (8) в интегральном виде запишутся так:

$$c_2^2/2 - c_1^2/2 = - \int_1^{2s} v \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} dx;$$

$$h_1 + c_1^2/2 = h_2 + c_2^2/2 - \int_1^{2s} v \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} dx.$$

Методика вычисления интегралов в этих уравнениях изложена в [8, 9], где на частных примерах течения газа в волнах давления и разрежения апробируются уравнения (7) и (8).

В случае течения с трением уравнение (7) для одномерного энергоизолированного течения запишется так:

$$c_2^2/2 - c_1^2/2 = - \int_1^{2s} v \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} dx - w_{\text{тр}}.$$

Методика экспериментального определения работы трения при нестационарном течении газов во впускных и выпускных трактах ДВС с использованием этого уравнения изложена в [9].

При стационарном течении $dp = dp_{\text{конв}}$, $dp_{\text{лок}} = 0$, $\delta q_{\text{тр}} = \delta w_{\text{тр}}$ и (8) принимает общеизвестный вид:

$$\delta q^* \equiv \delta q_{\text{тех}} = dh + dc^2/2 + g dz + \delta w_{\text{тех}}. \quad (9)$$

Достоинством изложенного метода является получение выражения для работы результирующей сил давления по перемещению элемента среды как целого в виде $v dp_{\text{конв}}$ как для стационарного, так и нестационарного течения (в случае стационарного течения, как уже отмечалось, $dp_{\text{конв}}$ равно полному – термодинамическому – изменению давления dp). Однако в этом методе не ясно, из каких составляющих складывается работа сил давления. В этом смысле наибольшей наглядностью обладает второй метод.

Вывод уравнения энергии для подвижного элемента среды (ПЭТ для потока). Во втором методе уравнение энергии составляется для абсолютного движения микрочастиц, входящих в состав макрочастицы, т.е. с учётом как упорядоченного, так и хаотического движения. Поскольку энергию хаотического движения, которую характеризует внутренняя энергия, можно изменить также и в процессе теплообмена, то энергетический баланс для абсолютного движения можно сформулировать так: изменение полной энергии системы (макрочастицы) равно суммарной энергии, переданной через границы системы в результате теплообмена и совершения работы силами давления, трения и техническим, что аналитически можно записать в виде

$$d(\delta E) - d^2 E = d(u + c^2/2 + gz) \delta m - \delta^2 Q + \delta^2 W'_{\text{кон}} - \delta^2 W_{\text{тр}} - \delta^2 W_{\text{тех}}. \quad (10)$$

При термодинамическом анализе важно определить работу сил давления. Именно здесь возникают основные трудности при выводе уравнения энергии для потока. В большинстве учебников [2–4] работа сил давления, совершаемая над элементом среды при его движении из сечения 1-1 в 2-2,

отождествляется (без должного обоснования) с работой сил давления в этих сечениях – «работой проталкивания» $p_2 v_2 - p_1 v_1$ или $d(pv)$. При этом одни авторы [4] считают, что эта работа естественным образом включает в себя работы изменения давления (перемещения) $v dp$ и изменения объёма $p dv$, а другие [3], что работа проталкивания сама является составной частью работы $p dv$.

Ниже даётся строгий вывод работы сил давления (проталкивания) над элементом среды, иначе, энергии, передаваемой от потока к элементу среды в процессе совершения работы силами внешнего давления. Согласно рисунку 1 на левую грань макрочастицы действует сила давления $p \delta y \delta z$, которая на пути dx совершает работу $p \delta y \delta z dx$. На правую грань макрочастицы в тот же момент времени действует сила $(p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x) \delta y \delta z$, которая на пути $dx + d(\delta x)$ (где $d(\delta x)$ – деформация макрочастицы в направлении оси x) совершает работу $-(p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x) \delta y \delta z [dx + d(\delta x)]$ (минус, так как сила и перемещение имеют противоположные направления).

Работа сил давления в направлении оси x будет равна сумме этих работ

$$\delta^2 W'_{\text{дв}x} = p \delta y \delta z dx - (p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x) [dx + d(\delta x)] \delta y \delta z.$$

Раскрывая произведение и пренебрегая величиной высшего порядка малости, а также учитывая, что $\delta V = \delta x \delta y \delta z$ и $d(\delta V)_x = \delta y \delta z d(\delta x)$, получим

$$\delta^2 W'_{\text{дв}x} = -p d(\delta V)_x - \frac{\partial p}{\partial x} \delta x \delta V.$$

С учётом работ в других направлениях работа сил давления будет равна

$$\begin{aligned} \delta^2 W'_{\text{дв}} &= \delta^2 W'_{\text{прот}} = -p d(\delta V) - (\frac{\partial p}{\partial x} \delta x + \frac{\partial p}{\partial y} \delta y + \frac{\partial p}{\partial z} \delta z) \delta V = \\ &= -p dv \delta m - v dp_{\text{конт}} \delta m = \delta^2 W'_{\text{дв}f} + \delta^2 W'_{\text{прот}} \end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), получим уравнение энергии для абсолютного движения микрочастиц элемента среды

$$d(x + c^2/2 + gz) \delta m = \delta^2 Q - p dv \delta m - v dp_{\text{конт}} \delta m - \delta^2 W'_{\text{тр}} - \delta^2 W'_{\text{вн}} \quad (12)$$

которое после деления на массу элемента δm принимает вид (7) или (8), а для стационарного течения (9).

Вывод уравнения энергии для открытой термодинамической системы (ОТС). Энергетический баланс для ОТС имеет следующую форму: изменение энергии в данной области пространства, ограниченной контрольной поверхностью, равно суммарной энергии, переходящей через эту поверхность в процессах теплообмена, совершения работы и вещественного обмена.

За время dt через сечение 1-1 (рисунок 2) в систему входит элемент потока массой δm_1 , а выходит через сечение 2-2 элемент массой δm_2 . При движении этих элементов совершается работа силами давления на пути dx , равном длине каждого элемента δx , $p A \delta x = p \delta V = p v \delta m$. При входе элемента в систему работа совершается потоком слева от ОТС, следовательно, энергия окружающей среды (потока) уменьшается, а открытой системы увеличивается на значение этой работы. При выходе элемента из системы работа совершается самой системой и её энергия уменьшается на величину $p v \delta m$.

Следовательно, с элементом вещества, переходящим границы системы, вносится энергия

$$(u_1 + p_1 v_1 + gz_1 + c_1^2/2) \delta m_1 = (h_1 + gz_1 + c_1^2/2) \delta m_1$$

и уносится энергия

$$(u_2 + p_2 v_2 + gz_2 + c_2^2/2) \delta m_2 = (h_2 + gz_2 + c_2^2/2) \delta m_2$$

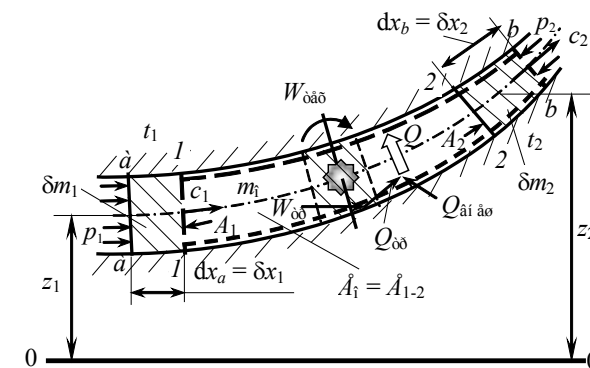


Рисунок 2 – К выводу уравнения энергии для открытой системы

Если к ОТС за время dt подводится техническая работа и теплота, а течение происходит с трением, то изменение энергии ОТС можно представить следующим выражением:

$$dE_0 = \delta Q + (u_1 + gz_1 + c_1^2/2) \delta m_1 - (u_2 + gz_2 + c_2^2/2) \delta m_2 - \delta W_{\text{тр}} - \delta W_{\text{теп}}. \quad (13)$$

Здесь величина dE_0 характеризует изменение во времени запаса энергии ОТС

$$E_0 = \int_{V_0} \rho(u + c^2/2 + gz) dV.$$

Уравнение (13) для ОТС в общем случае нестационарного течения отличается от уравнения энергии для абсолютного движения микрочастиц элемента потока (12) и не может быть записано для удельных величин в виде (7) или (8). В случае стационарного течения в силу неразрывности потока $\delta m_1 = \delta m_2 = \delta m$, $\delta Q_{\text{тр}} = \delta W_{\text{тр}}$, $dE_0 = 0$ и (13) для элементарной системы принимает вид (9).

Изложенный метод получения уравнения (13) достаточно прост, однако он не позволяет понять, над чем совершается работа давления: над веществом внутри ОТС, над веществом входящим в систему и внутри неё или над веществом входящим и выходящим из неё. Почему элемент потока, переходящий границу системы, обладает энергией давления, $\rho u \delta m$, называемой “потенциальной энергией давления” [2], а сам поток внутри ОТС такой энергией не обладает? Особенно остро проявляется эта неопределённость в случае стационарного течения, когда запас полной энергии и отдельные её составляющие внутри контрольной поверхности не изменяются и, следовательно, утверждения типа того, что в случае стационарного течения “изменение внутренней энергии открытой системы происходит на величину $(u_2 - u_1) \delta m$ » [4], лишены смысла.

Этих недоразумений можно избежать, если уравнение энергии записать для конечного элемента потока, занимающего объём V_{a-2} (см. рисунок 2) в момент времени t и объём V_{1-b} в момент $t + dt$. Энергия этого конечного элемента (подвижной закрытой, именно закрытой, термодинамической системы) в момент времени t складывается из энергии заштрихованного элемента (массой δm_1) $(u_1 + gz_1 + c_1^2/2) \delta m_1$ и энергии потока внутри ОТС E_0 , а в момент времени $t + dt$ – из энергии заштрихованного элемента (массой δm_2) $(u_2 + gz_2 + c_2^2/2) \delta m_2$ и энергии ОТС $E_0 + dE_0$. Тогда изменение энергии конечного элемента среды за время dt определится выражением

$$dE = (u_2 + gz_2 + c_2^2/2) \delta m_2 + (E_0 + dE_0) - (u_1 + gz_1 + c_1^2/2) \delta m_1 - E_0 = \delta Q + \delta W'_{\text{дав}} - \delta W_{\text{тр}} - \delta W_{\text{теп}}. \quad (14)$$

Работа сил внешнего давления определится как алгебраическая сумма работ по перемещению левой границы $a-a$ конечного элемента $p_1 A_1 dx_1 = p_1 u_1 \delta m_1$ и правой границы $2-2$ – $p_2 A_2 dx_2 = -p_2 u_2 \delta m_2$:

$$\delta W'_{\text{дав}} = p_1 u_1 \delta m_1 - p_2 u_2 \delta m_2. \quad (15)$$

Если в уравнение (14) подставить выражение (15) для работы давления и определить из этого уравнения изменение энергии ОТС dE_0 , то получим уравнение (13). При таком подходе (при рассмотрении уравнения энергии для конечного элемента потока) ясно, что работа сил давления $\delta W'_{\text{дав}}$ совершается над конечным элементом, т. е. над веществом как внутри ОТС, так и входящим в неё за время dt .

В случае стационарного течения изменение энергии в общей части конечного элемента (внутри ОТС) не происходит ($dE_0 = 0$) и изменение энергии конечного элемента потока будет равно разности энергий¹ заштрихованных областей, взятых в момент времени t и $t + dt$.

Выводы. С учётом проведённых в статье уточнений методов можно выделить следующие особенности вывода уравнений энергии для потока в термодинамике:

1 Первый метод (метод подвижного элемента, когда рассматривается отдельно направленное и хаотическое движение молекул) позволяет определить удельную работу изменения давления (располагаемую работу) как работу результирующей сил внешнего давления по перемещению элемента среды как целого для стационарного и нестационарного течения в виде

$$\delta W^P = \delta W'_{\text{дав,пер}} = -v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = -v \delta p_{\text{конв}}$$

(в случае стационарного течения $\delta p_{\text{конв}} = dp$ и $\delta W^P = -v dp$).

2 Второй метод (метод подвижного элемента, когда рассматривается абсолютное движение молекул относительно стенок канала) позволяет определить работу проталкивания как суммарную работу внешних сил давления, состоящую из работ деформации и перемещения,

$$\delta W'_{\text{прот}} = \delta W'_{\text{дав}} = \delta W'_{\text{деф}} + \delta W'_{\text{пер}} = -p dv - v \delta p_{\text{конв}}$$

¹ Следовательно, величина $(u_2 - u_1) \delta m$, упомянутая ранее, характеризует изменение внутренней энергии конечного элемента стационарного потока, проходящего через ОТС, но никак не изменение ВЭ ОТС, для которой все величины в стационарном потоке остаются постоянными.

(в случае стационарного течения работа проталкивания внешних сил давления преобразуется к виду $\delta W'_{\text{прот}} = -d(pv)$, а внутренних сил давления – $\delta W'_{\text{прот}} = d(pv)$).

3 Третий метод (метод открытой термодинамической системы или конечного элемента потока) позволяет просто определить работу сил давления (проталкивания) в виде выражения

$$\delta W'_{\text{дв}} = p_1 v_1 \delta m_1 - p_2 v_2 \delta m_2.$$

Однако только первый и второй методы позволяют понять смысл так называемой располагаемой работы $-v dp$ и работы проталкивания $d(pv)$.

4 Конечные уравнения первого закона термодинамики, получаемые во всех трёх методах, в случае стационарного течения имеют одинаковый вид, а в случае нестационарного течения имеют различный вид для подвижного элемента среды и открытой термодинамической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Новиков, И. И.** Термодинамика : Учеб. для вузов. – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с. : ил.
- 2 **Арнольд, Л. В.** и др. Техническая термодинамика и теплопередача : Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М. : Высш. шк. 1979. – 446 с. : ил.
- 3 **Кириллин, В. А.** и др. Техническая термодинамика : Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1974. – 448 с. : ил.
- 4 **Кушнырёв, В. И.** и др. Техническая термодинамика и теплопередача : Учеб. для вузов. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с. : ил.
- 5 Техническая термодинамика : Учеб. для вузов / Под ред. В. И. Крутова – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1981. – 439 с. : ил.
- 6 **Рындин, В. В.** Вывод уравнения первого закона термодинамики для нестационарного потока // Ред. ж. «Изв. вузов. Энерг.». Минск : – 1989. – 11 с., ил. Библиогр. 3 назв. (деп. № 5438-В89 от 14. 02. 89 г.).
- 7 **Рындин, В. В.** Понятие работы $-v dp$ в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 10. – С. 64–68.
- 8 **Рындин, В. В.** Интегрирование уравнений движения вязкой сжимаемой жидкости (Навье-Стокса) вдоль траектории и линии тока // Ред жур. «Изв. вузов. Энерг.», Минск. – 1986.– деп. № 8547-В –10 с.
- 9 **Рындин, В. В.** К вопросу определения затрат энергии на преодоление гидродинамических сопротивлений при нестационарном течении // Машиностроение (Изв. высш. учеб. заведений). – 1987. – № 1. – С. 46–51.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 26.02.14.

В. В. Рындин

Термодинамикадағы ағыс үшін энергия теңдеулерін қорытындының әдістері

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 26.02.14 редакцияға түсті.

V. V. Ryndin

Methods of deducing equations of energy for a stream in thermodynamics

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 26.02.14.

Термодинамика бойынша оқу курстарында ағысқа арналған энергия теңдеулерін қорытындылау әдістерін критикалық талдау берілген. Ағыс кезінде анықталмаған «механикалық түрдегі ағысқа арналған энергия» және «ағысқа арналған термодинамиканың бірінші заңы» деп қарастырылған.

The critical analysis of methods of deducing equations of energy for a stream in educational courses of thermodynamics is given. The new methods of deducing so-called equations of “energies for a stream in a mechanical aspect” and “of the first law of thermodynamics for a stream” in case of unsteady flow are offered.

УДК 536:53

В. В. Рындин

**К ВОПРОСУ О ПЕРЕИМЕНОВАНИИ
ТЕРМОДИНАМИКИ И СЛИЯНИИ ЕЁ
С НЕОБРАТИМОЙ ТЕРМОДИНАМИКОЙ**

Рассматриваются вопросы, связанные с формулировками предмета термодинамики и методами её изложения, использованием координат и времени в уравнениях термодинамики, делением

термодинамики на части и её переименованием, слиянием классической термодинамики и термодинамики необратимых процессов.

Введение. Термодинамика, как известно, является наукой общезначимого содержания, теоретической основой многих специальных курсов. Как справедливо отмечал П. Эткинс: «Ни один из разделов физики не способствовал в такой мере возвышению человеческого духа, как термодинамика» [1]. Как и всякая наука, термодинамика непрерывно развивается и совершенствуется. При этом изменяются не только содержание и структура термодинамики, но и уточняется определение самого предмета термодинамики. Перспективам развития термодинамики и посвящена данная статья.

О предмете термодинамики. В курсах термодинамики и физики даются следующие формулировки предмета термодинамики.

“Термин “термодинамика” впервые появился в статье В. Томсона в 1854 г. Томсон писал “термо-динамика”, в переводе означает “теплота – работа” (от греч. слов терме – теплота и динамис – сила, работа)” [2].

“Сложившееся название “термодинамика” употребляется вне связи с понятием динамики и определяет не учение о движении теплоты, а науку о “движущих силах”, возникающих при тепловых процессах... Здесь под “движущей силой” понимается полезное действие (работа), которое двигатель может дать за счет теплоты” [3].

“Термодинамика – это наука о свойствах энергии в различных её видах, а также о закономерностях перехода энергии от одних тел к другим и из одного вида в другой” [4].

Энергия (как физическая величина) является наиболее универсальной количественной характеристикой (мерой) движения в различных его формах (хаотической и упорядоченной). Однако поскольку эта величина скалярная, то она не определяет направление движения и, следовательно, отражает не все свойства движения (их учитывают другие величины, например, импульс).

Поскольку термин “энергия” обладает категориальной многозначностью: он означает одновременно и объективную реальность – само движение и предмет из мира идей – физическую величину, то его нецелесообразно использовать в качестве ключевого при определении предмета термодинамики, поскольку такое определение двусмысленно или в лучшем случае иносказательно.

Очень непросто однозначно и исчерпывающе определить границы конкретной науки и строго выделить её среди смежных наук. Очевидно, в определениях необходимо использовать наиболее общие категории, наименования которых не совпадают с наименованиями каких-либо

физических величин. Одним из таких наиболее общих философских понятий является “движение”, которое никак не спутаешь с физической величиной. Если в определениях термодинамики заменить многозначные термины “энергия”, “теплота”, “работа” на однозначные соответственно – “движение”, “хаотическое движение”, “упорядоченное движение”, а также учесть то обстоятельство, что термодинамика изучает не только процессы, но и свойства тел, то формулировка термодинамики как науки будет следующей:

термодинамика (от греч. терме – тепло, хаотическое движение и динамис – работа, упорядоченное движение) – наука о законах взаимопреобразования хаотического (тепла) и упорядоченного (работы) видов (форм) движения и о макроскопических свойствах тел, обусловленных хаотическим (тепловым) движением всех микрочастиц системы.

Если использовать общепринятые многозначные термины, то определение термодинамики получается более компактным: *термодинамика* – наука о законах взаимопреобразования тепла и работы и о свойствах тел, обусловленных тепловым движением микрочастиц этих тел, но требующим дополнительных пояснений относительно тепла и работы.

О делении термодинамики на части и её переименовании. Термодинамику по аналогии с гидромеханикой иногда делят на подразделы: термостатику, термокинетика и собственно термодинамику [5]. На наш взгляд, аналогия будет более полной, если термодинамику сравнивать не с гидромеханикой², а с гидродинамикой, входящей, наряду с гидростатикой и кинематикой жидкости, в состав гидромеханики. В таком случае термодинамика будет входить в состав более общей науки, которую можно было бы назвать “термомеханика”. Исходя из понятия “формы, виды движения” можно дать такие определения термомеханики и её частей:

Термомеханика – наука о законах теплового движения, его переносе (распространении) в пространстве и преобразовании в другие виды движения.

Термостатика – раздел термомеханики, в котором изучаются свойства тел, обусловленные хаотической формой движения (здесь рассматриваются параметры состояния, уравнения состояния, внутренняя энергия, теплоемкости и др.).

Термокинетика – раздел термомеханики, в котором изучаются законы переноса (распространения) хаотического движения (тепла) в пространстве (рассматриваются явления теплопроводности и термодиффузии).

Термодинамика – раздел термомеханики, в котором изучаются законы преобразования различных форм движения, включая и тепловую (рассматриваются основные законы классической термодинамики,

² Иногда равновесную термодинамику, изучающую системы в равновесном состоянии, предлагают называть термостатикой: по аналогии с гидростатикой, изучающей жидкости, находящиеся в покое, равновесии. Трайбус М. под термостатикой понимает всю термодинамику, где рассматриваются равновесные процессы, не зависящие в явном виде от времени [6]. Поскольку любые процессы протекают во времени, то происходит изменение состояния систем – преобразование (динамика) теплового движения (тепла) в упорядоченное движение (работу), следовательно, переименование термодинамики в термостатику, где ничего не изменяется, не имеет оснований.

включающие такие понятия, как “теплота”, “работа”, “энергия”, “циклы” и др.).

Такое деление общей науки термомеханики на части весьма заманчиво, хотя трудности с распределением материала по разделам велики, т.к. одни и те же понятия могут относиться к разным разделам. Возможно, что со временем произойдёт слияние традиционной термодинамики с термокинетикой, и термин “термомеханика”, как более общий, придет на смену термину “термодинамика” (подобно тому, как на смену термину “гидродинамика” пришел термин “гидромеханика”).

Методы изложения термодинамики. В отличие от молекулярной физики, рассматривающей наряду с макроскопическими свойствами и строение отдельных молекул, термодинамика не вводит никаких специальных гипотез и конкретных представлений о строении вещества, т.е. она рассматривает внешние стороны явлений (феноменов). И в этом смысле термодинамика – наука феноменологическая: она рассматривает вещество как сплошную среду и использует для его исследования такие макропараметры, как давление, удельный объем, температура, определяемые путем прямого измерения.

Термодинамика имеет свои преимущества и недостатки перед молекулярной теорией. Преимущество её в том, что она не вводит никаких гипотез, касающихся строения вещества, и поэтому имеет большую общность, а её положения так же достоверны, как и законы, на которых она основана. К недостаткам термодинамики следует отнести отсутствие наглядности и невозможность объяснить с её помощью причину происходящих процессов. Ответ на вопрос о причине происходящих явлений даёт молекулярно-кинетическая теория.

В XX веке молекулярно-кинетическая теория утратила гипотетический характер. Поэтому отпала необходимость в том резком разграничении между термодинамикой и молекулярной теорией, которое так строго проводилось (а некоторыми авторами учебников проводится и сейчас) на ранней стадии развития этих разделов физики.

Любая чисто эмпирическая наука (в том числе и термодинамика) ограничена в своих возможностях и в своём развитии без привлечения молекулярных представлений о строении вещества. В частности, обоснование всех законов и понятий термодинамики было достигнуто на основе молекулярной теории. Последняя, кроме того, значительно расширила круг явлений, рассматриваемых термодинамикой, и вооружила термодинамику многими методами исследования.

Об использовании координат и времени в уравнениях термодинамики. Несмотря на то, что все процессы протекают в пространстве и во времени, т.е. любой параметр состояния можно задать в функции от

координат и времени, например, давление $p = f(x, y, z, t)$, а его полный дифференциал как сумму частных приращений по координатам и времени, например, полное приращение давления

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt + \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = \partial p_{\text{полн}} + \partial p_{\text{локал}}, \quad (1)$$

термодинамике, в отличие от гидромеханики и теории теплообмена, “удаётся” обойтись без использования координат и времени в соответствующих уравнениях. Это связано с тем, что в термодинамике рассматриваются такие процессы, в которых частные приращения величин по координатам или по времени равны нулю. В результате те частные приращения, которые не равняются нулю, становятся полными приращениями и отпадает необходимость вводить приращения величин по координатам или по времени в явном виде.

Например, в термодинамике рассматриваются установившиеся (стационарные) течения газа, для которых частные приращения величин по времени (локальные приращения) равны нулю, например, давления $\frac{\partial p}{\partial t} dt = 0$. В этом случае в соответствующих дифференциальных уравнениях движения элемента среды частные приращения величин по координатам (конвективные приращения) становятся равными полным приращениям соответствующих величин и заменяются последними. Например, при стационарном течении сумма частных приращений давления по координатам, появляющаяся при выводе уравнения энергии для подвижного элемента среды в механическом виде, заменяется полным приращением давления $\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = dp$.

Таким образом, классическая термодинамика не рассматривает нестационарные (неустановившиеся) потоки, которые имеют место на практике в периодически работающих устройствах (в поршневых двигателях внутреннего сгорания, поршневых компрессорах и др.) и тем самым ограничивает область своего применения. Кроме того, даже при рассмотрении установившихся потоков термодинамика не в состоянии получить уравнение энергии в механическом виде (уравнение Бернулли), а берет его в готовом виде из гидромеханики, где для его вывода используются зависимости давления от координат. И как результат, в рамках классической термодинамики не удастся правильно установить смысл работы ($-v dp$) и её связь с работами pdv и $d(pv)$.

Рассматривая полное приращение давления (1) как сумму локального и конвективного приращений, в работе [7] получено уравнение первого закона термодинамики для нестационарного потока в виде

$$\delta Q^e = g dz + dh + dc^2/2 + \delta m_{\text{pot}} - v \frac{\partial p}{\partial t} dt,$$

а в работе [8] решён дискуссионный вопрос, связанный с работой ($-v dp$), которая в случае стационарного потока приобрела смысл работы результирующей сил давления по перемещению элемента среды как целого

$$-v dp = -v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right).$$

Следовательно, введение координат и времени в курс термодинамики является необходимым условием её развития, даже в рамках классической (равновесной) термодинамики.

О взаимоотношении классической термодинамики и термодинамики необратимых процессов. Термодинамика необратимых (неравновесных) процессов зародилась в 30-х годах прошлого столетия и успешно развивается параллельно классической термодинамике. Само название этой дисциплины должно было показать её отличие от классической (равновесной, обратимой) термодинамики. Однако такое наименование новой дисциплины оказалось неудачным, т.к. и в обычной термодинамике рассматриваются как необратимые процессы, например, течение с трением, так и неравновесные процессы, например, при рассмотрении потоков среды или второго закона термодинамики; в свою очередь, неравновесная термодинамика основывается на локальной равновесности. В соответствии с концепцией неравновесности, положенной в основу второго закона термодинамики, термодинамику неравновесных (необратимых) процессов следовало бы назвать термодинамикой неравновесных систем – систем, состоящих из совокупности локально равновесных подсистем (рабочего тела, жидкой окружающей среды, источников (приёмников) тепла и работы) [9].

Часто различие этих дисциплин видят в отсутствии в уравнениях классической термодинамики координат и времени в явном виде. Это даёт основание считать, что классическая термодинамика никогда не рассматривает неравновесные системы. Однако термодинамика изучает потоки вещества, которые могут возникать только в неравновесных системах, а отсутствие в соответствующих уравнениях координат и времени в явном виде, как уже отмечалось, обусловлено специфичностью самих рассматриваемых процессов – их стационарностью. Включение в поле зрения термодинамики вопросов, связанных с нестационарным течением среды, неизбежно приведет к необходимости выражения параметров состояния через координаты и время в явном виде.

Главное отличие термодинамики необратимых процессов от классической термодинамики заключается в том, что составляет основу

термокинетики, – в наличии дополнительных опытных законов и уравнений, описывающих процессы переноса (распространения) вещества и движения в пространстве (например, законов Фурье для теплопроводности, Фика для диффузии, принципов линейности и взаимности Онзагера, уравнений теплопроводности и др.).

В существующем виде термодинамика необратимых процессов весьма абстрактная дисциплина (она имеет громоздкий и трудно усваиваемый логический и сложный математический аппараты), которая перегружена деталями и ещё не отработана в методическом плане, что затрудняет её изучение и применение на практике. Существует обширная литература по термодинамике необратимых процессов, но она малоприспособна для первоначального ознакомления широкого круга читателей (особенно практиков). Включение вопросов переноса вещества (массы) и движения (энергии) в термодинамику (термомеханику) позволит отработать эти разделы в методическом плане и приблизить достижения неравновесной термодинамики к их применению на практике. В дальнейшем следует ожидать сближение (и даже слияние) термодинамики необратимых процессов – авангарда термодинамики – с классической термодинамикой за счёт развития математического аппарата последней и введения дополнительных законов переноса вещества и движения.

Выводы:

1 Поскольку термин «энергия» является многозначным, то при определении предмета термодинамики его следует заменить однозначным термином «движение».

2 По аналогии с гидромеханикой, включающей в свой состав гидростатику, кинематику и гидродинамику, термодинамику, наряду термостатикой и термокинетикой, следует включить в состав более общей науки – термомеханики.

3 Термодинамику неравновесных (необратимых) процессов следует назвать термодинамикой неравновесных систем.

4 Введение координат и времени в классическую термодинамику является необходимым условием её развития и сближения с термодинамикой неравновесных систем.

5 Включение вопросов переноса вещества (массы) и движения (энергии) в термодинамику (термомеханику) позволит отработать эти разделы в методическом плане и приблизить достижения неравновесной термодинамики к их применению на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Эткинс, П.** Порядок и беспорядок в природе // Пер. с англ. / Предисл. Ю. Г. Рудого. – М. : Мир, 1987. – 224 с. : ил.
- 2 **Кричевский, И. Р.** Понятия и основы термодинамики. – М. : Химия, 1970. – 440 с. : ил.
- 3 **Базаров, И. П.** Термодинамика : Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 376 с. : ил.
- 4 **Мурзаков, В. В.** Основы технической термодинамики : Учеб. пособие для заоч. вузов. – М. : Энергия, 1973. – 304 с. : ил.
- 5 **Вейник, А. И.** Термодинамика : Учеб. для вузов. – Минск: Высшая школа, 1965. – 402 с. : ил.
- 6 **Трайбус, М.** Термостатика и термодинамика // Пер. с англ. – М. : Энергия, – 1970. – 505. : ил.
- 7 **Рындин, В. В.** Вывод уравнения первого закона термодинамики для нестационарного потока // Ред. ж. “Изв. вузов. Энерг.”. Минск : – 1989. – 11 с., ил. Библиогр. 3 назв. (деп. № 5438-В89 от 14. 02. 89 г.).
- 8 **Рындин, В. В.** Понятие работы – $u \, dp$ в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 10. – С. 64–68.
- 9 **Рындин, В. В.** Второе начало термодинамики и его развитие // Монография. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2002. – 448 с. : ил.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 26.02.14.

В. В. Рындин

Қайтымсыз термодинамикамен бірігуіне оның және термодинамиканың атын өзгерту туралы мәселе

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 26.02.14 редакцияға түсті.

V. V. Ryndin

To a question of renaming of thermodynamics and its confluence with nonreversible thermodynamics

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 26.02.14.

Классикалық термодинамикамен және қайтымсыз үрдістер термодинамикасымен қосылуына, термодинамиканың бөліктерге бөлініп, олардың аттарының өзгеруімен, координаталарымен уақытты термодинамика теңдеулерінде қолдану, термодинамика пәнімен оның тәсілдеріне байланысты сұрақтарын қарастыру.

The problems, bounded with statements of a subject of thermodynamics and methods of its enunciating, usage of coordinates and time in the equations of thermodynamics, division of thermodynamics on a part and its renaming, merging of classical thermodynamics and thermodynamics of irreversible processes, are considered.

УДК 533.6.001.8

**Ф. А. Сатыбалдиева, К. Е. Арыстанбаев,
Б. Д. Нурмаганбетов**

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности использования электроэнергии в учебных корпусах и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях путем создания информационно-измерительной системы и использованием альтернативных источников электрической энергии как научно-технические базы университетов.

Введение

Нынешнее положение высших учебных заведений обязывает экономить электрическую энергию, так как расход в потреблении электроэнергии увеличился, то есть источники электрической энергии работают так же как и раньше (более 20 лет назад) на ту же мощность, а количество потребляемых источников (научные лаборатории, НИИ, компьютерные классы) увеличилось как минимум в 5 раз. Так же тарифы на электроэнергию каждый год растут, но количество потребителей, потребляемых электроэнергию не уменьшается, а растет из года в год, например, один учебный корпус за год потребляет до 70 000 кВт/час электроэнергии, но тот же корпус с современной научно-исследовательской лабораторией за год будет потребляет в среднем около 200 000 кВт/час .

В связи с этим целесообразно применить альтернативные источники энергии и программный продукт SCADA-системы для повышения эффективности использования электроэнергии в учебных корпусах и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях.

Постановка задачи

Для достижения этой цели с учетом допустимых технико-экономических показателей нами предлагается:

- Создание информационно-измерительной системы (ИИС);
- Замена традиционных ламп накаливания, энергосберегающих и люминесцентных ламп на светодиодные лампы до технико-экономически обоснованного уровня и вместе с тем замена линии электропередачи;
- Использование альтернативных источников электрической энергии как научно-технические базы университетов для курсовых, дипломных, магистерских исследований обучающихся и дополнительного источника энергии.

Создание ИИС электроснабжения учебных заведений

Архитектура ИИС для региональной сетевой компании (РСК) в общем случае имеет вид [1] представленный на рисунке 1. Для создания ИИС в высших учебных заведениях (ВУЗ) мы предлагаем использовать автоматизированную систему контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и автоматизированную систему технологического управления (АСТУ).

Архитектура ИИС как совокупность базисных структур и компонентов структур представлена следующими средствами.

1. Микропроцессорные: устройства сбора и передачи данных в информационно-вычислительном комплексе АСКУЭ; серверы в подсистемах технологического и диспетчерско-технологического управления верхнего уровня системы диспетчерского управления.

2. Программные на основе подсистем: сбор, архив данных и предоставления данных в центральной приемопередающей станции; производственно-технологической информации и интеграции с другими подсистемами в серверах; базы данных реального времени, задач диспетчерской службы – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) и отображения информации в оперативно-информационном комплексе (ОИК) верхнего уровня программно-технических средств.

3. Аналоговое и цифровое оборудование связи: аналого-цифровые и процессорные канальные адаптеры в модемах; коммутатор обратных каналов в центральной приемопередающей станции сети передачи информации.

4. Аппаратно-микропроцессорные: измерительные цепи и трансформаторы тока (напряжения), цифровые счетчики в информационно-измерительном комплексе, а также контроллеры сбора и передачи данных в информационно-вычислительном комплексе электроустановки АСКУЭ.

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии состоит из двух общих уровней: верхнего центра управления сетей (ЦУС) и нижнего в составе системы контроля и управления электротехническим оборудованием (СКУЭТО).

АСКУЭ верхнего уровня ЦУС включает организованные через локальные вычислительные сети (ЛВС) программно-технические средства (ПТС) в составе устройства сбора и передачи информации (УСПД) на основе промконтроллера и сервера (АРМ инженера-технолога) с программным обеспечением.

Информационно-вычислительный комплекс верхнего уровня обеспечивает подготовку отчета для передачи требуемых данных по электронной почте, а также автоматизированный сбор, хранение результатов измерений и диагностику состояния средств измерений нижнего уровня АСКУЭ.

Целью технической политики ВУЗа в области учета электроэнергии (мощности) является повышение точности и достоверности измерения, а так же:

- определение технико-экономических показателей работы;
- определение и мониторинг потерь электроэнергии в сетях;
- предоставление энергосбытовым организациям данных по учету электроэнергии (мощности) на присоединениях подстанций;
- расчет электроэнергии с контрагентами за услуги по доставке электроэнергии (мощности) по сетям.

Достижение указанной цели и реализация поставленных задач должно обеспечиваться автоматизацией расчета потерь электроэнергии в сетях во всех учебных корпусах, зданиях и сооружениях, принадлежащих ВУЗ.

Система учета электроэнергии в ВУЗах должна обеспечивать выполнение оперативных расчетов балансов и потерь электроэнергии для различных интервалов времени (час, сутки, месяц, квартал и год) на всех уровнях обработки информации.

Автоматизированная система технологического управления. АСТУ ЦУС предлагается авторами [1] рассматривать в виде двух уровней: верхнего, собственно, АСТУ ЦУС и нижнего АСУ ТП в составе СКУЭТО подстанций. Мы же предлагаем верхний уровень АСТУ оставить, а нижний заменить на АСУ сложными объектами.

Архитектура АСТУ верхнего уровня описана в работе [1] и потому опишем архитектуру нижнего уровня АСУ сложными объектами.

В работе [2] предложена архитектура АСУ фотовольтажергетическими установками (ФВЭУ), здесь алгоритм программируемого логического контроллера (ПЛК) учитывает степень важности нагрузок распределения электрической сети в учебных корпусах, и зависит от бесперебойного обеспечения электроэнергией в течении нескольких дней, а то и недель некоторых исследовательских работ.

В качестве программного обеспечения АСКУЭ и АСТУ мы предлагаем SCADA-систему ЭНТЕК, она представляет собой мощный инструмент для наблюдения, анализа и управления процессами в системах автоматизации в различных областях промышленности [2].

В функции SCADA-системы ЭНТЕК входит автоматизированная система:

- оперативного контроля за работой ФВЭУ;
- контроля и управления качеством электроснабжения;
- контроля и управления малой генерацией;
- расчета, контроля и анализа балансов и потерь мощностей;
- диспетчерского управления.

Обоснование замены традиционных ламп накаливания, энеросберегающих и люминесцентных ламп на светодиодные лампы.

Лампы накаливания имеют ряд следующих недостатков: имеют большое внутреннее сопротивление; не надежны; очень малая рассеиваемость светового луча, т.к. большая часть энергии преобразуется в тепло; конструктивные недостатки в сравнении со светодиодами (бьющиеся стекла, габаритность, каждой лампе необходим по патрону); нет возможности регулирования мощностью освещения.

Лампы с радиационными элементами имеют такие же схожие недостатки как и у ламп накаливания, а так же: радиоактивность; утилизация (нет возможности в данное время); люминесцентные имеют недостатки: габариты; мерцание; сложность конструкции (стартер, ПРА); утилизация; бьющиеся стекло.

Все эти недостатки не существуют у светодиодных ламп, а наоборот имеют ряд преимуществ при выборе сверхъярких светодиодов:

а) лампы на сверхъярких светодиодах не требуют радиаторов для охлаждения и выделяют мало тепла, так как являются маломощными;

б) для получения освещенности мощностью около 1200 лм (Люмен), нам понадобится лампа накаливания 100 Вт, люминесцентная лампа 38 Вт, а светодиодная – 13-15 Вт;

в) освещенность ламп накаливания рассеивается не эффективно по периметру помещения (комнаты), т. е. в отдаленных углах будет освещенность слабая, а светодиодные лампы можно разместить таким образом, что бы они охватывали весь периметр;

г) возможность регулирования яркостью освещения (регулирование мощностью светодиода или вкл/выключения в шахматном или произвольном порядке).

Для подсчета окупаемости необходимо знать следующие параметры:

- приблизительное время работы лампы в сутки;
- время безотказной работы лампы, которую собираетесь заменить;

- мощность лампочки;
- стоимость 1 киловатта энергии;
- время работы светодиодной лампы;
- стоимость светодиодной лампы соответствующей мощности.

По нашим наблюдениям практически во всех ВУЗах в качестве освещения используют люминесцентные лампы, поэтому предлагаем вам расчет окупаемости замены люменесцентных ламп на светодиодные.

Обоснование использования диодных ламп на примере одной аудитории. Здесь уставнолено 12 линейных люминесцентных ламп мощность 36 Вт. То есть расход ламп составит $12 \cdot 36 = 432$ ватт в час.

Среднее время использования ламп 6 часов в сутки - 2.6 киловатта в сутки, или 949 киловатт в год. Тариф на 1кВт/час на данный момент у нас 16,83 тенге. Расход на освещение одной аудитории в год составит 15971,67 тенге.

Ежегодно у нас меняют 5-6 люминесцентных лампочек. Цена одной лампочки 200 тенге, 1200 тенге в год на замену.

Итого, расходы в год примерно 17172 тенге .

Светодиоды. Предлагаем максимально приближенные по параметрам светодиодные лампы Т8 «MAXUS LED».

Лампа потребляет 12 W, температура свечения 4100 К, яркость 850 люмен. Стоимость 4500 тенге. Расход электроэнергии $12 \cdot 12 = 144$ ватт, 864 ватт в сутки или 315 киловатт в год.

По цене 16,83 тенге за киловатт получаем 5300 тенге.

Стоимость ламп составит $12 \cdot 4500 = 54\,000$ тенге.

Срок службы указан 100000 часов, но вы возьмем 50 000 часов или по 6 часов в сутки составит 22 года.

Подсчет экономии. В год на электроэнергию и покупке новых ламп экономим $17172 - 5300 = 11872$ тенге. То есть светодиодные лампы окупаться через 4,5 года, но если учесть количество аудиторий и коридорных помещений, где за счет специфики проведения занятия регулируется мощность освещения (без учета капитальных затрат на установку и монтаж оборудования ИИС, так как этот вопрос решается за счет финансируемых грантов, договоров и проектов), то можно с уверенностью говорить об эффективности использования светодиодных ламп.

Выводы: Создание информационно-измерительной системы, замена традиционных ламп накаливания, энеросберегающих и люминесцентных ламп на светодиодные лампы и использование альтернативных источников электрической энергии как научно-технические базы университетов позволят повысить эффективность использования электроэнергии в учебных корпусах и снизить потери электроэнергии в электрических сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чичёв, С. И., Калинин, В. Ф., Глинкин, Е. И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей. – М. : Машиностроение, 2009. – 176 с.

2 Бекбауов, Б. Ж., Арыстанбаев, К. Е. Автоматизация работы фотоветроэлектроэнергетической установки для эффективного распределения электроэнергии в учебном корпусе // Вестник Казанского энергетического университета. №1(16), Казань, 2013. – С. 47-55

Южно-Казахстанский государственный университет
имени М. Ауэзова, г. Шымкент.
Материал поступил в редакцию 11.02.14.

Ф. А. Сатыбалдиева, К. Е. Арыстанбаев, Б. Д. Нурмаганбетов

Оқу мекемесін электрлік қамтамасыз етудің аппараты – өлшеу жүйелері

М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан
мемлекеттік университеті, Шымкент қ.
Материал 11.02.14 редакцияға түсті.

F. A. Satybaldieva, K. E. Arystanbayev, B. D. Nurmaganbetov

Information and measuring systems in power supply of educational institutions

Soutu-Kazakhstan state university
after M. Auezov, Shymhent.
Material received on 11.02.14.

Мақалада ақпаратты – өлшеу жүйені құру және электрэнергияның балама ток көздерін университеттерде ғылыми – техникалық база ретінде пайдалану арқылы оқу ғимараттарда электрэнергияны пайдалану тиімділігін өсіру және электрлік желілерде электрэнергияның жоғалуын азайту сұрақтары қаралған.

In the article the questions of efficiency increase of the electric power use in educational cases and decrease in losses of the electric power in electric networks by creation of information and measuring system and use of alternative sources of electric energy as scientific and technical bases of universities are considered.

УДК 622.692.4.053:620.197

Г. Ж. Сейтенова, Р. М. Ильчубаева, Я. Сергеевс

МЕХАНИЗМ ПАРАФИНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДА И МЕТОДИКА ЕГО РАСЧЕТА

В статье рассмотрены механизмы и причины образования парафиновых отложений, проанализированы факторы, влияющие на интенсивность парафинизации, предложена методика расчета отложений.

Под механизмом парафинизации понимается совокупность процессов, обуславливающих осаждение АСПО на внутренней поверхности оборудованию под воздействием внешних факторов.

По мере изучения данной темы, был поднят вопрос о причинах накопления парафиновых отложений. Процесс парафинизации происходит в четырехфазной среде (нефть - газ - парафин - пластовая вода), при этом кристаллы парафина, кристаллизирующиеся в потоке, при переносе вещества сцепляются с неровностями и шероховатостями внутренней стороны поверхности оборудования. Совместное движение воды и нефти приводит к протяженной поверхности границы раздела фаз, что приводит к перераспределению концентраций ПАВ в системе, что способствует зарождению кристаллов парафина на поверхностях раздела. Наличие высокоминерализованных пластовых вод может приводить к отложениям не только АСПО, но и солей жесткости, например, сульфатов или хлоридов, но вероятность образования подобных комплексных отложений невелика, однако при концентрациях свыше 50 г/л и высокой температуры она присутствует.

К факторам, влияющим на прилипаемость частицы к поверхности можно отнести природу частиц и поверхности, их форму, размер, наличие ПАВ в среде, время контакта и др. Кристаллизация и выпадение парафинов возникает в пристенном слое, при температурах, близких к температурам плавления парафинов, при это кристаллизация начинается с наименее растворимых углеводородов, обладающих большей молекулярной массой [1].

Как было выяснено в ходе исследований, важнейшую роль в формировании слоя АСПО играет первичный пристенный слой, смолопарафиновая пленка, по структуре своей близкая к аморфной или мелкой поликристаллической, обладающая значительной вязкостью. Слой этот тонок – менее 0,1 мм, однако роль его велика, так как последующая адгезия парафина производится по этому слою. Большую роль в формировании этого слоя имеют органические

кислоты, смолы, асфальтены, которые концентрируются в пристенном слое, которые адгезируют к поверхности, при этом происходит и адгезия парафина.

По мнению большинства исследователей, наиболее вероятно образование АСПО в так называемых «застойных» зонах, с наличием температурного градиента: выкидных линиях, манифольдах и т.д.

Как было сказано выше, основным фактором, влияющим на выпадение парафинов, является температура. Установлено, что при температуре ниже 10 °С происходит практически полное выпадение парафинов. Понижение температуры происходит по мере движения нефти от забоя к устью скважины, чему сопутствует разгазирование нефти. Участие газовой фазы в процессе образования АСПО исследователями уделялось большое внимание. Исследователей интересовал тот факт, что в длительно простаивающих скважинах образования АСПО на стенках не наблюдается, что, по мнению П. П. Галонского объясняется отсутствием свободных газовых пузырьков, которые бы участвовали в переносе кристаллов парафина. Подобных взглядов придерживался и Р. Д. Фаниев.

Н. Н. Непримеров в качестве наиболее вероятного механизма образования АСПО считал, что парафиновые отложения формируются непосредственно на стенке, газовые же пузырьки в сотни раз увеличивают эффективную поверхность соприкосновения твердой и жидкой фаз, чем способствуют образованию новых кристаллов парафина и росту существующих, при этом флотация кристаллов парафина газовыми пузырьками в качестве преобладающего механизма отложения не рассматривалась. В конечном счете, автор представляет механизм парафинизации следующим образом: парафин впервые появляется на газовых пузырьках, которые зарождаются непосредственно на стенке оборудования. Лопаясь или отделяясь от поверхности стенки или парафинового слоя, газовые пузырьки частично или полностью оставляют свои оболочки, которые флотируются потоком несущей среды. С ростом газонасыщенности, все меньшее число будет смываться восходящим потоком, и, сцепляясь между собой, образуется многослойная сложная структура [2].

Более поздние исследования показали несостоятельность подобных теорий и преувеличенное значение газовой фазы, невозможность флотации кристаллов парафина газовыми пузырьками. С позиций термодинамики было показано, что такой процесс энергетически невыгоден.

Под флотацией (от англ. Flootation – букв. плавание на поверхности) понимается процесс сепарации мелких твердых частиц в растворе (пульпе), основанный на различии в свободной поверхностной энергии и адсорбции. Флотация широко применяется в горнорудной промышленности как один из основных способов обогащения руд. Возможность зарождения на границе раздела фаз твердое тело – газ кристаллов парафина может быть рассмотрена

более подробно, исходя из основных положений теории флотационных процессов.

Основополагающим законом является закон сохранения энергии. Его реализация в термодинамике – первое начало термодинамики, которое гласит, что в изолированной системе запас энергии является постоянным. Второе начало термодинамики определяет направление процесса. Системы стремятся к минимуму свободной энергии и перейти в состояние термодинамического равновесия. Так, при прохождении через суспензию жидкость – твердое тело пузырьки газа частицы с более высоким уровнем поверхностной энергии будут стремиться занять такое положение, при котором граница раздела фаз вода – твердое тело была бы минимальной [3].

Процесс прилипания твердой частицы к газовому пузырьку произойти при соблюдении неравенства:

$$\sigma_{тг} < \sigma_{жг} + \sigma_{тж}$$

где $\sigma_{тг}$, $\sigma_{жг}$, $\sigma_{тж}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз твердое тело – газ, жидкость – газ, твердое тело – жидкость соответственно.

Таким образом, образование парафиновых отложений может быть описано уравнениями термодинамики с учетом специфики расположения трубопровода [4]. Уравнение баланса тепла запарафиненных стенок трубопроводов включает следующие составляющие:

- Тепло, передающееся от нефти к парафину на стенках трубы;
- изменение во времени запаса скрытого тепла, заключенного в слое парафина;
- тепло, теряемое через боковую поверхность трубопровода.

Уравнение баланса имеет вид:

$$\alpha_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (t - t_a) - L \cdot r \cdot \frac{\partial r}{\partial \tau} - K \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (t - t_0) = 0, \text{ где } L = 2 \cdot \pi \cdot \rho_i \cdot \chi \cdot \varepsilon.$$

$$K = \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot r} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{r_a}{r} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\varepsilon c}} \cdot \ln \frac{D}{d_i} \right)$$

Составленные уравнения связаны между собой. Складывая их, получим общее уравнение теплового баланса трубопровода с парафином на внутренних стенках и нефтью, перекачиваемой по трубопроводу:

$$-Q \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + Q \cdot \rho \cdot g \cdot i - L \cdot r \cdot \frac{\partial r}{\partial \tau} - \frac{2 \cdot \pi \cdot (t - t_0)}{\xi} = 0$$

В зависимостях приняты следующие обозначения:

Q, ρ, c – соответственно объемный расход, плотность, весовая теплоемкость нефти;

$\frac{\partial t}{\partial x}$ – скорость изменения температуры перекачиваемой нефти по длине;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

i – гидравлический уклон;

$\rho_n \cdot \chi$ – плотность и скрытая теплота кристаллизации парафина;

ε – отношение количества парафина, отложившегося на стенках труб к парафину, выделившемуся в потоке;

$\frac{\partial r}{\partial t}$ – скорость изменения радиуса «живого сечения» трубопровода;

t, t_o, t_s – соответственно температура нефти, окружающей среды, внутренней поверхности парафина на стенке трубопровода;

K – полный коэффициент теплопередачи нефти в окружающую среду;

$\lambda_n, \lambda_{из}$ – коэффициенты теплопроводности парафина и изоляции соответственно;

D, d_n – соответственно наружный диаметр изолированного трубопровода и внутренний диаметр теплоизоляции;

r_s, r – внутренний радиус свободного от парафина трубопровода и текущий радиус «живого» сечения трубопровода соответственно;

α_1, α_2 – внутренний коэффициент теплопередачи от нефти к парафину на стенках трубы и внешний коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к поверхности соответственно.

Гидравлический уклон i определяется по формуле Лейбензона:

$$i = \beta \cdot \frac{Q^{2-m} \cdot \nu^m}{(2 \cdot r)^{5-m}},$$

где $\beta = \frac{0.242}{g}$, $m = 0.25$ – для турбулентного режима в зоне Блазиуса.

$\beta = \frac{128}{\pi \cdot g}$, $m = 1$ – для ламинарного режима.

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 определяются по формулам теории передачи.

В условиях вынужденного турбулентного движения жидкости в трубах (вынужденная конвекция) α_1 вычисляется по формуле

$$Nu = 0.024 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.35}, \text{ где } Nu = \frac{\alpha_1 \cdot 2r}{\lambda}; Re = \frac{2 \cdot Q}{\pi \cdot \nu \cdot r}; Pr = \frac{\nu \cdot c \cdot \rho}{\lambda},$$

λ – коэффициент теплопроводности нефти.

$$\alpha_1 = 836.5 \cdot 10^{-5} \cdot Q^{0.8} \cdot (c \cdot \rho)^{0.35} \cdot \lambda^{0.65} \cdot \nu^{-0.45} \cdot r^{1.8}$$

Для ламинарного режима течения коэффициент

$$\alpha_1 = 0.532 \cdot \lambda^{0.7} \cdot Q^{0.2} \cdot (c \cdot \rho)^{0.3} \cdot \nu^{-0.1} \cdot r^{-0.9} \cdot (t - t_a)^{0.1}$$

Для подземного изолированного трубопровода

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot \lambda_{из} \cdot \lambda_{гр}}{D \cdot \left(\lambda_{из} \cdot \frac{d_n + 2 \cdot \delta}{d_n} + \lambda_{гр} \cdot \frac{4 \cdot h}{d_n + 2 \cdot \delta_{из}} \right)},$$

где h – глубина заложения трубопровода в грунт (до оси);

$\delta_{из}$ – толщина изоляции;

$\lambda_{из}, \lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности изоляции и грунта. Для наземного трубопровода $\alpha_2 = 4 \cdot \frac{W^{0.6}}{D^{0.4}}$. Таким образом, получим:

$$\frac{\partial r}{\partial \tau} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot i}{L \cdot r} - \frac{2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{\partial t}{\partial x} - t_o \right]}{\zeta \cdot L \cdot r}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Очистка внутренних поверхностей элементов нефтепроводов и оборудования // Промышленный Казахстан. – 2013. – №3. – С. 10-11.

2 Запарафиненные трубопроводы: методика расчета фактического радиуса сечения // Oil and Gas Journal Russia. – 2010. – №11. – С. 79-82.

3 Мазепа, Б. А. Парафинизация нефтесборных систем и промышленного оборудования, – М., Недра, 1966. – 183 с.

4 Тронов, В. П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. – М. : Недра, 1970. – 192 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 17.03.14.

G. Zh. Seytenova, R. M. Ilchubayeva, Y. Sergeevs

Құбыр желісінің парафинделу механизмі және оны есептеу әдістемесі

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.03.14 редакцияға түсті.

G. Zh. Seytenova, R. M. Ilchubayeva, Y. Sergeevs

Mechanism of pipeline waxing and method of calculation

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 17.03.14.

Мақалада қарқындылығына әсер ететінші факторларды зерттеу барысындағы, парафинді қалдықтардың түзілу әсері және механизмі қарастырылған, сондай-ақ оны есептеу әдісі ұсынылған.

The article describes the mechanisms and causes of the formation of paraffin deposits, analyzes the factors affecting the intensity of waxing, the design procedure of deposits.

УДК 622.692.4.053:620.197

Г. Ж. Сейтенова, Р. М. Ильчубаева, Я. Сергеевс

АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МТП

В статье проанализированы методы защиты от коррозии подземных трубопроводов и предлагаемое использование наиболее эффективных методов.

Перспективы развития нефтяной отрасли в Казахстане связаны с развитием маршрутов экспорта нефти и газа. Трубопроводы являются самым дешевым и экологически безопасным способом транспортировки углеводородов, и Казахстаном за годы независимости проделана большая работа по развитию трубопроводной инфраструктуры.

Трубопроводный транспорт в Казахстане представлен магистральными нефтепроводами – 7912,0 км и газопроводами – 12269,0 км [1]. Из них

большая часть подземные трубопроводы, т.к. подземная прокладка обеспечивает защиту трубопровода от механических повреждений, создаёт более благоприятный температурный режим его эксплуатации, не требует полного изъятия из оборота земель сельскохозяйственного назначения.

Однако, несмотря на преимущества трубопроводного транспорта, существует ряд факторов, которые могут привести к осложнению технологического процесса.

Любые подземные трубопроводы, которые пролегают в почве или проходят по открытым участкам, подвергаются коррозии. Коррозионная ситуация, в которой находится металлический трубопровод в грунте, зависит от большого количества факторов, связанных с грунтовыми и климатическими условиями, особенностями трассы, условиями эксплуатации. К таким факторам относятся: влажность грунта, химический состав грунта, кислотность грунтового электролита, структура грунта, температура транспортируемого продукта.

Причина почвенной коррозии – перетекание электронов с металла в грунт при повреждении изоляции. В грунтах почти всегда содержится вода, соли, кислоты, щелочи и органические вещества, которые вредно действуют на стенки труб. Так как вода – это диполь Н-ОН, то положительно заряженная сторона разворачивается к трубе и забирает 1 электрон. В металле, с металлической связью, где все электроны «общие», происходит нехватка электронов, в результате чего катионы металла перестают быть связаны электронным облаком и взаимодействуют с ОН- – группой образуя гидроксид металла. Таким образом, происходит коррозия металлов в земле. В некоторых случаях такая коррозия может вызвать очень быстрое появление сквозных свищей в металле трубы и этим вывести трубопровод из строя.

Наиболее сильным отрицательным проявлением блуждающих токов в земле, вызываемое железнодорожным транспортом, является электрокоррозионное разрушение трубопроводов. Интенсивность блуждающих токов и их влияние на подземные трубопроводы зависит от таких факторов, как:

- переходное сопротивление рельс-земля;
- продольное сопротивление ходовых рельсов;
- количество поездов на перегоне;
- расстояние между тяговыми подстанциями;
- потребление тока электропоездами;
- число и сечение отсасывающих линий;
- удельное электрическое сопротивление грунта;
- расстояние и расположение ТП относительно пути;
- переходное и продольное сопротивление трубопровода.

Следует отметить, что блуждающие токи в катодных зонах оказывают защитное воздействие на сооружение, поэтому в таких местах катодная защита трубопровода может быть осуществлена без больших капитальных затрат.

Целью данной работы является анализ методов защиты от коррозии подземных магистральных трубопроводов, выбор оптимальных методов для казахстанского региона.

Методы защиты подземных магистральных трубопроводов от коррозии подразделяются на пассивные и активные.

Пассивный метод защиты от коррозии предполагает создание непроницаемого барьера между металлом трубопровода и окружающим его грунтом. Это достигается нанесением на трубу специальных защитных покрытий. Под покрытием понимают ту или иную защитную конструкцию, включающую один или несколько слоев, каждый из которых выполняет определенную функцию. Изоляционные покрытия магистральных трубопроводов должны соответствовать следующим требованиям: сплошность, водонепроницаемость, прилипаемость, электрохимическая нейтральность, механическая прочность, термостойкость, возможность механизации процесса нанесения изоляционного покрытия [2].

Для защиты подземных магистральных трубопроводов применяются изоляционные покрытия на основе битумных мастик и полимерных липких лент, каждое из которых бывает двух видов: нормальное и усиленное. При нанесении любого покрытия должны выполняться следующие условия: переходное сопротивление изоляции нормального типа должно быть не ниже 10^4 Ом-м², а усиленного – не ниже 10^5 Ом-м²; адгезия должна быть не менее 0,25МПа при 20°C и отсутствие отслаивания изоляции при отрыве; отсутствие пробоя при напряжении на щупе дефектоскопа не менее 5 кВ на 1мм толщины изоляции.

Изоляционные покрытия представляют собой смеси тугоплавкого нефтяного битума, накопителей и пластификаторов [3].

Накопители – специальные активные вещества, которые вводят в состав битумов для повышения структурной прочности и вязкости. Они бывают минеральные, органические и полимерные.

Пластификаторы – вещества, химически не взаимодействующие с битумом, вводимые для повышения пластичности мастики и возможности нанесения ее при низких температурах (– 25 – – 30°C).

Применяют битумные, битумно-клеевые и клеевые грунтовки. Тип грунтовки выбирают в зависимости от условия работы трубопровода, типа покрытия и условий ее применения. Лучшее качество изоляционного покрытия достигается тогда, когда в грунтовке и покрытии применяются один и тот же материал. Покрытия также должны быть достаточно жесткими, способными выдержать длительное давление грунта и в то же время

достаточно гибкими и эластичными, чтобы сопротивляться растягивающим усилиям при изгибах трубопровода и другим изменениям геометрических размеров участков трубопровода.

Так как пассивным методом не удается осуществить полную защиту трубопровода от коррозии, одновременно применяется активная защита, связанная с управлением электрохимическими процессами, протекающими на границе металла трубы и грунтового электролита. Такая защита носит название комплексной защиты.

Один из активных методов защиты от коррозии осуществляется путем магниевого протектора. Создается постоянный ток между внешним анодом (протектором) и катодом (трубопроводом). К трубопроводу подключают через кабель пластины металла, имеющего более низкий водородный потенциал, которые, естественно, растворяются и разрушаются в первую очередь, защищая основное изделие от коррозии. Металлоконструкция остается целой, и даже имеющиеся на ней локальные коррозионные дефекты перестают развиваться. Практически благодаря применению магниевого протектора срок службы трубопровода можно продлить до 30 лет.

Для эффективной работы протектора используется активатор – смесь гипса, глины, сульфата натрия и других солей, имеющих повышенную электропроводность. Активаторы предназначены для стабилизации удельного электрического сопротивления грунта вокруг протектора и способствуют уменьшению сопротивления растеканию протектора. Гипс, входящий в состав активаторов, препятствует образованию на поверхности протекторов слоев с плохой проводимостью. Сульфат натрия Na_2SO_4 дает легкорастворимые соединения с продуктами коррозии, что способствует сохранению постоянства стационарного потенциала и уменьшению переходного сопротивления протектора. Бентонит и трепел удерживают влагу и замедляют растворение солей грунтовыми водами. Слой активатора достигает до 10 см [4].

Норма расхода протекторов на единицу протяженности трубопровода определяется массой протектора и напрямую зависит от агрессивности природной среды в зоне прокладки. В среднем, протектор защищает фрагмент трубопровода длиной 8 км. При строительстве нефте- и газопроводов протекторы устанавливаются либо поштучно (одиночно), либо группами. В каждую группу может входить от пяти до пятнадцати протекторов, они размещаются на расстоянии около пяти метров от трубопровода, которое зависит от состояния изоляционного покрытия и удельного сопротивления грунта. В местах установки организуется контрольно-измерительный пункт (КИП), с помощью которого отслеживается состояние каждого протектора [5].

Преимуществами протекторной защиты являются: простота монтажа, эффективность, рентабельность, независимость от источника тока,

возможность локальной установки. Изоляционные покрытия имеют различную диффузионную проницаемость и поэтому обеспечивают различную изоляцию трубы от агрессивной окружающей среды.

В настоящее время протекторную защиту применяют совместно с изоляционными покрытиями в России, Европе, Японии и США.

Особенно показан данный метод для нашего региона, так как на нашей пустынной и полупустынной местности невыгодно или невозможно построить станции катодной защиты по ряду причин:

- на подземных переходах трубопроводы прокладываются в защитных футлярах (кожухах) из стальных или железобетонных труб;
- поймах рек, где для предотвращения всплытия подземных трубопроводов пригружаются (балластируются) специальными грузами, утяжеляющими покрытиями или закрепляются при помощи анкерных устройств;
- рядом с железнодорожными линиями;
- экологически неустойчивых зонах из-за резко-континентального климата и неравномерного распределения осадков;
- территориях предприятий, а также в зонах воздействия блуждающих токов;
- на магистральных трубопроводах в комплексе со станцией катодной защиты (СКЗ), для обеспечения защитного потенциала на участке между СКЗ;
- на магистральных трубопроводах вдали от источников электроэнергии.

Как известно, крупные казахстанские газонефтяные компании применяют методы электрохимической защиты, изоляционных покрытий, но они тоже требуют доработки и научного усовершенствования. Для каждого региона требуется индивидуальный подход, поэтому надо учитывать все факторы влияющие на коррозию трубопровода.

В Республике Казахстан планируется значительное увеличение числа МТП за счет строительства в ближайшее время. Подземные трубопроводы предназначены для работы в течение длительного срока, поэтому для защиты их от коррозии экономически и технологически выгодно одновременное применение методов протекторной защиты и изоляционных покрытий на стадии строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Можарова, В.** Транспорт в Казахстане: современная ситуация, проблемы и перспективы решения. – Алматы : КИСИ при Президенте РК, 2011. — 216 с.
- 2 **Дятлов, В. А.** Обслуживание и эксплуатация линейной части магистральных газопроводов. – М. : Недра, 1984. – 51 с.

3 **Громов, А. В., Гузанов, Н. Е., Хачикян, Л. А.** Эксплуатация магистральных газопроводов: Справочное пособие. – М. : Недра, 1987 – 32 с.

4 **Улиг, Г. Г., Ревин, Р. У.** Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику – М. : Изд-во Москва, 1989. – 456 с.

5 **Кованов Н. К.** Коррозия и защита металлов: уч. пособие – Уфа : Изд-во Уфа, 2003. – 179 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 07.03.14.

G. Zh. Seytenova, R. M. Ilchubayeva, Y. Sergeevs
ҚМ-ің антикоррозиялық қорғау

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 07.03.14 редакцияға түсті.

G. Zh. Seytenova, R. M. Ilchubayeva, Y. Sergeevs
Corrosion protection of MP

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 07.03.14.

Мақалада жерасты құбырларын коррозиядан қорғау әдістерін және олар үшін ең тиімді әдісті қолдану жағдайлары қарастырылған.

In the article the methods of corrosion protection are analyzed of underground pipelines and the proposed use of the most effective method.

УДК 544.332

М. М. Кабдуалиева, С. С. Асенова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ В НИХ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ

В настоящей статье изложен обобщенный положительный опыт создания благоприятных условий получения агломерата на основе тощих углей.

В процессе высокотемпературной обработки структуры спекаемых железорудных материалов следует связывать их свойства с показателями свойств конечного продукта, так как при образовании элементарного блока частиц твердого топлива и исходных компонентов происходит формирование агломерационной структуры [1, 2]. Поэтому рассматривая теоретическое представление об агломерационной структуре, мы прослеживаем ее развитие как в эндо - так и экзотермических реакциях восстановления и окисления [4, 12]. Наличие сложных связей между элементарными стадиями, их суммарная величина может быть как положительной, так и отрицательной.

Задача оптимизации условий спекания агломерационной шихты заданного состава решается путем выбора рационального соотношения между внешними по отношению к слою (горение газообразного топлива под зажигательным горном и в слое за зажигательным горном), внутренними источниками и стоками тепла (горение твердого топлива, окисление и восстановление оксидов железа и т.д.) на основе закономерностей тепломассообмена [13]. Однако первостепенное значение отводится выбору внешнего источника тепла на первоначальном этапе процесса нагрева, а выбор внутреннего источника тепла определяется с позиции технико-экономических расчетов и состава углерода твердых топлив (например, на базе тощих углей). При анализе эндо - и экзотермических реакций кристаллохимических преобразований проявляются все свойства внутреннего источника теплоты [10].

Выбранный источник внешней теплоты с большей энергией активации агломерационного процесса обеспечивает условия устойчивого технологического процесса. Если суммарный тепловой эффект основных реакций превысит тепловые потери в окружающую среду, то их протекание переходит в автотермичный режим, т.е. осуществляется без подвода дополнительного внешнего тепла. Практика проводимых технологических процессов с получением каких-либо качественных продуктов доказывает, что если суммарный тепловой эффект отрицателен или ближе к нулю, необходимо либо усилить внешнее воздействие, либо увеличить мощности внутреннего источника (твердый углерод, активные металлы Mg, Al и др.). Примеры рациональных условий проведения технологических процессов показывают, что при минимальных мощностях внутреннего источника теплоты необходимо поддерживать их на максимальном уровне, при ограничении термической стойкости спекаемых материалов.

Процесс получения агломерата (нагрев-охлаждение) представляет собой ступенчатый график с температурными интервалами, в которых скорость нагрева и охлаждения условно постоянна. Эти процессы получения агломерата из железорудных материалов, содержащих распределенное твердое топливо, устанавливают основные закономерности и особенности

изменения температурного поля в условиях повышения температуры газовой среды.

Технологические условия обеспечивают показатели (плотность, пористость) окомкованной агломерационной шихты. В таких технологиях в качестве добавок чаще всего используется тощий уголь крупностью 0,1 мм, имеющий химический состав: Wp - 10,0%, Ap - 16,2%, Sp - 0,5%, Cp - 65,7%, Нр - 3,0%, Op - 3,1%, Np - 1,7%. Химический состав исходных материалов представлен в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав используемых материалов

Химический элемент	Железорудный концентрат	Инертный материал	Зола угля
<i>Геобц.</i>	62,5	1,0	7,0
FeO	27,11		-
Fe ₂ O ₃	59,16	1,43	10,0
SiO ₂	3,32	60	54,0
Al ₂ O ₃	2,42	35,47	27,0
CaO	0,84	1,2	3,8
MgO	2,52	2	1,0
П.П.П.	0,89	-	
Прочие	3,74	-	4,2

Цепочка технологического процесса включает в себя условия обеспечения не только качества всех протекаемых процессов, начиная от тщательного перемешивания основной массы железорудных материалов с твердым топливом, и до завершенности внутренних физико-химических преобразований внутри высокотемпературного процесса. Выбор оптимальной скорости изменения температуры в рабочем пространстве на уровне 293 К/мин., при температуре газовой 1473°К, которая была получена по данным лабораторных испытаний образцов в непосредственной близости от поверхности образца [4, 5, 6].

Лабораторная установка была выполнена как модель реальных условий агломерационного производства. Результаты исследований были и описаны в приведенной литературе. Исследования затронули также вопросы кинетики выгорания твердого углерода в чистом виде, и показали, что скорость реакции его взаимодействия с кислородом газовой среды конечна, и способна протекать как на поверхности, так и в объеме куска.

Обобщенный анализ гетерогенных процессов горения и газификации пылевидных топлив рассмотрен А. С. Предводителевым и Н. Хитриным, Н. В. Лавровым [7], В. Б. Канторовичем, Дэвис Н, Хоффелем М. С, И. Блиновым, Ф. М. Ридом и Р. В. Вейнером, Д. Лангмюром, Н. А. Шиловым, Д. А. Франк-Каменецким и З. Ф. Чухановым как эффект окисления частиц твердого топлива в зависимости от режима движения пылеугольной смеси.

В вопросах развития теории теплообмена агломерационных процессов возникает ряд противоречий, которые способствуют изучению и разработке различных механизмов взаимодействия частиц с газами в среде высокотемпературных установок.

В работах Н. В. Лаврова [7] обоснованы ряд механизмов взаимодействия углерода с газовыми компонентами на основании изученных им реакций окисления углерода и твердого топлива. В настоящее время **первым аспектом** этого взаимодействия твердого углерода с кислородом через промежуточные углерод-кислородные комплексы принято считать как факт, где в качестве первичных продуктов окисления выступают одновременно монооксид и диоксид углерода.

В работах Н. А. Шилова [8] показана возможность образования трех типов поверхностных оксидов углерода в зависимости от числа используемых валентностей того или иного атома углерода (рис.1).

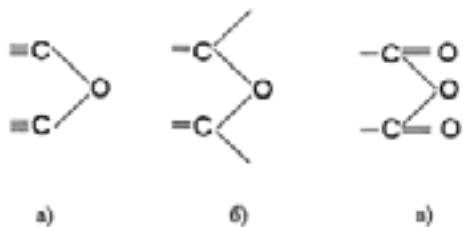


Рисунок 1 - Основные схемы образования поверхностных оксидов углерода

Вид промежуточного комплекса и состав продуктов горения зависят от свойств горючего материала, его структуры и характеристики окислителя. Оксид типа (а) образуется при малых парциальных давлениях кислорода (от 10^{-5} до 2Па) и устойчив при высоких температурах.

Из его работ следует, что при повышенных давлениях кислорода оксид типа (а) переходит в тип (б), который более устойчив при относительно низких температурах (до 573°K). Повышение температуры способствует превращению оксида типа (б) в тип (а).

Наиболее активные атомы углерода образуют поверхностные комплексы типа (в), которые существуют при температурах 673...873°K и разлагаются с образованием CO и CO₂ при высоких температурах.

Вторым аспектом является характер горения углерода при повышенных температурах и переход механизма горения из кинетического в диффузионный режим, а развитие реакций восстановления объясняют присутствием CO.

Третьим аспектом является достаточное количество кислорода в газовой фазе, который используется на дожигание CO и практически не достигает поверхности угля, выполняя восстановительную функцию на поверхности углеродистой частицы.

На основании [7] можно сделать вывод, что на процесс окисления начинает влиять процесс термической диссоциации кислорода с образованием его активных атомов и поверхностно-активных углерод-кислородных комплексов. Анализ отходящих газов существующих технологических процессов при известных составах первичных продуктов окисления углерода твердого топлива зависит от структуры и химического состава промежуточных углерод-кислородных комплексов. Также анализ показал присутствие монооксида углерода в отходящих газах. Наличие монооксида углерода является нарушением технологического процесса (повышение уровня температуры нагрева) – термическое разрушение. По данным [9] дериватографических исследований разложения природных углей в азотно-кислородной среде отмечают, что в низкотемпературной области нагрева (до 513...573°K) происходит накопление углерод-кислородных комплексов, а в районе температур 613...693°K наблюдается преимущественное выделение монооксида углерода за счет разложения. В процессе последующего этапа нагрева окислитель газовой среды взаимодействует с макромолекулами углерода, порождая экзотермический эффект и повышение концентрации CO₂, с определением следов метана и водорода, при температурах 793...853°K в реакцию окисления вступает ядерная часть макромолекулы углерода топлива.

Как уже отмечалось, реакционные свойства твердого топлива подвержены изменению в зависимости от степени их метаморфизма, а интенсивность развития вторичных реакций окисления углерода в существенной мере зависит от уровня рассматриваемых температур.

Экспериментальные данные [5, 6, 7, 10] о взаимодействии углерода с его диоксидом выделяют три основных области реагирования. В области до 673°K эта реакция протекает необратимо в сторону распада монооксида углерода, при 673...1273°K – умеренные температуры, равновесные реакции взаимодействия углерода и диоксида углерода, а в области высоких температур в отходящих газах обнаруживается до 100% CO.

Возможность осуществления их через химическую сорбцию при термической диссоциации исходных компонентов по цепному механизму,

изложенная в [7] отмечена реакцией взаимодействия водяного пара с углеродом. Протекание данной реакции с образованием СО и водорода, а при высоком давлении даже с образованием метана.

Обзор изученной литературы показывает, что окисление углерода твердого топлива и процесс разложения определяется интенсивностью развития топохимического процесса, и протекает через образование промежуточных углерод-кислородных комплексов, осуществление которого зависит от исходных компонентов температурных условий технологического режима.

В теории теплообмена и в частности различных термодинамических анализах протекания высокотемпературных процессов близких к процессу агломерации и расчета стандартных изменений используются формулы, приведенные в работах М. И. Темкина и Л. А. Шварца [11]. В данных работах рассматриваются не только изобарный потенциал, но и нарушение стационарности протекания процессов на примере рис.2 [11].

Анализ этих данных показывает, что до температуры 790°K протекание реакций (3), (5) и (6) наименее вероятно. Наиболее вероятными при окислении углерода являются реакции (1), (2), (4), а до температуры 1130° K и реакция образования метана (8). При рассмотрении процесса окисления углерода твердого топлива до температуры 846°K наиболее вероятной является реакция (4) дожигания СО, как обладающая наиболее отрицательным изменением изобарного потенциала. Выше значений этой температуры вплоть до 1125° K в большей степени возможно протекание реакции (1) полного горения углерода. Лишь при более высоких температурах возможно осуществление реакции (2) газификации углерода.

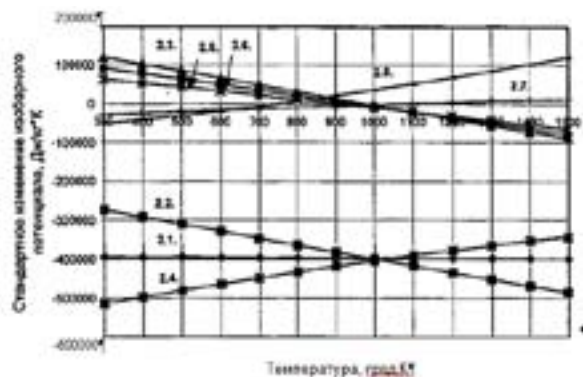


Рисунок 2 – Термодинамический анализ реакций окисления углерода твердого топлива. Цифры у линий означают номера реакций

В технологических условиях получения железорудного агломерата методом вакуумного спекания выявлено, что развитие первичных реакций окисления углерода топлива с образованием моно- и диоксида углерода, при низких температурных режимах на стадиях нагрева до 790° K и в интервале температур до 1125° K возможно дожигание монооксида углерода. Термодинамический анализ этих процессов способствует выявлению областей дожигания в установках.

В заключении следует отметить, что процесс нагрева рудно-топливных материалов в окислительной газовой среде сопровождается внутренним разогревом за счет окисления углерода твердого топлива. А также на стадиях формирования блочной структуры железорудного агломерата и при одновременном протекании процессов горения и газификации твердого топлива, окисления и восстановления оксидов железа, интенсивность которых изменяется в процессе непрерывного технологического процесса нагрева. Для создания наилучших условий образования блока спеченных материалов наиболее целесообразно обеспечивать максимальное использование твердого топлива тощих углей в качестве внутреннего источника тепла и создания в слое газовой среды минимального содержания диоксида углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Похвиснев, А. Н., Шаров, С. И., Вегман, Е. Ф.** Исследования текстуры железорудного агломерата / Сталь, 1969 г., № 10. – с. 873-877.
- 2 **Коротич, В. И., Климова, Н. С., Баранов, В.Т.** Экспериментальные определения количества перетекающего расплава при агломерации. / Изв. Вузов. Ч. М., 1969, № 1. – с. 22-24.
- 3 **Канторович, Б. В.** Основы теории горения и газификации твердого топлива. – М.: АН СССР, 1958. – 783 с.
- 4 **Коротич, В. И. Климова, Н. С, Пузанов, В. П.** Расчет окислительно-восстановительных процессов при агломерации железорудных материалов / Окускование железных руд и концентратов. Сб. научных трудов – Свердловск : Облиздат, 1973, № 1. – с. 45-55.
- 5 **Лавров, Н. В., Шурыгин, А. П.** Введению в теорию горения и газификации твердого топлива. – М.: АН СССР, 1962, – 378 с.
- 6 **Чуханов, З. Ф.** Вопросы теории горения углерода-кокса и пути развития техники сжигания и газификации твердых топлив. / Изв. АН СССР, 1953, – с. 562-563.
- 7 **Лавров, Н. В.** Физико-химические основы процесса горения твердого топлива. – М.: Наука, 1971. – 458 с. Шилов Н. А. О сопряженных реакциях окисления. – М.: Наука, 1949. – 290 с.

8 Шилов, Н. А. О сопряженных реакциях окисления. – М. : Наука, 1949. – 290 с.

9 Алаев, Г. П., Нелюбин, Б. В., Арзаева, Л. А. Кинетика взаимодействия петрографических микрокомпонентов энергетических углей Кузбаса с молекулярным кислородом. Горение твердого топлива. – Новосибирск : Наука, 1974.

10 Гольдштейн, Н. А. Краткий курс теории металлургических процессов. – М. Металлургиздат, 1961. – 333 с.

11 Есин, О. А., Гельд, П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов : Часть 1 - Свердловск: Металлургиздат, 1962. – 671 с.

12 Коротич, В. И., Климова, Н. С., Каплун, Л. И. О развитии окислительно-восстановительных процессов при агломерации железорудных материалов. / Изв. Вузов. Ч. М., 1975 г., № 5, с. 17-20.

13 Каракаш, А. И. Повышение прочности агломерата изменением состава и количества жидкой фазы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – 05. 16. 02 / ДметИ - Днепропетровск, 1977. – 20 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 17.03.14.

М. М. Кабдуалиева, С. С. Асенова

Дисперсті материалдардың ішінде қатты отынның таратылуымен олардың жылулық қалпын зерттеу

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.03.14 редакцияға түсті.

М. М. Kabdualieva, S. S. Assenova,

The research of dispersive materials in thermal condition with distributed solid fuel

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 17.03.14.

Аталмыш мақалада құнарсыз көмір негізінде агломератты алу үшін жағымды шарттарын жасау тәжірибесі талқыланған.

In given article is described a generalized positive experience of creating favorable conditions for obtaining based on lean coals agglomerate.

УДК 621.311.25

А. П. Кислов, В. П. Марковский, Д. С. Нарынбаев

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ГИБРИДНЫХ СИСТЕМАХ – СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В настоящей статье приводится анализ особенности применения гибридных накопителей энергии для систем с возобновляемыми источниками энергии. Особое внимание обращается на то, что в сложных системах с различными требованиями могут быть применены гибридные накопители электрической энергии, включающие в себя комбинации различных технологий, объединенные единой системой преобразования и управления.

Наличие в электроэнергетической системе энергоемких и мощных накопителей в качестве промежуточного устройства между генерацией энергии и потребителем позволило бы освободиться от жесткого соответствия генерации энергии и ее потребления.

Наибольший эффект от применения накопителей энергии можно получить при их использовании в гибридных системах — солнечных и ветряных электростанциях.

Использование накопителей электроэнергии в гибридных решениях позволяет эффективно управлять нагрузкой в сети и тем самым значительно улучшает технико-коммерческие параметры распределенной генерации. Мощные накопители электроэнергии обеспечивают сглаживание пиков потребления и повышают эффективность энергетических сетей.

Потребление электроэнергии нестабильно и непостоянно. В течение суток оно может колебаться на десятки процентов, достигая максимального уровня в утренние и вечерние часы и падая ночью. При этом в любой момент времени оно должно быть сбалансировано с производством, которое зачастую не обладает такой гибкостью: излишки произведенной электроэнергии, как известно, невозможно просто положить на склад. Энергия должна быть потреблена тогда же, когда и произведена.

Неравномерность потребления электроэнергии в течение суток – одна из основных проблем электроэнергетики.

В связи со стремительным развитием альтернативной энергетики, эта проблема обостряется до предела. Энергия солнца и ветра крайне нестабильна. Например, ветрогенераторы, как правило, вырабатывают максимум электроэнергии именно ночью, когда она не слишком нужна, и часто простаивают жарким днем.

Возможность разнести во времени производство и потребление электроэнергии путем ее накопления в больших масштабах – один из наиболее эффективных путей решения проблемы неравномерности потребления.

Мощные накопители электроэнергии могут обеспечить сглаживание пиков потребления и поднять эффективность энергетических сетей.

Гибридные решения включают в себя накопитель энергии большой емкости на литий-ионных аккумуляторах, инвертор, систему управления, а также внешний источник генерации.

Накопители энергии используются в гибридных системах возобновляемых источников энергии со следующими источниками генерации:

- солнечные батареи;
- ветрогенераторы.

Энергия солнца крайне нестабильна, она зависит от многих факторов: сезонных, временных, погодных и т.д. Как следствие – необходимость разделения процессов производства и поставки электроэнергии потребителю. В этой связи целесообразно в системе с солнечной генерацией использовать накопители энергии.

Существует два основных вида гибридных систем с использованием солнечных электростанций:

- с подключением к централизованной сети;
- островные.

Солнечные электростанции отличаются высокой нестабильностью генерации электроэнергии, что затрудняет их интеграцию в централизованные сети.

Поэтому на крупных солнечных электростанциях накопители энергии используются в качестве буферов, которые сглаживают неравномерность генерации. В настоящее время системы буферного накопления электроэнергии являются неотъемлемой составляющей возобновляемой энергетики.

Второй тип гибридных систем на солнечных батареях – это автономные (островные) системы. В удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, солнечные батареи используются для электроснабжения, например, отдельных домов или небольших предприятий.

В таких автономных системах из-за неравномерности генерации солнечной энергии накопители также применяются для стабилизации системы. И одновременно накопители энергии выполняют другую важную функцию – используются в качестве источников бесперебойного питания. Когда электроэнергия не вырабатывается (например, ночью, или в пасмурный день, когда солнце за тучами), тогда роль источника электропитания берут на себя накопители электроэнергии, которые предварительно запасли энергию в аккумуляторных батареях. Обычно в таких системах накопители могут компенсировать от 2 до 4 суток отсутствия электричества.

В мировой энергетике в последние годы ветрогенерация стала одним из самых активно развивающихся секторов. Распространение ветряной энергетики сдерживается непостоянностью источника энергии. Ветер обладает крайне неустойчивыми характеристиками: большие текущие (мгновенные) колебания скорости, существенные изменения средних скоростей ветра в суточном и годовом циклах. Именно поэтому целесообразно в системах с ветряной генерацией использовать накопители энергии, которые берут на себя регулирование выдачи мощности такими источниками.

Существует два основных вида гибридных систем с использованием ветряной генерации:

- с подключением к централизованной сети;
- автономные.

Крупные ветрогенерирующие энергетические комплексы, интегрированные в централизованные сети, не могут функционировать без накопителей большой емкости, которые необходимы для буферизации электроэнергии. Когда в сеть сбрасывается энергия в больших объемах, сеть может быть дестабилизирована. На таких ветряных электростанциях накопители энергии используются в качестве буферов, которые сглаживают неравномерность генерации.

Второй тип гибридных систем с использованием энергии ветра – это автономные системы. В удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, ветрогенераторы используются для обеспечения электроэнергией отдельных домов, поселков, туристических объектов или небольших предприятий. В таких автономных системах из-за неравномерности генерации энергии ветра накопители также применяются для стабилизации системы, и одновременно выполняют другую важную функцию – используются в качестве источников бесперебойного питания.

У всех источников энергии есть свои недостатки. У жидкотопливных дороговизна содержания, у солнечных дороговизна установки, у ветряных непостоянство ветра. Поэтому для автономного и полностью надежного обеспечения энергией рекомендуется использовать объединенную, так называемую гибридную систему из трех компонентов. Таким образом, используются все преимущества и нивелируются недостатки. В гибридной системе основной источник энергии – это ветряной двигатель. Он как минимум в два раза дешевле солнечной панели, поэтому его установить целесообразнее, если позволяют местные условия. Вспомогательным источником энергии является набор из солнечных панелей. Они помогают ветряному двигателю в производстве электричества и спасают в периоды длительной безветренной погоды. Иногда такие системы дополнительно снабжают еще и дизель-генератором. Это дает еще большую гарантию надежности. Иногда дизель-генератор ставят вместо солнечных панелей в

качестве резервного источника питания. Но на малых системах до 20 кВт все же использование солнечных элементов предпочтительней. Ведь солнечные панели работают каждый день и тем самым снижают разрядку дорогостоящих аккумуляторов, значительно продлевая срок их службы.

Установка ветрогенераторов без резервного источника питания нерациональна. В случае нескольких безветренных дней аккумуляторы без подзарядки сильно разряжаются и тем самым сокращается их срок службы. Аккумуляторная батарея может разрядиться настолько, что система не будет давать электричество для потребления. Поэтому в системе должен быть резервный источник питания - для этого возможно использовать подключение к общей электросети, жидкотопливные генераторы или солнечные панели. Солнечные панели являются оптимальным решением, поскольку не требуют топлива или расходов на содержание, а также наиболее эффективны в летний период, когда скорость ветра обычно ниже.

Каждая гибридная ветро-солнечная система автономного электроснабжения включает в себя: ветрогенератор, солнечные панели, контроллер заряда, инвертер и аккумуляторы. Мощность каждого компонента рассчитывается в зависимости от нужд потребителя. Срок службы ветрогенератора 15-20 лет, солнечных панелей 35-40 лет, контроллера и инвертера 15-20 лет, аккумуляторов в зависимости от типа и характера использования - 4-10 лет.

Рассмотрим Ветро-солнечную гибридную систему 10 кВт + 4,8 кВт.

Ветро-солнечная система автономного энергообеспечения состоит из ветрогенератора мощностью 10 кВт и солнечных панелей общей мощностью 4,8 кВт. Подобная система позволяет надежно обеспечить потребности в электричестве большинства владельцев частных домов и коттеджей. В месяц эта система вырабатывает в среднем около 1100-1800 кВт*ч, что достаточно для работы любых электроприборов в нормальном режиме использования. В комплекте с солнечными коллекторами такой системы будет достаточно даже для обеспечения горячей воды и отопления для большого дома. В точке установки средняя скорость ветра должна быть выше 6 м/с. В комплект входят: ветрогенератор, солнечные панели, гибридный контроллер заряда, инвертер, мачта и аккумуляторы. Запас энергии: 80 кВт*ч, максимальная мощность потребления: 20 кВт.

Система включает:

1. Фотоэлектрический массив: солнечные панели, соединенные параллельно-последовательно, преобразующие падающее на них освещение в постоянное напряжение. Пространственная ориентация и наклон солнечных панелей также, как и падающие на них тени от окружающих предметов являются важными параметрами дизайна системы.

2. Ветрогенератор: турбина устанавливается на вершине высокой мачты и преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую.

3. Гибридный контроллер: преобразует напряжение, поступающее через солнечные панели и ветрогенераторы, в напряжение, пригодное для содержания аккумуляторной батареи.

4. Аккумуляторные батареи: Один или множество параллельно-последовательно соединенных аккумуляторных блоков (элементов) для создания одной батареи с необходимым напряжением и емкостью.

5. Инвертер: преобразует постоянное напряжение аккумуляторной батареи в переменное, пригодное для питания потребителей.

6. Нагрузка: сеть потребителей, питаемых переменным напряжением инвертора и при необходимости, постоянным напряжением аккумуляторной батареи.

На рисунке ниже показан возможный проект такой системы.



Рисунок 1 - Ветро-солнечная гибридная система 10 кВт+4,8 кВт

Гибридные решения с накопителями энергии выгодно применять в следующих случаях:

- в составе альтернативной системы энергоснабжения – солнечной или ветряной, при отсутствии централизованного энергоснабжения;
- если установлена автономная энергосистема – нецелесообразно или очень дорого тянуть линии электропередач;
- если нет других источников тепловой энергии, например, газа;

- в составе системы аварийного энергоснабжения, работающей при длительном отсутствии сетевого напряжения от автономных источников энергоснабжения – бензо- дизель- газогенераторов;
- для снижения нагрузки на электросетевое оборудование путем накопления энергии вместо затрат по модернизации сетевой инфраструктуры;
- для выравнивания графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды избыточной электроэнергии и выдача в сеть в периоды дефицита).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Попель, О. С., Тарасенко, А. Б.** Накопители электрической энергии для возобновляемой энергетики – проблемы и перспективы. Доклад на 1-ом Международном форуме ВИЭ, 22 октября 2013 г.
- 2 Возобновляемые энергетические ресурсы, журнал «KAZENERGY» 2014. №1 (62), с. – 26.
- 3 **Попель, О. С., Тарасенко, А. Б.** Накопители электрической энергии // Энергоэксперт. 2011. №3. – С. 28-37.
- 4 Сайт: <http://www.iea.org> Международное энергетическое агентство Информация по вопросам эффективного использования энергии, возобновляемой энергетики и др.
- 5 **Шакарян, Ю. Г.** и др. Перспективы применения накопителей энергии в ЕНЭС и ЕЭС России // Вести в электроэнергетике. 2010. №4. – С. 16-22.
- 6 Сайт: <http://intelion.org/> Компания «ИНТЕЛИОН» разработка, производство и внедрение накопителей электроэнергии.
- 7 **Тугузова, Т.Ф.**, Доклад на I Международном Конгрессе Energy Fresh 2009, Москва, 23-24 сентября 2009 г.
- 8 **Аваков, В. Б.** и др., Академия Энергетики, № 4 (24), август 2008, с. 28-33;
- 9 **Большаков, К. Г.** и др., Альтернативная энергетика и экология, № 4 (24), 2005 г., с. 52-57.
- 10 Патент 2484565. Российская Федерация. Гибридное устройство аккумулирования электрической энергии с электрохимическим суперконденсатором/свинцово-кислотной батареей / Г. Г. Харисов, С. В. Литвиненко, В. А. Казаров.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.03.14.

А. П. Кислов, В. П. Марковский, Д. С. Нарынбаев

Энергия жинақтаушыларды гибридітік жүйелерде – күн сәулесі мен жел электр станцияларында пайдалану

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 20.03.14 редакцияға түсті.

A. P. Kislov, V. P. Markovsci, D. S. Narynbayev

Application of energy storage in hybrid systems - solar and wind power stations

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 20.03.14.

Бұл мақалада жаңғыртылмалы энергия көздері бар жүйелері үшін гибридітік жинақтаушыларды пайдалану ерекшеліктеріне талдау жүргізген. Ерекше назар аударылған мәселе, ол түрлі талаптар қойылатын күрделі жүйелерде қайта құру мен басқарудың біртұтас жүйесімен біріктірілген түрлі технологиялар тәсілін қамтитын электр энергиясының гибридітік жинақтаушыларын пайдалану мүмкіндігі.

In the given article there is provided an analysis of the application features of the hybrid energy storage for renewable energy systems. Particular attention is drawn to the fact that in complex systems with different requirements may be used the hybrid electrical energy storage devices that include a combination of different technologies combined with unified control and conversion.

УДК 621.311.25

В. П. Марковский, О. Г. Волошанин, А. Б. Кайдар

ПЕРСПЕКТИВА СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ТЕПЛОАСОСНЫХ СИСТЕМ И БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

В статье рассматриваются перспективы объединения в единый комплекс различных видов возобновляемых источников энергии.

В соответствии с требованием закона «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» [1], положениями программы

«Энергосбережение – 2020» [2] и перспективами «Инновационной программы развития» [3] на базе лаборатории нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Инновационного Евразийского Университета получены данные продолжительности солнечного излучения, температуры и скорости ветра (рисунок 1). Полученные за период 2009-2013 г. данные подтверждают перспективность комбинированного использования возобновляемых источников энергии в условиях регионов северного Казахстана.

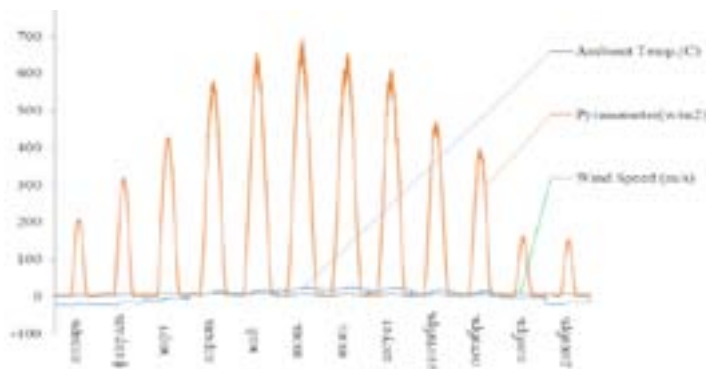


Рисунок 1 - Усредненный график среднесуточных месячных значений температуры, солнечной инсоляции и скорости ветра для г. Павлодар

Наиболее актуально вопрос бесперебойного электроснабжения стоит в сельской местности, так как в виду большой рассредоточенности и малой потребляемой мощности сельские районы относятся к третьей категории электропотребителей. Современные сельскохозяйственные технологии отличаются повышенными требованиями к качеству используемой электроэнергии, а гидропонные и аэропонные технологии возделывания светокультур не допускают перерывов в электроснабжении. Повышение надёжности электроснабжения посредством традиционных технических решений не всегда экономически обосновано, в то время как применение источников возобновляемой энергии имеет большие перспективы.

Уже широко используются гибридные установки (рисунок 2) [4], использующие солнечную и ветровую энергию [5].

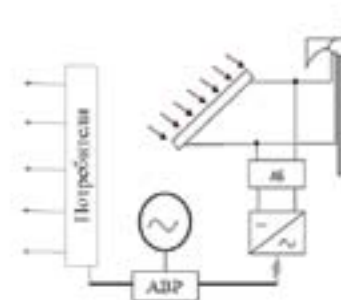


Рисунок 2 - Схема совмещенной фото преобразовательной установки и ветрогенераторной установки с резервным источником

На рисунке 2 показана схема по которой потребители получают энергию из сети и резервной системы электроснабжения, состоящей из фотопреобразовательной (СП) и ветрогенераторной установки (ВЭУ).

Значительная часть получаемой энергии возобновляемых источников приходится на долю биоэнергетики [6]. Согласно существующих технологий получения биогаза от 15 до 20% вырабатываемого газа расходуется на поддержание необходимой температуры [7] сбраживания биомассы (рисунок 3).



Рисунок 3 - Схема получения биогаза

Из данных солнечного потенциала для регионов Казахстана [8] следует, что применение фотопреобразовательных установок весьма перспективно для снабжения объектов сельского хозяйства энергией.

Так например, автономное обеспечение электроэнергией технологического процесса и оборудования биогазовой установки возможно обеспечить по схеме приведённой ниже (рисунок 4).

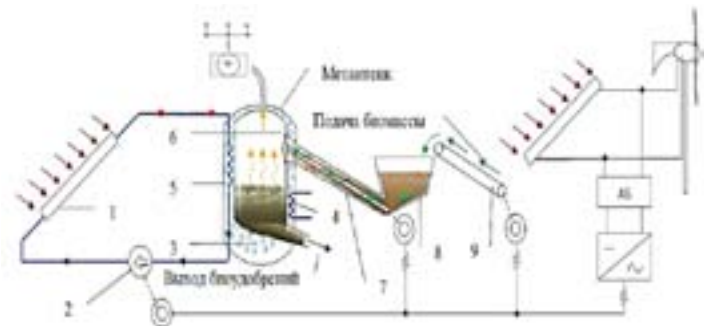


Рисунок 4 - Автономная комбинированная биогазовая установка (АКБУ):

Солнечный коллектор;	Запорный клапан;
Циркуляционный насос;	Шнековый подъемник;
Бойлер;	Бункер-накопитель;
Нагревательный элемент;	Транспортёр-загрузчик
Теплообменник;	

На рисунке 4 система солнечных коллекторов 1 обеспечивает необходимую температуру в метантенке. Питание технологических механизмов и устройств 2; 4; 7-9 осуществляется от инвертора, преобразующего энергию аккумуляторной батареи (АБ) заряжаемой от СП и ВЭУ. Тем самым весь вырабатываемый биогаз подается к генератору G или потребителю.

С учетом особенностей Северного Казахстана (рисунок 1) целесообразна схема, приведенная ниже (рисунок 5).

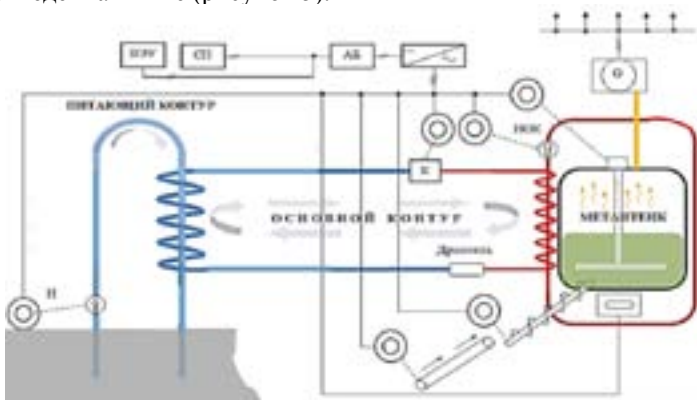


Рисунок 5 - Схема автономной комбинированной электроснабжающей установки (АКЭУ)

На рисунке 5 изображена схема биогазовой установки где для поддержания необходимой температуры сбраживания биомассы используется низкопотенциальное тепло грунтовых вод, передаваемое биомассе посредством системы оснащенной насосами (Н и НОК), компрессором К и состоящей из трех контуров: питательного, основного и контура метантенка.

Постоянное напряжение от ВЭУ совмещенной с СП преобразуется инвертором. Преобразованная электрическая энергия обеспечивает питание технологических механизмов, освещения и работу системы автоматического контроля.

Благодаря применению автономной системы электроснабжения и теплоснабжения биогазовой установки (рисунок 4;5) весь вырабатываемый биогаз посредством генератора G преобразуется в электрическую и тепловую энергию. Причем цена, за вырабатываемый 1 кВт*ч, может [9] быть значительно снижена так как СП и ВЭУ, обеспечивает автономное питание технологического оборудования, в то время как на собственные нужды затрачивается в среднем 10-15% вырабатываемой электрической энергии.

На существующих аналогах часть вырабатываемого установкой биогаза сжигается в котле (рисунок 3) [9]. Использование низкопотенциального тепла грунтовых вод (рисунок 5), для обеспечения требуемой технологическим процессом брожения биомассы температуры даёт повышение эффективности биогазовой установки на 7-10%.

Применение подобных установок позволит сократить вредные выбросы в атмосферу, получать биоудобрения и биогаз, а следовательно тепло и дешевую электроэнергию, в количестве достаточном для автономного электроснабжения небольшого населенного пункта [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 <http://shygys.kz/acts/energoberejenie.php>.
- 2 <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1300000904>.
- 3 <http://www.inform.kz/rus/article/2477338>.
- 4 **Мосяш, Д. В., Солонович, М. В., Зигангирова, Е. В.** «Оценка ветрового потенциала в условиях города Павлодара» - Усть-Каменогорск : ВКГТУ, 2009. - 4.V. с. 68-69.
- 5 **Мельников В. Ю., Мосяш Д. В., Зигангирова Е. В.,** «Определение солнечного потенциала для северных регионов Казахстана» - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2010. - 5.V. с.65-66.
- 6 <http://www.kazenergy.com/ru/2012-06-20-08-42-46/2012-06-20-13-01-53/9028-2013-04-23-05-13-36.html>.
- 7 **Кузьмин, С. Н., Ляшков, В. И., Кузьмина, Ю. С.** «Биоэнергетика» Тамбов Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ» 2011.

8 Мосияш, Д. В., Лазарев, М. В. «Определение солнечного потенциала для регионов Казахстана» ИнЕУ, 2011, г. Томск. Материалы Международной молодежной конференции «Энергосберегающие технологии» том 1 с. 380-382.

9 Эдер Барбара, Шульц Хайнц. «Биогазовые установки».

10 Волошанин, Г. Г., Мосияш, Д. В., Жумагулов, М. Г., Волошанин, О. Г. «Перспектива использования комплекса солнечных энергетических систем на малых тепловых энергообъектах»

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 23.05.14.

V. P. Markovskiy, O. G. Voloshanin, A. B. Kaidar

Күн, жел энергетикалық, жылу сарғыштық жүйелер мен биогаздық қондырғыларды біріктіріп қолданудың болашағы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 23.05.14 редакцияға түсті.

V. P. Markovskiy, O. G. Voloshanin, A. B. Kaidar

The prospects of joint use of solar, wind, heat pump systems and biogas plants

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 23.05.14.

Мақалада болашақта бірлестік түрлі көріністің біртұтас кешеніне қайраттың жаңартылмалы бастауы қарастырылған.

The article discusses the prospects of unification into a single set of different types of renewable energy.

УДК 620.91

**Б. В. Лукутин*, М. А. Сурков*, Е. Ж. Сарсикеев*,
Р. М. Мустафина**, Г. М. Мустафина****

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

В статье рассмотрены вопросы разработки алгоритма согласования работы источников энергии ветродизельного комплекса электроснабжения с учетом рассредоточенной генерации.

К основным объектам мониторинга энергетической безопасности, одной из основных составляющих национальной безопасности, относятся степень удовлетворения потребности народного хозяйства и населения в топливно-энергетических ресурсах, живучесть систем энергетики, устойчивость их развития, степень негативного влияния топливно-энергетического комплекса на окружающую среду. Особенно актуальной эта проблема является для отдаленных районов страны с экстремальными природно-климатическими условиями, где обеспечение бесперебойного энергообеспечения автономными энергетическими источниками сопряжено прежде всего с большими затратами на доставку топлива. Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных дизельных (бензиновых) электростанциях ведет к снижению топливной составляющей в себестоимости вырабатываемой электроэнергии и повышению технико-экономической эффективности. Кроме того, сокращается выброс вредных веществ в окружающую среду, что немаловажно для уязвимой экологии северных регионов.

В связи с этим существует проблема определения энергоэффективных рабочих режимов оборудования в структуре автономных систем с использованием рассредоточенных источников энергии, часть из которых ВИЭ, при этом энергия ветра относится к наиболее универсальным возобновляемым источникам энергии.

Совместная работа ветрогенератора (ВГ) и дизель-генератора (ДГ) на общую нагрузку требует согласованной работы и возможности регулирования загрузки ветрогенератора с учетом параметров электрической сети с целью максимальной эффективности использования ветровых электростанций (ВЭС). Изменения баланса распределения мощности между ветрогенератором и дизель-генератором можно добиться

изменением напряжения на выводах генераторов. Данный способ управления сможет дополнить и расширить разработанный в данной статье алгоритм согласования работы ветродизельного комплекса с учетом распределенной генерации.

Существующие алгоритмы согласования нагрузки, как правило, используют регулировку только на одном объекте или группе объектов, подключенных к системе в одном месте. Контроль загруженности системы оценивается по изменению частоты тока. Такой способ контроля технически относительно прост, но ограничивает эффективность совместного использования оборудования, особенно, в системах с рассредоточенной генерацией [1]. Учитывая это, необходимо расширить предложенный ранее алгоритм согласования работы источников энергии ветродизельного комплекса электроснабжения с учетом рассредоточенной генерации.

При использовании дизельных электростанций (ДЭС) с постоянной скоростью вращения дизель-генератора, изменение выходного напряжения станции достигается путем регулирования напряжения в обмотке возбуждения. При использовании ДЭС инверторного типа изменение напряжения производится средствами преобразователя выпрямитель/инвертор. Обзор существующих методов расчета сложных электрических цепей показал, что определить диапазоны регулирования и получить предполагаемые уровни напряжения для оптимального баланса между различными источниками энергии для поставленной задачи оптимально при использовании метода узловых потенциалов [2].

Например, для схемы замещения с двумя источниками энергии (рисунок 1) для определения необходимого напряжения на выводах дизель-генератора используется метод двух узлов [2].

На рисунке 1 ДГ – дизель-генератор, ВГ – ветрогенератор, $Z_{л1}$, $Z_{л2}$ – суммарное сопротивление от точки 1 и точки 3, соответственно, до точки соединения на общую нагрузку 2 (линии $л1$ и $л2$, соответственно); $Z_{л3}$ – суммарное сопротивление кабельной или воздушной линии $л3$ и сопротивление нагрузки потребителя от точки 2 до точки 4, E_2 – ветрогенератор, идеальный источник ЭДС, E_1 – дизель-генератор, идеальный источник ЭДС, Н – потребитель электрической энергии.

Пусть точки 1, 3, 4 будут точками заземления и потенциалы в этих точках будут равны нулю ($Y_i = 0$), тогда потенциал Y_2 в точке 2 будет

$$Y_2 = \Sigma (E_i \cdot g_i) / \Sigma g_i,$$

где E_i – ЭДС источника напряжения,
 g_i – проводимость ветвей сети.

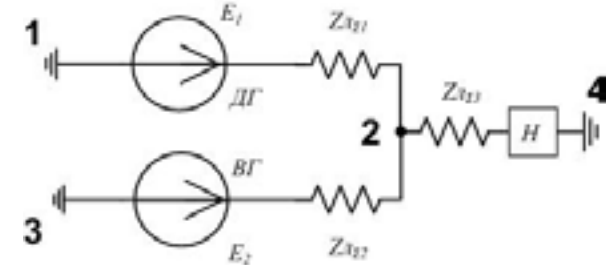


Рисунок 1 – Схема замещения с двумя источниками энергии

Согласно первому закону Кирхгофа, сумма токов, входящих в узел, равна нулю. Тогда токи в точке 2 определяются следующим выражением:

$$I_H = I_{ДЭС} + I_{ВЭС}.$$

Ток ветви ветрогенератора можно определить как разность потенциалов на выходе ветрогенератора и точки 2, умноженное на проводимость линии $л2$

$$I_{ВЭС} = (E_2 - Y_2) \cdot g_{л2}. \quad (1)$$

Выразим разность потенциалов как падение напряжение на участке цепи от ветрогенератора до точки 2

$$(E_2 - Y_2) = \Delta U_{л2},$$

Тогда выражение (1) будет иметь вид

$$I_{ВЭС} = \Delta U_{л2} \cdot g_{л2}.$$

Для изменения загрузки ветрогенератора в сторону увеличения необходимо, чтобы напряжение на выводах ветрогенератора было больше, чем напряжение на выводах дизель-генератора на величину $\Delta U_{л2}$. Таким образом, нагрузка между генераторами будет распределяться пропорционально разности напряжений между ними.

Напряжение на выводах ветрогенератора можно определить как

$$U_{ВЭС} = U_{ДЭС} + \Delta U_{л2} + \Delta U_{ВЭС}, \quad (2)$$

где $U_{ДЭС}$ – напряжение на выводах дизель-генератора (рисунок 1);

$U_{ВЭС}$ – напряжение на выводах ветрогенератора;

$\Delta U_{л2}$ – падение напряжение на участке цепи от точки 2 до точки 3;

$\Delta U_{ВЭС}$ – разница напряжения относительно напряжения, при котором дизель-генератор будет покрывать всю нагрузку самостоятельно.

Для определения требуемого значения $\Delta U_{ВЭС}$ необходимо знать падение напряжения на участке линии l_2 ΔU_{l_2} . Тогда как по закону Ома для участка цепи для нахождения значения ΔU_{l_2} необходимы данные о сопротивлении линии Z_{l_2} и текущей нагрузке потребителей (ток)

$$\Delta U_{l_2} = I_{ВЭС} \cdot Z_{l_2}$$

$\Delta U_{вэ}$ определяется для двух случаев

1) $I_{ДЭС} = \text{макс}$, $I_{ВЭС} = 0$, $U_{ДЭС} = \text{ном}$, $U_{ВЭС} = Y_2$ (потенциалу в точке 2);

2) $I_{ВЭС} = \text{макс}$, $I_{ДЭС} = 0$, $U_{ДЭС} = \text{ном}$ или $U_{ДЭС} = 0$, $U_{ВЭС} = U_{ДЭС} + \Delta U_{l_2}$.

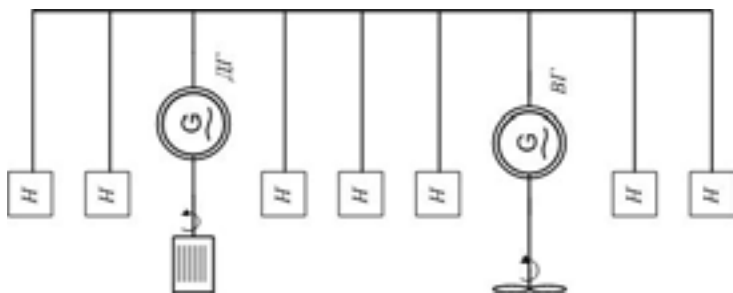
Диапазон регулирования напряжения на выводах ветрогенератора определяется при текущей нагрузке как

$$\Delta U_{рВЭС} = U_{в} - U_{д},$$

где $U_{д} = U_{ДЭС} - \Delta U_{л1}$, при $I_{ВЭС} = 0$;

$$U_{в} = U_{ВЭС} - \Delta U_{л2}, \text{ при } I_{ДЭС} = 0.$$

Учитывая, что $\Delta U_{л} = I_{л} \cdot Z_{л}$, при изменении нагрузки будет изменяться и диапазон регулирования напряжения на выводах генератора. Также диапазон регулирования напряжения будет иметь ограничения в соответствии с действующими нормативными документами в области качества электрической энергии и технологическими требованиями к установленному оборудованию. Например, напряжение на нагрузке не должно выходить за пределы $\pm 10\%$ от номинального напряжения.



ДГ – дизель-генератор, ВГ – ветрогенератор,

Н – электрическая нагрузка

Рисунок 2 – Схема электроснабжения с распределенными источниками энергии

При работе по схеме рисунка 2 ветрогенератор и дизель-генератор подключены не на общую шину и не в конечных точках системы, а в разных точках распределительной сети. При такой схеме подключения генераторов необходимо тщательно следить за показателями напряжения как на ближайших к источнику напряжения потребителях, так и на наиболее удаленных.

Так как с изменением напряжения на E_2 (выводах ветрогенератора) будет изменяться и напряжение в точке 2, а, следовательно, и ток I_n в линии l_3 . Таким образом, в расчетах по этому алгоритму будет иметь место погрешность, равная изменению тока нагрузки в результате изменения напряжения нагрузки в точке 2, но не будет превышать 1–2 % по току во всем диапазоне мощностей нагрузок.

Поэтому алгоритм согласования работы электротехнического оборудования ветродизельного комплекса, рассмотренный ранее для схемы рисунка 1, необходимо развить с учетом необходимости отслеживать изменения нагрузки и напряжения в узловых точках сети. Это усложняет алгоритм и требует развитой системы контроля энергетических параметров в узловых точках сети, для чего удобно использовать системы интеллектуального управления на базе персональных компьютеров. Схема замещения для варианта с рассредоточенной генерацией представлена на рисунке 3.

Для согласованной работы рассредоточенных источников энергии алгоритм согласования загрузки ветрогенератора будет выполняться следующим образом:

1) система снабжается электроэнергией только от дизель-генератора ДЭС, в этом случае

$$I_{ДЭС} = I_{НЭ}, I_{ВЭС} = 0,$$

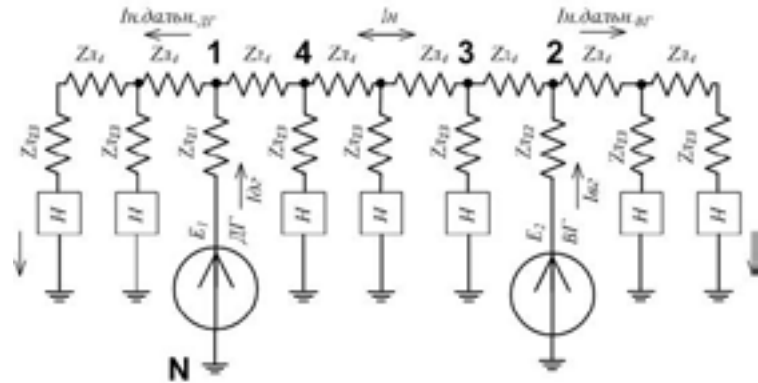
где $I_{ДЭС}$ – ток в линии ДЭС (отрезок между точками 1 и N),

$I_{ВЭС}$ – ток в линии ВЭС (отрезок между точками 2 и N),

$I_{НЭ} = \sum I_{Нi}$ – суммарный ток электрической нагрузки.

2) происходит подключение ВЭС; перед подключением на генераторе ВЭС выставляем напряжение, равное напряжению в точке 2, при этом токи в ветвях дизель-генератора и ветрогенератора будут

$$I_{ДЭС} = I_{НЭ}, I_{ВЭС} = 0.$$



Z – сопротивление линии, N – электрическая нагрузка, $ВГ$ – ВЭС, $ДГ$ – ДЭС, I – электрический ток в линии
 Рисунок 3 – Схема замещения для варианта с рассредоточенными источниками энергии

После подключения ветрогенератора ВЭС к энергетической системе, блок согласования увеличивает нагрузку ВЭС до значения тока

$$I_{ВЭС} = I_{Н.дальн.ВГ}$$

При этом контролируется соблюдение условия $P^{ВГ} \leq P_{пр. ВГ}$ (устанавливаемая нагрузка ветрогенератора не должна превышать прогнозируемую мощность ВЭС). Диапазон регулирования напряжения на выводах ветрогенератора будет изменяться от значения напряжения $U_{ВЭС}$ (до подключения ВЭС к сети) до значения напряжения в точке 3 $U_{\omega 3}$ (при отсутствии нагрузки после места подключения ВЭС в момент времени до подключения ВЭС в систему).

Если у ветрогенератора есть свободный запас мощности, увеличиваем нагрузку ВЭС по току до значения суммы токов всех нагрузок до точки подключения дизель-генератора в систему электроснабжения

$$I_{ВЭС} = I_{Н.дальн.ВЭС} + I_{Н}$$

Диапазон регулирования напряжения на ВЭС будет от текущего значения $U_{ВЭС}$ до значения напряжения $U_{ВЭС}''$. При значении напряжения $U_{ВЭС}''$ напряжение в точке 4 должно быть эквивалентно напряжению на выводах дизель-генератора $U_{\partial 4} = U_{ДЭС}$.

С помощью системы возбуждения генератора ВЭС, повышается напряжение дальше (или система регулирования понижает выходное напряжение генератора ДЭС), пока ток нагрузки $I_{Н.дальн.ДЭС}$, потребляемый с ДЭС, не будет потребляться с ветрогенератора. После чего дизель-генератор

можно вывести в «горячий резерв» на минимальный холостой ход или отключить от системы. В этом случае, ток ветрогенератора будет

$$I_{ВЭС} = I_{Н.дальн.ВЭС} + I_{Н} + I_{Н.дальн.ДЭС}$$

При достижении доступных для регулирования максимальных значений напряжения на ВЭС необходимо снизить напряжение на выводах ДЭС. Структурная схема алгоритма согласования загрузки распределенных источников энергии при постоянной электрической нагрузке потребителей представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Структурная схема алгоритма согласования загрузки распределенных источников энергии при постоянной нагрузке потребителей

Данный алгоритм позволяет проводить согласование всех источников электрической энергии, рассредоточенных в пространстве по системе электроснабжения, и распределять нагрузку между источниками энергии, что особенно важно для полного использования энергии вырабатываемой источниками на возобновляемых энергоресурсах. При добавлении новых источников энергии, в том числе и аккумуляторных батарей, построение

алгоритма остается неизменным, позволяя согласовывать загрузку генераторов в соответствии с требованиями максимальной эффективности работы системы электроснабжения [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Elhadidy, M. A., Shaahid, S. M. Role of hybrid (wind + diesel) power systems in meeting commercial loads. / Renewable Energy. – № 29. – 2004. (Saudi Arabia, 620 000 kWh/year, 4.1-6.4 m/s wind, 10kW x30 WG, 3days battery storage). – P. 109-118.

2 Андреев, В. С. Теория нелинейных электрических цепей: Учебное пособие для вузов. – Москва. : Изд-во Радио и связь, 1982.

3 Сурков, М. А. Соединение рассредоточенных источников энергии в микросеть // Энергетика и энергоэффективные технологии: Сборник докладов международной научно-технической конференции посвященной 50-летию ЛГТУ – Липецк, 18-20 октября 2006. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – С. 18–22.

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск;

**Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 26.03.14.

*Б. Лукутин**, *М. Сурков**, *Е. Сарсикеев**, *Р. Мұстафина***,
*Г. Мұстафина***

Желдизельдік генерациялы электржабықтың автономиялы жүйесінің жұмысының режимін қалыптастыру

* Томбы саясы техникалық
Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

** С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 26.03.14 редакцияға түсті.

*B. Lukutin**, *M. Surkov**, *E. Sarsikayev**, *R. Mustafina***, *G. Mustafina***

Modes of autonomous power systems formation with dispersed wind-diesel generation

*National research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk, Russia;

**S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 26.03.14.

Мақалада электржабықтау кешенінің желдизельді энергия көздерінің жұмысының мәмілесінің алгоритмін ыдыраңқы генерацияны ескере отырып әзірлеу сұрақтары қарастырылады.

The article discusses negotiation algorithm of complex wind-diesel energy development, based on dispersed generation.

УДК 620.91

***Б. В. Лукутин**, *М. А. Сурков**, *Е. Ж. Сарсикеев**,
*Р. М. Мустафина*****

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

В статье метод статистической аппроксимации применен для исследования эффективности электроснабжения от рассредоточенных источников энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов в составе микросети.

Оценка эффективности применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных объектов, не имеющих централизованного электроснабжения, производится на основе сравнительного технико-экономического анализа всех возможных вариантов электрификации.

Для сравнительного анализа вариантов электроснабжения необходимо располагать показателями, позволяющими соизмерять их эффективность. В настоящее время вопрос о выборе критериев сравнительной эффективности и их применении является дискуссионным. В практике существует достаточное количество критериев оценки эффективности. Можно выделить следующие группы критериев:

- технические;
- экономические;
- социально-экологические;
- надежность электроснабжения;
- энергосбережение.

В группу технических показателей входит всего один критерий – критерий технической выполнимости проекта [1]. Исходными данными для определения данного критерия являются сведения об основных технических характеристиках первичного источника энергии.

Так как количественная оценка социально-экологических критериев крайне затруднительна, а подчас и невозможна, то при анализе часто производится только их качественная оценка, которая может служить в качестве дополнительного критерия при выборе наиболее рационального варианта электроснабжения автономного объекта.

Наибольшее распространение в задачах развития ветровых электростанций (ВЭС) имеют критерии экономической эффективности. Их формированию посвящены многочисленные публикации [2]. Нерешенные методические проблемы, различие в понимании экономического содержания показателей, используемых в качестве критериев экономической эффективности, являются причинами возникновения многочисленных методов их количественной оценки. Следует отметить, что сейчас отсутствует какой-либо единый методический подход к проведению расчетов сравнительной эффективности.

Оценка сравнительной эффективности вариантов электроснабжения возможна при использовании метода статистической аппроксимации (МСА) [3]. Применение этого метода предусматривает машинную имитацию условий функционирования систем электроснабжения, при этом разрабатывается оценочная модель. В данной статье МСА применен для исследования эффективности электроснабжения от рассредоточенных источников энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов в составе микросети.

Определение расчетных условий развития и функционирования систем энергоснабжения проводится при анализе совокупности параметров и диапазонов их варьирования. Расчетные условия вариантов энергоснабжения формируются в виде планов экспериментов. Ввиду непрерывности значений показателей, с целью сокращения размерности задачи и, вообще, возможности ее решения, значения показателей фиксируются на определенных уровнях.

Под расчетными условиями также понимаются требования, которые должны выдерживаться по параметрам Z . Расчетные условия задаются в виде матрицы планирования эксперимента, которая получается при проведении полного или дробного факторного эксперимента (ПФЭ, ДФЭ) [4].

Следует отметить, что при методе статистической аппроксимации в качестве базовой модели применяется оценочная модель эффективности вариантов. При имитационном подходе без использования моделирования применяются расчеты по технико-экономическому сравнению вариантов.

На основе выбранных значимых переменных строятся аппроксимирующие модели затрат по вариантам энергоснабжения. Система аппроксимирующих

моделей, построенная на базе исходной экономико-математической модели, является ее агрегированным представлением. В полученной статистической модели присутствуют все наиболее существенные факторы из всех переменных, рассматриваемых в исходной модели. Эта модель служит аналогом исходной модели, но проще и служит инструментом для быстрого получения количественной оценки эффективности вариантов энергоснабжения.

Из анализа полученных решений определяются условия энергоснабжения потребителей, при которых эффективна та или иная схема энергоснабжения. Этот анализ определяет стратегию построения и развития электроснабжающих систем. В данной работе рассматриваются задачи повышения эффективности электроснабжения от микросети в условиях рассредоточенности энергоисточников, неопределенности нагрузки и крайней изменчивости первичного энергоресурса.

Наиболее распространенным и традиционным экономическим критерием для сопоставления вариантов в условиях тождества эффекта (УТЭ) является критерий приведенных затрат. Для сопоставления вариантов энергоснабжения при одновременных капитальных вложениях и неизменности ежегодных издержек в течение всего рассматриваемого периода эксплуатации применяется форма записи критерия приведенных затрат

$$Z = E_n K + И,$$

где $И$ – ежегодные издержки производства, руб./год;

E_n – нормативный коэффициент эффективности;

K – капитальные вложения, руб.

Приведенные затраты представляют собой традиционную форму выражения экономического критерия. Однако в последнее время эта форма подвергается критике [5]. Следует отметить, что приведенные затраты, в том виде, в каком они сейчас используются, обоснованы централизованной системой распределения ресурсов в народном хозяйстве на основе максимизации темпа роста национального дохода [6]. Однако этот подход возможен и к ограниченным системам, обладающим экономической самостоятельностью, обеспечивая экономическую устойчивость развития этих систем за длительный период. Существо подхода заключается в том, что при заданных условиях обеспечивается максимум дохода за длительный период. Свидетельством возможности применения критерия приведенных затрат в современных социально-экономических условиях является то, что он давно и с успехом используется в странах с развитой рыночной экономикой [2]. По-видимому, его можно сохранить для обоснования эффективности

той части капиталовложений, которые выделяются из централизованных источников финансирования. При этом численные значения нормативного коэффициента могут претерпеть те или иные изменения. В западных странах применяются нормативные коэффициенты, близкие по величине к коэффициентам, используемым в России. Так, для коэффициента окупаемости капиталовложений в энергетике обычно принимается величина 8–12 %, а для коэффициента приведения разновременных затрат – 6–8 % [2].

Еще один вопрос, который возникает в связи с применением критерия приведенных затрат, это вопрос учета инфляционных процессов. При первом способе учета инфляционных процессов в странах Запада применяют два показателя – номинальные и постоянные доллары, значения которых для двух соседних лет различаются на темп инфляции [2]. При втором способе используется механизм отстройки от инфляционных процессов путем приведения эффектов к расчетному году. Экономические расчеты выполняются при этом с учетом ценовых индексов.

В современных социально-экономических условиях целесообразно применение форм экономических критериев

$$З - \min; Ц - \min; П - \max;$$

где $З$ – затраты, $Ц$ – цена продукции, $П$ – прибыль.

Одной из рекомендуемых в [7] форм экономического критерия является максимум прибыли от деятельности энергоснабжающей системы, которая выражается в виде

$$П_{чист} = (Ц - И)(1 - Н) \rightarrow \max,$$

где $П_{чист}$ – «чистая» или потребная прибыль;

$Ц$ – цена продукции (энергии);

$И$ – себестоимость энергии (составляющая издержек производства);

$Н$ – доля отчисления налога на прибыль.

Однако, в условиях, когда многие населенные пункты являются дотационными в плане энергетики, а электроэнергия продается по заниженному тарифу, использовать прибыль как основной критерий будет не верным. Более правильным, будет использовать понятие себестоимости 1 кВт*ч электроэнергии выработанного (и потребленного) при различной топологии построения микросистем электроснабжения.

Себестоимость электроэнергии складывается прежде всего из капитальных затрат на покупку и установку энергетического оборудования, затрат на обслуживание оборудования.

Приведенные капиталовложения ко всему сроку службы энергетического оборудования определяются как

$$K_{пр} = K_{вст} + K_{п} + K_{стр},$$

где $K_{вст}$ – стоимость комплектного оборудования;

$K_{п}$ – стоимость проектных работ по определению места установки на местности;

$K_{стр}$ – стоимость строительных и монтажных работ по установке электростанции (подстанции).

Эксплуатационные расходы, включающие затраты на топливо, ремонт и обслуживание энергетического оборудования можно определить как

$$C_{экс} = C_{сис} + C_{рем} + C_{топ} + C_{дтоп},$$

где $C_{сис}$ – годовые расходы на эксплуатацию системы электроснабжения;

$C_{рем}$ – годовые расходы на плановый ремонт;

$C_{топ}$ – годовые расходы на топливо;

$C_{дтоп}$ – годовые расходы на доставку топлива.

В условиях неопределенности ветровой и энергетической нагрузок будет неверным оценка себестоимости произведенной электроэнергии в автономной системе электроснабжения по количеству выработанной электроэнергии. Например, в часы минимума энергетических нагрузок и максимума заряда аккумуляторных батарей ветроэлектростанция способна вырабатывать излишнее количество электроэнергии, которое сбрасывается на балластную нагрузку. Полезной работой это можно назвать далеко не всегда. Поэтому, более правильным будет оценивать себестоимость электроэнергии по потребленной электроэнергии

$$C_{э\dot{э}} = (K_{пр} + C_{экс}) / W_{э\dot{э}г},$$

где $K_{пр}$ – приведенные капиталовложения ко всему сроку службы энергетического оборудования;

$C_{экс}$ – эксплуатационные расходы, включающие затраты на топливо, ремонт и обслуживание энергетического оборудования;

$W_{э\dot{э}г}$ – количество электроэнергии, потребленной в исследуемой системе электроснабжения за год.

Срок окупаемости для энергетического хозяйства сроком 4–6 лет можно считать эффективным. Таким образом, время окупаемости проекта можно определить как

$$T_{ок} = (З_{доп.об} + З_{\dot{э}}) / (C_{э\dot{э}до} - C_{э\dot{э}после}) \cdot W_{э\dot{э}г},$$

где $З_{доп.об}$ – затраты на покупку и установку дополнительного оборудования, относительно первоначального варианта электроснабжения;

Z_c – затраты на объединение рассредоточенных источников в микросеть (включая стоимость оборудования для согласования работы рассредоточенных энергоисточников);

$C_{\text{э.до}}$ – себестоимость электроэнергии до реконструкции системы электроснабжения;

$C_{\text{э.после}}$ – себестоимость электроэнергии после реконструкции системы электроснабжения;

$W_{\text{э.г}}$ – количество электроэнергии, потребленное за год.

Таким образом, важнейшим условием повышения показателей энергоэффективности ветроэнергетики является наиболее полное соответствие характеристик агрегата ветровому режиму с одной стороны, а с другой – особенностям потребителя. Одним из основных критериев является нахождение оптимальных расчетных скоростей ветра, определяющих установленную мощность, и скорости потока, при которой вступает в действие система автоматического регулирования, ограничивающая развиваемую ветроколесом мощность. Для достижения большего диапазона использования ВЭС, уровень значений минимальных рабочих скоростей ветра для агрегата должен быть по возможности низким. Этому способствуют также хорошие динамические качества и высокая приемистость агрегата, то есть способность ветроколеса быстро разогнаться и выходить на рабочий режим. При прочих одинаковых условиях более простой по конструкции и в обслуживании агрегат, имеющий требуемую надежность и высокий коэффициент полезного действия, является более экономичным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лукутин, Б. В., Обухов, С. Г., Шандарова, Е. Б. – Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск : STT, 2001. – 120 с.

2 Feiler, D., Zahari, J. Marginal generating Costs of multiblock power Systems with and without partial ontages // Energy Economics. – 1981. – № 4. – P. 91-122.

3 Арзамасцев, Д. А., Ананичева, С. С., Липес, А. В. и др. Математические модели размещения тепловых электростанций: Учебное пособие / УПИ. – Свердловск, 1985.

4 Ветроэнергетика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.microart.ru>, свободный. Дата обращения: 25.09.2010.

5 Ершевич, В. В., Хабачев, Л. Д. Новые условия развития электроэнергетических систем страны и проблемы моделирования // X науч. конф. «Моделирование электроэнергетических систем». – Каунас, 1991. – С. 17-18.

6 Арзамасцев, Д. А., Липес, А. В., Мызин, А. Л. Модели оптимизации развития энергосистем: Учебник для вузов. – М. : Высш. Школа, 1987.

7 Мызин, А. Л. Методы и модели прогнозирования для развития электроэнергетических систем в условиях неопределенности и многокритериальности: Дис. Докт. Техн. Наук / Ин-т энергетических исследований РАН. – Новосибирск, 1994.

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск;

**Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 26.03.14.

Б. Лукутин, М. Сурков*, Е. Сарсикеев*, Р. Мұстафина***

Желдизельдік генерациялы электржабдықтың автономиялы жүйесінің жұмысының тиімділігін бағалау

*Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

**С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 26.03.14 редакцияға түсті.

B. Lukutin, M. Surkov*, E. Sarsikeev*, R. Mustafina***

Evaluating the performance of an autonomous system with dispersed wind-power generation

*National research Tomsk

Polytechnic University, Tomsk;

** S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 26.03.14.

Мақалада микрожелі құрамында жаңартылмалы энергия қорлары бар ыдыраңқы энергия көздерінде электржабдықтаудың тиімділігін зерттеуде статистикалық аппроксимация әдісі қолданылады.

The article discusses the method of statistical approximation, which is used to investigate the effectiveness of electricity from non-point energy sources, using renewable energy as part of microgrids.

НАШИ АВТОРЫ

Акаев Айбек Муратбекович – докторант кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Амренова Дана Темирболатовна – старший преподаватель, магистр электроэнергетики, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Анарбаев Алибек Ерсайнович. – Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Арыстанбаев Куттыбек Есенгельдыевич – к.т.н., доцент, старший преподаватель, Южно – Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

Асенова С. С. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Аубакиров А. М. – АО «Казахстанский Электролизный Завод».

Байдельдинова Айслу Абаевна – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бектасова Асемгуль Айтпаевна – старший преподаватель, кафедра «Электротехника и автоматизация», магистр электроэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бороденко Виталий Анатольевич – д.т.н., профессор, кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Волошанин О. Г. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Габдулов Асет Уральбаевич – преподаватель, магистр электроэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Глазырин Александр Александрович – к.т.н., доцент, эксперт, ТОО «Kazakhmys Energy», г. Павлодар.

Глазырин Александр Иванович – д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Глазырина Наталья Сергеевна – докторант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Ильчубаева Ризагуль Муслимовна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Исупова Наталья Александровна – докторант PhD кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кабдуалиева Майраш Мажитовна – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кайдар А. Б. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кислов Александр Петрович – к.т.н., декан Энергетического факультета, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Калдыбаев Алмаз Бахытович – докторант, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

Койнов Тончо Атанасов – д.т.н., профессор, Химико-технологический и металлургический университет, г. София, Болгария.

Крюкова Елена Викторовна – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Лукутин Борис Владимирович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Мазур Игорь Петрович – д.т.н., профессор кафедры обработки металлов давлением, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия.

Марковский Вадим Павлович – к.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Молдахметов С. С. – Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Мусалиев Бахыт Пралиевич – магистрант, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

Мустафина Раиса Мухаметжаровна – к.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Мустафина Гульжаухар Мухаметжаровна – заместитель директора учебного центра работников железнодорожного транспорта.

Нарымбаев Д. С. – магистрант кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Новожилов Александр Николаевич – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Новожилов Тимофей Александрович – аспирант кафедры «ЭСПП», Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Нуржауов Амангельды – д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Нуржауова Жаннат Амангельдыевна – старший преподаватель, кафедра “Электротехника и автоматизация”, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Нурмаганбетов Бауыржан Дуйсенбаевич – старший преподаватель, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

Оришевская Елена Вячеславовна – магистрант кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Приходько Евгений Валентинович – к.т.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Риттер Дмитрий Викторович – Северо – Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск.

Рук Владимир Александрович – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Рынди Владимир Витальевич – к.т.н., профессор кафедры механики и нефтегазового дела, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сатыбалдиева Феруза Абубакировна – старший преподаватель, Южно – Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

Сарсикеев Ермек Жасланович – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Сейтенова Гайни Жумагалиевна – к.х.н., доцент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сергеев Якобс – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Суюндиқов Мерхат Мадениевич – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сурков Михаил Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Шакиров Биржан Сардарович – д.т.н., профессор, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
 («ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
 «КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1,5, с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

4. Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально)

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Инициалы и фамилия (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках, абзац по левому краю;
3. Название статьи – на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац по левому краю;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль – 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см, интервал 1,0 (см. образец);
5. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).
6. Межстрочный интервал 1,5 (полуторный);
7. Список использованной литературы (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах приводятся:

– название статьи, сведения об авторе: Ф.И.О. полностью, ученая степень, ученое звание и место работы на казахском, русском и английском языках (для публикации в разделе «Наши авторы» и «Содержание»);

– полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

1. Иллюстрации, перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

2. Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

3. Автор просматривает и визирует грани статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге**.

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147), факс: 8 (7182) 67-37-05.

E-mail: kereky@mail.ru

Наши реквизиты:

РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654	РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654
АО «Цеснабанк» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESZKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

УДК 316:314.3

А. Б. Есимова

СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящей статье автор дает анализ отличительных особенностей репродуктивного поведения женщины сквозь призму семейно-родственных связей.

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в.....

Продолжение текста публикуемого материала.

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 – Показатели репродуктивного поведения

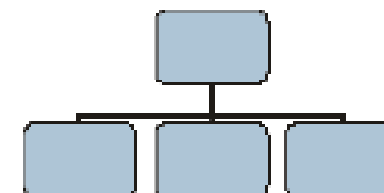
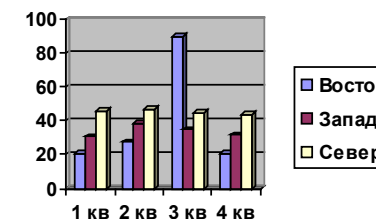


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Эльконин, Д. Б.** Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2-е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).

2 **Фришман, И.** Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.

3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.

Место работы автора (-ов):

Международный Казахско-Турецкий университет имени
Х. А. Яссави, г. Туркестан.
Материал поступил в редакцию 22.04.14.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық
казак-түрік университеті, Түркістан қ.
Материал 22.04.14 редакцияға түсті.

A. B. Yessimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

K. A. Yssawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.
Material received on 22.04.14.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықты айырмашылықтарын талдайды.

In the given article the author analyzes distinctions of reproductive behavior of married women of Kazakhstan through the prism of the kinship networks.

Теруге 19.03.2014 ж. жіберілді. Басуға 27.03.2014 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 8,38 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: Б.Б. Ракишева, А. Елемесқызы, Ә.Р. Омарова
Тапсырыс № 2283

Сдано в набор 19.03.2014 г. Подписано в печать 27.03.2014 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 8,38 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: Б.Б. Ракишева, А. Елемесқызы, А.Р. Омарова
Заказ № 2283

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: publish@psu.kz
kereky@mail.ru