

Научный журнал Павлодарского государственного университета
имени С. Торайгырова

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации
№ 4533-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан
31 декабря 2003 года

Кислов А.П., к.т.н., проф. (главный редактор)
Леньков Ю. А., к.т.н., доцент (заместитель главного редактора)
Акаев А.М., магистр (отв. секретарь)

Редакционная коллегия:

Алиферов А.И., д.т.н., проф.;
Боровиков Ю.С., к.т.н., проф.;
Глазырин А.И., д.т.н., проф.;
Горюнов В.Н., д.т.н., проф.;
Горюнов В.Ф., д.т.н., проф.;
Захаров И.В., д.т.н., проф.;
Клецель М.Я., д.т.н., проф.;
Никифоров А.С., д.т.н., проф.;
Тастнов А.Д., к.т.н., доцент;
Хацевский В.Ф., д.т.н., проф.;
Альжанова М.К. (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

Абдрахманов Т. С., Оралова А. Ж., Жангазинова С. Б., Глазырин А. И. Коррозия түрлері және оның сипаттамасы	9
Абельдинова А. Б., Козкин А. Н., Омаров А. А., Глазырин А. И. Жарылу коррозия теориясы. Аралық коррозия	16
Акаев А. М., Батенов А. Е., Говорун В. Ф., Падруль Н. М., Говорун О.В., Говорун Д.В. Қазақстанда жел энергиясының даму потенциалы және қазіргі жағдайы.....	23
Алимгазин А. Ш., Джусупов С. Е., Алимгазина С. Г., Бергузинов А. Н. Қазақстан Республикасында жылумен қамтамасыз ету жүйесінің тиімділік жұмысын жоғарлату және орнату үшін жас ұрпаққа ДЖЭК қолдануға электрмен жабдықтау жылу сорғы технологиясын енгізу және өндеу	31
Амиржанова Д. Б., Байдельдинова А. А., Лысыкова А. А., Глазырин В. А. Жылу күшін жабдықтауда коррозиядан қорғау үшін натрий силикатын қолдану	43
Байдельдинова А. А., Амиржанова Д. Б., Лысыкова А. А., Глазырин А. И. Коррозия ингибиторлары және оны қолдану	49
Байсанов А. С., Толымбеков М. Ж., Байсанов С. О., Жунусов А. К., Сембаев Н. С. Феррохром электротермия жағдайында хромитті кендерінде табиғи хромшпинелидтерінің өзгеруі	55
Бакланов А. Е., Квасов А. И., Азаматова Ж. К., Титов Д. Н., Азаматов Б., Григорьева С. В. Өзгермелі геометриямен гидроциклондардың қолданылуымен ЖЭС гидрозолы жоюдың ағынсыз сызбасы	64
Бороденко В. А. MATLAB басқару жүйесін зерттеу барысында қарапайым бөлшектерге бөлу	72
Бороденко В. А. Резервтің автоматика енгізу жұмысына қосылған желілі сыйымдылығының әсері	80
Бороденко В. А. Жүйелі автоматика құрылғыларының құрылымына белсенді жетіспеушіліктерінің әсері	83
Говорун В. Ф., Говорун О. В., Говорун Д. В., Акаев А. М., Падруль Н. М. Стандартты емес жағдайларда ауаның тесілу механизмдерін нақтылау	87
Жангазинова С. Б., Оралова А. Ж., Абдрахманов Т. С., Глазырин А. И. Жылу энергетикасында металды таңдау және жабдықтауда коррозиямен күресу әдістері	97

Жылжытқыштың қозғалысының математикалық моделін құру және оның динамикалық сипаттамасын анықтау	
Исенов С. С., Марковский В. П.	
MATLAB программасының Simulink пакетінің виртуалды ортасындағы тізбектей қоздырылатын тұрақты ток электр жетегін зерттеу және жетілдіру.....	104
Қайыржанов Р. Е., Рындин В. В., Сагинаева А. Т.	
Қазақстанның мұнай және газды кен ошағы.....	113
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В.	
Тәуелсіз қоздырғышымен тұрақты тоғының қозғалтқыш орамының электр параметрлерінің идентификациясы.....	124
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В., Мельников В. Ю., Зигангирова Е. В.	
Айналым электр параметрлерінің объект идентификациясы ретінде қозғалыссыз роторымен синхронды электр механикалық түрлендіргіштер.....	129
Кислов А.П., Мендыбаев С.А., Амренов Е.Б.	
Құбырлы пешті басқараудың автоматтандырылған жүйесін құрастыру және зерттеу.....	136
Козкин А. Н., Абельдинова А. Б., Омаров А. А., Глазырин А. И.	
Бу мен су аралас коррозия. Химиялық коррозия.	141
Лысикова А. А., Байдельдинова А. А., Амиржанова Д. Б., Глазырин А. И.	
Б трилон амиакты ерітіндісінде барабан котелдерін сақтау	148
Макашев Е. Б., Кумар Б. К.	
ЖГС тиімділігін жоғарлату және пайдалану сипатын жақсарту	156
Мендыбаев С. А., Файзулин А. Р.	
Феррокорытпа өндірісінің шығынның төмендеу перспектива негізі	161
Оралова А. Ж., Жангазинова С. Б., Абдрахманов Т. С., Карманов А. Е.	
Котелдің консервациясының технологиялық тәртіптері болуы мүмкін	167
Оришевская Е. В., Приходько Е. В.	
Қазіргі инерциялық шаңаулағыштарды өңдеу анализі	171
Рындин В. В.	
Стационарлық емес ағынға арналған энергияның теңдеулерін классикалық термодинамикаға кіріспе.....	179
Рындин В. В.	
Ағын сызығын және траекторияны жағалай тұтқыр сығатын сұйықтың (Навье-Стокса) қозғалысының теңдеуін интегралдау	190
Рындин В. В., Қайыржанов Р. Е, Сагинаева А. Т.	
Қазақстан Республикасының мұнайының экспортының жолдары.....	201
Ченбаев З. А., Шешенин А. Г., Абельдинова А. Б., Глазырин А. И.	
Оттегі коррозиясы.....	212
А. Г. Шешенин, А. И. Глазырин	
Жылу энергиясында гидразинді қолдану.....	219
Біздің авторлар	225
Авторлар үшін ереже.....	228

СОДЕРЖАНИЕ

Абдрахманов Т. С., Оралова А. Ж., Жангазинова С. Б., Глазырин А. И. Виды коррозии и их характеристика	9
Абельдинова А. Б., Козкин А. Н., Омаров А. А., Глазырин А. И. Теория коррозионного растрескивания. Межкристаллитная коррозия	16
Акаев А. М., Батенов А. Е., Говорун В. Ф., Падруль Н. М., Говорун О.В., Говорун Д.В. Современное состояние и потенциал развития ветроэнергетики в Казахстане	23
Алимгазин А. Ш., Джусупов С. Е., Алимгазина С. Г., Бергузинов А. Н. Разработка и внедрение энергосберегающей теплонасосной технологии нового поколения с использованием НВИЭ для повышения эффективности работы систем теплоснабжения зданий и сооружений в Республике Казахстан	31
Амиржанова Д. Б., Байдельдинова А. А., Лысикова А. А., Глазырин В. А. Использование силиката натрия для защиты от коррозии теплосилового оборудования	43
Байдельдинова А. А., Амиржанова Д. Б., Лысикова А. А., Глазырин А. И. Ингибиторы коррозии и их использование	49
Байсанов А. С., Толымбеков М. Ж., Байсанов С. О., Жунусов А. К., Сембаев Н. С. Трансформация природных хромшпинелидов хромитовых руд в условиях электротермии феррохрома	55
Бакланов А. Е., Кеасов А. И., Азаматова Ж. К., Титов Д. Н., Азаматов Б., Григорьева С. В. Бессточная схема гидрозолоудаления ТЭС с использованием гидроциклонов с изменяемой геометрией	64
Бороденко В. А. Разложение на простые дроби при исследовании систем управления в MATLAB	72
Бороденко В. А. Влияние емкости приключенной сети на работу автоматики ввода резерва	80
Бороденко В. А. Влияние дефицита активной мощности на структуру устройств системной автоматики	83
Говорун В. Ф., Говорун О. В., Говорун Д. В., Акаев А. М., Падруль Н. М. Уточнение механизмов пробоя воздуха в нестандартных случаях	87
Жангазинова С. Б., Оралова А. Ж., Абдрахманов Т. С., Глазырин А. И. Выбор металла и методов борьбы с коррозией оборудования в теплоэнергетике	97

Исенов С. С., Марковский В. П.	
Разработка и исследование электропривода постоянного тока с последовательным возбуждением в виртуальной среде пакета Simulink программы MATLAB.....	104
Кауржанов Р. Е., Рындин В. В., Сагинаева А. Т.	
Нефтяные и газовые месторождения Казахстана	113
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В.	
Идентификация электрических параметров обмоток двигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	124
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В., Мельников В. Ю., Зигангирова Е. В.	
Синхронный электромеханический преобразователь с неподвижным ротором как объект идентификации электрических параметров обмоток.....	129
Кислов А.П., Мендыбаев С.А., Амренов Е.Б.	
Составление и исследование автоматизированной системы трубчатых печей.....	136
Козкин А. Н., Абельдинова А. Б., Омаров А. А., Глазырин А. И.	
Пароводяная коррозия металла.....	141
Лысикова А. А., Байдельдинова А. А., Амиржанова Д. Б., Глазырин А. И.	
Консервация барабанных котлов аммиачным раствором трилона Б.....	148
Макашев Е. Б., Кумар Б. К.	
Улучшение эксплуатационных характеристик и повышение эффективности ПХГ	156
Мендыбаев С. А., Файзулин А. Р.	
Основные перспективы снижения затрат ферросплавного производства	161
Оралова А. Ж., Жангазинова С. Б., Абдрахманов Т. С., Карманов А. Е.	
Возможные технологические режимы консервации котлов	167
Оришевская Е. В., Приходько Е. В.	
Анализ разработок современных инерционных пылеуловителей.....	171
Рындин В. В.	
Введение в классическую термодинамику уравнений энергии для нестационарного потока.....	179
Рындин В. В.	
Интегрирование уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости (Навье-Стокса) вдоль траектории и линии тока.....	190
Рындин В. В., Кауржанов Р. Е., Сагинаева А. Т.	
Пути экспорта нефти Республики Казахстан.....	201
Ченбаев З. А., Шешенин А. Г., Абельдинова А. Б., Глазырин А. И.	
Кислородная коррозия	212
Шешенин А. Г., Глазырин А. И.	
Применение гидразина в теплоэнергетике	219
Наши авторы.....	225
Правила для авторов	228

 CONTENT

Abdrakmanov T. S., Oralova A. Zh., Zhangazinova S. B. , Glaziryn A. I. Types of corrosion and their characteristics	9
Abeldinova A. B., Kozkin A. N., Omarov A. A., Glaziryn A. I. Theory of corrosion cracking. Intercrystalline corrosion	16
Akaev A. M., Batenov A. E., Govorun V. F., Padrul N. M., Govorun O. V., Govorun D. V. Current status and potential of wind energy development in kazakhstan	23
Alimgazin A. Sh., Dzhusupov S. E., Alimgazina S. G., Berguzinov A. N. Development and implementation of energy-saving heat pump technology of the new generation using NRES to increase efficiency of heat supply systems of buildings and facilities in the Republic of Kazakhstan	31
Amirzhanova D. B., Baidel'dinova A. A., Lysikova A. A., Glazyrin A. I. Sodium silicate characteristics	43
Baidel'dinova A. A., Amirzhanova D. B., Lysikova A. A., Glazyrin A. I. Inhibitors of corrosion and their application	49
Baisanov A. S., Tolymbekov M. J., Baisanov S. O., Zhunusov A. K., Sembayev N. S. Transformation of natural chrome spinelides of chromite ores in conditions of ferrochromium electrothermy.....	55
Baklanov A. E., Kvasov A. I., Azamatova G. K., Titov D. N., Azamatov B., Grigoreva S. V. Endorheic scheme of thermal power plant's hydraulic ash removal with the use of hydrocyclones with changeable geometry	64
Borodenko V. A. Decomposition on partial fractions at control systems research in MATLAB.....	72
Borodenko V. A. Influence of networks capacity on behavior of automatic reserve supply device	80
Borodenko V. A. Influence of deficiency of active power on the structure of tht devices of system automatics	83
Govorun V. F., Govorun O. V., Govorun D. V., Akayev A. M., Padrul N. M. Clarifying the mechanisms of air breakdown in nonstandard cases.....	87
Zhangazinova S. B., Oralova A. Zh., Abdrakhmanov T. S., Glazyrin A. I. Selection of metal and methods of the equipment corrosion control in heat power industry	97
Isenov S. S., Markovskii V. P. Development and research of electric DC with serial excitation in a virtual environment software Simulink MATLAB of program	104
Kairzhanov R. E., Ryndin V. V., Saginaeva A. T. Oil and gas fields of Kazakhstan	113

Kibartas V. V., Kibartene Ju. V.	
Identification of electric parameters of windings of the direct current engine of independent excitement	124
V. V. Kibartas, Ju. V. Kibartene, V. Ju. Melnikov, E. V. Zigangirova	
The synchronous electromechanical converter with the motionless rotor as object of identification of electric parameters of windings	129
Kislov A. P., Mendybayev S. A., Amrenov E.B.	
Preparation and study of an automated system of tube furnaces	136
Kozkin A. N., Abeldinova A. B., Omarov A. A., Glaziryin A. I.	
Steam-water corrosion. Chemical corrosion.....	141
Lysikova A. A., Baidel'dinova A. A., Amirzhanova D. B., Glazyrin A. I.	
Preservation of drum boilers by ammonia solution Trilon B	148
Makashev E. B., Kumar B. K.	
Improvement of performance and efficiency characteristics of UGS.....	156
Mendybayev S. A., Faizullin A. R.	
Prospects of cost savings of the ferrochrome smelting plant	161
Oralova A. Zh., Zhangazinoва S. B., Abdrahmanov T. S., Karmanov A. E.	
Possible technological regimes of boilers conservation	
In the given work some regimes of boilers conservation have been revised.....	167
Orishevskaya Y. V., Prichodko E. V.	
Analysis of development of modern inertial dedusters	171
Ryndin V. V.	
Introduction into the classical thermodynamics of energy equations for non-stationary stream	179
Ryndin V. V.	
Integration of equation of motion of viscous compressible fluid (Navier-Stokes) lengthways trajectories and streamlines.....	190
Ryndin V. V., Kairzhanov R. E., Saginaeva A. T.	
Ways of oil export from the Republic Kazakhstan	201
Chenbaev Z. A., Chechenin A. G., Abeldinova A. B., Glaziryin A. I.	
Oxygen corrosion	212
A. G. Sheshenin, A. I. Glazyrin	
Application of hydrazine in heat power industry	219
Our authors.....	225
Rules for authors	228

УДК 620.193

**Т. С. Абдрахманов, А. Ж. Оралова,
С. Б. Жангазинова, А. И. Глазырин**

ВИДЫ КОРРОЗИИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

На образцах статьи рассматриваются коррозии и его особенности.

Коррозия металлов – разрушение металлов вследствие физико-химического воздействия внешней среды, при котором металл переходит в окисленное (ионное) состояние и теряет присущие ему свойства.

Среда, в которой металл подвергается коррозии (коррозирует) называется коррозионной или агрессивной средой. По степени воздействия на металлы в атмосфере и коррозионной среде целесообразно разделить на: неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные, сильноагрессивные.

Для определения степени агрессивности среды при атмосферной коррозии необходимо учитывать условия эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений. Степень агрессивности среды по отношению к конструкциям внутри отапливаемых и неотапливаемых зданий, зданий без стен и постоянно аэрируемых зданий определяется возможностью конденсации влаги, а также температурно-влажностным режимом и концентрацией газов и пыли внутри здания. Степень агрессивности среды по отношению к конструкциям на открытом воздухе, не защищенным от непосредственного попадания атмосферных осадков, определяется климатической зоной и концентрацией газов и пыли в воздухе. С учетом влияния метеорологических факторов и агрессивности газов разработана классификация степени агрессивности сред по отношению к строительным металлическим конструкциям. Таким образом, защита металлических конструкций от коррозии определяется агрессивностью условий их эксплуатации. Наиболее надежными защитными системами металлических конструкций являются алюминиевые и цинковые покрытия.

Оценка и расчет скорости коррозии в атмосферных условиях должны основываться на учете продолжительности и материальном коррозионном эффекте действия на металл наиболее агрессивных факторов.

В зависимости от факторов, влияющих на скорость коррозии, целесообразно следующее подразделение условий эксплуатации металлов, подвергаемых атмосферной коррозии: отапливаемые помещения, неотапливаемые помещения.

По типу разрушений коррозии подразделяют на: сплошную и местную.

При равномерном распределении коррозионных разрушений по всей поверхности металла коррозию называют равномерной или сплошной. Она не представляет собой опасности для конструкций и аппаратов, особенно в тех случаях, когда потери металлов не превышают технически обоснованных норм. Её последствия могут быть сравнительно легко учтены.

Если же значительная часть поверхности металла свободна от коррозии и последняя сосредоточена на отдельных участках, то ее называют местной. Она гораздо опаснее, хотя потери металла могут быть и небольшими. Её опасность состоит в том, что, снижая прочность отдельных участков, она резко уменьшает надёжность конструкций, сооружений, аппаратов.

Местной коррозии благоприятствуют морская вода, растворы солей, в частности галогенидных: хлорид натрия, кальция, магния. Особенно большие неприятности связаны с хлоридом натрия, который разбрасывают в зимнее время на дорогах и тротуарах для удаления снега и льда. Соли являются активаторами коррозии и приводят к ускоренному разрушению металлов, в частности транспортных средств и подземных коммуникаций. Подсчитано, что в США применение для этой цели солей приводит к потерям на сумму 2 млрд. долларов в год в связи с коррозией двигателей и 0,5 млрд. на дополнительный ремонт дорог, подземных магистралей и мостов. Причина же использования хлорида натрия заключается в его дешевизне. В настоящее время выход лишь один - вовремя убирать снег и вывозить его на свалки. Экономически он белее чем оправдан.

В промышленности, в том числе и в теплоэнергетике выделяют коррозию в виде:

Язвенной (в виде пятен различной величины), точечную, щелевую, контактную, межкристаллитную коррозию. Точечная – одна из наиболее опасных. Она заключается в образовании сквозных поражений, то есть точечных полостей – питтингов.

Коррозионное растрескивание возникает при одновременном воздействии на металл агрессивной среды и механических напряжений. В металле появляются трещины транскристаллитного характера, которые часто приводят к полному разрушению изделий.

По механизму коррозионного процесса различают два основных типа коррозии: химическую и электрохимическую. Строго отделить один вид от другого трудно, а иногда и невозможно.

Под химической коррозией подразумевают взаимодействие металлической поверхности с окружающей средой, не сопровождающееся возникновением электрохимических (электродных) процессов на границе фаз. Она основана на реакции между металлом и агрессивным реагентом. Этот вид коррозии протекает в основном равномерно по всей поверхности металла. В связи с этим химическая коррозия менее опасна, чем электрохимическая.

В промышленном производстве металлы нередко нагреваются до высоких температур. В таких условиях химическая коррозия ускоряется. Так при прокатке раскаленных кусков металла образуется окалина. Это типичный продукт химической коррозии.

Механизм химической коррозии сводится к реактивной диффузии атомов или ионов металла сквозь постепенно утолщающуюся пленку продуктов коррозии (например, окислы) и встречной диффузии атомов или ионов кислорода. По современным воззрениям этот процесс имеет ионно-электронный механизм, аналогичный процессам электропроводности в ионных кристаллах.

Особенно разнообразны процессы химической коррозии встречаются в различных производствах. В атмосфере водорода, метана и других углеводородов, оксида углерода (II), сероводорода, хлора, в среде кислот, а также в расплавах солей и других веществ протекают специфические реакции с вовлечением материала аппаратов и агрегатов, в которых осуществляется химический процесс. Задача специалистов при конструировании оборудования - подобрать металл или сплав, который был бы наиболее устойчив к компонентам химического процесса.

Практически наиболее важным видом химической коррозии является взаимодействие металла при высоких температурах с кислородом и другими газообразными активными средами (H_2S , SO_2 , галогены, водяные пары, CO_2). Подобные процессы химической коррозии металлов при повышенных температурах носят также название газовой коррозии. Многие ответственные детали инженерных конструкций сильно разрушаются от газовой коррозии (лопатки газовых турбин, сопла ракетных двигателей, элементы электронагревателей, колосники, арматура печей). Большие потери от газовой коррозии (угар металла) несет металлургическая промышленность. Стойкость против газовой коррозии повышается при введении в состав сплава различных добавок (хрома, алюминия, кремния). Добавки алюминия, бериллия и магния к меди повышают ее сопротивление газовой коррозии в окислительных средах. Для защиты железных и стальных изделий от газовой коррозии поверхность изделия покрывают алюминием (алитирование).

Под электрохимической коррозией подразумевают процесс взаимодействия металлов с электролитами в виде водных растворов, реже с неводными электролитами, например, с некоторыми органическими электропроводными соединениями или безводными расплавами солей при повышенных температурах.

Рассмотрим схему этого процесса. Сложность его заключается в том, что на одной и той же поверхности происходят одновременно два процесса, противоположные по своему химическому смыслу: окисление металла и восстановление окислителя. Оба процесса должны протекать сопряженно, чтобы сохранялось равенство числа электронов, отдаваемых металлом и

присоединяющихся к окислителю в единицу времени. Только в этом случае может наступить стационарное состояние. По такому принципу протекают, например, взаимодействие металла с кислотами:

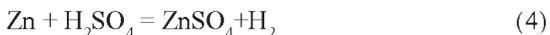


Эта суммарная реакция состоит из двух актов:

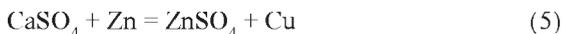


Электрохимическая коррозия часто связана с наличием в металле случайных примесей или специально введенных легирующих добавок.

Многие химики в своё время были озадачены тем, что иногда реакция



не протекает. Было выяснено, что в такой ситуации в раствор нужно добавить немного сульфата меди (II) (медного купороса). В этом случае на поверхности цинка выделится медь



и водород начнёт бурно выделяться.

Процессы электрохимической коррозии протекают по законам электрохимической кинетики, когда общая реакция взаимодействия может быть разделена на следующие, в значительной степени самостоятельные, электродные процессы:

– анодный процесс – переход металла в раствор в виде ионов (в водных растворах, обычно гидратированных) с оставлением эквивалентного количества электронов в металле;

– катодный процесс – ассимиляция появившихся в металле избыточных электронов деполаризаторами.

Различают коррозию с водородной, кислородной или окислительной деполаризацией. При наличии в растворе газообразного кислорода и невозможностью протекания процесса коррозии с водородной деполаризацией основную роль деполаризатора исполняет кислород. Коррозионные процессы, у которых катодная деполаризация осуществляется растворенным в электролите кислородом, называют процессами коррозии металлов с кислородной деполаризацией. Это наиболее распространенный тип коррозии металла в воде, в нейтральных и даже в слабокислых солевых растворах, в морской воде, в земле, в атмосфере воздуха.

Общая схема кислородной деполаризации сводится к восстановлению молекулярного кислорода до иона гидроокисла:



Подшламовая (ракушечная) коррозия. Подшламовая коррозия возникает в застойных зонах циркуляционного контура парогенератора под слоем шлама, состоящего из продуктов коррозии металлов. Если эти отложения сосредоточены на обогреваемых участках, то под ними возникает интенсивное упаривание, повышающее соленосодержание и щелочность котловой воды до опасных значений. Подшламовая коррозия распространяется в виде больших язвин диаметром до 50–60 мм на внутренней стороне парообразующих труб, обращенной к факелу топки. В пределах язвин наблюдается уменьшение толщины стенки трубы, часто приводящее к образованию свищей. На язвинах обнаруживается плотный слой окислов железа в виде ракушек. Описанное разрушение металла получило в литературе название «ракушечной» коррозии. Подшламовая коррозия, вызываемая окислами трехвалентного железа и двухвалентной меди, является примером комбинированного разрушения металла; первая стадия этого процесса является чисто электрохимической, а вторая – химической, обусловленной действием воды и водяного пара на перегретые участки металла, находящиеся под слоем шлама. Наиболее эффективным средством борьбы с «ракушечной» коррозией парогенераторов является предотвращение возникновения коррозии тракта питательной воды и выноса из него окислов железа и меди с питательной водой.

Щелочная коррозия. Расслоение пароводяной смеси, которое имеет место в горизонтальных или слабонаклонных парообразующих трубах, как известно, сопровождается образованием паровых мешков, перегревом металла и глубоким упариванием пленки котловой воды. Образовавшаяся при упаривании котловой воды высококонцентрированная пленка содержит в растворе значительное количество щелочи. Едкий натр, присутствующий в котловой воде в малых концентрациях, защищает металл от коррозии, но он становится весьма опасным коррозионным фактором, если на каких-либо участках поверхности парогенератора создаются условия для глубокого упаривания котловой воды с образованием повышенной концентрации NaOH. Источником щелочной коррозии парогенераторов могут также явиться шламоотложения, способствующие глубокому упариванию котловой воды с образованием высококонцентрированного коррозионно-агрессивного раствора щелочи. Уменьшение относительной доли щелочи в общем соленосодержании котловой воды и создание преобладающего содержания в последней таких солей, как хлориды, способны резко ослабить щелочную коррозию котельного металла. Устранение щелочной коррозии достигается также обеспечением чистоты поверхности нагрева и интенсивной циркуляцией на всех участках парогенератора, которая предотвращает глубокое упаривание воды.

Межкристаллитная коррозия. Межкристаллитная коррозия появляется в результате взаимодействия котельного металла со щелочной котловой водой.

Характерная особенность межкристаллитных трещин в том, что они возникают в местах наибольших напряжений в металле. Механические напряжения слагаются из внутренних напряжений, возникающих в процессе изготовления и монтажа парогенераторов барабанного типа, а также дополнительных напряжений, возникающих в процессе эксплуатации. Образованию межкристаллитных кольцевых трещин на трубах способствуют дополнительные статические механические напряжения. Они возникают в трубных контурах и в барабанах парогенератора при недостаточной компенсации температурных удлинений, а также вследствие неравномерного обогрева или охлаждения отдельных участков тела барабана или коллектора. Межкристаллитная коррозия протекает с некоторым ускорением: в начальный период разрушение металла происходит очень медленно и без деформации, а затем с течением времени скорость его резко возрастает и может принять катастрофические размеры. Межкристаллитную коррозию котельного металла нужно рассматривать прежде всего как частный случай электрохимической коррозии, протекающей по границам зерен напряженного металла, находящегося в контакте со щелочным концентратом котловой воды. Появление коррозионных микрогальванических элементов вызывается различием потенциалов между телами кристаллитов, выполняющих роль катодов. Роль анодов выполняют разрушающиеся грани зерен, потенциал которых вследствие механических напряжений металла в этом месте сильно понижен. Наряду с электрохимическими процессами существенную роль в развитии межкристаллитной коррозии играет атомарный водород, продукт разряда H^+ -ионов на катоде коррозионных элементов; легко диффундируя в толщу стали, он разрушает карбиды и создает большие внутренние напряжения в металле котла вследствие появления в нем метана, что приводит к образованию тонких межкристаллитных трещин (водородное растрескивание). Кроме того, во время реакции водорода с включениями стали образуются различные газообразные продукты, что в свою очередь вызывает дополнительные разрывные усилия и способствует разрыхлению структуры, углублению, расширению и разветвлению трещин. Установлено, что межкристаллитная коррозия котельного металла в соединениях элементов парогенераторов возникает лишь при одновременном наличии местных растягивающих напряжений, близких или превышающих предел текучести, и при концентрации $NaOH$, накапливающейся в неплотностях соединений элементов котла, превышающей 10–20 % от содержания упаренной котловой воды. Для развития межкристаллитных разрушений котельного металла существенное значение имеет не абсолютная величина щелочности, а доля едкого натра в общем солевом составе котловой воды. Установлено опытным путем, что если эта доля, т.е. относительная концентрация едкого натра в солевом составе котловой воде составляет менее 0 % от суммы минеральных растворимых веществ, то такая вода, как правило, не является агрессивной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Краткая химическая энциклопедия под редакцией И. А. Кнунянц и др. – М. : Советская энциклопедия, 1961 – 1967. – Т. 2.

2 **Андреев, И. Н.** Коррозия металлов и их защита. – Казань : Татарское книжное издательство, 1979.

3 **Войтович, В. А., Мокеева, Л. Н.** Биологическая коррозия. – М. : Знание, 1980. – № 10.

4 **Глазырин, И. А., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К.** Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар. 2011. – 728 с..

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

Материал поступил в редакцию 20.12.12.

T. S. Abdrahmanov, A. Zh. Oralova, S. B. Zhangazimova, A. I. Glaziryn
Коррозия түрлері және оның сипаттамасы

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 20.12.12 редакцияға түсті.

T. S. Abdrahmanov, A. Zh. Oralova, S. B. Zhangazimova, A. I. Glaziryn
Types of corrosion and their characteristics

Pavlodar State University named after S.Toraigyrov, Pavlodar.

Material received on 20.12.12.

Коррозияның және оның өзгешелігінің мақаласының үлгілерінде қаралды.

In the article the types of corrosion and their characteristics are considered.

УДК 620.193.47

**А. Б. Абельдинова, А. Н. Козкин,
А. А. Омаров, А. И. Глазырин**

ТЕОРИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ. МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ

В статье изображаются способы борьбы солнечных - процессов коррозии.

Коррозия (от лат. *corrosio* — разъедание) — это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это разрушение любого материала, будь то металл или керамика, дерево или полимер. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде.

Коррозионные процессы отличаются широким распространением и разнообразием условий и сред, в которых они протекают. Поэтому пока нет единой и всеобъемлющей классификации встречающихся случаев коррозии.

1. Явление и механизм коррозионного растрескивания. В металле, подверженном коррозионному растрескиванию, при отсутствии внешних напряжений обычно происходит очень незначительное коррозионное разрушение, а при отсутствии коррозионной среды под воздействием напряжений почти не происходит изменения прочности или пластичности металла. Таким образом, в процессе коррозионного растрескивания, т. е. при одновременном воздействии статических напряжений и коррозионной среды, наблюдается существенно большее ухудшение механических свойств металла, чем это имело бы место в результате раздельного, но аддитивного действия этих факторов. Коррозионное растрескивание является характерным случаем, когда взаимодействует химическая реакция и механические силы, что приводит к структурному разрушению. Такое разрушение носит хрупкий характер и возникает в обычных пластичных металлах, а также в медных, никелевых сплавах, нержавеющей сталях и др. в присутствии определенной коррозионной среды. При исследовании процесса хрупкого разрушения в результате коррозионного растрескивания особое значение имеет исследование раздельного воздействия на металл напряжений и коррозионной среды, а также их одновременное воздействие. Однако в процессе коррозионного растрескивания первостепенное значение имеют следующие стадии:

- 1) зарождение и возникновение трещин;
- 2) последующее развитие коррозионных трещин.

Обе стадии, как будет показано ниже, являются индивидуальными ступенями в процессе коррозионного растрескивания.

Средами, в которых происходит коррозионное растрескивание металлов, являются такие среды, в которых процессы коррозии сильно локализованы обычно при отсутствии заметной общей поверхностной коррозии. Интенсивность локализованной коррозии – может быть весьма значительной, в результате чего прогрессирует процесс развития очень узких углублений, достигая, вероятно, наибольшей величины на дне углублений, имеющих радиусы порядка одного межуатомного расстояния. Тщательное изучение литературы показывает, что во многих случаях процесс начальной коррозии может иметь место и при отсутствии напряжений, хотя такое коррозионное разрушение может быть совсем незначительным. Некоторые вопросы, относящиеся к роли напряжений в развитии этих чувствительных зон в определенных системах сплавов, еще остаются неясными, но в общем случае это ясно. Кроме того, большинство экспериментальных работ показывает, что в том случае, когда начальные локализованные коррозионные углубления межкристаллитны, то при последующем растрескивании преобладает также межкристаллитное разрушение. Если начальная коррозия происходит внутри зерен металла, то последующее растрескивание имеет внутрикристаллитный характер. Нет определенных указаний о том, что межкристаллитная трещина будет развиваться из внутрикристаллитного коррозионного углубления, и наоборот. Смешанный тип растрескивания, который иногда наблюдается, может быть обусловлен побочным процессом, связанным с динамикой быстро развивающейся трещины.

1.1 Структура и состав. Если локализованная коррозия является важным фактором в общем процессе растрескивания, то вполне очевидно, что микроструктура металла должна иметь еще большее значение, определяющее вероятность возникновения такого коррозионного разрушения. Опыты со всей очевидностью показывают, что изменения в составе, термообработке, механической обработке и способах изготовления приводят к изменению микроструктуры, а, следовательно, влияют и на устойчивость металла против коррозионного растрескивания. Опыты показывают, что структура металла влияет не только на характер начального местного разрушения, но также определяет путь и скорость коррозионного растрескивания.

1.2 Напряжения. Для того чтобы произошел процесс коррозионного растрескивания, необходимо наличие поверхностных или внутренних растягивающих напряжений. Например, в котлах тепловых электрических станций обычно встречающиеся на практике разрушения обусловлены наличием остаточных напряжений, возникающих, при производстве и обработке металла, но в целях исследования не следует делать разграничения между остаточными напряжениями и напряжениями, возникшими в результате приложенных внешних нагрузок. Коррозионное растрескивание никогда не наблюдалось в результате действия поверхностных сжимающих напряжений; наоборот,

сужающие поверхностные напряжения разрушения могут использоваться для защиты от коррозионного растрескивания.

При увеличении величины приложенных напряжений уменьшается время до полного разрушения металла. Для коррозионного растрескивания обычно необходимы высокие напряжения, приближающиеся к пределу текучести, однако, часто разрушение может наступить и при напряжениях, значительно меньших предела текучести. Для многих систем сплавов наблюдается какой-то «порог» или «предел» напряжений, т.е. напряжения, ниже которых коррозионное растрескивание не происходит за определенный период времени. Такая зависимость, наблюдавшаяся, например, при замедленном растрескивании сталей, указывает, что основную роль в процессе разрушения играют напряжения.

1.3 Характер коррозионных трещин. Коррозионные трещины развиваются в плоскости, перпендикулярной плоскости растягивающих напряжений, независимо от характера приложенных или остаточных напряжений. С точки зрения микроструктуры коррозионные трещины могут иметь как внутрикристаллитный, так и межкристаллитный характер. Можно предположить, что направление и характер развития трещин в металле до некоторой степени зависят от формы и размера зерен, поскольку эти факторы влияют на распределение внутренних напряжений.

2. Механизм коррозионного растрескивания. Для объяснения характерных особенностей процесса коррозионного растрескивания необходим обобщенный механизм этого явления, который можно было бы применить для всех металлических систем с учетом всех особенностей в каждом индивидуальном случае разрушения.

Первые объяснения механизма коррозионного растрескивания связывались либо с химическим, либо с механическим фактором и были недостаточны, так как не учитывалось совместное химическое и механическое действие.

Существует мнение, что главная функция напряжений состоит в нарушении поверхностных пленок без разрушения металла и что ускоренное развитие и распространение трещин в основном имеет электрохимическую природу. В пленочных теориях коррозионного растрескивания отмечается, что вопрос о том, будет ли иметь место быстрое развитие трещины, зависит от соотношения скоростей образования пленки и увеличения концентрации напряжений. Если образование пленки может остановить коррозию до того, как концентрация напряжений достигнет значительной величины, то быстрое развитие трещин будет предотвращено, но если концентрация напряжений достигнет критического значения до образования пленки, то произойдет разрушение.

Несмотря на то, что высокие напряжения и деформация могут разрушать поверхностную пленку и тем самым способствовать локализованной ускоренной коррозии, нет достаточных доказательств, что они играют основную роль или

что разрушение пленки является главным фактором, приводящим к развитию трещин. Однако возможно, что разрушение поверхностной пленки, если оно имеет место, может играть важную роль в процессе хрупкого разрушения.

Наиболее вероятными процессами, при которых происходит коррозионное растрескивание, являются следующие:

1. Локализованная электрохимическая коррозия вызывает образование небольших узких трещин в виде отдельных углублений, развивающиеся края которых имеют радиусы кривизны порядка атомных размеров. Трещины могут проходить по границам зерен, как, например, в алюминиевых сплавах или латуни, или через зерна, как, например, в аустенитных нержавеющей сталях или в магниевых сплавах. Количество образующихся трещин может быть различным, но обычно одна трещина развивается в большей степени, чем другие.

2. По мере развития трещины у ее вершины создается концентрация напряжений. Для пластичных сплавов эта концентрация напряжений не превышает максимальной величины, которая приблизительно в 3 раза больше предела текучести.

3. В зависимости от формы образца, способа приложения нагрузки, условий испытания и определенного энергетического состояния металла, свойственного процессу развития хрупкого разрушения, трещина может распространиться через весь образец, вызвав мгновенное разрушение его, или, распространившись на определенное расстояние, развитие ее может прекратиться.

4. Развитие трещины за счет механического разрушения обнажает свежую поверхность металла, и коррозионная среда быстро засасывается в трещину под действием капиллярных сил, в результате чего наступает период интенсивной коррозии.

5. Ускоренный процесс коррозии, вызванный действием коррозионной среды на не защищенную пленкой поверхность металла, быстро замедляется вследствие поляризации и повторного образования защитной пленки, что связано с изменением концентрации: электролита внутри трещины.

6. После этого опять преобладают условия, медленно развивающаяся локализованная коррозия продолжается до тех пор, пока не возникнет достаточно высокая концентрация, напряжений, которая вызовет деформацию и развитие трещины.

Таким образом, представленный выше механизм включает две основные стадии процесса коррозионного растрескивания: период локализованной электрохимической коррозии и последующий период развития трещин. Если разрушение не происходит очень быстро, процесс растрескивания включает непродолжительный период интенсивной коррозии. Ниже подробно рассматривается каждая из стадий процесса растрескивания, а

также факторы, определяющие эти стадии, и экспериментальные данные, подтверждающие изложенные ранее гипотезы.

3. Межкристаллитная коррозия. Межкристаллитная коррозия, — один из видов коррозионного растрескивания, при котором разрушение металла происходит преимущественно вдоль границ зерен (кристаллов).

Межкристаллитная коррозия – очень опасный вид разрушения, т.к. визуально ее не всегда можно определить. Металл теряет свою пластичность и прочность.

Межкристаллитной коррозии чаще всего подвергаются металлы и сплавы, которые легко становятся пассивными. К ним относятся хромоникелевые и хромистые сплавы (нержавеющие стали), сплавы алюминия, никеля, некоторые другие.

Межкристаллитную коррозию изучали: Смирнов, И. А. Левин, Шрейдер, Г. Л. Шварц, Акимов, Ролласон, Бейн, Штраус и многие др.

Причина возникновения межкристаллитной коррозии: структурные превращения на границах зерен металла. Зона структурных превращений становится анодом, который усиленно растворяется. Связь между зернами металла нарушается и происходит их выкрашивание. Вследствие этих процессов металлические конструкции при эксплуатации теряют свои свойства и быстро приходят в негодность.

Факторы межкристаллитной коррозии (МКК):

- 1) Состав сплава;
- 2) Температура и время выдержки при повышенных температурах;
- 3) Среда.

Скорость протекания межкристаллитной коррозии определяется потенциалом металла. Ускоренное ее развитие наблюдается при потенциалах входа в транспассивную область (1,15 – 1,25В), а также при потенциале активно-пассивного перехода (около 0,35В). В разных областях межкристаллитная коррозия может протекать по разным механизмам.

3.1 Механизм. При малой коррозионной потере массы разрушение материала может проникать на большую глубину и сопровождаться снижением прочности и пластичности материала, что быстро приводит к выходу из строя всей конструкции. Межкристаллитная коррозия относится к электрохимическим процессам, и обусловлена тем, что твердый раствор при определенных условиях может расслаиваться с образованием по границам зерен фаз, обогащенных одним из компонентов материала, а участки, непосредственно прилегающие к границам зерен, оказываются обедненными этим компонентом. Под действием той или иной агрессивной среды происходит избирательное анодное растворение либо обогащенных, либо соседних с ними обедненных зон.

Межкристаллитной коррозии подвержены многие сплавы на основе железа (в том числе ферритные, аустенитные, аустенитно-ферритные и

другие стали), а также никелевые, алюминиевые и другие сплавы, имеющие, как правило, неоднородную структуру. В нержавеющих сталях часто встречается высокое (более 12%) содержание хрома, который в обычных условиях формирует на поверхности стали пассивирующий слой (оксидную пленку), защищающий ее от коррозии. Именно высокое содержание хрома служит для нержавеющих сталей основной причиной межкристаллитной коррозии, поскольку при некоторых условиях хром выделяется вдоль границ зерен фаз, и создаются карбиды хрома. Соседние зоны, обедненные хромом, переходят в активное состояние при более отрицательных значениях электрохимического потенциала, чем фазы с избытком хрома. В результате в слабоокислительных средах обедненные хромом зоны становятся электрохимически активными и корродируют с более высокими скоростями, чем фазы, обогащенные хромом. Наибольшая склонность к межкристаллитной коррозии наблюдается в тех случаях, когда избыточные фазы на границах зерен соприкасаются, образуя непрерывные цепочки.

В сильноокислительных средах развитие межкристаллитной коррозии обусловлено избирательным растворением насыщенных фаз. Оно ускоряется, если в этих фазах имеются легирующие элементы, легко подвергающиеся перепассивации, например, молибден, вольфрам, ванадий или элементы с низкой коррозионной стойкостью, например, марганец, медь.

Одной из причин межкристаллитной коррозии может быть сегрегация по границам зерен примесей; этим часто объясняется, например, коррозия закаленных аустенитных коррозионностойких сталей, содержащих примеси фосфора, кремния и пр., в сильноокислительных средах.

Разделение фаз часто происходит при нагреве металлов на долгое время более 700 °С, что случается при нарушении режимов сварки, термообработке, обработке давлением.

Заключение. Правильность изложенных выше обобщенных гипотез, относящихся к взаимодействию электрохимических и механических факторов, вызывающих хрупкое разрушение пластичных металлов, подтверждается успешным применением их к различным системам сплавов. Новые представления о механизме и динамике процесса растрескивания и о характере границ зерен и субструктурных границ позволяют объяснить многие явления процесса более точно и подробно. Изложенный механизм растрескивания подчеркивает необходимость изучения различных систем сплавов с точки зрения изучения их структурных и электрохимических свойств, которые влияют на возникновение локальных коррозионных разрушений, и изучения тех факторов, которые влияют на образование и развитие трещины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Акимов, Г. В.** Основы учения о коррозии и защите металлов. // М. : Metallurgizdat, 1946. – 463 с.
- 2 **Балезин, С. А.** Отчего и как разрушаются металлы. М., 1971. – 546 с.
- 3 **Глазырин, А. И., Глазырин А. А., Орумбаев Р. К.** Коррозия и консервация энергетического оборудования. – Павлодар, 2011. – 728 с.
- 4 **Колотыркин, Я. М.** Металл и коррозия. М. : Metallurgia, 1985. – 328 с.
- 5 **Скорчелетти, В. В.** Теоретические основы коррозии металлов. Л. : Химия, 1973.
- 6 **Жук, Н. П.** Курс теории коррозии и защиты металлов. М. : Metallurgia, 1976.

Павлодарский государственный университет
имени С.Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

A. B. Abeldinova, A. N. Kozkin, A. A. Omarov, A. I. Glaziryn

Жарылу коррозия теориясы. Аралық коррозия

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

A. B. Abeldinova, A. N. Kozkin, A. A. Omarov, A. I. Glaziryn

Theory of Corrosion cracking. Intercrystalline corrosion

Pavlodar State University named after S.Toraigyrov, Pavlodar.

Material received on 25.12.12.

Мақалада коррозия жарықшақтан- үдерістері, күрестің әдістері бейнеленді.

The article describes the processes of the corrosive spalling and the methods of elimination.

УДК 621.311.24

**А. М. Акаев^{*}, А. Е. Батенов^{*}, В. Ф. Говорун^{*},
Н. М. Падруль^{*}, О.В. Говорун^{**}, Д.В. Говорун^{***}**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

Проведен анализ состояния ветроэнергетики в мире и Казахстане. Выявлены внешние факторы, оказывающие влияние на работу основного генерирующего оборудования. Предложены варианты применения ветростанций в Казахстане.

Быстрый рост народонаселения и масштабов социально-экономического развития обусловили значительные темпы прироста энергопотребления. С удвоением численности народонаселения количество потребляемой энергии увеличилось в 50 раз. По прогнозам МИРЭС, к 2020 году энергопотребление возрастет еще в 1,5 раза. В тоже время глобализация мировой экономики и локальные конфликты последних десятилетий привели к возрастанию конкурентной борьбы на рынке первичной энергии и заставили многие государства задуматься о повышении своей энергетической независимости и энергетической эффективности. Активное потребление природного топлива крайне негативно отражается на экологическом балансе Земли. По прогнозам, при сохранении современного потребления запасов традиционных энергетических ресурсов должно хватить примерно на 100-150 лет.

Следует отметить, что из общего объема мировых энергоресурсов рационально используется меньше половины. Поэтому одним из важнейших элементов энергетической стратегии в 21 веке рассматривается процесс энергосбережения и рационализации энергопотребления. Более того, энерго- и ресурсосбережение должны выступать на уровне современных технологических решений в качестве дополнительного источника естественных ресурсов. При современном уровне добычи угля, нефти, газа, производстве электроэнергии, при рациональных технологических и экономических структурах можно было бы увеличить эффективность потребления электроэнергии почти вдвое. Негативные экологические последствия минимальны. Огромен и экономический эффект: затраты на энергосбережение в 2-4 раза меньше по сравнению с затратами на производство энергии [1].

В тоже время резко возрастает роль экологически чистых и безопасных альтернативных источников энергии, в том числе и ветроэнергетики.

Человечество уже давно научилось применять энергию ветра для своих нужд, однако начало его использования для промышленной генерации энергии

можно отнести к 1990 г. Такое возрождение стало возможным благодаря развитию технологий в области новых материалов и силовой электроники. Резкий толчок в развитии ветроэнергетики, например в Германии, дал принятый там, в 1991 г. закон, по которому владельцы электрических сетей обязаны были принимать в сеть, производимую ветроэнергетическими установками энергию и оплачивать ее по тарифу, установленному этим законом. Благодаря государственной поддержке резко возросли инвестиции в ветроэнергетику.

Рекордным по объему инвестиций в альтернативную энергетику стал 2010 год. Согласно проведенным исследованиям общая сумма инвестиций составила 211 млрд. долларов, что на одну треть превышает объемы инвестиций этой отрасли в 2009 году. Пожалуй, самым доказательным аргументом в пользу ветроустановок стал опыт Китая, который вложил в развитие проектов ветроэнергетики 48,9 млрд. долларов и провозгласил шестилетнюю программу электрификации регионов Маньчжурии, не имеющих стационарных источников электроэнергии и энергоносителей. Посредством ветроэлектрических установок малой мощности (ВЭУММ), примерно до 2 кВт, подключил к ее выполнению 60 НИИ и 100 заводов и выполнил эту задачу, выпустив 10 миллионов таких ВЭУ.

Кроме того, компании прорабатывают возможность реализации проектов комплексного совмещения различных возобновляемых источников энергии, в частности ветряков с солнечными преобразователями [2].

В Казахстане разговоры по созданию реально действующих потребителей, использующих в качестве источника альтернативную энергию солнца или ветра, ведутся уже на протяжении многих лет. В 2009 г. был разработан проект национальной программы развития ветроэнергетики до 2015 г. с перспективой до 2024 г. При помощи программы ООН установлена мощная экспериментальная станция по выработке энергии из ветра в Джунгарских воротах. Кроме Джунгарских ворот, в этом отношении, перспективен также так называемый Шелекский коридор и ряд других мест в различных регионах Казахстана, которые своим ветропотенциалом могут обеспечить потребности близлежащих населенных пунктов и промышленных предприятий. В Акмолинской области Казахстана введены в эксплуатацию два автономных энергетических комплекса на основе ветровой и солнечной энергии. Комплексы созданы на основе «Ветровой роторной турбины Болотова» - уникальной разработки известного казахстанского ученого, доктора технических наук, академика Альберта Болотова.

«Виндротор Болотова» не имеет аналогов в мире. Такие электростанции имеют очень высоким коэффициентом установленной мощности – до 43 процентов. Кроме того, в комплект ветроустановки входят солнечные батареи и гелиевые аккумуляторы. Строительство ветроэнергетических установок является частью разрабатываемой в АО «НАК «Казатомпром»

широкомасштабной программы развития в Казахстане альтернативной «зеленой» энергетики и включению ее в энергобаланс страны. Производство ветроэнергетических установок планируется организовать на Усть-Каменогорском АО «Машзавод», входящем в состав «Казатомпрома».

На сегодняшний день в Казахстане уже работает более 20 подобных станций в отдаленных районах Кызылординской, Актюбинской и Южно-Казахстанской областей.

Острую нехватку энергии испытывают фермеры, садоводы, геологи и т.п. Да и в относительно благополучных с точки зрения энергоснабжения сельских районах все обстоит далеко не лучшим образом. Отключения электричества из-за природных катаклизмов, плановых и аварийных ремонтов оборудования сети (в большинстве случаев резервирование потребителей отсутствует), большая удаленность потребителей от источника (огромные потери электроэнергии), низкое качество электроэнергии (ночью под 300В, а в часы пиковой нагрузки до 180В), малая плотность тока - привычные явления. Если к тому добавить то, что почти 90% высоковольтных линий электропередачи построены 40 и более лет назад и имеют большую изношенность, ситуация представится совсем непростой. Сельские электросети приходят в негодность, обслуживание практически отсутствует, время перерывов в электроснабжении увеличилось, тарифы непомерно возросли, инвестиции отсутствуют, в то же время потребность в быту и в личных хозяйствах возросла.

Большое число жителей, проживающих в удаленных от областных и районных центров, не входящих в зону обслуживания казахстанской централизованной энергетики, испытывают острый недостаток в электрической энергии. Основными проблемами энергоснабжения таких, изолированных от энергосистем, потребителей являются дальний транспорт топлива для локальных дизельных (бензиновых) электростанций (ДЭС) и зависимость от его поставок. В наиболее удаленных районах эти проблемы усугубляются многозвенной транспортной схемой поставок топлива.

Источники малой мощности, используемые для автономного энергоснабжения, имеют, как правило, низкие технико-экономические показатели - удельные расходы топлива составляют 500-600 г.у.т./кВтч и 300-350 г у.т./Гкал. Дизельные электростанции и котельные зачастую находятся в неудовлетворительном состоянии. Рост цен на топливо способствует повышению стоимости электроэнергии вырабатываемой такими электростанциями.

Одним из перспективных направлений развития автономного энергоснабжения, позволяющих в значительной степени решить проблемы ДЭС, является возобновляемая энергетика, в частности ветроэнергетика.

Многие регионы автономной энергетики Казахстана характеризуются высоким ветровым потенциалом, поэтому важным направлением в развитии децентрализованного энергоснабжения является применение ветро-дизельных станций (ВДЭС) или ветро-солнечных станций (ВСЭС).

В тоже время большое число фермерских хозяйств и садово-огородных участков в стране вообще не подключены к электрическим сетям. Строительство новых линий электропередач для снабжения отдаленных изолированных потребителей не ведется из-за хронической нехватки средств, а дизельные генераторы часто функционируют неэффективно, да к тому же они требуют регулярного и квалифицированного обслуживания.

Современные ветроэнергетические установки делятся на два класса: мощные, в сотни тысяч киловатт, называются сетевыми потому, что при безветрии обеспечение потребителя энергией идет из сети; и автономные, работающие в паре с аккумулятором. Как правило, мощность автономных установок ВЭУММ не превышает 5-10 кВт.

ВЭУММ просты и дешевы в монтаже, эксплуатации и ремонте, экологичны, не требуют при работе практически никакого обслуживания, периодической подстройки и др. Пара ветродвигатель-генератор вполне обходится без редуктора, что еще более упрощает и удешевляет конструкцию, повышает ее надежность. Причем энергоснабжение они могут обеспечить в регионах со средней скоростью ветра всего 3-5 м/с. ВЭУММ дает почти полную независимость, как от традиционных производителей энергии, так и от природных явлений. Нет никакой необходимости создавать мощные моноустановки огромных размеров. Переход в энергетическую область ВЭУ средней мощности достаточно просто осуществить путем создания энергетических комплексов (ЭК), состоящих из нескольких ветроустановок (до 5-10 единиц). Суммирование мощностей осуществляется на едином аккумуляторе. Номинальная мощность ЭК может быть доведена до 10-15 кВт, пиковая мощность - до 20-25 кВт, выработка - до 1800 кВт.ч/мес., при этом стоимость изготовления снижается в 3-4 раза. Подобный комплекс способен полностью обеспечить энергией не то что крупное фермерское хозяйство, но небольшой поселок, куда ЛЭП не дотягивается. Таких поселков в стране до сих пор немало. Правда, для полного спокойствия в него необходимо включить в качестве резервных источников солнечные батареи, а также дизельную или бензиновую мини-электростанцию. Сегодня для производства в достаточном количестве ВЭУММ не требуются серьезные государственные или региональные ассигнования на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, серийное освоение. Установки являются товаром широкого потребления и способны быстро окупаться при реализации. Кроме того, для их изготовления не нужно трудоемких и сложных технологий, дефицитных материалов, высокой квалификации работников: в стране

имеется достаточно много проектных и производственных предприятий с электротехническим уклоном, способных разрабатывать и изготавливать в значительном количестве ВЭУ, налаживание серийного выпуска которых может быть осуществлено всего за полгода - год.

Государственная поддержка программ нетрадиционной энергетики для обеспечения сельских поселков, ферм, удаленных от линий электропередач, - это мировая практика. И обычно государство не только стимулирует производство ВЭУ, но и выделяет фермерам субсидии на их приобретение. Подобный подход к проблеме вполне доступен и в Казахстане. Тем более, что необходимые научно-технические и производственные мощности для выполнения этой программы имеются в стране в избытке.

К числу важнейших направлений развития систем энергоснабжения изолированных потребителей, обеспечивающих повышение качества и экономической эффективности электро- и теплоснабжения за счет снижения потребления топлива, наряду с реконструкцией, является применение возобновляемых источников энергии. Для зон децентрализованного электроснабжения чрезвычайный интерес представляют комбинированные или гибридные установки, сочетающие в себе ВЭС с солнечными панелями или дизельными электростанциями, которые покрывают недостаток вырабатываемой энергии в безветренные промежутки времени.

Скорость ветра и нагрузка потребления являются случайными величинами, что в сочетании с соизмеримостью мощностей основного энергетического оборудования требует согласования в реальном масштабе времени режимов производства и потребления электроэнергии. Частично проблему согласования можно решить, используя в энергетической системе буферные накопители энергии, в качестве которых используются аккумуляторные батареи (АБ).

Для практического использования установок возобновляемой энергетики в составе автономных энергетических комплексов, а также выбора основного энергетического оборудования необходимо решить ряд технических задач, важнейшей из которых является согласование режимов производства и потребления энергии в условиях стохастических временных процессов изменения электрической нагрузки потребителя и мощности первичного энергоносителя, ветра. Опираясь, на нормативные документы и типовые графики нагрузок, необходимо разработать универсальную методику определения нагрузки потребления децентрализованного потребителя.

Основными факторами, определяющими режимы электропотребления населенного пункта, обеспечиваемого электроэнергией от автономной энергетической системы, являются численность жителей и виды электрических нагрузок, которые в общем случае подразделяется на:

– бытовую – нагрузку, потребляемую населением (жилые дома, общежития);
 – социальную – нагрузку, потребляемую объектами социального назначения (магазины, школы, кинотеатры и т.д.)
 – производственную – нагрузку, потребляемую предприятиями.

Существенное влияние на режимы электропотребления могут оказывать географические, климатические и технические характеристики конкретного населенного пункта: среднегодовая температура воздуха, количество зимних и летних дней, уровень комфортабельности коммунально-бытовой сферы и т.п.

Определение нагрузки потребления основывается на использовании типовых графиков электрических нагрузок. Следует отметить, что объединение бытовой и социальной нагрузки с привязкой ее к численности населения, принятое в нормативных документах, обеспечивает невысокую точность прогноза. Потребляемую электроэнергию для поселков, имеющих децентрализованное электроснабжение можно определить по формуле [3]

$$W_{\text{быт}} = 595 \cdot n, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где n - численность населения, чел

Расход электроэнергии на социальные нужды главным образом определяется количеством и типом коммунальных и социальных объектов, расположенных в конкретном населенном пункте, и слабо связан с численностью населения.

Используя получившуюся распространение в ветроэнергетике функцию распределения Вейбулла можно определить вероятность повторения ветра в любом интервале скоростей по формуле

$$f(V) = \frac{dF(V)}{dV} = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k},$$

где $F(V)$ - функция интегральной повторяемости скорости ветра, которая характеризует долю времени (вероятности) того, что скорость ветра равна или ниже, чем V ; c – параметр масштаба; k – параметр формы.

Среднегодовое количество энергии, вырабатываемое ВЭС, можно рассчитать по формуле [3]

$$W_{\text{ВЭС}} = T \sum_{i=1}^m P_i(V) \cdot N_i(V) \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где $P_i(V)$ - повторяемость скорости ветра в данной градации, $N_i(V)$ - выходная мощность ВЭС в данной градации скорости ветра, кВт (определяется по рабочей характеристике ВЭС как среднее значение для данной градации скорости ветра); m – количество градаций скорости ветра; T – число часов работы ВЭС в год.

Многокомпонентная структура электростанции требует также разработки специализированных алгоритмов управления, которые должны обеспечить бесперебойное снабжение потребителя электрической энергией в условиях

изменяющихся внешних факторов, оказывающих существенное влияние на работу основного генерирующего оборудования (нагрузки и скорости ветра). Кроме того, необходимо создание методик рационального выбора типа и мощности силовых агрегатов, а также методик расчета технико-экономических характеристик проекта.

С целью улучшения энергосбережения и энергоэффективности удаленных потребителей от источника питания и обслуживающихся централизованной энергетикой также целесообразна установка ВЭУ с подключением к сети. Очевидно, что наибольшую эффективность будут иметь ветроэнергетические комплексы, установленные в наиболее удаленных от источника поселках.

Для целого ряда потребителей необходима разработка и производство легких передвижных ВЭУ.

Выводы:

- использование комплексных ветроэнергетических установок позволит изменить конфигурацию энергетической системы Казахстана, повысит обеспеченность энергией дефицитных регионов;

- интенсивность внедрение ВЭУ будет зависеть от стоимости 1 кВт-часа, продаваемого традиционными источниками энергии, стоимости комплекса и государственной поддержке программ нетрадиционной энергетики в виде субсидии на их приобретение;

- при наличии неплохих разработок оборудования ... и экономически эффективного потенциала Казахстан катастрофически отстает по объему использования возобновляемых источников энергии;

- экологически чистые источники энергии найдут свою нишу в энергообеспечении потребителей, значительно снизят дефицит энергии изолированных потребителей, смогут обеспечить существенный прирост энергетических мощностей;

- для практического использования установок возобновляемой энергетики в составе автономных энергетических комплексов, а также выбора основного энергетического оборудования необходимо решить ряд технических задач, важнейшей из которых является согласование режимов производства и потребления энергии в условиях стохастических временных процессов изменения электрической нагрузки потребителя и мощности первичного энергоносителя, ветра;

- необходимо создание методик рационального выбора типа и мощности силовых агрегатов, а также методик расчета технико-экономических характеристик проекта, разработки специализированных алгоритмов управления;

- как в ряде других стран в Казахстане необходимо разработать и принять законодательные механизмы, по которым владельцы электрических сетей обязаны принимать в сеть, производимую ветроэнергетическими установками энергию и оплачивать ее по тарифу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Под общей ред. П. П. Безруких. – СПб. : Наука, 2002.

2 **Комарицын, А. А.** Ветроэнергетика и гидрография // Вестник РАН, 2002. – № 9.

3 **Локутин, Б. В., Обухов, С. Г., Шутов, Е. А., Хошнау, З. П.** Обоснование применения буферных накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветро-дизельных электростанций // Электричество, 2012 – № 6 – С. 24 – 29.

4 Национальная Программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015 г с перспективой до 2024 г (проект). – Алматы-Астана, 2007.

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

**ТОО «Инжиниринговая Компания «КОТЭС КАЗАХСТАН», г. Павлодар;

Аксуский завод ферросплавов

***ОАО ТНК «Казхром», г. Аксу.

Материал поступил в редакцию 04.12.12.

А. М. Акаев, А.Е. Батенов*, В. Ф. Говорун*,*

Н. М. Падруль, О. В. Говорун**, Д. В. Говорун****

Қазақстанда жел энергиясының даму потенциалы және қазіргі жағдайы

*С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

**ЖШС «Инжинирингілік компания «КОТЭС КАЗАХСТАН»,
Павлодар қ.;

***ААҚ ТМК«Казхром » Аксу феррокорытпа зауыты,
Аксу қ.

Материал 04.12.12 редакцияға түсті.

А. М. Акаев, А. Е. Batenov*, V. F. Govorun*,*

N. M. Padrul, O. V. Govorun**, D. V. Govorun****

Current status and potential of wind energy development in kazakhstan

*Pavlodar State University named after S.Toraigyrov, Pavlodar;

**LLP "Engineering Company "COTES KAZAKHSTAN", Pavlodar;

***Aksu Ferroalloy Plant OJSC TNC "Kazchrome", Aksu.

Material received on 04.12.12.

Қазақстанда және әлемдегі жел энергетикасының күйіне талдау жүргізілді. Негізгі генерациялаушы жабдықтардың жұмысына ықпал ететін сыртқы факторлар айқындалды. Қазақстанда жел станцияларын қолдану нұсқалары ұсынылды.

Wind energy in the world and Kazakhstan were analyzed. External factors that affect the operation of the main generating equipment were identified. The variants of wind farms in Kazakhstan were introduced.

УДК 621.577:621.311.004.18(574)

А. Ш. Алимгазин^{*}, С. Е. Джусупов^{},
С. Г. Алимгазина^{***}, А. Н. Бергузинов[†]**

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НВИЭ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Проведение совместных с российскими специалистами исследований дало возможность осуществления работы теплонасосной установки (ТНУ) по термодинамическому циклу, приближенному к циклу Лоренца в докритической области, позволило создать ТНУ нового поколения, работающие при больших разностях температур кипения и конденсации, с достаточно высокой эффективностью ($\varphi > 4$), высокой температурой воды для отопления и с увеличенным ресурсом работы, т.е. максимально приспособленные к работе в климатических условиях Казахстана и России.

Впервые в Республике Казахстан планируется внедрение ТНУ нового поколения, работающих на более эффективном, по сравнению с обратным циклом Карно, термодинамическом цикле Лоренца и обеспечивающих подачу теплоносителя в систему отопления с температурой до 80°C (а не 55-60°C, как у ныне производимых зарубежных тепловых насосов).

Вступление

Развитие и усовершенствование тепловых насосных установок (ТНУ), постоянно возрастающий спрос на них, привели к тому, что многие высокоразвитые страны используют их как основной источник в системах отопления и горячего водоснабжения (ГВС) жилых, общественных и производственных помещений, при утилизации низкопотенциальной теплоты в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, сельском хозяйстве и т.д. [1–4].

Так, в Швеции около 70 % отапливаемых площадей обеспечивают ТНУ, а в ее столице, Стокгольме, отопления города обеспечивается тепловыми насосами общей мощностью 320 МВт, использующими как источник теплоты Балтийское море с температурой воды +8 °С. В Японии ежегодно производится около 3 млн. тепловых насосов различной мощности, в США эта цифра составляет около 2 млн. тепловых насосов (доля ТНУ – 35 %), а по прогнозам Мирового Энергетического Комитета к 2020 году доля ТНУ в теплоснабжении развитых странах мира составит 75 % (для сравнения в России – 0,1 %, в Казахстане – 0).

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что в мировой практике меняется стратегия теплоснабжения: происходит переход от традиционного сжигания органического топлива к использованию тепловых насосов для получения рассеянного или сбросного техногенного тепла, имеющего температуру от 5 до 45 °С.

В Республике Казахстан большую потребность во внедрении теплонасосных технологий имеют, в первую очередь, объекты бюджетной сферы, ЖКХ, затраты на теплоснабжение которых соизмеримы со стоимостью ТНУ [5–8].

Государственные организации и учреждения являются наиболее приоритетным рынком, так как социально значимые объекты финансируются за счет бюджетных средств (школы, детские сады, больницы, административные здания и т.д.).

Одно из главных же преимуществ теплонасосного отопления состоит в замене дорогого и дефицитного жидкого топлива, используемого на мелких отопительных котельных, на более дешевый уголь, используемый при производстве электроэнергии на центральных теплоисточниках (ТЭЦ, районных котельных).

При этом сроки окупаемости дополнительных затрат на сооружение ТНУ не превышают 3–4 года за счет экономии топлива и снижения вредных выбросов в атмосферу на отопительных котельных.

Таким образом, по примерным оценкам, только за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и применения для этих целей теплонасосного оборудования можно сэкономить до 10 % от общего количества топливно-энергетических ресурсов, потребляемых в ЖКХ страны [7].

Материалы и методы исследований

На сегодняшний день в Республике Казахстан применение энергосберегающих теплонасосных систем теплоснабжения (ТСТ) практически находится на начальной стадии, в настоящее время в стране, по оценкам специалистов, всего работает

порядка около 350 ТНУ преимущественно малой мощности (от 3–10 кВт тепловой мощности) для теплоснабжения коттеджей в различных регионах страны, в то время как в развитых странах мира ежегодно производится миллионы этих машин.

Как известно, применение ТНУ в Республике Казахстан, как и в России, имеет свои отличительные моменты, которые, в первую очередь, связаны с более длительным отопительным периодом (до 215–230 дней в году), во-вторых, с более суровыми климатическими условиями (до минус 45 – 50° С).

Например, в большинстве развитых стран тепловые насосы (ТН) применяются, в основном, для горячего водоснабжения (около 70 %), а использование чисто отопительных ТН ограничено 30 %. Это связано с малыми отопительными периодами в странах Европы, США и Японии, которые составляют в среднем 3500 ч 3800 часов в год (для сравнения, в г. Астане - 5160 часов), а при таком малом отопительном периоде естественно велик срок окупаемости – (более 7 лет) в то время как при использовании ТН для ГВС – 2ч 4 года.

Поэтому тепловые насосы для суровых климатических условий Казахстана и России должны также отличаться от зарубежных и конструктивно опять же по причине требуемых высоких температур для отопления [9–11].

Известно, что у всех зарубежных производителей ТН температура воды для отопления, получаемая в их ТН, находится в пределах 52–58 °С, т.е. средняя температура около 55 °С. Это максимальная температура воды для теплоснабжения, которую могут выдавать эти ТН, такой температурный режим осуществляется в большинстве ТН и за рубежом. Можно заставить эти ТН выдавать воду для отопления, например, заменив рабочее тело и организовав конденсацию при температуре 75 °С, что позволит получать воду с температурой + 70 °С. Но это приведет к снижению теплопроизводительности на 15-20 %, к резкому снижению коэффициента преобразования и значительному сокращению срока службы ТН 9/.

Следовательно, ТН, которые выдают воду для отопления до + 55 °С, как в Республике Казахстан, так и в России неприемлемы, и необходимо создавать специальные ТН, адаптированные к нашим климатическим условиям.

Для того чтобы понять, каков должен быть необходимый ТН, рассмотрим несколько термодинамических и конструкторских проблем тепловых насосов (рис. 1) [9–11].

На рисунке линия 8–1 - испаритель, в котором тепло низкого потенциала ОНПИ поступает на испарение фреона (т. 8 – 100 % жидкий фреон; т. 1 – 100 % насыщенный пар); линия 1–2 – регенеративный подогрев насыщенных паров до т. 2 теплом горячего жидкого фреона ($Q_{рег}$); линии 2–4 и 2–3 – соответственно адиабатическая и политропическая работы сжатия фреона (Ne). Максимальное количество полезного тепла, получаемого ТН, рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{полез}} = Q_{\text{перегр}} + Q_{\text{конд}} + Q_{\text{ж.ф.}} \quad (1)$$

Если с полезным использованием перегретых паров фреона ($Q_{\text{перегр}}$) и с использованием тепла конденсации ($Q_{\text{конд}}$) нет проблем, то использование тепла жидкого фреона ($Q_{\text{ж.ф.}}$) – одна из основных термодинамических проблем ТН /9/.

Дело в том, что охлаждать жидкий фреон реально можно следующим образом:

- увеличивая регенерацию, но в пределах не более чем 2-3% от $Q_{\text{полез}}$, так как при ее большем увеличении растет температура паров фреона на всасывании в компрессор (т. 2 на TS-диаграмме), а это приводит к уменьшению плотности этих перегретых паров и, соответственно, к уменьшению теплопроизводительности ТН;

- нагревая воду для ГВС, но по требованиям заказчиков на величину, не более 8–10% от $Q_{\text{полез}}$, или частично нагревать обратную сетевую воду, или то или другое.

В итоге можно использовать из всего тепла жидкого фреона (например, для режима $T_{\text{конд}} = 70^\circ\text{C}$, $Q_{\text{ж.ф.}} = 31,5\%$ от $Q_{\text{полез}}$) не более 10–13 %. Остальные 18,5–21,5 % использовать не представляется возможным. При чисто отопительном режиме работы ТН температура дросселирования жидкого фреона даже при увеличенном расходе тепла на регенерацию $Q_{\text{регнер}}$ (что для ТН не всегда выгодно) будет не ниже $+50^\circ\text{C}$, так как температура обратной сетевой воды обычно не бывает ниже $+45^\circ\text{C}$, и никакого другого потребителя тепловой энергии жидкого фреона с температурой ниже $+50^\circ\text{C}$ нет, и, следовательно, некуда использовать тепло жидкого фреона в интервале от $+50^\circ\text{C}$ до температуры кипения, например до 10°C [9–11].

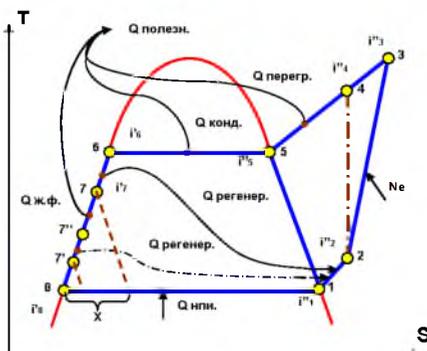


Рисунок 1 – TS-диаграмма реального отопительного цикла теплового насоса

Следовательно, прямая потеря тепла жидкого фреона $Q_{\text{потж.ф.}}$ будет составлять (линия 7–8 на TS-диаграмме) около 70–75 % от $Q_{\text{ж.ф.}}$ или 19,5–21 % от $Q_{\text{полес.}}$. Это прямые необратимые потери.

Коэффициент преобразования ТН определяется формулой

$$\varphi = Q_{\text{ит}} / Ne = 1 + Q_{\text{итп}} / Ne \quad (2)$$

Данное выражение является определением коэффициента преобразования ТН, и, соответственно, оно применимо во всех случаях. Но, с другой стороны, коэффициент преобразования ТН существенно зависит от того, происходит ли (и до какой степени) охлаждение горячего фреона после его выхода из конденсатора ТН. В зависимости от температуры, до которой может быть охлажден фреон, при его дальнейшем дросселировании до давления в испарителе произойдет большее или меньшее его вскипание. Если обозначить полную теплоту парообразования фреона g , то в зависимости от доли X пара, образовавшегося при дросселировании, тепло, которое будет отобрано от низкопотенциального источника ($Q_{\text{итп}}$) за один цикл, окажется пропорциональным $g(1-X)$. Например, при температуре перед дросселем + 50 °С (т. 7 на TS-диаграмме) и дросселировании фреона до давления, соответствующего температуре кипения + 10 °С (т. 8' на TS-диаграмме), доля пара X , поступающего в испаритель, составит 27,2 %.

В итоге

$$\varphi = 1 + (1-X) * Q_{\text{итп}} / Ne \quad (3)$$

– это выражение эффективности работы теплового насоса для чисто отопительного режима. Использование ТН только для ГВС или совместно для отопления и ГВС, но когда доля требуемого тепла для ГВС составляет 35...40% от общей теплопроизводительности ТН, наиболее выгодно как с термодинамической, так и с экономической точки зрения.

Именно из-за трудностей использования тепла жидкого фреона за рубежом 70 % ТН используются для ГВС и только 30% – для отопления. Кроме того, и это самое важное в термодинамике теплонасосного теплоснабжения, с увеличением температуры конденсации (линия 5–6 на TS-диаграмме) в тепловом насосе при увеличении количества тепла, вырабатываемого ТН ($Q_{\text{полес.}}$), количество тепла, отдаваемого потребителю, уменьшается (рисунок 2).

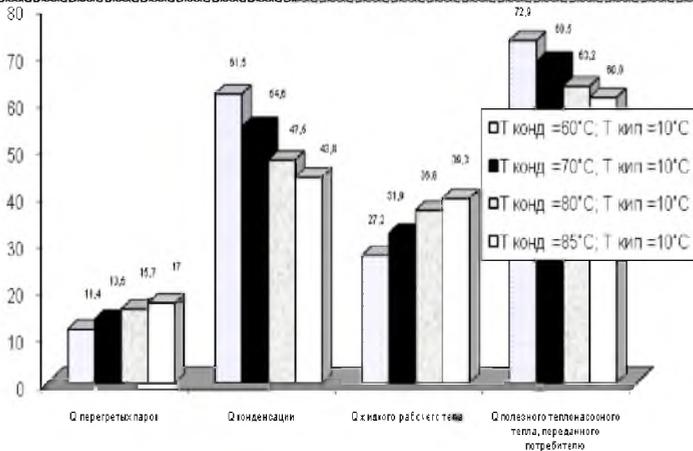


Рисунок 2 – Распределение вырабатываемой ТН полезной энергии при различных температурах конденсации в %

На этом рисунке 2 видно, что при увеличении температуры конденсации с 60 до 70 °С, т.е. при увеличении температуры горячей воды с 55 до 65 °С, общее количество полезного тепла увеличивается примерно на 1%, прежде всего за счет увеличения $Q_{\text{перегр}}$, но $Q_{\text{пт}}$ – тепло, отдаваемое потребителю (формула (4)) с учетом 13% полезно используемого тепла жидкого фреона, – сокращается с 72,9% ($T_{\text{конд}} = 60^\circ\text{C}$) до 68,1% ($T_{\text{конд}} = 70^\circ\text{C}$) при одновременном увеличении затрачиваемой электроэнергии на 4,2 %.

Таким образом, складывается парадоксальная ситуация в случае, если не используется тепло жидкого фреона, а именно, чем выше температура конденсации фреона, тем ниже и теплопроизводительность и эффективность (ϕ) работы теплового насоса.

Это главная причина того, что обычно в ТН, работающих за рубежом, температура конденсации не превышает 60 °С, а температура воды – 55 °С. Такая температура, как у нас, так и за рубежом, не может обеспечить теплом традиционные системы отопления – радиаторные и конвекторные, но может хорошо использоваться в панельных системах отопления, но только в зданиях с пониженными потерями/

Необходимо было отыскать решение, которое позволило бы получать высокие коэффициенты преобразования даже при разности температур $T_{\text{конд}} - T_{\text{кип}} > 80^\circ\text{C}$.

Хорошо известно, что максимальную эффективность ТН можно достичь при работе по циклу Лоренца, т.е. при работе с переменными температурами конденсации в соответствии с изменяющейся температурой нагреваемой в конденсаторе сетевой воды и с переменными температурами кипения в соответствии с изменяющейся температурой низкопотенциального источника по мере охлаждения в испарителе.

Такому переходу от цикла Карно к циклу Лоренца посвящено много работ, в частности, в качестве рабочего тела предлагается смеси (растворы), которые кипят и конденсируются при переменных температурах. К сожалению, эти разработки еще не дошли до стадии даже опытно-промышленной проверки.

В работах [9–13] рассмотрены пути существенного повышения эффективности парокompрессионных ТН, работающих в системе ГВС и отопления, путем организации их работы с максимально полезным использованием всего вырабатываемого в них тепла, при одновременной реализации цикла ТН, приближенного к циклу Лоренца.

Однако, оказалось возможным модернизировать обычный парокompрессионный теплонасосный цикл, приближая его к циклу Лоренца, в том числе и к треугольному, путем замены одиночного теплового насоса на многоступенчатую систему, состоящих из более мелких ТН с суммарной теплопроизводительностью, равной или близкой к теплопроизводительности заменяемого ТН.

Фактически одиночный ТН заменяется намногоступенчатым тепловым насосом (МТН), представляющим из себя при работе в системе ГВС и отопления многоступенчатую теплонасосную станцию (ТНС) (см. Рисунок 3) [11].

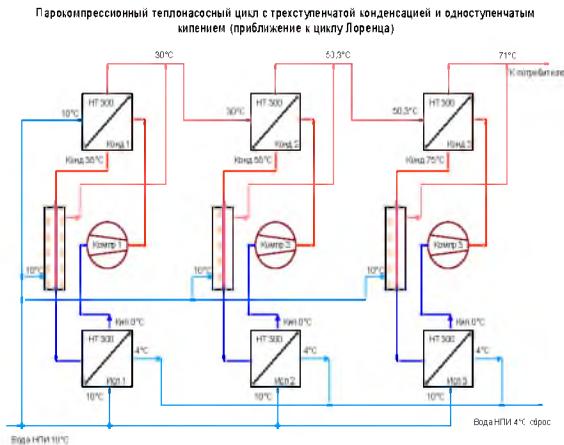


Рисунок 3 – Парокompрессионный теплонасосный цикл с трехступенчатой конденсацией и одноступенчатым кипением (приближение к циклу Лоренца)

При этом, каждый из малых ТН, кроме конечного, работает в своем, более малом интервале температур при своих температурах кипения и конденсации, в результате чего достигается как бы переменность температур

конденсации и кипения, и, следовательно, более высокие коэффициенты преобразования по сравнению с одиночным ТН. Соответственно, и средний по МТН коэффициент преобразования, так же, как и другие показатели, будет выше, чем у обычного одиночного ТН той же производительности.

Максимальный экономический эффект такого схемного решения будет достигнут при бесконечном количестве малых ТН, т.е. наибольшем приближении рабочего цикла к циклу Лоренца, но это приведет к бесконечному увеличению капитальных затрат. Естественно, возникает вопрос, какое же количество ступеней в МТН оптимально? Поэтому совместно с российскими специалистами (ЗАО «Энергия», Новосибирск) был разработан метод оптимизации таких схем, который сейчас применяется в ЗАО «Энергия» для всех теплонасосных установок тепловой мощностью более 1 Гкал/ч. Такие схемные решения позволяют увеличивать коэффициент преобразования при тех же общих температурных интервалах в 1,5–1,8 раза.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, проведение совместных с российскими специалистами исследований дало возможность осуществления работы ТН по термодинамическому циклу, приближенному к циклу Лоренца в докритической области, позволило создать ТН нового поколения, работающий при больших разностях температур кипения и конденсации, с достаточной высокой эффективностью ($\rho > 4$), высокой температурой воды для отопления и с увеличенным ресурсом работы, т.е. максимально приспособленный к работе в климатических условиях Казахстана и России.

В октябре 2012 г. наш многолетний партнер – ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск, генеральный директор Петин Ю. М.), ведущая фирма России в области внедрения теплонасосных технологий, проводит проектные работы по практическому применению ТНУ нового поколения на пилотном объекте - курорт «Горячинск» (пос. Горячинск, Бурятия, Россия). В Республике Казахстан планируется широмасштабное внедрение теплонасосных установок нового поколения, работающих на термодинамическом цикле Лоренца и обеспечивающих подачу теплоносителя в систему отопления с температурой до 80⁰С (а не 55–60⁰С, как у ныне производимых зарубежных тепловых насосов) в ближайшие годы.

В настоящее время сотрудниками кафедры «Теплоэнергетика» совместно с ТОО «Научно-производственная фирма КазЭкоТерм» (г. Астана) проводятся работы по практическому внедрению данной технологии на пилотном объекте в – ГУ «Кадетский корпус имени Ш. Уалиханова» (г. Щучинск) Министерства обороны Республики Казахстан (срок ввода в эксплуатацию объекта – декабрь 2012 г.), а на пилотном объекте социальной сферы в г. Астане (одной из школ г. Астаны) до конца 2013 г. по Региональной Программе энергосбережения г. Астаны [14–15].

Ниже приведены результаты расчетов по пилотному объекту бюджетной сферы г. Астана, переданные в Управление энергетики и ЖКХ акимата г.Астаны (2011 г.) [14].

Таблица 2 – Сравнение различных видов автономного теплоснабжения ГУ «Средняя школа № 44» г. Астаны [14]

Технические характеристики	Тип оборудования	
	Котельная на дизтопливе (2 котла типа КД 2000, КД 2035)	Теплонасосная станция из 3-х тепловых насосов типа НТ – 110
Стоимость оборудования, тыс.тенге	1 734 (только стоимость основного и вспомогательного оборудования)	23 700 (включая стоимость оборудования, монтажа, пуска/наладочных, буровых работ)
Потребляемые энергоносители, их стоимость	Дизельное топливо	электрический ток на привод компрессора
Годовое потребление энергоносителей	183 806 л	9,45 тенге/кВт*час 216 720 кВт*час
Ежегодные эксплуатационные затраты, тыс.тенге/год	16 513	2 328
Стоимость 1 Гкал вырабатываемого тепла, тенге/Гкал	11 349	1 600
Срок службы	2-5 лет	25-30 лет
Пожароопасность	Опасен	Безопасен
Возможность кондиционирования	Не обеспечивает	Обеспечивает
Срок окупаемости ТНУ	-	1,67 года

Сравнение итоговых затрат, приведенное в Таблице 2, дает основание применения теплонасосного источника энергии для автономного теплоснабжения ГУ «СШ № 44 г. Астаны» как экономически более эффективного и экологически чистого (нет никаких выбросов в атмосферу). Видно, что ежегодная экономия суммарных эксплуатационных расходов в случае применения ТНУ в год составляет 14 185 506 тенге/год, а срок окупаемости первоначальных капитальных вложений на установку ТНУ составляет 1,67 года. Учитывая динамику повышения цен на ГСМ, это экономия будет прогрессировать из года в год.

Выводы

Наиболее подготовленной технологией для широкого использования низкпотенциальной тепловой энергии всех видов нетрадиционных источников энергии для целей теплоснабжения потребителей бюджетной сферы, ЖКХ, административных зданий и т.д. в Казахстане в настоящее время является *применение ТНУ*, позволяющих трансформировать низкпотенциальную теплоту ВЭР и возобновляемых природных источников до более высоких температур, пригодных для целей теплоснабжения [15].

Практическая реализация инновационных проектов с применением ТНУ нового поколения в Республике Казахстан позволит продемонстрировать

значительные экономические и экологические преимущества новых технологий, а именно:

– существенную, в 2-4 раза, экономию бюджетных средств страны, расходуемых на автономное теплоснабжение различных объектов социальной сферы и ЖКХ (административные здания, детские сады, школы, больницы, учебные заведения, исправительные учреждения и др.);

– отказаться от действующих систем теплоснабжения объектов (автономные котельные на твердом, жидком топливах, электрокотельные), что существенно улучшит экологическую обстановку в регионах;

– возможность существенного снижения выбросов парниковых газов в окружающую среду и одновременным получением теплоты более высоких параметров для теплоснабжения как административно-производственных зданий и сооружений предприятий, так и различных объектов городской инфраструктуры.

Таким образом, активное и повсеместное внедрение ТНУ нового поколения в Республике Казахстан позволит существенно сократить затраты по отоплению и горячему водоснабжению при строительстве и дальнейшей эксплуатации любых жилых и производственных объектов //.

Экологический эффект от применения ТНУ при замене котельных с традиционными теплоисточниками (автономные котельные на жидком и твердом видах топлив, электрокотельные) – обеспечение экологически чистым видом энергии системы теплоснабжения объектов социальной сферы, ЖКХ и т.д. при полном отсутствии выбросов парниковых газов в атмосферу. Сроки окупаемости капитальных затрат на внедрения теплонасосных технологий составляют в среднем от 2 до 5 лет, в каждом конкретном случае проводятся технико-экономические расчеты, которые определяют этот показатель.

В настоящее время имеются предварительные договоренности и проводятся работы с Министерством обороны, Министерством по чрезвычайным ситуациям, АО «Национальная компания «Қазақстантеміржолы», АО «АстанаСуАрнасы», акиматом г. Астаны, Акмолинской области, СКО и др. по внедрению теплонасосных технологий нового поколения на ряде объектов бюджетной сферы, ЖКХ (школы, детские сады, инфраструктура военных городков, железнодорожных станций и т.п.) в период до 2015 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Рей, Д., Макмайл, Д.** Тепловые насосы. : пер.с англ.– М. : Энергоиздат, 1982. – С. 224.

2 **Петин, Ю. М., Накоряков, В. Е.** Тепловые насосы. // Росс : химич. журнал. – 1997, № 6. – С. 107–111.

3 **Петин, Ю. М.** Опыт десятилетия производства тепловых насосов в ЗАО «Энергия». // Энергетическая политика, 2001, Вып. 3, – С. 28–33.

4 **Султангузин, И. А., Потапова, А. А.** Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения промышленных предприятий и городов. // Металлург, 2010. - № 9. – С. 75–78.

5 **Алимгазин, А. Ш.** Перспективы применения теплонасосных технологий на городских объектах в Республике Казахстан // Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан, № 3, 2009. – С. 32–37.

6 **Алимгазин, А. Ш.** Новые энергосберегающие теплонасосные системы теплоснабжения различных объектов в Республике Казахстан // Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан, № 4, 2009. – С. 22–25.

7 **Алимгазин, А. Ш.** Применение новых экологически чистых и энергосберегающих теплонасосных технологий для теплоснабжения объектов бюджетной сферы в г. Астана и других климатических регионах Республики Казахстан // Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан, № 4, 2009. – С. 28–31.

8 **Алимгазин, А. Ш., Бахтиярова, С. Г., Тяп, Р. Н., Алимгазинов, Д. Ш.** Руководство по применению тепловых насосных установок с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов. *Государственные нормативы в области строительства, градостроительства и строительства.* // Изд-во «Проектная академия KAZGOR», Астана, 2010.– С. 45.

9 **Алимгазин, А. Ш., Петин, Ю. М., Кислов, А. П.** Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в РК. // Вестник ПГУ имени С. Торайгырова, серия «Энергетика», 2010., № 2, – С. 25–39.

10 **Алимгазин, А. Ш., Алимгазина (Бахтиярова), С. Г.** Разработка технологий и внедрение теплонасосных систем теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий в РК с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии // Изд.«Арспринт», Астана, 2010. – С. 171.

11 **Алимгазин, А. Ш.** Разработка схем и технологий использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для теплоснабжения изолированных объектов : автореф. дис. ...д-ра техн. Наук // Алматинский Университет энергетики и связи, 2010. С. 44.

12 **Alimgazin, A. S., Bakhtiyarova, S. G., Kislov, A. P.** Prospects of the Republic of Kazakhstan heat pump heating systems of various objects using low-grade heat relief industry // Germany, PostdamUnivercity, № 10, 2010. p.p. 125–133.

13 **Alimgazin, A. S., Bakhtiyarova, S. G., Kislov, A. P.** Application of energy-containing heat pump technology in heating facilities in different climatic regions in the Republic of Kazakhstan // Czech Republic, Prague, World of Science, № 10, 2010, pp. 45-44.

Электронный журнал «Вестник Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова»

14 Алимгазин, А. Ш., Алимгазина (Бахтиярова), С. Г., Бергузинов, А. Н. Применение энергосберегающих теплонасосных технологий с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии при реконструкции системы теплоснабжения ГУ «СШ № 44 г. Астаны». – В кн. : Материалы Международной научно-практической конференции «Металлургия Прииртышья в реализации программы форсированного индустриально-инновационного развития «Казахстан – 2020», – Павлодар, 2011. – С. 229–234.

15 Алимгазин, А. Ш., Бергузинов, А. Н. Перспективы реализации в Республике Казахстан прсектов по внедрению теплонасосных технологий. – В кн. : Материалы Международной научно-технической конференции «Ш. Шокинские чтения, посвященная 100-летию Ш. Шокина», – Павлодар, 2012. – С. 132–139.

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

**Евразийский Национальный Университет
имени Л. Н. Гумилева, г. Астана;

***ТОО «Научно-производственная фирма
КазЭкоТерм», г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 04.12.12.

*А. Ш. Алимгазин**, *С. Е. Джусупов***, *С. Г. Алимгазина****, *А. Н. Бергузинов**

Қазақстан Республикасында жылумен қамтамасыз ету жүйесінің тиімділік жұмысын жоғарлату және орнату үшін жас ұрпаққа ДЖЭК қолдануға электрмен жабдықтау жылу сорғы технологиясын енгізу және өндеу

*С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

**Л. Н. Гумелев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,
Астана қ.;

***ЖШС «КазЭкоТерм ғылыми-өндірістік фирмасы», Павлодар қ.
Материал 04.12.12 редакцияға түсті.

*Alimgazin A. Sh. **, *Dzhusupov S. E. ***, *Alimgazina S. G. ****, *Berguzinov A. N. **

Development and implementation of energy-saving heat pump technology of the new generation using NRES to increase efficiency of heat supply systems of buildings and facilities in the Republic of Kazakhstan

*Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar;

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

***LLP «Research and Production Company KazEcoTerm», Pavlodar.
Material received on 04.12.12.

Ресей мамандармен бірлесіп өткізген зерттеулер ауыспалы облысына дейінгі Лоренц цикліне шамалас термодинамикалық циклі бойынша жылулық сорғы қондырғының ЖСҚ жұмыс істеуіне мүмкіншілік берді. Сонымен қатар, ол қайнау мен шықтану температуралардың үлкен айырымында, айтарлықтай жоғары тиімділігімен ($\varphi > 4$), жылыту үшін судың жоғары температурамен және кеңейтілген жұмыс қорымен жұмыс істей алады, яғни Қазақстан мен Ресей климаттық жұмыс жағдайларға максималды бейімделген.

Қазақстан Республикасында жаңа ұрпақтың ЖСҚ енгізілуі алғаш рет жоспарлануда: кері Карно циклімен салыстырғанда, одан да тиімділеу келетін Лоренц циклімен жұмыс істеп, жылыту жүйесіне 80 °С температураға (қазіргі кездегі шетелдердің өндіретін жылу сорғылар сияқты 55–60 °С дейін емес) жылу тасымалдаушымен қамтамасыз етеді.

Conducting joint research with the Russian experts has enabled the implementation of the heat pump unit (HPU) in the thermodynamic cycle, approximate to the cycle of Lorenz in subcritical area, has created a new generation of heat pumps operating at greater difference of temperatures of boiling and condensation, with sufficiently high efficiency ($\varphi > 4$), high-temperature water for heating and with extended service life, i.e. as the most fit to work in the climatic conditions of Russia and Kazakhstan.

For the first time the Republic of Kazakhstan plans to introduce a new generation of heat pumps operating in a more efficient, compared with the reverse Carno cycle, thermodynamic Lorenz cycle and supplying coolant to the heating system at temperatures up to 80 °C (instead of 55–60 °C, as at presently overseas manufactured heat pumps).

УДК 621.182.473

**Д. Б. Амиржанова, А. А. Байдельдинова,
А. А. Лысикова, В. А. Глазырин**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛИКАТА НАТРИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ТЕПЛОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассматривается характеристика силиката натрия.

Силикат натрия представляет собой сплав $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$, величина m -называется модулем стекла. После сплава получается стекловидная масса

(силикат-гельба) которую растворяют под давлением в горячей воде при постоянном подогреве ее паром в автоклаве. Полученный раствор называют жидким стеклом.

Под действием силиката натрия, защитная пленка на стали образуется только, если на поверхности стали есть слой окислов железа. Это следует считать благоприятным фактором, поскольку силикат натрия может быть хорошим ингибитором в системах, которые уже подверглись коррозии. Пленка состоит из кремнезема, железа и кальция.

Силикат натрия допускается для обработки питьевой воды. Силикаты не токсичны, не изменяют показателей качества воды, дешевы и недефицитны. Допускаемая концентрация в питьевой воде SiO_2 составляет 40 мг/л. Для обработки воды используют обычно силикаты с модулем 3,0-3,3.

Значения pH более 8,6 ухудшают защиту, также неблагоприятно влияет и наличие магния более 0,2 г/л. Наличие *кальция* в воде *повышает эффективность* снижения коррозии.

При высоких концентрациях в воде ионов SO_4^{2-} и Cl^- требуется повышения дозы силиката натрия в воде. Например, при содержании хлоридов или сульфатов около 100 мг/л концентрация SiO_2 в воде должна составлять не менее 40 мг/л. В тепловых сетях при суммарном содержании $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 200$ мг/л силикатная обработка не рекомендуется. Наиболее благоприятны для образования силикатной пленки скорости движения воды в пределах 0,15–0,6 м/с. Меньшие и большие скорости снижают эффективность защиты.

В системах питьевого водоснабжения дозы силиката натрия в пределах 10–40 мг/л по SiO_2 считаются достаточными для значительного подавления язвенной коррозии. В большинстве случаев рекомендуется в начальный период обработки дозу силиката натрия поддерживать не менее 12–16 мг/л, а через месяц (после образования защитной пленки на анодных участках) она может быть снижена до 4–8 мг/л.

Силикат натрия может также применяться в системах оборотного водоснабжения. Он защищает, кроме Fe, также Zn, Cd, Al (в при малых концентрациях хлор-ионов), Pb, медно-цинковые сплавы. *В анаэробных средах эффективность силикатов не снижается.* Силикат натрия дозируется в воду в виде 1–2 % раствора. Эффективны смеси силикатов с другими ингибиторами, например орто- и полифосфатами.

Растворимый силикат натрия известен как жидкое стекло и используется в самых различных областях производства и для улучшения качества строительных и лакокрасочных материалов. Гомогенный раствор жидкого натриевого стекла обладает вязкими свойствами и в сочетании с другими веществами способен к быстрому отверждению и образованию прочных силикатных камней. Пленка, образующаяся при высыхании растворимого силиката натрия, обладает высокими изолирующими и защитными свойствами, препятствует коррозии, разрушению и горению.

Силикат натрия используется как в виде водного раствора, так и в виде порошка или гранул – так называемых быстрорастворимых гидратированных силикатов – в зависимости от технологии изготовления нужного материала. При перевозке и хранении такие быстрорастворимые силикаты более экономичны и менее требовательны к условиям.

Силикат натрия (жидкое натриевое стекло) образует на поверхности металла прочную плотную защитную пленку в виде соединений $FeO \cdot xFeSiO_2$. Эта пленка экранирует металл от воздействия коррозионных агентов (CO_2 и O_2).

При осуществлении данного способа водогрейный котел полностью заполняется раствором силиката натрия с концентрацией SiO_2 в консервирующем растворе не менее 1,5 г/кг. Формирование защитной пленки происходит при выдержке консервирующего раствора в котле в течение нескольких суток или при циркуляции раствора через котел в течение нескольких часов. Силикат натрия применяется для консервации водогрейных котлов любых типов.

Консервация силикатом натрия проводится при выводе котла в резерв на неограниченный срок при условии, что консервирующий раствор находится в оборудовании в течении всего периода простоя, или выводе котла в ремонт на срок до 2 мес. При проведении ремонтных работ консервирующий раствор сбрасывается, а на поверхности нагрева не должна попадать вода, которая разрушает защитную пленку.

Для приготовления и заполнения котла раствором силиката натрия целесообразно использовать схему кислотной промывки водогрейных котлов или отдельные схемы, включающие бак с насосом.

Раствор силиката натрия готовят на охлажденной воде тепловых сетей или умягченной воде, так как использование воды с жесткостью выше 3 мг-экв./кг может привести к выпадению из раствора хлопьев силиката натрия. Консервирующий раствор силиката натрия готовится в баке при циркуляции воды по схеме «бак – насос – бак».

Ориентировочный расход жидкого товарного силиката натрия составляет от 3 до 9 кг/м³ объема консервирующего раствора.

Перед заполнением котла консервирующим раствором воду из него дренируют. Рабочая концентрация SiO_2 в консервирующем растворе должна быть 1,0 – 3 г/л. Заполнение котла целесообразно вести при рециркуляции раствора по контуру «бак – насос – трубопровод подачи раствора – котел – трубопровод сброса раствора – бак». В этом случае требуемое количество силиката натрия рассчитывается с учетом объема всего контура, включая бак и трубопроводы, а не только объема котла.

При выводе в резерв котел оставляют заполненным консервирующим раствором на все время простоя.

При необходимости проведения ремонтных работ дренирование раствора осуществляют после выдержки в котле в течение не менее 4–6 сут. с таким расчетом, чтобы после окончания ремонта котел

включался в работу. Раствор может быть сдrenирован из котла для проведения ремонта после циркуляции раствора через котел в течение 8–10 ч при скорости 0,5–1 м/с. Продолжительность ремонта не должна превышать 2 мес.

Если котел на время простоя остается с консервирующим раствором, в нем поддерживается избыточное давление за счет наличия консервирующего раствора в деаэраторе тепловых сетей, который, как правило, располагается выше верхней точки водогрейного котла. В период консервации один раз в неделю проверяют наличие консервирующего раствора в котле. При снижении уровня в деаэрационном баке добавляют необходимое количество жидкого силиката натрия и воды, затем перемешивают этот раствор в баке деаэратора или осуществляют рециркуляцию раствора через котел до достижения требуемой концентрации.

Расконсервацию водогрейного котла производят до его растопки вытеснением консервирующего раствора в трубопроводы сетевой воды небольшими порциями (путем частичного открытия задвижки на выходе из котла) по 5 куб. м/ч в течение 5–6 ч для котла ПТВМ–100 и 10–12 ч для котла ПТВМ–180. Это можно выполнять при условии получения концентрации SiO_2 без превышения норм ПДК – 40 мг/кг в сетевой воде.

Вопрос о специфических свойствах силиката натрия как замедлителя общей и локальной коррозии стали оборудования при нахождении его в резерве до сих пор остается открытым. Для получения сравнительной характеристики эффекта защиты опыты выполняли не только с основными соединениями силикатов натрия, но и с продуктами их гидролиза: едким натром и различными формами кремниевой кислоты. Последнюю получали путем трехкратного Н-катионирования растворов дисиликата натрия с концентрацией 1000 мг/л SiO_3^{2-} .

Результаты экспериментов свидетельствуют о четко выраженных защитных свойствах сред, содержащих одну лишь кремниевую кислоту в истинно растворенной и коллоидной формах.

Важной стороной механизма защитного действия на сталь силиката натрия явилось выяснение его реакционной способности по отношению к различным формам оксидов железа, образующихся на поверхности стали.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что наибольшая поглощаемость кремниевой кислоты наблюдается у свежеприготовленного гидроксида железа (II). Поглощение кремниевой кислоты всеми оксидами происходит более интенсивно из Н-катионированных растворов силиката натрия, в которых содержание свободной кремниевой кислоты приближается к 100%. Этот факт подтвердился при проведении сравнительных опытов по проверке степени поглощения кремниевой кислоты гидроксидом железа (II) из растворов с начальным содержанием 400 мг/л SiO_3^{2-} при различных значениях рН.

Ферросиликаты железа, образующиеся на поверхности стали, имеют аморфную структуру. Они адсорбируются катодными участками

поверхности стали, что подтверждается торможением катодной составляющей коррозионного процесса. Последнее обстоятельство было установлено не только методом поляризационного сопротивления, но и в результате проведения электрохимических измерений со снятием поляризационных кривых с использованием дискового вращающегося электрода. Получены зависимости локальной и общей коррозии от концентрации силиката натрия в конденсате. Максимальное значение общей коррозии определено при концентрации силиката натрия (модуль 2) около 100 мг/л. Отсутствие стояночной коррозии наблюдалось в растворах силиката натрия, содержащих 600 мг/л SiO_3^{2-} и более. Для изучения влияния хлоридов и сульфатов на защитные свойства силиката натрия исследования проводили при разных соотношениях смеси этих соединений.

Установлено, что при концентрации 3000 мг/л Na_2SiO_3 (1800 мг/л SiO_2) полностью прекращается и общая, и локальная коррозия в средах, содержащих до 700 мг/л Cl^- , до 860 мг/л SO_4^{2-} или до 430 мг/л $\text{Cl}^- + 350$ мг/л SO_4^{2-} . Силикат натрия обеспечивает практически полную защиту от коррозии углеродистых котельных сталей, независимо от механического напряжения и состояния поверхности. Это можно объяснить диффузионным контролем катодного процесса, установленным экспериментами. В отличие от действия одного едкого натра, недостаточная концентрация силиката натрия для полной защиты практически не вызывает локальной коррозии. Последняя наблюдается лишь в первый момент контакта его со сталью, когда проявляется действие лишь пассивирующих свойств этого вещества, но затем она прекращается вследствие образования ферросиликата в очагах коррозии, на анодных участках. Для углеродистых сталей этот процесс, в зависимости от условий, заканчивается в течение от 1 до 10 сут.

Консервацию поверхностей нагрева водогрейных котлов силикатом натрия рекомендуется проводить при следующих организационных и технических мероприятиях :

- при выводе котла в резерв на срок до 6 мес. или в ремонт на срок до 2 мес.;
- при использовании для заполнения котлов раствором схемы кислотной промывки водогрейных котлов, как завершающей стадии промывки;
- определение ориентировочного расхода жидкого товарного силиката натрия из расчета не от 3 до 9 кг на 1 м³ объема консервирующего раствора, что позволяет установить рабочую концентрацию SiO_2 в консервирующем растворе на уровне 1,0 – 3 г/л;
- определение количества приготавливаемого раствора, исходя из обеспечения заполнения консервируемого котла и схемы циркуляции, включая бак;
- сохранение консервирующего раствора в котле на все время простоя в резерве;
- возможность дренирования раствора при необходимости проведения ремонтных работ после выдержки в котле в течение не менее 4 – 6 суток с расчетом включения котла в работу после окончания ремонта;

– дренирование раствора из котла для проведения ремонта после циркуляции раствора через котел в течение 8 – 10 ч при скорости 0,5 – 1 м/с;

– отбор пробы из воздушников в период консервации один раз в неделю для контроля концентрации SiO_2 в растворе;

– добавление необходимого количества жидкого силиката натрия и организация циркуляции раствора через котел в бак до достижения требуемой концентрации при снижении уровня раствора в консервируемом оборудовании;

– вытеснение консервирующего раствора в трубопроводы сетевой воды небольшими порциями (путем частичного открытия задвижки на выходе из котла) по 5 м³/ч в течение 5 – 6 ч для котла ПТВМ–100 и 10 – 12 ч для котла ПТВМ–180 при расконсервации водогрейного котла перед его растопкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К. Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар. 2011. – С. 728.
- 2 Акользин, А. П., Контроль коррозии металла котлов.
- 3 Колотыркин, Я. М., Металл и коррозия.
- 4 Коррозия и защита металлов : учеб. пособие для вузов / М. А. Шлугер, Ф. Ф. Ажогин, Е. А. Ефимов. – М. : Metallurgia, 1981. – 215 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.12.12.

Д. Б. Амиржанова, А. И. Глазырин, А. А. Байдельдинова, А. А. Лысикова
**Жылу күшін жабдықтауда коррозиядан қорғау үшін натрий
силикатын қолдану**

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 20.12.12 редакцияға түсті.

D. B. Amirzhanova, A. I. Glazyrin, A. A. Baidel'dinova, A. A. Lysikova
Sodium silicate characteristics
Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 20.12.12.

*Бұл берілген мақалада жылу күшін жабдықтауда коррозиядан
қорғау үшін натрий силикатын қолдану қарастырылған.*

The article describes the sodium silicate characteristics.

УДК 621.182

**А. А. Байдельдинова, Д. Б. Амиржанова,
А. А. Лысикова, А. И. Глазырин**

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Рассматриваются ингибиторы коррозии, их виды и область применения.

Одной из наиболее распространенных проблем в производстве любой отрасли промышленности является проблема коррозии металлов, выводящая из строя дорогостоящее оборудование. Коррозия металлов — это процесс окисления ионов металла, который приводит к его разрушению. Особое значение коррозия металлов приобретает в теплоэнергетике, где оборудование работает при высоких температурах и давлении, а также с агрессивной средой. Выходом из ситуации становится применение ингибиторов коррозии металла, которые существенно замедляют процесс коррозии.

Ингибиторы коррозии — это химически активные элементы, которые обладают способностью замедлять процесс коррозии за счет некоторых природных свойств. **Ингибиторы коррозии** металлов чаще всего добавляются в вызывающую коррозию среду, тем самым замедляя процесс разрушения металла, однако некоторая часть, например контактные **ингибиторы коррозии**, требуют непосредственного контакта реагента с поверхностью металла.

Процесс коррозии делится на два основных этапа: анодный и катодный процессы. **Ингибиторы коррозии** металла влияют непосредственно на вызывающий коррозию электрохимический процесс, вследствие чего скорость коррозии существенно снижается.

Разделяют несколько типов сред, которые оказывают коррозионное влияние на металлы: неагрессивные, малоагрессивные и агрессивные среды. Ингибиторы коррозии делятся на несколько типов: ингибиторы кислотной коррозии, нейтральные и щелочные ингибиторы. Каждый из типов ингибиторов коррозии металлов наиболее эффективен при определенных условиях и при обработке определенных металлов, поэтому универсальных ингибиторов коррозии не существует.

Так пленочные **ингибиторы коррозии** адсорбируются на поверхности обрабатываемого металла, образуя устойчивую тонкую пленку, которая покрывает всю обработанную поверхность и эффективно препятствует контакту вызывающей коррозию среды с поверхностью металла, тем самым останавливая разрушение металла.

По иному принципу работают пассивационные **ингибиторы коррозии** металлов. Вступая в реакцию с ионами металла ингибитор коррозии образует нерастворимые прочные соединения, слой оксидов, который также покрывает поверхность металла защитной пленкой.

Катодные **ингибиторы коррозии** металлов в отличие от предыдущих двух типов обладают совершенно иными принципами защиты металла от коррозии. **Ингибиторы коррозии** подобного типа повышают напряжение катодного процесса, одного из этапов коррозии металлов, вследствие чего скорость разрушения значительно снижается.

Выбор оптимального ингибитора коррозии металла напрямую зависит не только от свойства самого ингибитора, но и от свойства обрабатываемого металла, а также от характеристик и условий среды, с которой будет вступать в контакт ингибитор коррозии и обработанная им поверхность металла. Остановимся подробнее на свойствах, характеристиках и принципах действия ингибиторов коррозии различных типов.

Адсорбирующиеся ингибиторы коррозии металла. Существует два типа адсорбции ингибиторов коррозии металлов: физическая и химическая адсорбции. Физическая адсорбция в защите металлов от разрушительного воздействия внешней среды в основном представлена органическими ингибиторами коррозии, в то время как химическая адсорбция в основном реализуется за счет применения неорганических ингибиторов коррозии металлов. Существуют и исключения — неорганические **ингибиторы коррозии** с физической адсорбцией и органические **ингибиторы коррозии** металлов с химической адсорбцией — однако в основном органические и неорганические **ингибиторы коррозии** действуют по-разному.

Физическая адсорбция ингибиторов коррозии металлов обуславливается наличием вандервальсовых сил между поверхностью обрабатываемого металла и самим ингибитором коррозии. Образующаяся в ходе реакции между ингибитором коррозии и металлом пленка при этом легко смывается.

Химическая адсорбция ингибиторов коррозии металлов зиждется на иных принципах. К неорганическим ингибиторам коррозии относят различные летучие вещества, которые при контакте с внешней средой испаряются. Пары летучих ингибиторов вступают в контакт с водяной пленкой на поверхности защищаемого металла и растворяются в ней. Таким образом, насыщенная ингибитором коррозии металла пленка адсорбируется на поверхности металла, препятствует воздействию на него коррозионной среды. Этот метод защиты металлов ингибиторами коррозии также считается адсорбционным.

Основными ингибиторами коррозии металлов адсорбционного метода действия считаются различные амины и их производные, спирты, карбамиды, нитриты и карбонаты. Для выбора наиболее подходящего ингибитора коррозии металлов рекомендуется производить практические испытания, которые выявят

целесообразность применения того или иного ингибитора коррозии в каждом конкретном условиях. Следует помнить, что на эффективность защиты металла влияют такие факторы среды как уровень pH, температура и другое.

Пассивирующие ингибиторы коррозии металлов влияют непосредственно на свойства самого металла, делая его пассивным.

Они обладают схожим принципом действия с адсорбирующимися ингибиторами коррозии — образуется защитная пленка, которая ограничивает воздействие агрессивной коррозионной среды на металл. В отличие от адсорбционных методов **ингибиторы коррозии** металла подобного принципа действия не оседают на поверхности металла, а образуют в ходе реакции труднорастворимые соединения с ионами самого металла. Таким образом, поверхность металла покрывается слоем оксидов, которая предотвращает коррозионное воздействие внешней среды на металл.

Преимуществом подобных ингибиторов коррозии металлов считается трудное удаление защитной пленки, что служит гарантией эффективности защиты металла от коррозионного влияния окружающей среды. За счет образования труднорастворимых соединений ингибиторами коррозии с ионами самого металла достигается высокая эффективность защиты металла.

Эффективность ингибиторов коррозии металлов определяется прежде всего их способностью изменять кинетику электрохимических реакций, к которым относится и коррозия. В зависимости от принципа действия **ингибиторы коррозии** металлов делятся на три типа: анодные, катодные и смешанные **ингибиторы коррозии**. Коррозия металлов делится на два основных этапа – анодный и катодный, именно эти процессы тормозятся ингибиторами коррозии металлов.

К анодным ингибиторам коррозии относят такие реагенты как хроматы и нитриты, то есть пассивационные ингибиторы. Согласно определению, пассивационные **ингибиторы коррозии** вступают в реакцию с ионами металлов и образуют труднорастворимые соединения, которые покрывают поверхность металла на манер защитной пленки. Нитраты и хроматы являются окислителями, поэтому при контакте этих ингибиторов коррозии ионы металлов окисляются и образуется пленка окислов.

К катодным ингибиторам коррозии металлов относят такие **ингибиторы коррозии** как соли мышьяка и висмута, различные органические соединения, которые повышают перенапряжение водорода на поверхности металла. Среди катодных ингибиторов коррозии металлов особое место занимают гидразин, сульфит натрия и другие **ингибиторы коррозии**, которые поглощают катодные деполяризаторы, такие как кислород или нитрит натрия.

Некоторые **ингибиторы коррозии** совмещают в себе свойства не только ингибиторов коррозии, но ингибиторов солеобразования, которое

также существенно затрудняет нормальную работу водопровода, а также разрушает металлические поверхности.

Ингибиторы коррозии металлов двойного действия образуются путем смешения различных реагентов, каждый из которых «ответствен» за замедление той или иной химической реакции.

Для выбора соответствующего всем требованиям каждой конкретной ситуации ингибитора коррозии металлов следует произвести не только полный химический анализ воды, который выявит наличие или отсутствие в воде тех или иных способных повлиять на коррозию веществ, но и такие параметры как свойства самого ингибитора и защищаемого металла.

Применение ингибиторов не способствует умягчению воды. Ингибиторы производят только защиту металла от коррозии.

Применение ингибиторов в теплоэнергетической промышленности.

Перед пуском в эксплуатацию смонтированных котельных агрегатов возникает необходимость удаления с внутренних поверхностей высокотемпературной производственной окалины, продуктов атмосферной коррозии и т.п., основой которых являются оксиды железа (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4). В процессе эксплуатации котельных агрегатов также образуются отложения, накопление которых нарушает ход технологического процесса.

Для удаления отложений с поверхности нагрева котлов используются различные растворы реагентов, в том числе соляная кислота, ингибированная ПБ-5 (продукт конденсации анилина и уротропина в присутствии катализаторов) или В-2 (продукт конденсации кубовых остатков от разгонки бензилхлорида с аммиаком и формальдегидом). В процессе предпусковых очисток котлов применяют 3-5%-ные растворы кислоты при температурах 60-80°C. При разбавлении кислоты до указанной концентрации количество ингибитора будет снижаться до 0,2-0,25%. При химической очистке такими растворами коррозия котельных сталей достигает значительных величин. Для уменьшения коррозии в ингибированную соляную кислоту дополнительно вводят уротропин (0,5%), ОП-7, ОП-10 (0,1-0,3%) или их смеси.

Для использования ингибиторов необходимо знать не только его свойства, но и рекомендуемая область их применения.

НДА – нитрит дициклогексиламина. Это порошок белого цвета с желтоватым оттенком, растворимый в этаноле, метаноле, воде, ацетоне.

НДА предназначен для долговременной, от 1 до 3 лет в зависимости от способа применения и условий хранения оборудования, защиты от атмосферной и микробиологической коррозии изделий из стали, алюминия и его сплавов, никеля, хрома, кобальта, а также можно применять для защиты оксидированных, фосфатированных, алюминированных и хромированных поверхностей.

Порошок засыпается в сублиматор для получения ингибированного воздуха или спиртовых растворов, которыми производят напыление на защищаемые поверхности.

Ингибитор НДА в соответствии с ГОСТ 12.1.007 относится ко 2 классу – классу веществ высокоопасных. ПДК в воздухе рабочей зоны которых до 0,5 мг /м³. Ингибитор НДА горюч. Температура вспышки - 148 °С.

Ингибитор **М-1** – соль циклогексиламина и синтетических жирных кислот фракции C₁₀-C₁₁. Это пастообразное вещество светло-коричневого цвета, растворимое в воде, этаноле, бензине, индустриальном масле. Ингибитор М-1 предназначен для защиты от атмосферной и микробиологической коррозии изделий из стали, чугуна, алюминия и его сплавов. Он обеспечивает защиту до 5 лет в зависимости от способа упаковки и условий хранения изделий. Ингибитор атмосферной коррозии М-1 применяют в виде 5–10 %-ных растворов в бензине и этаноле; 1-5 %-ных растворов в воде; 1-3 %-ной присадки в минеральных маслах, дизельных топливах и керосинах.

Ингибитор КЦА- карбонат циклогексиламина, порошок белого цвета, хорошо растворим в воде и спиртах. Предназначен для защиты от атмосферной и микробиологической коррозии изделий из черных металлов, алюминия и его сплавов, свинцового припоя, серебра, но вызывает коррозию кадмия, меди и ее сплавов, а также магния. Используется при эксплуатации, хранении, консервации и транспортировании в различных климатических условиях (континентальных, морских и арктических). Температура плавления не менее 97 °С. Концентрация водородных ионов (рН) 1 %-ного водного раствора – 9,9–10,4.

Применяют в виде водных и спиртовых растворов, а также в виде добавки к ингибитору НДА в количестве 10–15 %. Обеспечивает срок защиты изделий от двух до трех лет.

Механизм действия КЦА заключается в уменьшении скорости анодной реакции. Ингибитор заметно смещает потенциал стали к более положительным значениям.

Недостатком КЦА является высокая гигроскопичность, а поэтому при повышенной влажности он подвергается разложению и, если герметизация недостаточна, длительность защиты уменьшается. КЦА обладают повышенной по сравнению с другими ингибиторами (например, НДА) проницаемостью через такие барьерные материалы, как полиэтилен, что ограничивает его область применения.

Эффективным оказывается добавление КЦА к менее летучим ингибиторам. КЦА быстро насыщает пространство своими парами и предотвращает развитие коррозионного процесса в начальный период. В дальнейшем происходит постепенное насыщение атмосферы парами менее летучего соединения, что и обеспечивает более длительную защиту. Рекомендуют применять смеси КЦА и НДА.

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., Орумбаев Р.К.,** Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар, 2011. – 728 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 12.12.12.

А. А. Байдельдинова, Д. Б. Амиржанова, А. А. Лысикова, А. И. Глазырин

Коррозия ингибиторлары және оны қолдану

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 12.12.12 редакцияға түсті.

A. A. Baidel'dinova, D. B. Amirzhanova, A. A. Lysikova, A. I. Glazyrin

Inhibitors of corrosion and their application

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.

Material received on 12.12.12.

Бұл мақалада коррозияның ингибиторлары және олардың қолданыстары қарастырылады.

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

УДК 669.168

**А. С. Байсанов*, М. Ж. Толымбеков*,
С. О. Байсанов*, А. К. Жунусов**, Н. С. Сембаев*****

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ХРОМИТОВЫХ РУД В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОТЕРМИИ ФЕРРОХРОМА

В данной статье приводятся данные по кристаллохимическому строению хромшпинелида, как основного вмещающего минерала. Выполнены расчеты по определению распределения катионов в структуре хромшпинелида и техногенных продуктов его восстановления при выплавке высокоуглеродистого феррохрома.

Поскольку к настоящему времени существенно ухудшилось качество хромитовой руды, проблема повышения экономичности выплавки высокоуглеродистого феррохрома и его качества приобрела особую остроту. В связи с чем, с целью уточнения механизма восстановления хромитовой руды при выплавке феррохрома объектами изучения были выбраны пробы (выломки) из ванны застуженной промышленной печи типа РКО–16,5. Наряду с этим были исследованы пробы, извлеченные из ванны действующей печи посредством зонда (металлической трубы с открытыми концами для погружения в ванну до 1400 мм от уровня колошника), а также металлической и шлаковых фаз из ковша и шлаковни. Комплексному изучению были подвержены материалы: а) оксидные составляющие реликтов хромитовой руды из различных горизонтов и шлака; б) корольки и капли сплава – продукты восстановления хромитовой руды; в) корольки и гранулы сплава, извлеченные из шлака от выпуска продуктов плавки из печи «каскадом» (всего 32 пробы). Химические составы шлака и «реликтов» хромитовой руды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химические составы шлака и «реликтов» хромитовой руды

№ пробы	Материал	Глубина отбора, мм	Химический состав, % по массе					
			Cr ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	CaO
1	Шлак	500	25,3	21,1	33,4	12,2	7,0	1,3
2	Шлак	1000	28,4	31,2	24,3	14,3	2,5	1,5
3	Ошлакованный «реликт» руды	1300	27,4	22,7	20,4	15,0	3,2	2,4

5	Ошлакованный «реликт» руды	1600	16,8	3,3	57,9	16,5	3,0	2,4
6	Ошлакованный «реликт» руды	1600	10,2	3,2	63,2	18,6	3,4	1,7

Исследование превращений шихтовых материалов включало химический анализ оксидной и металлической фаз, петрографический анализ хромитовой руды, ее реликтов и шлака из различных горизонтов ванны печи, микрорентгеноспектральный анализ состава структурных составляющих оксидных фаз. Порядок проведения исследований включал маркировку проб, определение их химического состава (таблица 1), визуальный осмотр, приготовление аншлифов, наблюдение структуры посредством оптических микроскопов и микрорентгеноспектрального анализатора (МРСА).

Микроструктуры образцов (аншлифов) изучали с использованием оптического микроскопа «Неофот-21». При этом наиболее представительные участки оксидных и металлических фаз подвергали микрорентгеноспектральному анализу на приборе MS-46 «Cameca». Качественный МРСА фиксирует характеристическое рентгеновское излучение элементов, возникающее в микрообъемах поверхности структурных составляющих образца при возбуждении атомов под воздействием сфокусированного пучка электронов – электронного зонда. При полуколичественной оценке химсостава структурных составляющих проб уровни интенсивности характеристического рентгеновского излучения по $K\alpha$ – линиям элементов измеряли с соответствующими поправками, требуемыми по методике МРСА, – выполняли перерасчет.

Для выполнения МРСА поверхность образцов подполировывали алмазной пастой и обезжиривали. В силу специфики образцов (структурная основа представлена непроводящими электрический ток оксидами) в приборе ВУП 2К на их поверхность распылением угольных электродов наносили прозрачную углеродную пленку толщиной 700–1000 Å, что связано с необходимостью отвода электрического заряда, накапливающегося под действием электронного зонда и искажающего данные МРСА. Указанное существенно повышало чувствительность зонда и стабильность результатов замеров. Характеристики исследованных проб по результатам визуальной оценки и петрографического анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты микроскопического структурного анализа образцов реликтов руды, шлака и металла

№ пробы	Петрографическое описание образцов
11	Руда хромовая. <u>среднекрупленная</u> (марка ДХ-1), содержащая 0,05% S. Структура представлена зернами <u>хромшпинелидов</u> , скрепленными цементной связкой.
12	Оплавляющая руда. Микроструктура представлена зернами <u>хромшпинелидов</u> , размягчаемыми при взаимодействии с силикатной связкой. Появляются поры и трещины. Имеет место остекление цементной связки и относительное увеличение ее количества.
13	В микроструктуре наблюдается дальнейшее развитие процессов размягчения зерен <u>хромшпинелидов</u> при взаимодействии их с силикатной связкой. В силикатной связке и порах <u>хромшпинелидов</u> наблюдается появление мелкодисперсных корольков металла, как продукта косвенного восстановления.
14	Микроструктура такая же, как в образцах №№ 12-13. Наблюдается увеличение размеров и количества пор, дальнейшее оплавление и размягчение зерен <u>хромшпинелидов</u> , коагуляция корольков металла.
25	Решки руды, вынесенный струей шлака из летки электропечи. Визуально зональная ее структура практически сходна со структурой образцов № 21 и 24.
27	Феррохром товарной марки ФХ800 (ГОСТ 4757-79); в структуре две фазы - карбиды $(Cr,Fe)_7C_3$ и $(Cr,Fe)_{23}C_6$. Присутствие серы (сульфидов) отмечается в более темной по цвету фазе - $(Cr,Fe)_{23}C_6$.

Анализ изменения химического состава извлеченных из печи выломок (таблица 1, 2) показал, что в оплавленных «реликтах» кусков хромитовой руды (например, образцы № 5 и 6) процессы восстановления железа и хрома из хромшпинелидов сопровождались твердофазными превращениями. Петрографический анализ структуры реликтов выявил в них растрескивание зерен хромшпинелида, взаимодействие зерен с остеклованной силикатной связкой, наличие корольков металла и сульфидов, развитие пористой структуры рудного зерна. Определенная методом стереографической металлографии (планиметрия) объемная доля цементной связки на основе серпентина в исходной руде составила в среднем 18 %, а остеклованной силикатной связки в реликтах – 23–28 %. О существенных изменениях в кусках хромитовой руды свидетельствует также и «сверхвысокая» для кристаллохимической структуры хромшпинелида концентрация оксида магния. При исходном отношении $MgO/Al_2O_3 = 1,83$ в хромитовой руде в «реликтах» (пробы 5 и 6) оно составило 3,4. Этот факт заслуживает быть особо отмеченным и проанализированным, поскольку ранее вопросы восстановления хромшпинелидов рассматривались, в основном, в аспекте тривиальной термохимии реакций взаимодействия оксидов железа и хрома с углеродом, а также результатов петрографических исследований.

Более высокое содержание MgO в «реликтах» хромитовой руды (пробы 5 и 6) можно было бы объяснить частичным восстановлением катионов Al^{3+} путем диффузионного транспорта их через реакционные слои магнезиохромита или же переходом их в состав шлаковой фазы. В этом случае должна была быть нарушена электронейтральность шпинели

из-за дефицита катионов Me^{3+} , так как в структуре ее снизилось содержание катионов Cr^{3+} . Поэтому следует заключить, что высокое содержание MgO (57,9 %) в пробе 5 и (63,2 %) в пробе 6 связано с наличием в образце не только магнезиохромита, но и MgO -содержащей фазы, возможно периклаза. Оставшиеся невосстановленными до конца «реликты» хромитовой руды (пробы 5 и 6) представляют собой по «набору» катионов Me^{2+} и Me^{3+} наиболее устойчивую в кристаллохимическом и термодинамическом аспекте структуру, соответствующую идеальной шпинели $Me^{2+}Me_2^{3+}O_4$.

По результатам микрорентгеновского спектрального анализа хромшпинелиды в образцах использованной в плавку хромитовой руды имели состав (таблица 3), % по массе: Cr 42,86–43,88; Fe 9,07–10,51; Si 0,05–0,09; Mg 9,08–9,24; Al 4,74–4,98; S 0–0,01; MgO 15,8–1,57; Al_2O_3 8,35–9,36; MgO / Al_2O_3 1,83. С целью подтверждения отмеченного выше предположения приводятся результаты расчета катионного состава «реликтов» хромитовой руды образцов 5 и 6, содержащих в % по массе, соответственно (таблица 1) : MgO 57,9, 63,2; $Fe^{2+}O$ 3,0, 3,4; $Cr_2^{3+}O_3$ 16,8, 10,2; Al_2O_3 16,5, 18,6; SiO_2 3,3, 3,0; CaO 2,4, 1,7. Поскольку катионы Si^{4+} и Ca^{2+} в решетке шпинели практически не растворяются [1], приведем к 4-компонентной системе составы «реликтов» 5 и 6, соответственно, в % по массе: MgO 61,5, 66,2; $Fe^{2+}O$ 3,2, 3,6; $Cr_2^{3+}O_3$ 17,8, 10,7; Al_2O_3 17,5, 19,5 при MgO / Al_2O_3 3,51, 3,39.

Таблица 3 – Химический состав составляющих хромовой руды и ее реликтов

Структурная составляющая	Содержание элементов, % по массе						
	Cr	Fe	Si	C	Mg	Al	S
Хромшпинелид	42.86-43.88	9.07-10.59	0.05-0.09	-	9.08-9.24	4.74-4.98	0-0.01
Сerpентиновая связь	2.37-3.82	0.59-1.66	14.55-17.65	-	18.30-22.22	0.12-1.81	0.003-0.17
Карбид	55-77	12-20	-	9	-	-	-
Железистая Фаза	14-24	67-87	2,5-3,5	-	-	-	-

Оксидные составляющие рудных «реликтов», извлеченных из ванны печи, практически не выявляют содержание серы. Вероятно, зондирование электронным лучом на приборе MS-46 не позволяет обнаружить серу, входящую в кристаллическую решетку хромшпинелида из-за малой ее концентрации, хотя сера с хромом дает соединение Cr_3S_4 со структурой шпинели.

На основании полученных результатов, термодинамического анализа реакций восстановления хромитовой руды и представленных данных

катионного перераспределения хромшпинелида, можно наметить модель механизма перераспределения компонентов между металлической и шлаковой фазами. Поэтому для уточнения природы «реликтов» хромовой руды и механизма ее восстановления, выполнены кристаллохимические исследования трансформации руды в ванне печи, включающие расчет распределения катионов по структурным позициям кристаллохимической решетки шпинели в пробах материалов, отобранных из ванны печи. Химические составы изученных проб 5 и 6, приведены выше (таблица 1). Поскольку методами петрографии и физического материаловедения не обнаружены катионы Ca^{2+} и Si^{4+} в составе шпинели [1], то при вычислении распределения компонентов по структурным позициям не рассматривалось вхождение ионов Ca и Si в позиции решетки шпинели. Мольная доля (n_i) элементов в решетке шпинели определена по уравнению

$$n_i = \frac{P_i/A_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i/A_i}, \quad (1)$$

где P_i - массовая доля элемента, %;

A_i - атомная масса элемента (результаты расчета катионного состава проб 5 и 6 даны в таблице 4).

Таблица 4 – Содержание и мольная доля элементов кристаллохимической структуры «реликта», приведенного к формуле $\text{A}_8\text{B}_{16}\text{O}_{32}$

Номер пробы	Показатель	Элемент				
		Mg	Fe	Cr	Al	O
5	Pi	31,9 0,306	2,33 0,008	5,74 0,023	4,28 0,036	46,95
	ni					0,627
6	Pi	38,1 0,331	2,64 0,009	3,48 0,013	4,67 0,036	45,91
	ni					0,607

Количество катионов A^{2+} и B^{3+} в элементарной ячейке хромшпинелида рассчитано по соотношениям:

$$(n_1/n_0) \cdot 32 = x_1^{\text{факт}}; \quad (2)$$

$$x_1^{\text{факт}} \cdot 24 / \sum_{i=1}^{i=n} x_i^{\text{факт}} = x_1^{\text{расч}}, \quad (3)$$

где n_1 – мольные доли элементов;

$x_1^{\text{факт}}$ – количество катионов в шпинелиде; $x_1^{\text{расч}}$ – количество катионов, соответствующее структуре $\text{A}_8\text{B}_{16}\text{O}_{32}$ (расчет).

Сомножитель $24 / \sum_{i=1}^{i=n} x_i^{\text{факт}}$ характеризует степень заполнения катионами позиции решетки, а вычислительная процедура преследует цель привести фактический состав структуры, имеющий искажения из-за замещения катионов в тетра- и октаэдрических позициях, к идеальному распределению по схеме $A_8B_{16}O_{32}$. В таблице 5 даны результаты расчета распределения катионов в шпинельной структуре $A_8B_{16}O_{32}$. Соответственно формула шпинели материала «реликта» в пробах 5 и 6 может быть описана следующим катионным распределением: образец 5 – $(Mg_{19,91}Fe_{0,189})(Cr_{1,469}Al_{2,123})O_{32}$, образец 6 – $(Mg_{20,46}Fe_{0,515})(Cr_{0,788}Al_{2,215})O_{32}$.

Приведенные формулы катионного распределения свидетельствуют о том, что расчетное число катионов в тетраэдрических позициях (Mg, Fe) значительно превышает энергетически разрешенные 8 позиций в упорядоченных структурах шпинели. Поскольку внутрикристаллическое распределение катионов полностью определяется структурной упорядоченностью, то расчетное катионное распределение не позволяет считать образцы 5, 6 «реликтами» исходного рудного сырья. То есть они представляют собой продукт о взаимодействия в процессе восстановления, воздействия температуры и частичного растворения рудного зерна хромитовой руды в образующемся шлаковом расплаве. Расчетная формула шпинели свидетельствует об имеющем место «перенасыщении» катионами магния подрешетки с тетраэдрами.

Таблица 5 – Распределение катионов в шпинельной структуре

Число катионов	Элемент				Примечание
	Mg	Fe	Cr	Al	
	Образец 5				
n_i/n_0 x_i	0,488 15,61	0,012 0,384	0,036 1,152	0,052 1,664	S
x_i расч.	19,91	0,489	1,469	2,123	
	Образец 6				
n_i/n_0 X_i	0,545 17,44	0,014 0,448	0,021 0,672	0,059 1,888	S
x_i расч.	20,46	0,525	0,788	2,215	

Выполненные в рамках данной работы комплексные исследования состава продуктов восстановления хромитовой руды, с применением методик петрографического и металлографического анализов позволили идентифицировать карбиды $(Cr, Fe)_7C_3$, зерна шпинели $MgAl_2O_4$, незначительные количества периклаза MgO, форстерит Mg_2SiO_4 и стекловидную силикатную фазу. Конечным продуктом восстановления хромшпинелида является шпинель $MgAl_2O_4$, свободная от ионов железа и хрома, и обнаруженные в образцах остальные оксидные фазы можно

представить как результат кристаллизации фаз из оксидного расплава системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. При этом взаимодействуют с образованием и распадом по эвтектическому механизму соединения: типа шпинели MgAl_2O_4 , форстерит Mg_2SiO_4 и другие, сосуществующие в продуктах восстановления хромитовой руды. Для обобщения результатов исследования дифференциации хромитового сырья по данным распределения катионов в структуре шпинели рассмотрим данные:

а) валовые химические составы руд и реликтов (таблица 6) с учетом положения о размерном и энергетическом запрете вхождения катионов кальция и кремния в решетку структуры хромшпинелида [1] и присутствия оксидов кремния и кальция в составе силикатного цемента связки [2];

б) результаты расчета распределения катионов в структуре решетки $\text{A}_8\text{B}_{16}\text{O}_{32}$ по уравнениям (11-12) (таблица 7).

Расчетные формулы катионного состава свидетельствуют о соответствии структуры исходной руды строению решетки шпинелида и о его существенном искажении по мере развития процесса восстановления: число катионов (образцы № 2 и 3) в тетраэдрах значительно превышает энергетически разрешенные 8 позиций в упорядоченных структурах шпинели.

Таблица 6 – Химический состав хромшпинелида, связки исходной руды и реликтов

Материал	Массовая доля, %						MgO/ Al ₂ O ₃
	MgO	FeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	
Хромшпинелид (образец №)	15,3	12,1	64,1	9,40	0,2	Сл.	1,62
Силикатная цементная связка	15,141,1	12,04,1	63,5	-	-	-	1,62 3,50
	57,9	3,0	9,6 16,8	3,4 16,5	39,8 3,3	0,2 2,4	
Реликт (образец № 2)	60,0 63,2	3,3 3,9	18,5 10,2	18,1 10,2	- 3,0	- 1,7	3,31 3,39
Реликт (образец № 3)	64,8	4,2	11,0	20,0	-	-	3,24

Анализ распределения катионов по структурным позициям свидетельствует о диффузии ионов железа и хрома из решетки шпинелида, некотором повышении содержания Al^{3+} в октаэдрических позициях и значительном, сверхдопустимом для существования кристаллохимической структуры хромшпинелида увеличении катионов магния. Из-за дефицита катионов Me^{3+} электронейтральность шпинелей структуры компенсируется диффузионным массопереносом ионов магния из шлакового расплава, формирующихся в результате плавления силикатной цементной связки на основе серпентина.

Таблица 7 – Определение целевого состава рудного хромшпинелида, реликтов и распределение катионов в их структуре

Показатель	№ образца	Элемент				
		Mg	Fe	Cr	Al	O
Массовая доля элемента p_i	1	9,10	9,33	43,44	4,82	33,31 39,23
	2	36,17	2,56	12,65	9,39	39,77
	3	39,07	3,26	7,52	10,38	
Мольная доля элемента n_i	1	0,101	0,045	0,230	0,049	0,573 0,573 0,631
	2	0,325	0,009	0,053	0,075	
	3	0,343	0,012	0,030	0,082	
Число молей элемента, приходящихся на 1 моль кислорода, $x_i (n_i/n_0)$	1	0,176	0,078	0,405	0,085	- - -
	2	0,607	0,016	0,0990	0,140	
	3	0,645	0,022	0,056	0,154	
Число катионов*, входящих в структуру с 32 атомами кислорода, $x_i \text{факт}(n_i/n_0 \text{Ч})$	1	5,632	2,496	12,832	2,720	-
	2	19,424	0,512	3,168	4,480	-
	3	20,640	0,704	1,792	4,928	-
Число катионов**, входящих в структуру $A8B16O32$, $x_i \text{факт}$	1	5,70	2,53	13,00	2,76	-
	2	16,90	0,44	2,75	3,89	-
	3	17,65	0,60	1,53	4,21	-
Структурная формула	1	$(Mg_{5,70}Fe_{2,53})(Cr_{13,00}Al_{2,76})O_{32}$				
	2	$(Mg_{16,90}Fe_{0,44})(Cr_{2,75}Al_{3,89})O_{32}$				
	3	$(Mg_{17,65}Fe_{0,65})(Cr_{1,53}Al_{4,21})O_{32}$				

* Сумма катионов составляет: № 1 – 23,680, № 2 – 27,584, № 3 – 28,064.

** Сумма катионов составляет 24.

Очевидно, роль шлаковой фазы, образующейся при плавлении силикатной связки, сводится не только к ускорению растворения зерен хромшпинелида, но и последующему прямому восстановлению железа и хрома из шлакового расплава как к одному из определяющих звеньев процесса, контролирующего распределение катионов в структуре хромшпинелида. В ходе восстановления хромшпинелида диффузионная подвижность катионов регулируется изменением состава хромшпинелида. Исследования [3] параметров диффузии в структуре шпинели $(Mg, Fe)Al_2O_4$ ионов железа и магния при температурах 1073–1307 К подтверждают влияние состава шпинели на диффузионную подвижность катионов. Для шпинели $(Mg, Fe)Al_2O_3$ с массовой долей железа 5% коэффициент диффузии D составил $9,1 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$, с увеличением содержания железа до 25% значение D снизилось до $9,4 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$, то есть почти на порядок. Распределение катионов по структурным позициям в хромшпинелиде, контролируемое диффузионными процессами, подчиняется тем же общим закономерностям, что и распределение элементов между сосуществующими минеральными фазами в продуктах плавки.

В ходе восстановления и сопутствующего катионного перераспределения в структуре кристаллохимической решетки хромшпинелида развивается дифференциация исходного хромсодержащего сырья.

При этом взаимодействуют с образованием и распадом по эвтектическому механизму соединения: магнезиальная шпинель $MgAl_2O_4$, форстерит Mg_2SiO_4 и другие, сосуществующие в продуктах восстановления хромовой руды.

Таким образом, в данной работе обобщены данные по кристаллохимическому строению хромшпинелида, как основного вмещающего минерала. Выполнены расчеты по определению распределения катионов в структуре хромшпинелида исходной хромовой руды и техногенных продуктов его восстановления в руднотермической печи при выплавке высокоуглеродистого феррохрома. Показано различие структуры решетки хромшпинелида исходной руды и реликтов рудного слоя, обусловленное развитием диффузионных массопотоков катионов, и обсужден механизм восстановления хромшпинелида с участием компонентов шлакового расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Балакирев, В. Ф., Бархатов, В. П., Голиков, Ю. В. и др.** Манганиты : Равновесные и нестабильные состояния. – Екатеринбург. : УРО РАН РФ, 2000. – 398 с.

2 **Гриненко, В. И., Поляков, О. И., Гасик, М. И. и др.** Хром Казахстана. – М. : Metallургия , 2001. – 416 с.

3 **Есин, О. А., Гельд, П. В.** Физическая химия пирометаллургических процессов. – М. : Metallургия, 1966. – 703 с.

*Химико-металлургический институт
имени Ж. Абишева, г. Караганда;

**Инновационный Евразийский университет,
г. Павлодар;

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

Материал поступил в редакцию 12.12.12.

А. С. Байсанов, М. Ж. Толымбеков, С. О. Байсанов,

А. К. Жунусов, Н. С Сембаев

Феррохром электротермия жагдайында хромитті кендерінде табиғи хромшпинелидтерінің өзгеруі

*Ж. Абишев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды қ.;

**Еуразиялық инновациялық университеті, Павлодар қ.

***С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 12.12.12 редакцияға түсті.

Baisanov A.S., Tolymbekov M.J., Baisanov S.O., Zhunusov A.K., Sembayev N.S.

Transformation of natural chrome spinelides of chromite ores in conditions of ferrochromium electrothermy

* Chemical and Metallurgical Institute after Zh. Abishev, Karaganda;

** Innovative University of Eurasia, Pavlodar.

***Pavlodar State Universiti named after S.Toraigyrov, Pavlodar.

Material received on 12.12.12.

Бұл мақалада хром кендерінің негізгі минерал хромошпинелидтің кристаллохимиялық құрылысының зерттеу нәтижесі көрсетілген. Хрошпинелидтердің құрылымында катиондарын бөлісу және кентермиялық пештерде жоғары көміртекті феррохром балқытуы техноген өнімдерінің тотықсыздырдану анықтау есептері орындалынған.

Investigation of crystal-chemical structure of chrome spinellide is described in the paper. Distribution of cations was estimated for chrome ore spinellide and the products of reduction process taking place during high-carbon ferrochrome smelting in submerged arc furnace.

УДК 621.182.94

**А. Е. Бакланов, А. И. Кеасов, Ж. К. Азаматова,
Д. Н. Тимов, Б. Азаматов, С. В. Григорьева**

БЕССТОЧНАЯ СХЕМА ГИДРОЗОЛОУДАЛЕНИЯ ТЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНОВ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Применение гидроциклонов с изменяемой геометрией в автоматизированной системе управления технологическим процессом бессточного гидравлического удаления золошлаковых отходов ТЭС и котельных, включающей автоматизированные узлы очистки загрязненных золошлаковых смесей в гидроциклонах и транспорт их в золоотвал, с ликвидацией сбросов продувочных вод в водоемы, функционирующей на базе специализированного электронного контроллера с прикладным программным обеспечением.

Президент Н. А. Назарбаев неоднократно отмечает в числе приоритетных направлений необходимость создания новых экологически безопасных технологий, быстром обмене ими, при этом новой идеологией должно стать развитие альтернативной энергетики и продвижение энергоэффективности.

В топливном балансе ТЭС Казахстана доля пылеугольных станций, работающих на Экибастузских углях, достигает 80 %. Эти угли не имеют аналогов в мире, отличаются высокой зольностью (до 60 %) и повышенной абразивностью золы, что приводит к сбросу в водоемы неоправданно больших объемов загрязненных стоков (продувочных вод), оцениваемых в целом по Республике величиной 1430000 м³/год, содержащих 505 т/год солей при средней концентрации 300 г/л. Системами гидравлического удаления золошлаковых отходов (ГЗУ) оборудованы практически все ТЭС и котельные Казахстана, работающие на углях, что объясняется высокой экономичностью гидротранспорта.

На транспорт 1т золошлаков в виде гидропульпы в системах ГЗУ расходуется от 20 до 100 м³ воды, что соответствует от 2-х до 8-ми м³/час на 1 кВт установленной мощности ТЭС. В процессе транспортировки гидропульпы в золоотвал вода загрязняется веществами, растворяющимися из золошлаков, преимущественно из мелкодисперсной летучей золы, поэтому для предотвращения зарастания солевыми отложениями насосов и трубопроводов осуществляется постоянный или периодический сброс части воды в качестве продувки для поддержания безопасного уровня минерализации циркулирующей в системе воды. В связи с этим создание автоматизированной экологически чистой и экономически эффективной технологии бессточного гидрозолоудаления ТЭС и котельных, устраняющей сброс сточных продувочных вод в поверхностные водоемы, является востребованной и актуальной задачей.

Отметим, что интенсивное внедрение гидроциклонов в промышленность определяется рядом существенных их преимуществ (в работах Акопова М.Г., Классена В. И., Батурова В. И., Лейбовского М. Г., Байдукова В. А., Прилуцкого Я. Х., Лейбовского М. Г. Каган С. З., Кутепова А. М., Михайлова П. М., Халатова А. А., Вайнберга Р. Ш., Bradley D., Lilge E. O. и др.) [1–12], по сравнению с аппаратами, выполняющими аналогичные задачи, но работающие по другим принципам, такие как отстойники, сгустители, классификаторы и т.д. В отдельных случаях гидроциклоны используются в сочетании с этим оборудованием, значительно повышая эксплуатационную надежность и эффективность разделения в целом.

Гидроциклоны просты по конструкции, компактны, высокопроизводительны, дешевы в изготовлении, могут располагаться в непосредственной близости от основных технологических участков, и удобны в эксплуатации (благодаря отсутствию вращающихся деталей и узлов). Например, сравнительная оценка

затрат на строительство с применением напорных гидроциклонов показывает, что капитальные затраты в 10–15 раз меньше, чем в варианте с отстойниками. Сравнение приведенных затрат показало, что в варианте с напорными гидроциклонами годовые затраты в 2.5 раза меньше.

В данной работе предлагается новая конструкция гидроциклона с изменяемой геометрией, а так же описывается предложенная схема автоматизации процесса ГЗУ с использованием последовательно расположенных каскада гидроциклонов.

Общая схема технологического процесса ГЗУ на типичной ТЭС показана на рисунке 1.

В ней предусмотрена организация внутриванционного оборота осветительной воды, сгущение золошлаковой пульпы в пристанционном узле специальных сооружений до содержания твердого 50-65% (по массе) в гидросмеси и ее перекачку в золоотвал. Консистенция сгущенной пульпы принимается из условия баланса воды в золоотвале близкого к нулю и технической возможности перекачки пульпы. Для подпитки замкнутого ГЗУ, вследствие потерь осветленной воды в мокрых золоуловителях и со сгущенной золошлаковой пульпой, используется нефтесодержащие и засоленные стоки химической водообработки (ХВО). Технология подготовки сгущенной пульпы предусматривает отдельный отбор шлака и зольного осадка для их использования в строительстве. На рисунке 3 приняты следующие обозначения: 1 – делитель пульпы; 2 – конусный гидрогрохот; 3 – односитовый грохот; 4 – бункер для шлака; 5 – транспортер ленточный; 6 – дробилки мелкого дробления; 7 – гидроциклон; 8 – шламовый насос; 9 – плотномер радиометрический; 10 – накопитель перемешиватель пульпы; 11 – багерный насос; 12 – резервуар осветленной воды; 13 – насос осветленной воды.

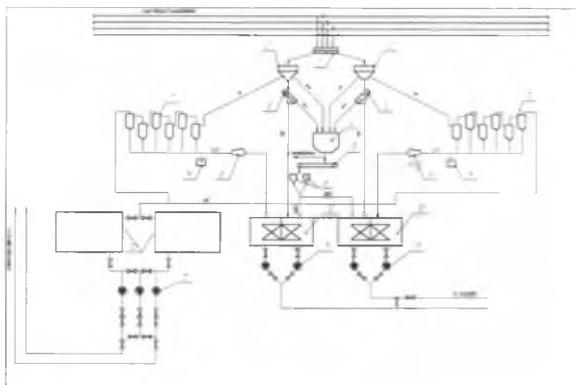


Рисунок 1 – Общая схема технологического процесса ГЗУ

Техническое решение циклона с изменяющейся геометрией показано на рисунке 2. Регулировка формы резиновой вставки 1 осуществляется за счёт регулировки подачи 2 и слива 3 воды в полость, ограниченную прорезиненным цилиндром, закреплённым по верхней и нижней стороне периметра.

Регулировка входного и выходных отверстий осуществляется с использованием шиберов. Расчет параметров осуществлялся на основе приведенных выше моделей с использованием программы моделирующую работу гидроциклона. Реализация данного программного продукта была выполнена в среде программирования Delphi.

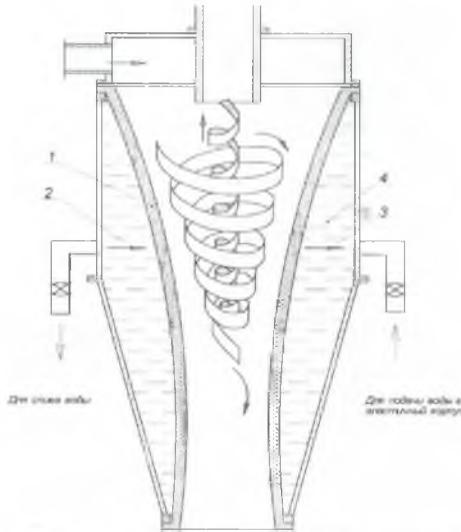


Рисунок 2 – Техническое решение гидроциклона с изменяющейся геометрией

Функциональная схема автоматизации системы управления гидроциклонами показана на рисунке 3, который одновременно показывает интерфейс автоматизированной системы управлением контроллера.

Шлак и зола с водой насосом E5 закачивается под давлением в циклон E1, при этом давление смеси контролируется датчиком давления I3. Конструкция циклона позволяет изменять внутреннюю форму за счёт расширения резиновых вставок при подаче воды в промежуток между стенкой циклона и герметичной резиновой вставкой. Расширение стенок регулируется клапанами воды V1, V2 и контролируется датчиком давления воды П1. Благодаря измерению концентрации шлака и золы на выходе из циклона датчиками I7, I6 регулирование геометрии позволило на выходе добиться снижения концентрации шлаков и золы до 60%. При этом важным фактором явилось правильная установка давления на входе циклона в зависимости от выбранной геометрии. Аналогично происходит

управление вторым гидроциклоном. При работе контроллера формируется журнал, отражающий состояние портов контроллера с численными значениями, полученными с датчиков и численными значениями сигналов управления. Благодаря сформированным файлам журнала можно осуществлять анализ работы автоматизированной системы управления и создавать банк журналов работы контроллера для различных пород угля и тем самым оперативно настраивать всю систему управления при изменении условий сгорания.

Добавление второго циклона с аналогичной системой управления, сделало возможным избежать создание отстойников для очистки воды, а так же открыло перспективы создание системы замкнутых циклонов без вывода из технологического процесса используемой воды, и как следствие, значительное уменьшение загрязнений, связанных с прямым сливом шлаков и золы в отстойники и изменением окружающей среды за время естественной очистки воды. При этом автоматизированная система настраивает геометрию второго циклона с учётом работы первого циклона.

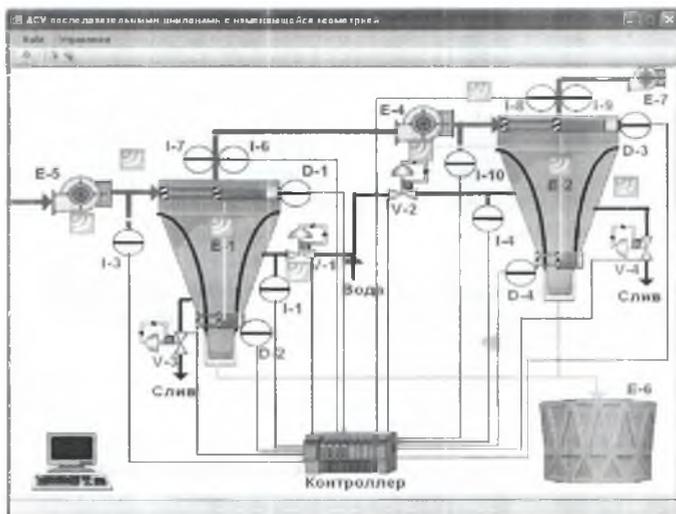


Рисунок 3 – Интерфейс автоматизированной системы управления гидроциклонами

На рисунке 4 представлены зависимости изменения концентрации шлака и золы на выходе от регулирования диаметров впускного d_1 и выпускного d_2 трубопроводов подачи золошлаков в гидроциклоны 1 и 2.

На рисунке 5 показаны зависимости изменения концентрации на выходе гидроциклона 1 (слева) и гидроциклона 2 (справа) от изменения формы внутренней поверхности гидроциклона за счёт изменения давления в резиновой вставке. Из

на графике видно что, с увеличением давления внутри гидроциклона происходит снижение концентрации шлама и золы на выходе. Давление внутри гидроциклона регулируется подачей воды между корпусом гидроцилиндра и прорезиненной вставкой I (рисунок 2). Датчики давления воды I3 считывают информацию и подают его к контроллеру, и ЭВМ.

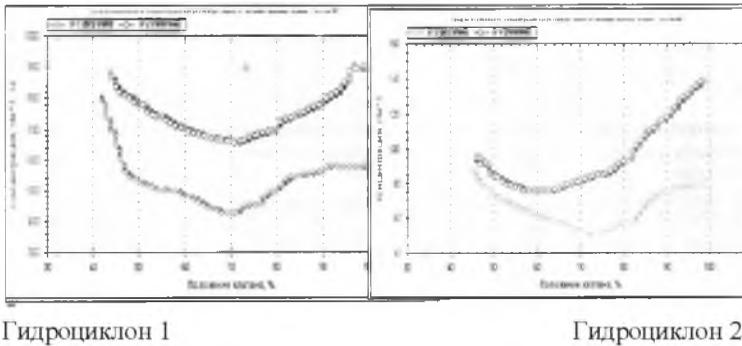


Рисунок 4 – Изменение концентрации шлама и золы на выходе от регулирующих диаметров впускного d1 и выпускного d2 трубопроводов подачи воды

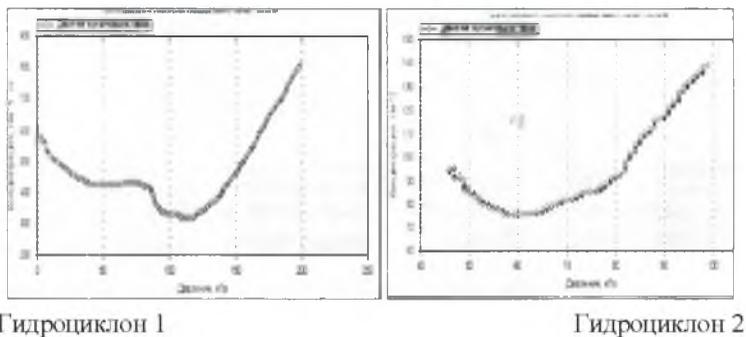


Рисунок 5 – Изменение концентрации шлама и золы на выходе от объема (изменения давления) прорезиненной вставки

Зависимости, представленные на рисунке 5, имеют характерные минимумы, по которым осуществляется настройка системы регулирования. В то же время режимы работы гидроциклона номер два имеют значительные отличия от работы гидроциклона номер один, так как на входе подаётся смесь, прошедшая первичную очистку и имеющая в своём составе частицы иного диаметра,

нежели на входе первого гидроциклона. Это хорошо видно на сравнительных зависимостях, приведённых на экспериментальных графиках.

Опытным путем, изменяя давление подачи и слива воды, значение степени открытия и закрытия впускных и выпускных диафрагм, получаем на выходе сливного патрубка различные значения концентрации золы и шлака. Датчики концентрации золы и шлака фиксируют каждое изменение концентрации золы и шлака и тем самым производят запись в базу данных ЭВМ. В дальнейшем при подаче различной по объему, массе и давлению шлака и золы в полость гидроциклона, автоматизированная система на основе созданной базы данных будет подбирать для конкретного случая наименьшую концентрацию шлака и золы на выходном патрубке.

В результате работы представленной автоматизированной системы при регулировании параметров входных выходных диафрагм и объёма гибкой вставки по зависимостям, аналогичным, представленным на рисунках 4 и 5 для обоих гидроциклонов с последовательной настройкой обоих циклонов экспериментально было получено снижение концентрации примесей в воде до 0.5-3 %. Такие параметры позволили получить экологически чистые режимы работы ГЗУ в котельных.

Следует отметить, что разработанная автоматизированная система может использоваться в ГЗУ на различных котельных и ТЭЦ без существенного изменения программного кода для контроллера, за счёт автоматического регулирования подстройки изменения геометрии циклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Акопов, М. Г.** Основы обогащения углей в гидроциклонах. М. : Недра. 1967. – 178 с.
- 2 **Батуров, В. И., Лейбовский, М. Г.** Гидроциклоны. Конструкция и применение. М. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1973. – С. 59.
- 3 **Байдуков, В. А., Прилуцкий, Я. Х., Лейбовский, М. Г.** Новые конструкции отечественных напорных гидроциклонов. М : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982. – С. 40.
- 4 **Каган, С. З.** Гидроциклоны, их устройство и расчет. // Химическая промышленность. 1956. № 6. – С. 27–38.
- 5 **Кутепов, А. М.** Стохастический анализ гидромеханических процессов разделения гетерогенных систем // Теорет. основы хим. технологии. 1987. № 2. – С. 147–156.
- 6 **Мустафаев, А. М., Гутман, Б. М.** Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М. : Недра, 1981. – 260 с.

7 **Найденко, В. В.** Применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах. Горький, Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. – 287 с.

8 **Поваров, А. И.** Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М. : Недра. 1978. – 232 с.

9 **Терновский, И. Г., Кутепов, А. М.** Гидроциклонирование. М. : Наука, 1994.

10 **Халатов, А. А., Вайнберг, Р. Ш.** Использование закрученных потоков в технологических процессах и аппаратах // Исследование и промышленное применение гидроциклонов. Горький. 1981. – С. 187–189.

11 **Bradley D.** The hydrocyclone. L. : Pergamon press, 1965. – 331 p.

12 **Lilge E. O.** Hydrocyclone fundamentals // Bull. Inst. Miner, and Metall. 1962. – Vol. 71, № 667. – P. 285–337.

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.
Материал поступил в редакцию 25.12.12

*A. E. Baklanov, A. I. Kvasov, Zh. K. Azamatova, D. N. Titov, B. Azamatov,
S. V. Grigoreva*

**Өзгермелі геометриямен гидроциклондардың қолданылуымен
ЖЭС гидрозолы жоюдың ағынсыз сызбасы**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік
техникалық университеті, Өскемен қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

*A. E. Baklanov, A. I. Kvasov, G. K. Azamatova, D. N. Titov, B. Azamatov,
S. V. Grigoreva*

**Endorheic scheme of thermal power plant's hydraulic ash removal with
the use of hydrocyclones with changeable geometry**

D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university
Material received on 25.12.12.

Геометриясы өзгертін гидроциклондар арқылы ластанған күл-қож жоспарларын қоюланатын автоматтандырылған торлартарына кіретін қолданбалы ақпараттық қамту басқармасы бар арнайы электронды контроллер негізінде жұмыс істейтін ЖЭС және қазандақтардың күл-қож қалдықтарын ағынсыз гидравликалық шығару технологиялық процесін автоматты басқару жүйесі және су қоймаларына жіберілетін үрленетін қалдықтарын жойып, оларды күлүйінділеріне тасымалдау.

The use of a whirler with variable geometry in the automatied control system of the technological process of closed hydraulic ash wastes removal at heat stations and boiler plants including automated knots concentrating polluted ash mixtures in hydrocyclones and transporting them to the ash-disposal area with the eliminating the discharge of bleed water into basins functioning on the basis of the specialized electronic controller with the application software.

УДК 681.3.06

В. А. Бороденко

РАЗЛОЖЕНИЕ НА ПРОСТЫЕ ДРОБИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В MATLAB

Рассмотрены проблемы, затрудняющие использование программного продукта MATLAB в учебном процессе.

В процессе обучения студентов теории автоматического управления (ТАУ) предусматривается знакомство с методами разложения изображения по Лапласу на простые дроби, аналитической записи такого разложения и соответствующего оригинала. Программная среда MATLAB® фирмы Math Works, Inc [1] предоставляет широкие возможности для исследования систем управления во временной области, однако при работе с ней, как и со всяким другим программным продуктом, необходимо учитывать некоторые особенности.

Для разложения на простые дроби в MATLAB можно использовать либо функцию `ilaplace()` из раздела символьной математики, либо функцию `residue()`. Сравним их достоинства и недостатки.

Если при вызове исследуемая функция не взята в апострофы, символьные переменные должны быть объявлены явно, объявление производится оператором `syms`. Единичному импульсу (дельта-функции) в символьической математике соответствует функция `dirac(t)`, а единичному скачку – функция `heaviside(t)`. Они функционируют как при прямом `laplace()`, так и при обратном `ilaplace()` преобразовании Лапласа. Функция `ilaplace()` возвращает сразу оригинал в виде суммы составляющих, причем коэффициенты даются в целочисленном выражении

```
>> syms s t
>> q=1.23*heaviside(t)+2.34*exp(-3.45*t)
q = % функция 1,23 *1(t) + 2,34e-3,45t
```

```

117/(50*exp((69*t)/20)) + (123*heaviside(t))/100
>> qs=laplace(q) % прямое преобразование Лапласа
qs =
117/(50*(s + 69/20)) + 123/(100*s)
>> qt=ilaplace(qs) % обратное преобразование Лапласа
qt =
117/(50*exp((69*t)/20)) + 123/100
>> qt=vpa(ilaplace(qs),4) % приведение к стандартному виду
qt =
2.34/exp(3.45*t) + 1.23

```

Возвращаемый программой MATLAB версии 7.11 результат обратного преобразования Лапласа неудовлетворителен с точки зрения учебного процесса (отрицательные полюсы представлены положительными числами, экспонента находится в знаменателе), более привычным и понятным для студентов был результат в версии 7.01, совпадающий с описанием экспоненциальной функции в ТФ (передаточная функция) и ZPK (нули-полоса-коэффициент) моделях.

```

>> qt=vpa(ilaplace(qs),4) % результат в версии 7.01
qt =
1.230+2.340*exp(-3.450*t)

```

Рассмотрим случай, когда порядок m полинома числителя num равен порядку n полинома den знаменателя изображения $W(s) = \frac{3s^2 + 2s + 1}{s^2 + 2s + 2}$

```

>> w=(3*s^2+2*s+1)/(s^2+2*s+3);
>> wt=ilaplace(w) % обратное преобразование Лапласа
wt =
3*dirac(t) - (4*(cos(2^(1/2)*t) + (2^(1/2)*sin(2^(1/2)*t))/2))/
exp(t)
>> ws=laplace(wt) % прямое преобразование Лапласа
ws =
3 - 4/((s + 1)^2 + 2) - (4*(s + 1))/((s + 1)^2 + 2)
>> ws=simplify(laplace(wt)) % упрощение
записи
ws =
3 - (4*s + 8)/(s^2 + 2*s + 3)

```

Здесь в разложении появляется составляющая в виде дельта-функции, а изображение в результате прямого преобразования Лапласа записывается: после

упрощения – в виде частного и дробного остатка, а до упрощения – в виде частного и дробей синусоидальной и косинусоидальной составляющих.

Суммарный график или графики отдельных мод можно построить функцией `ezplot(y,t)`, где y – исследуемая функция (рисунок 1).

```
>> syms s t
>> w=-4/((s+1)^2+2); t=0:0.01:4;
>> y=ilaplace(w)
y =
-(2*2^(1/2)*sin(2^(1/2)*t))/exp(t)
>> ezplot(y,t), grid
```

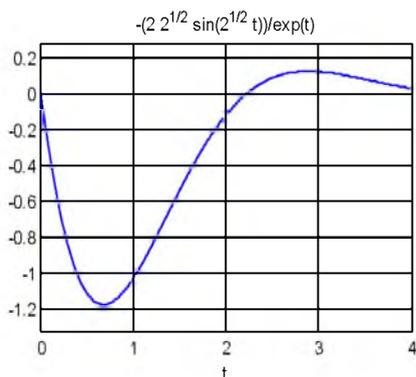


Рисунок 4.7

Не всегда выражение, возвращаемое функцией преобразования `ilaplace()`, приемлемо для дальнейшего использования, например, при достаточно простом изображении $W(s) = \frac{5}{s^3 + 2s^2 + 3s + 4}$ имеем маловразумительный оригинал

```
>> w=5/(s^3+2*s^2+3*s+4);
>> temp=ilaplace(w)
temp =
5*sum(exp(r3*t)/(3*r3^2 + 4*r3 + 3),...
r3 in RootOf(s3^3 + 2*s3^2 + 3*s3 + 4, s3))
```

Не способствует лучшему восприятию и преобразование формата

```
>> temp=vpa(temp,4)
temp =
exp(t*(-0.1747 + 1.547*i))*(-0.5469 - 0.5218*i) +
```

$$\frac{\exp(t * (-0.1747 - 1.547 * i)) * (-0.5469 + 0.5218 * i) + 1.094 / \exp(1.651 * t)}{}$$

В таком виде результат практически полностью соответствует результату, возвращаемому функцией `residue()`, оба результата требуют дополнительной обработки

```
>> [r,p,k]=residue(5,[1 2 3 4])
```

```
r =
```

```
1.0938
```

```
-0.5469 - 0.5218i
```

```
-0.5469 + 0.5218i
```

```
p =
```

```
-1.6506
```

```
-0.1747 + 1.5469i
```

```
-0.1747 - 1.5469i
```

```
k =
```

```
[ ]
```

Обсудим применение функции `residue (num,den)`. Реакцию системы в аналитическом виде (оригинал) по ее изображению Лапласа можно найти, задав полиномы $b (m)$, $a (n)$ числителя `num` и знаменателя `den` рациональной дроби изображения самостоятельно, либо получив их из модели. Функция `residue()` выводит значения вычетов в полюсах (коэффициентов числителей), полюсов и свободной части разложения на простые дроби. Вычеты (элементы вектора \mathbf{r}) печатаются в том же порядке, в каком выводятся полюса (вектор \mathbf{p}) – первый сверху вычет соответствует первому полюсу, т. е. корню характеристического уравнения, и т. п. Пользуясь таблицей соответствий оригиналов и их изображений по Лапласу, можно составить оригинал для действительного полюса λ с вычетом α

$$\frac{\pm \alpha}{\pm \lambda} \pm \alpha * \exp(\pm \lambda * t) \quad (1)$$

и для комплексной пары полюсов и вычетов (здесь α, β – действительная и мнимая части вычета, λ, ω – аналогичные части полюса)

$$\frac{\pm \alpha \pm j \beta}{\pm \lambda \pm j \omega} \div 2 * \exp(\pm \lambda * t) * (\pm \alpha * \cos(\omega * t) \mp \beta * \sin(\omega * t)) \quad (2)$$

Плюс перед β справа записывается при несовпадении знака мнимой части у соответствующих друг другу вычета и полюса.

Коэффициенты для кратных полюсов выводятся программой в порядке возрастания кратности, т. е. сначала коэффициент и полюс в степени 1, затем

в степени 2 и так до максимальной степени корня. В качестве примера найдем ко-эффициенты разложения для функции $5/(s+1)^3$.

```
>> [r,p,k]=residue(5,[1 3 3 1])
r =
    0
    0
    5
p =
-1.0000
-1.0000
-1.0000
k =
[]
```

Напомним, что оригинал подобного разложения должен быть записан по таблице соответствия в виде $0 \cdot e^{-t} + 0 \cdot t \cdot e^{-t} + 5/2 \cdot t^2 \cdot e^{-t}$.

Обращение `[num, den]=residue(r, p, k)` позволяет восстановить по разложению на простые дроби вид изображения, например, проверить правильность вычисления коэффициентов числителей простых дробей, если они выполнялись не в среде MATLAB. Отсутствующее значение `k` должно вводиться при этом в виде пустой матрицы. Заметим, что элемент вектора `k` будет ненулевым только при равенстве степеней полиномов числителя и знаменателя изображения.

Имея аналитическую запись оригинала, можно рассчитать и построить временную характеристику, например, организовав цикл типа FOR ... END в интервале времени от 0 до `tust` для заданного количества точек (время `tust` удобно взять из переходной характеристики, либо из столбца `p` по формуле $5/(\min|\operatorname{Re}(p)|)$). Длинную формулу можно продолжить на другой строке, прервав знаком многоточия. Заметим, что вместо матричного умножения используется поэлементное перемножение массивов, обозначаемое точкой перед знаком умножения.

Найдем оригинал функции $W(s) = \frac{5}{s^3 + 2s^2 + 3s + 4}$ с помощью разложения на простые дроби и обратного преобразования Лапласа, используя функцию `residue()` и формулы 1–2.

$$W(s) = \frac{1.0938}{s + 1.6506} + \frac{-0.5469 - 0.5218i}{s + 0.1747 - 1.5469i} + \frac{-0.5469 + 0.5218i}{s + 0.1747 + 1.5469i}$$

$$w(t) = 1.0938e^{-1.6506t} + 2 * e^{-0.1747t} (-0.5469 \cos 1.5469t + 0.5218 \sin 1.5469t)$$

Расчет значений оригинала в интервале $0-t_{\text{уст}}$ (30 с) с шагом 0.1 с и построение графика для двух комплексных сопряженных полюсов и одного действительного полюса

```

>> t=0:0.1:30;
>> y = 1.0938*exp(-1.6506*t)+2*exp(-0.1747*t)...
.*(-0.5469*cos(1.5469*t)+0.5218*sin(1.5469*t));
>> plot(t,y), grid, title 'Оригинал передаточной функции'

```

Оригиналом передаточной функции является импульсная функция, поэтому полученная характеристика по виду и числовым значениям должна совпадать с импульсной (рисунок 2).

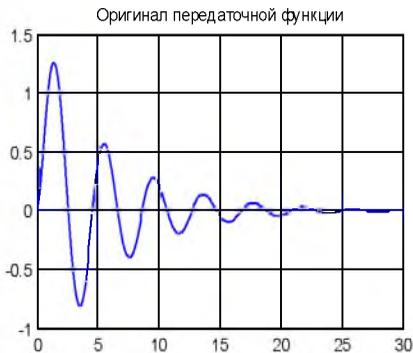


Рисунок 2

В качестве дополнения к штатным функциям разработана функция `resp` (`sys, tf`), аргументами которой являются SISO объект `sys` и длительность моделирования `tf`. Функция возвращает изображения (передаточные функции) для каждой составляющей оригинала изображения `sys` и построенные на одной фигуре суммарный и индивидуальные графики составляющих переходного процесса.

```

function [w] = resp(sys, time)
% Построение составляющих оригинала функции SYS за время time

```

```

[num, den]=tfdata(sys,'v');
[r,p,k]=residue(num,den);
id=0;
for ik=1:length(r)
    if imag(p(ik))>0 % комплексный корень
        [num,den]=residue([r(ik) r(ik)'],[p(ik) p(ik)'],[]);
        id=id+1; w(id)=tf(num,den);
    end
    if isreal(p(ik)) % действительный корень

```

```

id=id+1; w(id)=tf(r(ik), [1 -p(ik)]);
end
end
clf, hold on
impulse(sys,'!', time);           % общий график
for ik=1:id
    impulse(w(ik),'k',time);      % отдельные составляющие
end
title 'Составляющие оригинала'
hold off

end

```

Выведем изображения отдельных составляющих и их графики (рисунок 3) с помощью функции `resp()` за период 30 с. Нумерация изображений и графиков их оригиналов совпадает. Каждой паре комплексных сопряженных полюсов и каждому действительному полюсу соответствует одно изображение в том же порядке, в каком они представлены функцией `residue()`, вывод изображений (функций передачи), если необходимо, блокируется точкой с запятой.

```

>> w=tf(5,[1 2 3 4]);
>> resp(w, 30)

```

Transfer function from input 1 to output:

```

1.094
-----
s + 1.651

```

Transfer function from input 2 to output:

```

-1.094 s + 1.423
-----
s^2 + 0.3494 s + 2.423

```

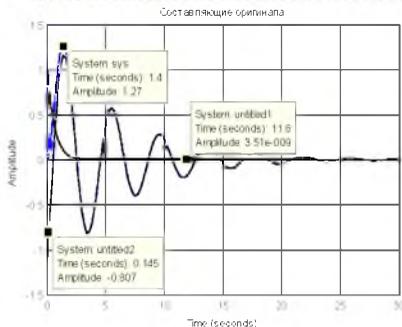


Рисунок 3

Таким образом, для каждой составляющей переходного процесса мы получили аналитическое выражение и возможность построения отдельного графика.

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 25.12.12.

В. А. Бороденко

MATLAB басқару жүйесін зерттеу барысында қарапайым бөлшектерге бөлу

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

V. A. Borodenko

Decomposition on partial fractions at control systems research in MATLAB

Pavlodar State Universiti named after S.Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 25.12.12.

Оқу үрдісінде MATLAB бағдарламалық өнімді қолдануына кедергі жасайтын мәселелері.

The problems complicating the use of software product MATLAB in educational process are considered.

УДК 621.316.925

В. А. Бороденко

ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТИ ПРИКЛЮЧЕННОЙ СЕТИ НА РАБОТУ АВТОМАТИКИ ВВОДА РЕЗЕРВА

Рассматривается влияние емкости сети на работу устройств автоматики подстанций с электродвигателями.

Развитие энергосистем одновременно сопровождается качественным и количественным изменением состава нагрузки потребителей: от ограниченного количества асинхронных электродвигателей малой мощности до появления в узлах нагрузки групп асинхронных и синхронных электродвигателей (ЭД) большой единичной мощности. В то же время, увеличивается объем специфических производств с непрерывным технологическим процессом, не допускающих перерывов питания длительностью более 0,5...1,0 с. Все перечисленное предъявляет повышенные требования к эффективности функционирования локальных средств системной автоматики и прежде всего автоматики включения резервного питания (АВР). Выбор и настройка параметров устройств автоматики при наличии на объекте синхронных (СД) и асинхронных двигателей определяется, в первую очередь, процессами их индивидуального или группового выбега [1].

При наличии двигательной нагрузки быстроедействие обычных пусковых органов АВР на реле минимального напряжения при перерывах электроснабжения оказывается неудовлетворительным из-за медленного затухания остаточного напряжения на секции с выбегающими ЭД. С потерей рабочего питания напряжение на шинах с ЭД (особенно синхронными) исчезает не сразу (рисунок 1).

Происходит выбег двигателей с длительным понижением уровня генерируемого напряжения по закону, близкому к экспоненциальному, время его снижения до значения $0,25U_{ном}$ может составлять десятки секунд. Дополнительному увеличению длительности затухания остаточного напряжения способствуют подключенные к секции конденсаторные батареи, используемые для компенсации реактивной мощности [2]. Кроме того, напряжение погашенной секции может в момент потери питания возрасти

до 1,3 номинального значения, если перед аварией синхронная нагрузка работала в режиме компенсации реактивной мощности [3].

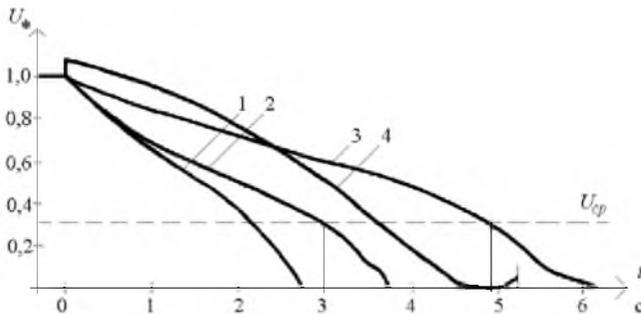


Рисунок 1 – Изменение остаточного напряжения ЭД при выбеге

Кривая 1 характеризует снижение напряжения на секции с выбегающим синхронным электродвигателем (СД) 630 кВт аммиачного компрессора. Кривая 4 отображает изменение остаточного напряжения при выбеге СД 1000 кВт насоса водоснабжения (через 5 с двигатель раскручивается в обратную сторону, спустя 5,2 с отключается защитой минимального напряжения). Опыт подтверждает, что напряжение перевозбужденного СД в момент потери связи с питающим источником не только не уменьшается, но, наоборот, возрастает.

Остаточное напряжение секции с выбегающей группой СД 320 кВт поршневого компрессора и АД 1000 кВт турбокомпрессора азотно-кислородного цеха снижается до уставки срабатывания $U_{ср}$ пускового органа АВР минимального напряжения за 3 с (характеристика 2). Установлено, что при анализе процессов выбега двигателей на погашенной секции необходимо учитывать емкость подключенной сети наравне с наличием конденсаторных батарей. Так, приключенная к секции питающая линия с кабелем ААШБ–6, 4 × (3 × 185) длиной 660 м увеличила длительность затухания до уставки АВР остаточного напряжения той же группы из СД 320 кВт и АД 1000 кВт на 1,9 с (кривая 3). При этом подача резервного питания на секцию с указанными ЭД через 1,1 с привела к повреждению соединительной муфты поршневого компрессора, т.е. длительность перерыва более 1 с для данного процесса оказалась недопустимой.

Таким образом, при расчетах времени срабатывания АВР минимального напряжения и допустимости самозапуска электродвигателей, помимо стандартных обстоятельств, следует также учитывать емкость соединенных с секцией в момент потери питания кабельных линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Слодарж, М. И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. – М. : Энергия, 1977.
- 2 **Барзам, А. Б.** Системная автоматика. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
- 3 **Бороденко, В. А., Колфман, Ю. А.** Обеспечение надежности электроснабжения химических производств. – М. : НИИТЭХИМ, 1984.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

В. А. Бороденко

Резервтің автоматика енгізу жұмысына қосылған желілі сыйымдылығының әсері

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

V. A. Borodenko

Influence of networks capacity on behavior of automatic reserve supply device

Pavlodar State Universiti named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 25.12.12.

Электр қозғалтқыштарымен подстанцияларындағы автоматика құрығыларының жұмыстарына сыйымдылық желісінің әсерлері қарастырылады.

Influence of network capacity on an automatic devices behavior at substations with electric motors is considered

УДК 621.316.925

В. А. Бороденко

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА СТРУКТУРУ УСТРОЙСТВ СИСТЕМНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассматриваются особенности построения устройств автоматики на подстанциях с электродвигателями.

Развитие энергосистем одновременно сопровождается качественным и количественным изменением состава нагрузки потребителей: от ограниченного количества асинхронных электродвигателей малой мощности до появления в узлах нагрузки объединений асинхронных и синхронных электродвигателей (ЭД) большой единичной мощности. В то же время, увеличивается объем специфических производств с непрерывным технологическим процессом, не допускающих перерывов питания длительностью более 0,5...1,0 с. Все перечисленное предъявляет повышенные требования к эффективности функционирования локальных средств системной автоматики (СА).

Как следствие, происходит изменение параметрических и структурных характеристик средств СА в узлах нагрузки – прежде всего автоматики включения резервного питания (АВР), защиты от потери питания (ЗПП) и частотной разгрузки (АЧР) на подстанциях потребителей.

Быстродействие обычных пусковых органов АВР на реле минимального напряжения при перерывах электроснабжения оказывается неудовлетворительным из-за медленного затухания остаточного напряжения на секции с выбегающими ЭД. Для ускоренного выявления аварийного режима в этом случае используют тот факт, что изменение уровня частоты остаточного напряжения может быть зафиксировано намного раньше, чем отклонение значения амплитуды от номинального уровня.

Учитывая возможность ложного срабатывания частотных органов АВР в режиме общесистемного понижения частоты вследствие дефицита активной мощности, обычно предлагается блокировать их действие по направлению перетока активной мощности на рабочем вводе. В нормальном режиме и при снижении частоты в энергосистеме активная мощность на рабочем вводе направлена к потребителю, при потере питания переток мощности по вводу прекращается. Короткое замыкание на питающей линии приводит к тому, что ЭД подстанции переходят в режим генераторов активной и реактивной мощности и подпитывают место неисправности, благодаря чему направление активной мощности на вводе противоположно нормальному.

Рассмотренный принцип выявления аварийного режима реализуется стандартной схемой минимальной защиты частоты с блокировкой по направлению активной мощности [1]. Блокировка по направлению активной мощности на вводе предлагается и для предотвращения ложного действия децентрализованных устройств АЧР, размещенных на объектах с двигательной нагрузкой [2].

Опыт эксплуатации и дополнительный анализ позволили выявить некоторые дефекты, органически присущие принципам, положенным в основу описываемых устройств СА.

Так, в условиях совместного выбега ЭД на нескольких подстанциях, связанных через питающую сеть, происходит обмен мощностью между ними: часть ЭД сохраняет двигательный режим, другие переходят в режим генераторов активной мощности, подпитывая остальную нагрузку. Как следствие, на вводе некоторых подстанций при пониженном уровне частоты будет сохраняться направление активной мощности от источника к потребителю, что ведет к ложному действию устройств АЧР и отказу срабатывания быстродействующих АВР [3].

С другой стороны, в энергосистемах малой мощности или дефицитных районах энергосистем зафиксированы случаи, когда при набросе нагрузки приводами мощных прокатных станов понижается системный уровень частоты, а после сброса нагрузки образуется на заметный промежуток времени переток активной мощности в сеть при достаточно низком уровне частоты. Отсюда опять-таки возникает вероятность срабатывания АЧР в первом режиме, и быстродействующего АВР – во втором.

Переключение мощных тормозящихся синхронных электродвигателей (СД) на резервный источник питания в цикле быстродействующего АВР способно привести к полному погашению подстанции и длительной остановке производства из-за того, что в процессе качаний СД изменяется направление активной мощности на вводе, а значение частоты напряжения на секции ниже уставки автоматики. Наоборот, действие АЧР в данном случае будет неправильным.

Описанные режимы чреваты ущербом прежде всего для производств, в системах электроснабжения которых используются рассматриваемые средства СА. Однако проведенные исследования дают возможность выделить случаи, когда автоматика с контролем уровня частоты и направления активной мощности отрицательно влияет на сохранение устойчивости энергосистемы при значительном дефиците активной мощности.

Известно [2], что при сокращении общего числа и объема мощности генерирующих станций возрастает число районов и узлов, удовлетворяющих львиную долю потребности по электрическим связям со стороны, и, как следствие, увеличивается вероятность возникновения больших местных дефицитов мощности при аварийном отделении этих узлов и районов.

Отмечалось, что в подобных случаях на протекание переходного процесса положительно влияет увеличение значения эквивалентной механической

постоянной инерции нагрузки τ_{jn} . Поскольку значительная часть генерирующих мощностей отключена, переходный процесс в большей степени начинает определяться величиной τ_{jn} .

Однако при этом не учитывалось действие локальных средств СА. Между тем, при глубоком дефиците активной мощности изменение частоты в энергосистеме может происходить со скоростью, равной или даже превышающей аналогичную скорость на выбеге подключенной к секции синхронной возбужденной машины. Это не позволяет использовать для блокировки неправильного действия автоматики предлагаемый иногда дополнительный признак аварии – скорость снижения частоты.

Обозначив соотношение эквивалентных постоянных инерции нагрузки и энергосистемы как $\tau_{jn} = k \tau_{jn}$, определим время относительного рассогласования фаз электродвижущей силы СД E_o и эквивалентного генератора энергосистемы E_e на угол $\Delta\delta = \delta_o$ (угол нагрузки загруженного СД), не учитывая регулирующий эффект нагрузки других узлов и действие АЧР в энергосистеме

$$t = \sqrt{\frac{\Delta\delta \cdot \tau_{jn}}{9000(k-1)}}$$

Очевидно, что при совпадении векторов ЭДС обмен активной мощностью P между потребителем и энергосистемой по питающему вводу прекращается в соответствии с зависимостью

$$P = \frac{E_o \cdot E_e}{x_{ea}} \sin \delta$$

где x_{ea} – сопротивление связи между источниками.

С дальнейшим торможением генераторов энергосистемы высокоинерционная двигательная нагрузка переходит в режим генератора активной мощности, синхронизируясь с новыми условиями работы энергосистемы. Чем меньше нагрузка СД в доаварийном режиме, тем раньше наступает совпадение векторов ЭДС и дольше длится переток активной мощности в систему.

Таким образом, частота напряжения на секции оказывается в этом случае выше, чем в энергосистеме, а направление активной мощности на вводе подстанции соответствует режиму потери питания. Поэтому устройства АЧР отказывают в действии именно тогда, когда оно особенно необходимо. Увеличивается общее время срабатывания АЧР даже при отсутствии блокировки по активной мощности, так как снижение частоты на секции с

высокоинерционной нагрузкой (при $k > 1$) будет запаздывать относительно общей характеристики понижения частоты в энергосистеме.

Излишнее действие устройств быстродействующего АВР на подстанции с электродвигателями в этом случае также является дестабилизирующим фактором. Во-первых, отключается мощная нагрузка, которая замедляла процесс снижения частоты в энергосистеме. А во-вторых, при переключении выбегающих ЭД на другую секцию происходит дополнительный наброс мощности на энергосистему, который тем неприятнее по последствиям, чем больше успели затормозиться двигатели, либо чем дальше от синфазного производится включение СД на резервное напряжение.

Таким образом, выбор структуры и параметров срабатывания локальных средств СА в узлах нагрузки необходимо производить с учетом собственных характеристик потребителя, соотношения характеристик потребителя и энергосистемы, взаимодействия отдельных средств автоматики между собой. В частности, вопрос применения органов СА с контролем частоты и направления активной мощности на объектах с двигательной нагрузкой целесообразно решать после дополнительного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Слодарж, М. И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. – М. : Энергия, 1977.

2 **Рабинович, Р. С.** Автоматическая частотная разгрузка энергосистем / Под ред. Е. Д. Зейлидзона. – М. : Энергия, 1980.

3 **Барзам, А. Б., Корогодский, В. И.** Выполнение автоматической частотной разгрузки на подстанциях промышленных предприятий. – Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – М. : ТПЭП, 1977, – С. 3–8.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

В. А. Бороденко

Жүйелі автоматика құрылғыларының құрылымына белсенді жетіспеушіліктерінің әсері

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

V. A. Borodenko

Influence of deficiency of active power on the structure of the devices of system automatics

Pavlodar State University named after S. Toraigrov, Pavlodar.

Material received on 25.12.12.

Электрқозғалтқыштарымен подстанцияларындағы автоматика құрылғыларының жондеулері қарастырылады.

The problems of power system automatic unit design are described.

УДК 621.37.521.6

**В. Ф. ГОВОРУН, О. В. ГОВОРУН,
Д. В. ГОВОРУН, А. М. АКАЕВ, Н. М. ПАДРУЛЬ**

УТОЧНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПРОБОЯ ВОЗДУХА В НЕСТАНДАРТНЫХ СЛУЧАЯХ

Проведен анализ причин пробоя твердой изоляции. Выявлены факторы, оказывающие влияние на возникновение электрического пробоя длинных газоразрядных промежутков с резконеоднородным полем.

Изолирующей средой воздушных линий электропередачи является воздух. Он должен иметь достаточно высокую электрическую прочность при всех эксплуатационных воздействиях напряжения и при всех атмосферных условиях, чтобы не снижать надежность изоляции проводов линии [1].

В ряде случаев происходят электрические пробои воздушного промежутка в резконеоднородном поле линии, которые при неучете ряда факторов неправильно интерпретируются специалистами.

Например, на открытом распределительном устройстве (ОРУ) электростанции из-за однофазного короткого замыкания произошло отключение шины ОРУ = 220 кВ, а вместе с ней энергоблока, трансформатора, ЛЭП–220 кВ.

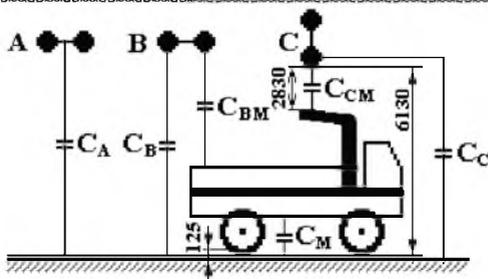


Рисунок 1 – Расположение гидроманипулятора в момент пробоя изоляции

Пробой изоляции между фазой гибкой шины и гидроманипулятором произошел при следующих условиях: высота снежного покрова 100 мм; высота от снежного покрова до фазы шины 6130 мм; высота от стрелы гидроманипулятора до фазы шины 2830 мм; температура воздуха $-22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; влажность воздуха 69 %; ветер западный – 3м/с.

На основании теории было дано следующее экспертное заключение: «При нормальных атмосферных условиях электрическая прочность воздушных промежутков относительно невелика и в однородном поле при межэлектродных расстояниях более 1 см имеет значение, не превышающее 30 кВ/см.



Рисунок 2 – Место повреждения манипулятора, провода и шины при пробое

В изоляционных конструкциях при приложении высокого напряжения создается резко неоднородное электрическое поле. В таких полях электрическая прочность воздуха еще меньше и при расстояниях между электродами порядка (1–2) м составляет приблизительно 5 кВ/см. При расстояниях (10–20) м снижается соответственно до (2,5–1,5) кВ/см. В связи с этим, габариты воздушных линий электропередачи и распределительных устройств в значительной мере определяются электрической прочностью

воздуха и при увеличении номинального напряжения очень быстро возрастают. На разрядные напряжения воздушных промежутков оказывают влияние давление, температура и абсолютная влажность воздуха, поэтому изоляционные расстояния по воздуху выбираются таким образом, чтобы они имели достаточную электрическую прочность, при неблагоприятных атмосферных условиях. При проектировании внешней изоляции электрооборудования учитывается, что подъем на каждые 100 м над уровнем моря дает снижение разрядного напряжения примерно на 1% и также же снижение дает увеличение температуры на каждые 3 °С, выше нормальной. В качестве нормальной принимается температура равная 20 °С, нормальное давление 100 кПа (760 мм. рт. ст.), нормальная влажность 11 г/м³.

Расчет расстояния пробоя для случая на ОРУ–220кВ. Имеем линейное напряжение 230 кВ, следовательно, фазное $230/1,73 = 133$ кВ. Принимаем из ссылки выше электрическую прочность воздуха 5 кВ/см. Получаем расстояние пробоя $133/5 = 27$ см. Даже принимая условия «влажность-давление воздуха» как неблагоприятные, расстояние пробоя будет не более 40 см. Расстояние от снежного покрова до низшей точки провисания провода 613 см. Высота манипулятора в транспортном состоянии 330 см. Получаем расстояние от стрелы манипулятора до провода $613-330 = 283$ см. Принимая из ссылки выше электрическую прочность воздуха 5 кВ/см. Напряжение пробоя составляет $5*283 = 1415$ кВ. Таким образом, пробой воздушного промежутка длиной 238 см напряжением 133 кВ невозможен».

Известно, что все диэлектрики, находящиеся в электрическом поле, теряют свои изоляционные свойства и пробиваются, если напряженность поля превышает некоторую критическую величину. Те значения напряжений, при которых диэлектрики пробиваются, называются пробивными напряжениями, а соответствующие им значения напряженности поля - пробивной напряженностью или электрической прочностью диэлектрика. Электрическую прочность диэлектрика в неравномерном поле определяет максимальная величина напряженности поля. Как только на некоторых участках диэлектрика максимальная напряженность достигает критического значения, диэлектрик на этом участке пробивается, теряет свои изолирующие свойства. После этого все напряжение оказывается приложенным к целым участкам диэлектрика и вызывает их пробой. Так как в электрических установках изоляция работает в большинстве случаев в неравномерных электрических полях, то целесообразно указать на некоторые факторы, которые оказывают влияние на максимальную величину напряженности поля: во всех случаях повышение напряжения на оборудовании вызывает повышение максимальной напряженности поля, так как при этом повышается напряженность на всех участках изоляции; увеличение расстояния от токоведущих частей оборудования до заземленных, в неравномерных полях, почти не оказывает влияние на максимальную напряженность поля; в сложных изоляционных конструкциях,

составленных из различных материалов, на величину максимальной напряженности поля оказывают влияние величины емкостей отдельных ее элементов; уменьшение радиуса кривизны элементов аппаратов, находящихся под напряжением, вызывает увеличение максимальной напряженности поля; низкая электрическая прочность изоляции возникает при ее загрязнении инородными частицами (ионами), например, пыль, продукты горения, дождь, туман, роса, изморось и т.п. Резкое различие электрической прочности изоляции в разных состояниях определяется существенным различием механизма развития разряда. При сухой изоляции разряд развивается по воздуху в стримерной (при длинах промежутка до двух метров) и в лидерной (при длинах промежутках свыше двух метров) формах [1].

При составлении экспертного заключения не были учтены такие факторы как: толщина шины колеса 25 мм; ОРУ расположено на востоке от ГРЭС и протоки, расстояние до протоки, в которую сбрасывается вода, охлаждающая конденсаторы турбин 50 м; расстояние до труб ГРЭС 300 м; напряжение на гидроманипуляторе U_D при проезде под гибкими шинами 220 кВ (рисунок 1)

$$U_D = U_B \frac{C_M}{C_{BM} + C_M} - U_C \frac{C_M}{C_{CM} + C_M}.$$

При условии $C_{BM} < C_M$, $C_{CM} < C_M$ и допущении, что $C_{BM} \approx C_{CM}$ и $U_B - U_C = U_\phi \sqrt{3}$, то напряжение, приложенное к твердому диэлектрику (шине колеса)

$$U_D \approx (U_B - U_C) \frac{C_M}{C_{BM} + C_M} \approx \sqrt{3} \cdot U_\phi \frac{C_M}{C_{BM} + C_M}.$$

Из электротехники известно, что напряжение, приложенное к последовательно включенным конденсаторам, как показано на рисунке 3, распределяется обратно пропорционально емкостям, т.е. на меньшую емкость ложится большая часть напряжения. Где C_1 , C_2 и C_k – соответственно емкость первого, второго слоя резины и стального корда.

Модель развития разряда воздушного промежутка по диэлектрику, поверхность которого загрязнена.

Для выяснения механизма развития разряда в описанных условиях и определения факторов, влияющих на величину разрядного напряжения, рассмотрим процессы на загрязненной и увлажненной или покрытой снегом поверхности в конструкции с твердым диэлектриком в виде, показанном на рисунке 3.

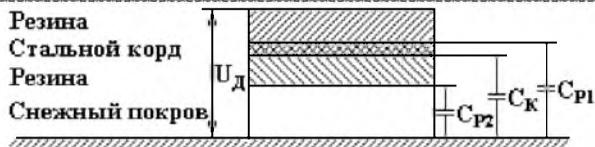


Рисунок 3 – Резиновый изолятор и эквивалентная схема

При приложении напряжения U_D по изоляции потечут следующие токи:

- емкостные токи – способность изоляции проводить емкостные токи характеризуется величиной емкости изоляции;
- абсорбционные токи – характеристикой изоляции в отношении абсорбционных токов являются угол диэлектрических потерь и коэффициент абсорбции;
- сквозные токи – способность изоляции проводить сквозные токи характеризуется величиной сопротивления изоляции;
- поверхностные токи – зависящие от гигроскопичности и интенсивности загрязнения диэлектрика, а также от содержания в слое загрязнения проводящих веществ.

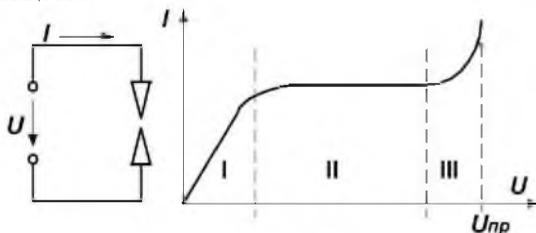


Рисунок 4 – Вольтамперная характеристика газового промежутка

В газовых изоляционных промежутках при небольших напряжениях выполняется закон Ома (рисунок 4, область I); при повышении напряжения наступает насыщение, при котором все генерируемые внешними ионизаторами заряженные частицы достигают электродов и роста тока при росте напряжения не происходит (область II), плотность тока при этом составляет примерно 10^{-15} А/м² при напряженности поля около 0.6 В/м. Только при больших напряжениях, когда возникает ионизация за счет большой напряженности электрического поля, начинается резкий рост электрического тока (область III), приводящий к независимости разряда от внешних ионизаторов [2].

Загрязнение поверхности изоляторов проводящими и полупроводящими осадками является одной из главных причин перекрытий изоляторов при рабочем напряжении. Загрязнение в сухом состоянии обычно мало снижает напряжения разряда U_p , однако под действием влаги слой загрязнения

приобретает ионную проводимость. Проводимость этого слоя на порядок выше проводимости дождевой воды. Следует отметить, что наличие пылинок в газе и проводящей грязи на поверхности изоляторов в электромагнитном поле приводит к появлению заряженных упорядоченных структур типа пылевого кристалла или кластера со своей напряженностью поля, которая вызывает возникновение там ионизационных процессов, продукты которых (ионы, электроны), попадая в основной промежуток, создают местное усиление поля, приводящее к уменьшению напряженности перекрытия. Разные величины емкостей отдельных элементов составного изолятора создает резко неравномерное распределение напряжения по его поверхности, что также существенно снижает напряжение пробоя изолятора.

При протекании тока по проводящей среде происходит таяние снега и образуется слабый раствор электролита из составляющих загрязняющего вещества с удельной поверхностной проводимостью Y_n зависящей от интенсивности загрязнения диэлектрика и содержания в слое загрязнения проводящих веществ. Здесь необходимо отметить, что по мере приближения к ГРЭС химический состав снега изменяется в сторону уменьшения его диэлектрической прочности. Подобное происходит из-за оседания продуктов подготовки и сгорания Экибастузского угля (сажи, железа, алюминия, магния, стронция, титана, меди, свинца и пр.) на снежном покрове, электрическом оборудовании ОРУ и пр.

При этом примем, что сопротивление пути протекания тока утечки $I_{ут}$ есть R_y . Под действием приложенного к диэлектрику напряжения U_d будет протекать ток утечки [2]

$$I_{ym} = U_d / R_y.$$

Примем, что слой загрязнения изолятора длиной изоляционной части L_n и шириной h равномерный. Тогда выражение для R_n можно записать в виде

$$R_n = L_n / (\pi \cdot Y_n \cdot h).$$

Соответственно ток утечки по поверхности изолятора

$$I_y = U_d / R_n = \frac{U_d}{L_n} \cdot \pi \cdot Y_n \cdot h.$$

Под действием токов, протекающих по проводящей среде, подсушиваются отдельные участки поверхности, что создает резко неравномерное распределение напряжения по поверхности и приводит к образованию растягивающихся дужек. При определенном значении

напряжения ток возрастает настолько, что температура стримерных каналов становится достаточно высокой и при соприкосновении их с поверхностью диэлектрика приводит к термическому разложению диэлектрика и образованию обугленного следа (трека) с повышенной проводимостью. Длина этого следа со временем возрастает, что приводит к перекрытию изолятора с необратимой потерей им электрической прочности. Длина канала скользящего разряда зависит от его проводимости, а, следовательно, от значения тока в нем. В свою очередь ток зависит от напряжения между электродами, изменения напряжения и емкости канала стримера относительно противоположенного электрода. Влияние этих параметров отражено в эмпирической формуле Тейлера, согласно которой длина канала скользящего разряда составляет

$$l_{ск} = \chi_1 C^2 U^{5,4} \sqrt{\frac{du}{dt}},$$

где χ_1 – коэффициент, определяемый опытным путем; C – удельная поверхностная емкость (емкость единицы поверхности диэлектрика, по которой развивается разряд, относительно противоположного электрода).

Из последней формулы при подстановке вместо $l_{ск}$ расстояния между электродами по поверхности диэлектрика L можно определить значения напряжения U_p необходимого для перекрытия изолятора. Если же принять $C = \epsilon \epsilon_0 / d$, где d – толщина диэлектрика и считать значение du/dt постоянным, что в первом приближении соответствует постоянству частоты приложенного напряжения, то получим

$$U_p = \chi \cdot L^{0,2} \left(\frac{d}{\epsilon \epsilon_0} \right)^{0,4}.$$

Откуда следует, что рост длины изолятора дает относительно малое повышение разрядного напряжения.

Модель пробоя длинных газообразных промежутков, содержащих заряженные упорядоченные структуры типа пылевых кристаллов или кластеров.

Наличие над теплой протокой загрязненного воздуха, содержащего примеси в виде газов, взвешенных частиц (пыли) при температуре воздуха – 22,4 °С способствует образованию конвективных потоков вертикального развития и формированию частиц льда, снежной крупы и т. д., взаимодействие которых на фоне восходящего потока приводит к разделению зарядов. При попадании этого потока частиц в электромагнитное поле происходит появление упорядоченных структур, состоящих из пылевых кристаллов или кластеров со своими напряженностями поля. Образование таких

объемных зарядов различной полярности в воздухе приводит к появлению резко неоднородного поля между электродами. Следует заметить, что особенностью резко неоднородных полей являются высокие напряженности поля у электрода с малым радиусом закругления даже при сравнительно небольшом напряжении на промежутке. Это означает, что в этой области могут идти процессы ударной ионизации, возникают лавины электронов, и условие самостоятельности разряда выполняется, когда зона ионизации охватывает только малую часть промежутка. Порог развития лавины на несколько порядков ниже обычного порога пробоя сухого воздуха.

В ионизованных следах этих частиц происходит электрический пробой воздуха, и следы становятся электропроводящими. Через систему следов, обладающую минимальным сопротивлением, проходит лидер. Причем вначале возникает тонкий шнур-лидер, прогретый до температуры достаточной для проводимости. Однако электрический заряд настолько велик, что он не может поместиться в столь тонком шнуре, и разряд, который возникает «по следу» этого шнура, происходит в большем канале. Движение этого заряда от кластера к кластеру или от кластера к земле происходит в несколько стадий, как бы ступенчато, тот заряд, который находился в кластере, переносится на ионы воздуха, а впереди движется тонкий шнур-лидер. По мере продвижения дуги увеличивается ее длина и расширяется зона разряда, что приводит к переходу замыканий фаза-земля

Еще один пример, на ЛЭП–500 кВ произошло однофазное короткое замыкание. Двукратное повторное включение ЛЭП не успешное. В лесостепном массиве был пожар. Причиной пожара эксперты назвали пробой воздушного промежутка на сосну с возгоранием ветки. Нашлись свидетели, которые утверждали, что днем в солнечную погоду на расстоянии 5 км видели разряд длительностью 0,07 с. и возгорание.

Исходные условия: габаритное расстояние от провода до земли – 10,89 м; высота сосны – 9,12 м; расстояние от крайней фазы линии до сосны 3,37 м; температура воздуха плюс 32 °С; ветер переменный. Один из экспертов без расчетов резюмировал, что при порывах ветра провод отклонялся в сторону сосны на расстояния, меньше 50 см. При этом сосна отклонилась в сторону провода. В результате напряжение пробоя $U_{\text{п}} = (50\text{см}) \cdot (5\text{кВ/см}) = 250\text{ кВ}$ стало меньше фазного кВ. Второй эксперт дал заключение – пробой произошел из-за того, что ветка сосны зацепилась за провод при порыве ветра и держалась до тех пор, пока не произошло трехкратное однофазное короткое замыкание. Однако при формировании выводов о возможности одновременного пробоя воздуха и дерева необходимо рассматривать их в комплексе, т.е. последовательное соединение диэлектриков, их сопротивления и величины токов.

При сильном прогреве земной поверхности днём в малооблачную (обычно жаркую) погоду солнечными лучами или пожаром, а также при смене направления ветра возникает вихревое движение воздуха у поверхности земли. Вихрь имеет вертикальную (или слегка наклонённую к горизонту) ось вращения, высота вихря составляет обычно (10–30) м, диаметр (1–5) м, время существования – от нескольких секунд до (2–3) минут. Вихрь поднимает с поверхности земли пыль, песок, продукты горения, мелкие предметы и переносит их иногда на значительное расстояние (сотни метров) [3].

Известно, что горячие продукты неполного сгорания легко ионизируются в электромагнитном поле и начинают проводить ток. Как и в предыдущем случае в ионизованных следах этих частиц происходит электрический пробой воздуха, и следы становятся электропроводящими. Через систему следов, обладающую минимальным сопротивлением, проходит лидер, затем дуга.

Следовательно, при горении лесостепной подстилки и возникновении вихря образовался столб упорядоченных структур, состоящих из кластеров со своими напряженностями поля, который вызвал электрический пробой длинного воздушного промежутка. Визуальное обследование проводов ЛЭП в районе возникновения коротких замыканий показало, что оплавление провода из-за дуговых пробоев воздуха происходили: первый вблизи сосны; второй на расстоянии 10 м от дерева; третий через 30 м от сосны, т.е. пробои, возникали по пути движения вихревого столба вдоль ЛЭП.

Статистика аварийных отключений воздушных ЛЭП показывает, что от низовых степных пожаров причиной пробоя больших воздушных промежутков является наличие в воздухе ионизированных кластеров в виде сажи, дыма, пепла, гари, соли и др. как в Республике Казахстан, так и других странах.

В интернете (видео копиях) также приведено большое количество примеров как это выглядит при наличии в воздухе проводящей среды (солёной пыли, гари и т.п.)

Выводы:

1. Почвенная пыль, зола от сжигания угля, так и горячие продукты неполного сгорания могут явиться источником дополнительной ионизации воздуха. Дополнительная ионизация и образование объёмных электрических зарядов, как довольно кратковременное явление и достаточно редкое, может наблюдаться при возникновении благоприятных условий образования кластеров со своими напряженностями поля, вызывая при этом резкие колебания основного поля. Рост концентрации пыли приводит к увеличению электропроводности воздуха и уменьшению напряжения пробоя.

2. Разряд состоит из нескольких, иногда многих последовательных разрядов – импульсов, увеличивающихся в протяженности и интенсивности, с паузами, измеряемыми сотыми долями секунды; в первом импульсе лидер ступенчатый; он продвигается вперед толчками, ионизируя воздух и подготавливая заполненный отрицательными ионами проводящий канал для

основного разряда. Лидеры последующих импульсов – стреловидные, время их развития меньше и скорость больше.

3. Усиление поля у электродов приводит к снижению электрической прочности промежутка. Это снижение тем больше, чем больше влажной грязи на диэлектрике. Увеличение напряженности поля в кластерах приводит к возникновению там ионизационных процессов, продукты которых (ионы, электроны), попадая в основной промежуток, создают местное усиление поля, приводящее к уменьшению напряженности перекрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Под общей редакцией Резеви́га Д. В. Техника высоких напряжений. М. : Энергия, 1976. 488 с.

2 **Александров, Г. Н.** Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. Л. Энергоатомиздат, 1989. – 360 с.

3 **Хромов, С. П., Петросянц, М. А.** Маломасштабные вихри, «Метеорология и климатология», <http://meteoweb.ru/phen012.php>

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 22.12.12.

*В. Ф. Говорун, О. В. Говорун,
Д. В. Говорун, А. М. Акаев, Н. М. Падрұл*

Стандартты емес жағдайларда ауаның тесілу механизмдерін нақтылау
С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 22.12.12 редакцияға түсті.

*V. F. Govorun, O. V. Govorun,
D. V. Govorun, A. M. Akayev, N. M. Padrul*

Clarifying the mechanism of air breakdown in nonstandard cases
Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 22.12.12.

*Қатты оқшаудаманың тесілу себептеріне талдау жүргізілді.
Кенеттен біртекті емес өрісі бар газ разрядты ұзын аралықтардың
электрлік тесілуінің пайда болуына ықпал ететін факторлар
айқындалды.*

The causes of breakdown of a solid insulation was analysed. The factors, that influence on occurrence of electrical breakdown of long discharge periods with sharply nonuniform field.

УДК 620.197.621.1

**С. Б. Жангазинова, А. Ж. Оралова,
Т. С. Абдрахманов, А. И. Глазырин**

ВЫБОР МЕТАЛЛА И МЕТОДОВ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

В статье изображается выбор металла и методов борьбы с коррозией оборудования в теплоэнергетике.

Разрушение металлических конструкций, аппаратов, машин и деталей может быть вызвано различными причинами. Основными причинами являются: химическое воздействие; электрохимическое воздействие; механическое воздействие на металлы и сплавы.

Согласно принятой терминологии, коррозией металлов называется разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней средой.

Механическое разрушение металлической поверхности (истирание и т.п.) называют эрозией металлов.

Очень часто, в особенности в условиях эксплуатации теплоэнергетического оборудования, процессы коррозии и эрозии могут протекать совместно (работа мешалок, насосов, трубопроводов и т.п.).

Коррозия обычно начинается с поверхности металла и при дальнейшем развитии этого процесса распространяется вглубь, сопровождаясь изменением состава металла и его свойств. Металл при этом может частично или полностью растворяться (например, цинк в соляной кислоте), или же могут образоваться продукты коррозии в виде осадка на металле (например, ржавчина при коррозии железа во влажной атмосфере, гидрат окисла при коррозии цинка в воде). Иногда коррозионные процессы протекают с распадом структурных составляющих, изменением физико-механических свойств металлов и сплавов, например резким снижением механической прочности вследствие нарушения связи по границам кристаллитов.

Имеется возможность уже в самом процессе проектирования путем разработки рациональных форм оборудования предусмотреть такие

конструкционные решения, которые устранили бы возможность ускорения коррозионного процесса. Известно, что неудачные конструкции во многих случаях являются причиной образования застойных зон, зазоров, возникновения механических и термических напряжений, неплотностей в отдельных соединениях и т.п. явлений, способствующих коррозии.

При анализе коррозионных явлений, возникающих в химической аппаратуре вследствие указанных причин, можно различать следующие рассматриваемые ниже характерные случаи.

Наиболее опасной коррозионной зоной в оборудовании обычно являются места соединения деталей. В сварном шве чаще всего возникают очаги коррозии. Причиной этому являются зоны термического влияния, где структура стали по границам зерен обеднена хромом и обогащена карбидами, которые менее устойчивы в агрессивных средах.

При образовании на стенках металла неравномерного слоя осадков возникают гальванические элементы, в мертвых зонах могут накапливаться отложения и идет подшламовая коррозия металла.

Так называемая щелевая коррозия, возникающая при действии агрессивных сред в узких зазорах, объясняется застоном электролита вследствие большой затрудненности омывания металлической поверхности в щели и обусловлена переносом заряженных частиц электролитом. Поверхность металла в зазоре становится анодной и подвергается коррозии, причем скорость коррозии определяется величиной площади катодной поверхности вне щели.

Опыт эксплуатации различных тепловых установок показывает, что неправильное конструирование узлов оборудования может вызвать возникновение местного перегрева отдельных участков, неравномерное омывание поверхности жидкостью и т.п. явлений, усиливающих коррозионный процесс. Так, например, разбрызгивание жидкости на горячую металлическую поверхность является причиной местной коррозии аппарата, что наблюдается например в верхней части подогревателей высокого давления (ПВД). Греющие элементы (змеевики и др.) должны быть так сконструированы, чтобы их поверхность была полностью погружена в жидкость, что не предусмотрено в ПВД.

Можно облегчить условия работы теплообменников, защищая от перегрева только наиболее нагреваемые части. Например, в трубчатых теплообменниках, по трубкам которых проходят газы, нагретые до 800 – 1000 °С и выше, максимально нагреваться будут концы трубок, расположенные против входа горячих газов.

Очень важно для проектирования отдельных узлов теплосилового оборудования правильно выбрать металл, который был бы устойчив против коррозионных разрушений в условиях эксплуатации.

Сплавы железа с хромом представляют основу нержавеющей стали. По составу нержавеющие стали делятся на хромистые (Fe – Cr), хромоникелевые (Fe – Cr – Ni) и хром никель марганцевые (Fe – Cr – Ni – Mn). Кроме основных вышеперечисленных элементов, эти стали могут быть дополнительно легированы: молибденом, медью, кремнием, титаном, ниобием, которые вводят в стали главным образом для повышения их коррозионной стойкости. В зависимости от соотношения содержания в сталях ферритообразующих (Cr, Mo, Cu, Si, Ti, Nb) и аустенитообразующих (C, Ni, Mn, N) легирующих элементов нержавеющие стали по структуре делятся на классы: ферритный, феррито-мартенситный, мартенситный, аустенитный, феррито-аустенитный и мартенсито-аустенитный (табл. 1).

Таблица 1 – Основные марки нержавеющей стали в теплоэнергетике

Класс стали	Марка стали	Основные области применения
Ферритные	1X17	Окислительные кислоты. Котельные стали. Изделия машиностроения широкого потребления
	1X25	Используются в качестве жаростойких (до 1000 °С)
Мартенситные	1X13, 2X13	Пар, вода, атмосферные условия
	3X13, 4X13	Измерительные инструменты
	7X28	Нержавеющие отливки повышенной коррозионной стойкости. Хорошие литейные свойства
Аустенитные	X18H10T 12X18H10	Высокотемпературные среды с повышенным давлением
Аустенито-ферритные	0X21H5T, 1X21H5T, 0X21H6M2T, 0X21H6MД2T	Заменители аустенитных, нержавеющей сталей типа X18H10T и X17H13M2T. Производство азотной кислоты, капролактама, адипиновой кислоты, мочевины и т. д.
	X15H9Ю, X17H5M3	Для деталей химических аппаратов с повышенными прочностными свойствами (сепараторов, центрифуг, роторов компрессоров), работающих в агрессивных средах. Отдельные детали турбинных установок.

Среди многочисленных нержавеющей сталей, нашедших применение в промышленности, наиболее распространенной является хромоникелевая аустенитная сталь типа X18H10T, обладающая наряду с высокой коррозионной стойкостью хорошими механическими и технологическими свойствами. Коррозионная стойкость этой стали, как и других нержавеющей сталей, связана с ее способностью пассивироваться в

агрессивных средах и малой скоростью коррозии в пассивном состоянии. Пассивное состояние нержавеющей стали обусловлено образованием на их поверхности тонкой окисной пленки.

Пассивное состояние нержавеющей стали наиболее легко достигается в окислительных средах и в присутствии окислителей. Коррозионная стойкость хромоникелевых сталей может быть повышена путем легирования их молибденом, медью, кремнием и другими элементами. При легировании молибденом склонность сталей к пассивированию увеличивается (снижается ток пассивации и ток в пассивном состоянии), повышается устойчивость пассивного состояния.

Хромоникельмолибденомедистые стали типа ОХ23Н28М3ДЗТ получили распространение, так как имеют более высокую стойкость против межкристаллитной коррозии, особенно при пониженном содержании углерода. Исследование физико-механических и технологических свойств этой стали показало, что она отличается высокой пластичностью, хорошей технологичностью, удовлетворительной свариваемостью и имеет повышенную коррозионную стойкость в некоторых средах по сравнению со сталями Х18Н10Т и Х17Н13М2Т.

Разработаны нержавеющие стали Х21Н5Т, ОХ21Н6М2Т, ОХ17Н5Г9БА, которые по коррозионному поведению во многих средах не уступают аустенитным сталям Х18Н10Т и Х18Н12М2Т и могут являться их полноценными заменителями.

Использование сплавов железо-никель обусловлено их особыми физическими свойствами — немагнитностью (для сплавов, содержащих 35; 60 и 80% Ni) и очень низким коэффициентом термического расширения. Обычно они не используются в качестве коррозионностойких сплавов, но в следствие повышенной коррозионной стойкости успешно применяются в ряде специальных производств.

При легировании железа никелем коррозионная стойкость сплавов возрастает с увеличением содержания в них никеля. Эти сплавы более устойчивы, чем углеродистые стали в атмосферных условиях, в морской воде, а также в растворах солей, кислот, щелочей.

В щелочах коррозионная стойкость сплавов Fe–Ni также возрастает с увеличением содержания никеля и становится очень высокой в сплавах с 30% Ni и выше. Сплавы, содержащие 60–80% Ni, отличаются высокой коррозионной стойкостью в плавиковой кислоте. Сплавы железо-никель в качестве коррозионностойких практически применяют только в виде аустенитных никелевых чугунов.

Снижение коррозионной активности среды, действующей на металлы и сплавы, может быть осуществлено следующими путями:

– удалением из агрессивной среды составляющих, вызывающих коррозию металлов, как, например, освобождение питательной воды паровых котлов от кислорода и углекислоты, термическая обработка металлов в атмосфере, из которой удален кислород, и др.;

– введением в агрессивную среду веществ (ингибиторов коррозии), которые вызывают значительное снижение скорости коррозионного процесса, а в некоторых случаях могут практически полностью приостановить разрушение металла;

– нанесение защитных пленок и др.

Значительное распространение нашел второй способ обработки коррозионной среды, т.е. применение замедлителей коррозии, которые подразделяются на анодные и катодные, органические.

Анодные замедлители коррозии, в первую очередь окислители, большей частью обладают пассивирующими свойствами. Принцип торможения коррозии анодными замедлителями сводится к тому, что они уменьшают скорость перехода ионов металла в раствор или уменьшают анодные участки металлической поверхности за счет изоляции их образовавшимися нерастворимыми защитными пленками, часто окисными.

Однако замедлители коррозии – окислители, тормозящие анодный процесс, в некоторых случаях могут стимулировать коррозионный процесс, являясь катодными ускорителями коррозии. Так, например, кислород и перекись водорода являются замедлителями коррозии только при значительных концентрациях и при отсутствии активаторов (Cl⁻, Br⁻, J⁻) что обеспечивает образование хороших пассивных пленок. Таким образом, анодные замедлители коррозии – сильные окислители в общем случае могут рассматриваться как опасные замедлители коррозии, особенно при наличии в растворе стимуляторов коррозии. В последнем случае металлическая поверхность пассивируется только частично, сокращается площадь анодов и одновременно увеличивается площадь катодных участков.

В связи с этим замедлители коррозии часто делят на «безопасные» и «опасные»: которые не могут увеличить скорость коррозии и которые могут привести к ее увеличению. Если в коррозионный раствор вводится достаточное количество анодного замедлителя, то коррозионный процесс в большинстве случаев значительно подавляется. При правильном использовании этих замедлителей они являются весьма эффективными.

Такие окислители, как хроматы и бихроматы, являются плохими катодными деполяризаторами и в то же время хорошо пассивируют такие металлы как Fe, Al, Zn, Cu. Достаточно добавить в воду 0,1% двуххромовокислого калия, чтобы резко снизить скорость коррозии углеродистой стали и алюминия. При содержании в воде сильных активаторов коррозии (например, хлористых солей) концентрацию бихромата следует

увеличить до 2–3%. Хроматы и бихроматы относятся к типу смешанных замедлителей коррозии, но тормозят преимущественной анодный процесс.

К анодным замедлителям относятся также нитриты и нитраты. Нитрит натрия значительно уменьшает скорость коррозии стали и некоторых цветных металлов в растворах ряда солей, в том числе и в морской воде. Действие нитрита натрия сказывается в том, что ион NO_2^- окисляет продукты коррозии металлов – соединения Fe^{2+} или Sn^{2+} – в окисные соединения, которые осаждаются на поверхности металла защищая его.

Силикаты щелочных металлов, главным образом Na_2SiO_3 , являются замедлителями коррозии стали в нейтральных водных растворах. Защитное действие силиката натрия обусловлено образованием на поверхности металла защитной пленки.

Известны также анодные замедлители коррозии вторичного действия, образующие на анодных участках корродирующей поверхности металла нерастворимые продукты коррозии вследствие взаимодействия ионов растворяющегося металла с замедлителем. К числу таких замедлителей коррозии углеродистой стали относятся едкий натр, углекислый натрий, которые образуют на металлической поверхности нерастворимый слой гидроокиси, и фосфатные соли, которые образуют нерастворимые фосфаты железа.

Уменьшение скорости коррозии металлов катодными замедлителями может быть осуществлено одним из следующих путей:

- торможением отдельных стадий катодного процесса;
- сокращением площади катодных участков.

Торможение катодного процесса основано или на обескислороживании раствора электролита с целью уменьшения скорости коррозии металлов с кислородной деполяризацией, или на повышении перенапряжения катодного процесса. Характерными примерами обескислороживания агрессивной среды являются способы обработки питательной воды различными поглотителями кислорода.

В процессах коррозии металлов, протекающих с водородной деполяризацией, торможение катодной реакции восстановления водорода достигается путем повышения перенапряжения водорода добавкой в раствор солей некоторых тяжелых металлов (AsCl_3 , $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$), катионы которых восстанавливаются на микроэлектродах и повышают перенапряжение водорода. Эти замедлители не применяются в теплоэнергетике и неэффективны в процессах коррозии металлов с кислородной деполяризацией.

Сокращение площади катодных участков с целью уменьшения скорости коррозии достигается такими замедлителями коррозии, которые образуют на микроэлектродах нерастворимые соединения, отлагающиеся в виде изолирующего защитного слоя. Так, бикарбонат кальция в подщелоченной среде (у катодных участках корродирующей поверхности металлов) дает

нерастворимые соединения CaCO_3 , осаждающиеся и изолирующие часть поверхности от действия электролита. Этим, в частности, объясняется меньшая скорость коррозии стали в жесткой воде по сравнению с дистиллированной водой.

Катодные замедлители коррозии металлов совершенно безопасны, так как они никогда не приводят к увеличению интенсивности коррозии. Наиболее эффективными замедлителями коррозии металлов в нейтральных и щелочных средах являются неорганические вещества, в кислых агрессивных средах предпочтение следует отдать органическим веществам.

К органическим замедлителям коррозии относятся органические коллоиды (агар-агар, желатина, декстрин, животный клей и др.), органические вещества, содержащие в молекуле полярные группы (амины и их соли), альдегиды, гетероциклические соединения и многие другие органические соединения.

Механизм действия органических замедлителей коррозии в основном сводится к их адсорбции на катодных участках корродирующего металла и повышению перенапряжения водорода, что затрудняет протекание катодного процесса коррозии. Некоторые органические замедлители коррозии адсорбируются на анодных участках корродирующего металла и затормаживают протекание анодного процесса коррозии.

Замедлители коррозии применяются в качестве присадок при кислотном травлении стали, при бурении нефтяных скважин с целью предохранения металлического оборудования от действия соляной кислоты, а также при очистке паровых котлов от накипи.

При очистке котлов от накипи соляной кислотой замедлители тормозят реакцию взаимодействия металла котла с кислотой.

Существует возможность торможения коррозии углеродистой стали не только в соляной и серной кислотах, но и в азотной кислоте, даже при сравнительно высоких ее концентрациях, применением в качестве замедлителя коррозии тиомочевины. С увеличением температуры уменьшается адсорбция и снижается эффективность замедляющего действия этих веществ на коррозию металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Томашов, Н. Д., Чернова, Г. П.** Коррозия и коррозионностойкие сплавы. – М. : «Металлургия», 1973. – 232 с.
- 2 **Акользин, А. П., Жуков, А. П.** Кислородная коррозия оборудования химических производств. – М. : Химия, 1985. – 240 с.
- 3 **Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К.** Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар. 2011. – 728 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 21.12.12.

С. Б. Жангазинова, А. Ж. Оралова, Т. С. Абдрахманов, А. И. Глазырин
**Жылу энергетикасында металды таңдау және жабдықтауда
коррозиямен күресу әдістері**

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 21.12.12 редакцияға түсті.

S. B. Zhangazinova, A. Zh. Oralova, T. S. Abdrakhmanov, A. I. Glazyrin
**Selection of metal and methods of the equipment corrosion control in
heat power industry**

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 21.12.12.

*Мақалада жылу энергетикасында металды таңдау және
жабдықтауда коррозиямен күресу әдістері бейнеленеді.*

*In the article the methods of fighting against corrosion of equipment
in heat power industry are considered.*

УДК 621.313.333.1

С. С. Исенов, В. П. Марковский

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ ПАКЕТА SIMULINK ПРОГРАММЫ MATLAB

*В статье рассмотрены принцип действия и конструкция машин
постоянного тока. В соответствии с разработанной виртуальной
моделью электрической машины построены механические и
рабочие характеристики при работе машины постоянного тока в
двигательном режиме.*

Математическое моделирование электромеханических систем с использованием современных виртуальных программных пакетов позволяют исследовать в динамике свойства реальных объектов. Это особенно важно, когда эксперимент на реальном объекте затруднен или нежелателен, а также при трудностях в измерении некоторых величин объекта. Для моделирования электромеханических систем, которые обладают довольно сложным математическим описанием желательнее применять средства, которые обеспечивают быстрый и удобный ввод информации о структуре и параметрах модели, например в виде блок-схем, принятых в теории автоматического регулирования. В качестве такого средства удобно применять программный пакет Simulink, входящий в систему Matlab.

Одной из задач, для решения которой желательнее применение моделей, является исследование работы машины постоянного тока (МПТ) с последовательным возбуждением в переходных процессах с использованием модели виртуальной машины, составленное с помощью программы Matlab. Математическое описание процессов преобразования энергии в МПТ с последовательным возбуждением сложно и переходные процессы в машине при учете электромагнитной инерции существенно отличаются от статических характеристик.

В работе [1, 2] проведено исследование машины постоянного тока при работе в двигательном режиме, представляющая практический интерес. При разработке виртуальной модели основной задачей являлось снятие механических и расчет рабочих характеристик машины в двигательном режиме работы. Однако необходимо внести дополнения в математический аппарат, позволяющий детально рассмотреть работу МПТ с последовательным возбуждением в переходных процессах.

При разработке схемного решения и исследовании машины постоянного тока с последовательным возбуждением с использованием модели виртуальной машины, составленное с помощью программы Matlab, были использованы следующие электромеханические параметры. Для угловой характеристики необходимо вычислить значения момента (Н·м) и угла (град). Рабочие характеристики машины постоянного тока представляют собой зависимости момента M , скорости вращения n , тока якоря I_a и коэффициента полезного действия от выходной мощности машины P_2 . При снятии характеристик последовательно задаются значениями момента в заданном интервале с шагом 10 Н·м. Для каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется определенная таблица измеренных и рассчитанных значений.

Схема модели виртуальной машины, составленная с помощью программы Matlab, изображена на рисунке 1.

Схема включает источник постоянного напряжения V для питания машины (из библиотеки Power System Blockset/Electrical Sources), блок Step (из библиотеки Simulink/Sources) для задания вращающего момента на валу машины и снятия ее динамических характеристик, исследуемую машину постоянного тока с последовательным возбуждением (из библиотеки Power System Blockset/Machines/DC Machines), прибор для измерения переменных состояния машины Display (из библиотеки Simulink/Sinks), блок Demux разделяющий входной вектор на его составляющие (из библиотеки Simulink/Signals&Systems) и прибор для визуального наблюдения токов и напряжений, а также кривых переходных процессов изменений скорости и момента исследуемой машины Scope (из библиотеки Simulink/Sinks).

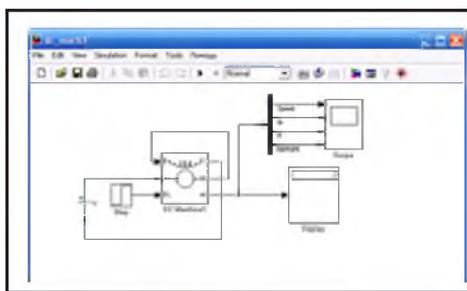


Рисунок 1 – Модель для исследования машины постоянного тока с последовательным возбуждением

На рисунке 2 приведены исходные данные для исследуемой модели машины постоянного тока: сопротивление обмотки якоря $R_a - 0,37$ Ом; индуктивность обмотки якоря $L_a - 0,009$ Гн; сопротивление обмотки возбуждения $R_f - 5,31$ Ом; индуктивность обмотки якоря $L_f - 0,01$ Гн; взаимная индуктивность $L_{af} - 0,115$ Гн; момент инерции $J - 0,001$ кг·м²; угловая скорость – 400 рад/с.

Источник питания имеет только один параметр: амплитуда источника – 660 В (рисунок 3). Напряжение источника должна соответствовать параметрам машины.

На рисунке 4 приведены заданные параметры моделирования: Время расчета – $0 \div 1$ с. Способ моделирования – переменный. Метод расчета (для непрерывных систем) – ode23tb (stiff/TR-BDF2).

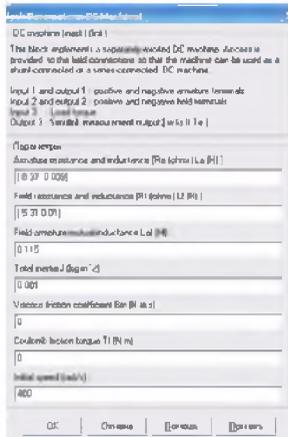


Рисунок 2 – Окно настройки параметров машины

При выборе способа моделирования «Переменные» в области появляются поля установки трех параметров: Max step size – максимальный шаг расчета; Min step size – минимальный шаг расчета; Initial step size – начальное значение шага моделирования.

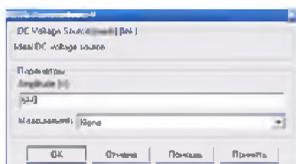


Рисунок 3 – Окно настройки параметров источника питания

При моделировании непрерывных систем с использованием переменного шага необходимо указать точность вычислений: относительную (Relative tolerance) и абсолютную (Absolute tolerance).

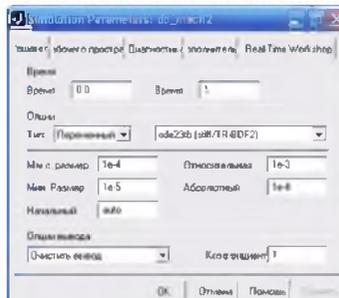


Рисунок 4 – Окно задания параметров настройки

При снятии характеристик в окне настройки блока Moment последовательно задаются значения момента от 5 Н·м до 100 Н·м с шагом 10 Н·м. Для каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется таблица 1 измеренных и рассчитанных значений.

Таблица 1 – Измеренные и рассчитанные значения моментов

Задание M (Н·м)	Измерения			Расчет		
	ω (рад/с)	I_a (А)	I_f (А)	P_1 (Вт)	P_2 (Вт)	η
5	821	6,594	6,594	4352,04	4105	0,94
15	453,1	11,42	11,42	7537,2	6796,5	0,9
25	339,9	14,74	14,74	9728,4	8497,5	0,87
35	279,6	17,45	17,45	11517	9786	0,85
45	240,7	19,78	19,78	13054,8	10813,5	0,83
55	213	21,87	21,87	14434,2	11715	0,81
65	192	23,77	23,77	15688,2	12480	0,79
75	175,3	25,54	25,54	16856,4	13147,5	0,78
85	161,7	27,19	27,19	17945,4	13744,5	0,76
95	150,3	28,74	28,74	18968,4	14278,5	0,75

На вход TL блока DC Machine подается момент нагрузки (рисунок 1), выход m предназначен для измерения и наблюдения переменных состояния машины в следующей последовательности: угловая скорость (рад/с), ток якоря (А), ток возбуждения (А), электромагнитный момент (Н·м), значения которых представлены таблицей 1.

Расчет осуществляется по выражениям [3, 4]:

$$P_1 = U \cdot I_a; P_2 = M \cdot \omega; \eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (1)$$

Для момента $M=5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$P_1 = 660 * 6,594 \approx 4352,04 \text{ Вт}; P_2 = 5 * 821 = 4105 \text{ Вт}; \eta = \frac{4105}{4352,04} \approx 0,94.$$

Таким образом, рассчитываются мощности и КПД для других значений моментов.

Произведем расчет механических характеристик машины $\omega = f(M)$. В двигателе с последовательным возбуждением поток и момент зависят от тока якоря. Поэтому механические характеристики машины определяются выражением

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k\Phi(I_{\text{я}})} - \frac{M(I_{\text{я}})R_{\text{я}\Sigma}}{k^2\Phi^2(I_{\text{я}})} \quad (2)$$

Форма этих характеристик при малых нагрузках имеет гиперболический характер, что говорит о необходимости исключения такого режима работы машины.

У двигателей независимого (параллельного) возбуждения $M \sim I_{\text{я}}$, а у двигателей последовательного возбуждения приблизительно $M \sim I_{\text{я}}^2$. Поэтому последние при пуске развивают значительно больший момент. Если скорость первых можно считать не зависящей от момента $\omega = \text{const}$, то скорость вторых зависит от него, примерно, в соответствии с выражением

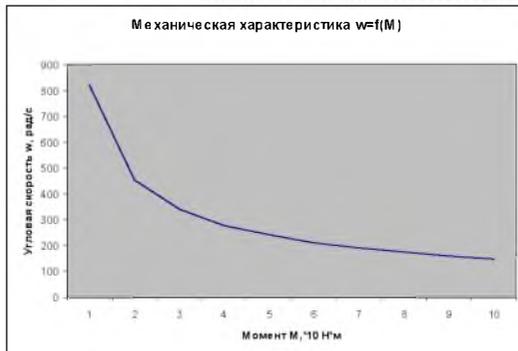
$$\omega \sim \frac{U_{\text{я}}}{I_{\text{я}}} \sim \frac{U_{\text{я}}}{\sqrt{M}}.$$

При изменении момента нагрузки в широких пределах диапазон изменения мощности у двигателей с последовательным возбуждением значительно меньше, что и обусловило их широкое использование в тяговом электроприводе.

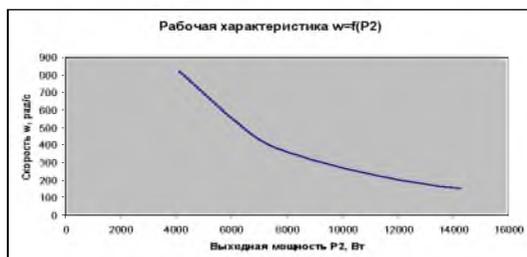
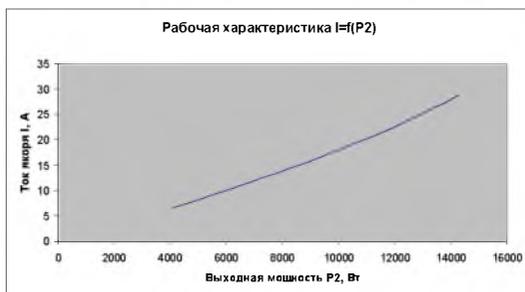
Так как рассчитать механические характеристики последовательного возбуждения, в связи с нелинейностью кривой намагничивания машины, весьма затруднительно, в каталогах приводятся естественные характеристики $\omega = f(I_{\text{я}})$ и $M = f(I_{\text{я}})$.

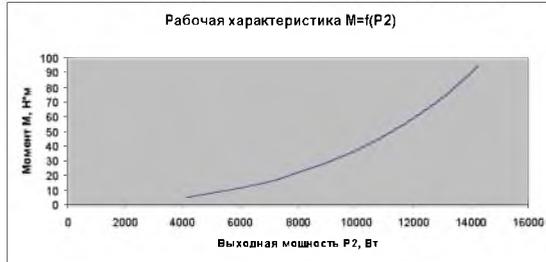
Используя полученные значения угловой скорости и момента (таблица 1), построим механическую характеристику машины $\omega = f(M)$ приведенную на рисунке 5.

Рабочие характеристики двигателя постоянного тока представляют собой зависимости момента M , скорости вращения ω , тока якоря $I_{\text{я}}$ и коэффициента полезного действия η от выходной мощности двигателя P_2 .

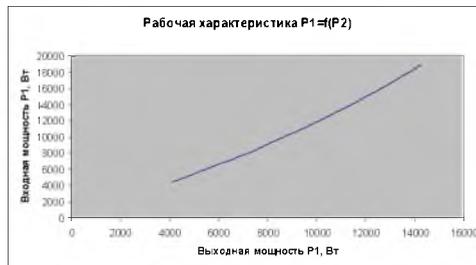
Рисунок 5 – Механическая характеристика $w=f(M)$

Используя значения таблицы 1, построим рабочие характеристики двигателя.

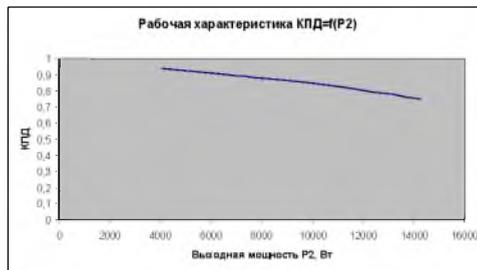
Рисунок 6 – Рабочая характеристика $w=f(P_2)$ Рисунок 7 – Рабочая характеристика $I=f(P_2)$

Рисунок 8 – Рабочая характеристика $M=f(P_2)$

Из рисунков 7 и 8 видно, что с увеличением нагрузки на валу двигателя растет момент M на его валу, а также растет ток якоря I .

Рисунок 9 – Рабочая характеристика $P_1=f(P_2)$

Из рисунка 9 видно, что увеличение нагрузки приводит к росту мощности забираемой из сети.

Рисунок 10 – Рабочая характеристика $\eta=f(P_2)$

На основе построенных характеристик видно, что двигатель последовательного возбуждения имеет удобную для транспортных установок механическую характеристику, когда с уменьшением частоты вращения растет момент. В двигателях последовательного возбуждения ток возбуждения равен току якоря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Герман-Галкин, С. Г., Кардонов, Г. А.** Электрические машины : Лабораторные работы на ПК. – СПб. : КОРОНА принт, 2003. – 256 с., ил.
- 2 **Коуров, Г. Н.** Исследование машины постоянного тока с последовательным возбуждением. Материалы к пояснительной записки к КР по дисциплине «Электромеханические системы». Уфимский государственный авиационный технический университет. Кафедра АТП. – Уфа, 2007.
- 3 **Брускин, Д. Э., Зорохович, А. Е., Хвостов, В. С.** Электрические машины. В 2-х ч. – М. : Высшая школа, 1988.
- 4 **Копылов, И. П.** Электрические машины : Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. – М. : Высшая школа: Логос, 2000. – 607 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 23.11.12.

С. С. Исенов, В. П. Марковский

Matlab программасының Simulink пакетінің виртуалды ортасындағы тізбектей қоздырылатын тұрақты ток электржетегін зерттеу және жетілдіру
С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 23.11.12 редакцияға түсті.

S. S. Isenov, V. P. Markovskii

Development and research of electric DC with serial excitation in a virtual environment software Simulink program Matlab

Pavlodar State University named after S. Toraigrov, Pavlodar.
Material received on 23.12.12

Бұл мақалада тұрақты ток машиналарының құрылымы және жұмыс істеу принциптері қарастырылған. Электр машинасының жетілдірілген виртуалды моделіне сәйкес тұрақты ток машинасының қозғалтқыштық режимдегі жұмысы кезінде механикалық және жұмыстық мінездемеі құрылған.

The article describes the principle and design of DC machines. In line with the virtual model of the electrical machine built mechanical and performance when the machine DC motor.

УДК 621:622:665:681

Р. Е. Кауржанов, В. В. Рындин, А. Т. Сагинаева

НЕФТЯНЫЕ И ГАЗОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА

Приведены сведения о крупных нефтегазовых месторождениях Казахстана: местоположение, год открытия, запасы и годовой объём добычи, физические свойства нефти и газа, а также состав участников и их доля в нефтегазовых проектах. Описаны мероприятия по ликвидации аварии на скважине № 37– Тенгиз.

Введение. Проявления нефти на поверхности земли были известны коренному населению из древних времён. Об этом свидетельствуют многочисленные казахские названия гидрографических объектов (урочищ, источников, колодцев и т.п.), таких как Майтобе (масляный холм), Караарна (чёрное русло), Майкомген (место захоронения масла), Карашунгул (чёрная впадина), Жаксымай (хорошее масло), Карамай (чёрное масло), Каратон (чёрный затвердевший грунт), Мунайлы (нефтяное) и др. В 1899 г. из скважины глубиной 40 м, пробуренной на Карашунгуле, был получен первый фонтан лёгкой нефти. Это событие считается началом открытия нефти на древней земле казахов.

В настоящее время нефтегазовая отрасль Казахстана – одна из основных отраслей экономики. По состоянию на август 2012 года, доказанные запасы природного газа в Казахстане составили 4 трлн. м³, а нефти – 20–25 млрд. тонн. Объем добычи природного газа в 2011 году составил 39 млрд. м³, а добыча нефти – 80 млн. тонн.

Основные нефтегазовые месторождения расположены на каспийском шельфе (**Кашаган**, Курмангазы, Жамбай Южный, Каламкас-море), в прикаспийской области (**Тенгиз**, Прорва, Тенге, Каламкас, Жетыбай, Узень и др.), на северо-западе Казахстана – **Карачаганак**, на западе – Жанажол, Кенкияк, Урихтау, на юге – Кумколь (рис. 1). В качестве газоконденсатных месторождений следует отметить Имашевское (на севере Каспия), Бозойское и группы Шагырлы-Шомышты на западе, Придорожное и Амангельды Амангельдинской группы на юге Казахстана (см. рис. 1).

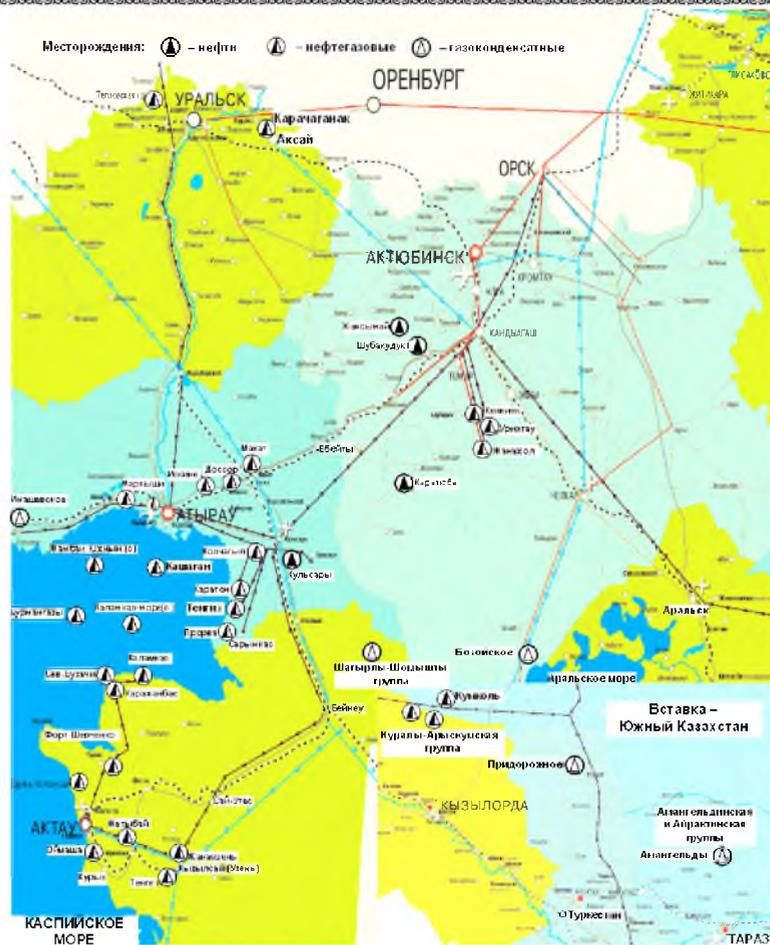


Рисунок 1 – Расположение основных нефтяных и газовых месторождений Казахстана

Самая глубокая скважина в Казахстане пробурена в 2011 году на структуре Тасым Юго-Восточный в 90 км от Атырау глубиной 7050 м. Скважина находится на начальной стадии освоения. Самой глубокой в мире скважиной является Кольская сверхглубокая СГ-3 глубиной 12 262 м (1970–1995 гг.). Самой длинной (пробурена под острым углом к поверхности Земли в 2011 году) является скважина длиной 12 345 метров месторождения Одопту-море пресекта Сахалин-1.

Среди бывших республик СССР Казахстан является вторым после РФ и девятым в мировом рейтинге по добыче нефти, где в лучшие годы добывалось 20–25 млн. тонн нефти. В первые годы независимости имело место падение добычи нефти, но современный уровень превосходит советский – в 2011 году в Казахстане добыто 80,06 млн. тонн нефти (рис. 2).

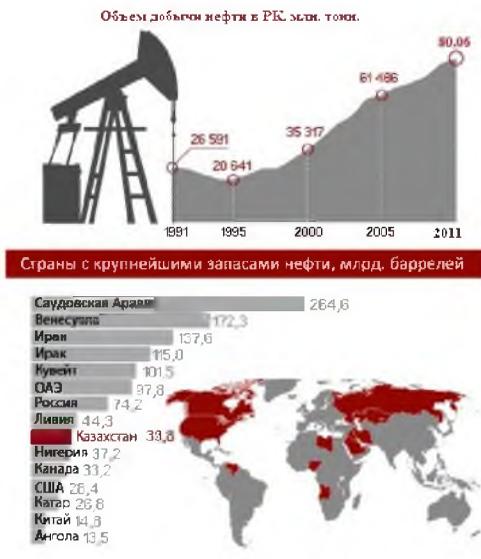


Рисунок 2 – График добычи нефти в Казахстане и занимаемое им место

Нефтегазовые месторождения

Кашаган – гигантское нефтегазовое месторождение Казахстана, расположенное на севере Каспийского моря (см. рис. 1). Относится к Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Месторождение было обнаружено в 2000 году – в год празднования 150-летия известного мангыстауского поэта-жырау XIX века – Кашагана Куржymanулы (слово *кашаган* означает черту характера – «норовистый, неуловимый»). Является одним из самых крупных месторождений в мире, открытых за последние 40 лет, а также крупнейшим нефтяным месторождением на море. Прогнозируемые запасы нефти Кашагана оцениваются различными источниками в широких пределах 1,5–10,5 млрд. тонн. Из них на Восточный приходится от 1,1 до 8 млрд. тонн, на Западный до 2,5 млрд. тонн и на Юго-Западный – 150 млн. тонн. Запасы природного газа составляют более 1 трлн. м³[1].

Разработка месторождения ведётся в сложных геологических условиях – шельфовая зона, большие глубины залегания (до 5500 м), высокое пластовое давление (80 МПа), высокое содержание сероводорода (до 19 %). Нефть высококачественная – вязкостью 46 °API, но с высоким газовым фактором, содержанием сероводорода и меркаптанов.

Для освоения и оценки Кашагана построено 2 искусственных острова (рис. 3), пробурено 6 разведочных и 6 оценочных скважин. Суточный дебит первой скважины (Восток – 1) составил 600 м³ нефти и 200 тыс. м³ газа. Вторая скважина (Запад–1) была пробурена на Западном Кашагане в мае 2001 года в 40 км от первой. Она показала суточный дебит в 540 м³ нефти и 215 тыс. м³ газа.



Рисунок 3 – Нефтегазовое месторождение Кашаган

Компании-партнеры по проекту «Кашаган»: ENI (Ente Nazionale Idrocarburi – «Государственное нефтепромышленное объединение» итальянская нефтяная и газовая компания), KMG Kashagan B. V. (дочернее предприятие Казмунайгаза), Total, ExxonMobil, Royal Dutch Shell имеют равные доли акции по 16,81%, ConocoPhillips – 8,4%, Inpex – 7,56%.

Сроки добычи нефти на Кашагане переносились несколько раз с 2008 года. Последний перенос – на конец 2012 – начало 2013 года. Добыча нефти на Кашагане, по расчётам ENI, в 2019 г. должна достичь 75 млн. тонн в год. С Кашаганом Казахстан войдет в Топ-5 мировых нефтедобытчиков.

Тенгиз (каз. теңіз – море) – нефтегазовое месторождение в Атырауской области Казахстана, в 160 км к юго-востоку от г. Атырау (см. рис. 1). Относится к Прикаспийской нефтегазоносной провинции, открыто в 1979 году.

Извлекаемые запасы месторождения оцениваются от 750 млн. до 1,1 млрд. тонн нефти. Прогнозируемый объем геологических запасов составляет 3,1 млрд. тонн нефти. Запасы попутного газа оцениваются в

1,8 трлн м³. Тенгиз занимает второе место по запасам нефти в Казахстане (после Кашаганского месторождения). Добыча нефти на Тенгизе в 2010 году составила 26 млн. тонн [2].

Залежи углеводородов расположены на глубине 3,8–5,4 км (самое глубокое крупное нефтяное месторождение в мире), коэффициент нефтенасыщенности 0,82. Начальный дебит нефти 500 м³/сут. Начальное пластовое давление 84 МПа, температура 105 °С, плотность нефти 789 кг/м³. Нефть сернистая 0,7%, парафинистая 3,69%, малосмолистая 1,14%, содержит 0,13% асфальтенов и имеет небольшую вязкость.

В 1985 году на скважине № 37 произошёл выброс фонтана нефти и газа, воспламенившийся через несколько часов. В мировой практике никогда ещё не было более мощного выброса нефти с ядовитым газом, содержащим до 20% сероводорода и 10% углекислоты. В газетах ходит много легенд об аварии на этой скважине. В частности, отмечается, что скважину заглушили подземным ядерным взрывом, либо путём закачки раствора через пробуренную наклонную скважину в ствол аварийной. А вот, что об этом пишет В. Е. Левин – начальник штаба пожаротушения скважины № 37 – Тенгиз в статье «Случай на Тенгизе 37», опубликованной в журнале о пожарных и спасателях «Fire Rescue» № 1/2012 (06).

23 июня 1985 г. во время бурения на глубине 4467 м была потеряна циркуляция промывочной жидкости (очевидно, стала уходить в пласт при давлении 85 МПа). По приказу главного инженера стали поднимать бурильную колонну. При подъёме 15-й свечи было отмечено движение пластовой жидкости по рабочим трубам. Попытка наверхнуть аварийную трубу с обратным шаровым клапаном не увенчалась успехом, и пластовая жидкость через рабочий инструмент по бурильным трубам начала фонтанировать через верхний открытый конец на высоту 14–15 метров. При закрытии превентора с перерезающими трубу плашками произошло воспламенение нефтегазового фонтана. Через 15–20 минут буровая вышка упала, герметизация устья была нарушена, скважина перешла на фонтанирование и по межтрубному пространству. Из-за наличия в устье скважины обрушенного оборудования пламя приобрело расплывчатый вид и горение стало объёмным с температурой порядка 1500 °С. В местах соприкосновения пламени с землёй почва плавилась в стекловидную массу. Площадь горения составляла 450–500 кв. м, а высота пламени 50–60 м (рис. 4, а).

С помощью отстрела оборудования на скважине стальными болванками из орудия боевого танка удалось освободить устье и факел приобрёл форму компактной струи высотой 160–200 м (рис. 4, б). Температура воздуха на устье скважины достигала 125–190 °С, а на расстоянии 80 м – 140 °С, соответственно грунта 350–410 и 200 °С. После отстрела загромождающего оборудования на

глазах у участников ликвидации аварии в считанные минуты из скважины были выброшены бурильные трубы общей длиной 3800 м.

Поскольку колонный фланец головки обсадной колонны был в хорошем состоянии, было решено установить запорное оборудование с помощью специально изготовленного гидронатаквиватора. Только с третьей попытки под прикрытием водяных струй в новогоднюю ночь на колонный фланец была установлена превенторная сборка, позволившая поднять факел от земли на 6 метров и ослабить его мощь с помощью трёх горизонтальных участков, сжигающих газ на расстоянии более 100 метров от устья (рис. 4, в).

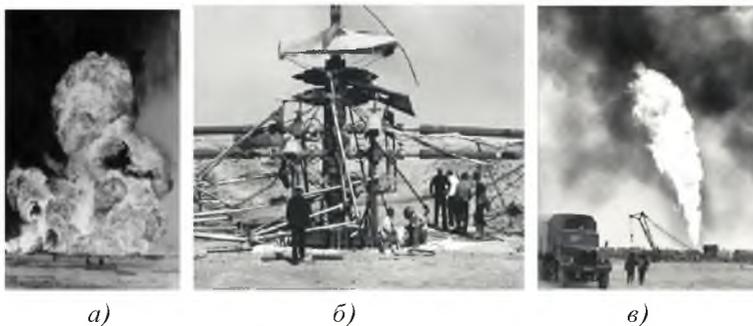


Рисунок 4 – Снимки факелов пламени и превенторной сборки

Для глушения и цементирования скважины с последующей её эксплуатацией (до настоящего времени эта скважина остаётся нерабочей) были опущены трубы обсадной колонны при горящем факеле (его нельзя было тушить на протяжении всего времени ликвидации аварии из-за высокой токсичности) только до глубины 3096 м – из-за деформации ствола скважины. Усилие при заталкивании труб с помощью гидравлической установки «ОТИС» достигало 65 тонн при давлении заталкивания 5 МПа. 27 июля 1986 года, через 398 суток после воспламенения газонефтяного фонтана, операция по глушению скважины путём закачки ИБР плотностью 2,0 г/см³ при давлении 21,1 МПа на колонной головке была завершена.

В 1993 г. Правительство Казахстана учредило ТОО СП «Тенгизшевройл» совместно компанией «Chevron» для разработки нефтяного месторождения Тенгиз. Сегодня партнерами являются уже четыре компании: АОНК «Казмунайгаз» (20%), «Chevron Overseas» (50%), «Exxon Mobil» (25%) и «Лукойл» (5%).

Карачаганакское месторождение (Карашыганак, каз.) – нефтегазо-конденсатное месторождение Казахстана, расположено на севере Западно-Казахстанской области, вблизи города Аксай (см. рис. 1). Открыто в 1979 году. Начальные запасы месторождения составляют 1,35 трлн. м³ газа и 1,2 млрд. тонн нефти и газового конденсата [3].

Плотность конденсата меняется от 778 до 814 кг/ м³. Плотность нефти колеблется от 810 до 888 кг/ м³. В нефти содержится: серы до 2%, парафинов до 6%. Пластовый газ состоит из 70% метана, 6% этана, 3% пропана и 21% других газов. В газе содержание сероводорода до 4%. Давление газа в пласте 60 МПа.

В настоящее время доли участия в Карачаганакском консорциуме распределены следующим образом: BG Group – 29,25% (ранее 32,5%), ENI – 29,25% (32,5% соответственно), Chevron – 18% (20%), «Лукойл» – 13,5% (15%), КМГ (КазМунайГаз) – 10 %. Для реализации Карачаганакского проекта эти компании объединились в консорциум «Карачаганак Петролеум Оперейтинг». Планируется, что КПО будет осуществлять управление проектом до 2038 года.

Добыча нефти и газового конденсата в 2008 году составила 12,6 млн. тонн, добыча газа в этом же году – 15,2 млрд м³. Проектом развития месторождения планируется довести ежегодную добычу газа к 2012 году до 25 млрд. м³.

Жанажол – нефтегазоконденсатное месторождение в Мугалжарском районе Актюбинской области Казахстана. Относится к Прикаспийской нефтегазоносной провинции, открыт в 1978 году (см. рис.1). Залежи углеводородов расположены на глубине 1,9 – 3,6 км. Геологические запасы нефти оцениваются в 500 млн. тонн, а извлекаемые запасы – 100 млн. тонн нефти. Примерно треть из них уже добыта. Запасы природного газа составляет 133 млрд. м³ [4].

Дебит нефти 281 т/сут. Дебит газа 219 тыс. м³/сут. Плотность нефти 809 – 827 кг/м³, маловязкие, сернистые (0,7 – 1,1%), парафинистые (4,9 – 7,1%). Содержание силикагелевых смол 4,23 – 6,8%, асфальтенов 0,43 – 1,78%.

Газ газовых шапок тяжёлый, этансодержащий, доля тяжёлых углеводородов в нём достигает 18,5%, содержание метана 73,24%, сероводорода 2,94%, азота до 1,93%. Содержание стабильного конденсата 614г/м³. Плотность его 770кг/м³, в составе присутствуют до 3,6% парафина, 0,41% серы и 0,55% силикагелевых смол. По углеводородному составу конденсат имеет парафиновую основу. Общее содержание парафиново-нафтеновых углеводородов превышает 86%. Центр добычи – п-к Жанажол.

Жанажол разрабатывает компания CNPC-Актобемунайгаз — казахстанско-китайское совместное предприятие. Добыча газа в 2010 году составила 1,5 млрд. м³, а добыча нефти – 6,3 млн. тонн.

Узень – нефтегазовое месторождение в Мангистауской области Казахстана, на полуострове Мангышлак (см. рис. 1). Относится к Южно-Мангыстауской нефтегазоносной области. Залежи на глубине 0,9 – 2,4 километра. Открыто в 1961 году. Центр добычи – город Жанаозен. В сырьевую базу входят нефтегазовые месторождения «Узень» и

«Карамандыбас», газоконденсатные «Гасболат», «Западный Тенге», «Актас», «Южный Жетыбай» и одно газовое «Восточный Узень».

Запасы нефти 1,1 млрд. тонн. Общие извлекаемые запасы оцениваются в 191,6 млн. тонн нефти. Рекордный уровень добычи нефти – 16,3 млн. тонн был зафиксирован в 1975 году, минимальный – 2,7 млн. тонн в 1994 году. В 2012 году на месторождении предусмотрено увеличение нефтедобычи до 5,8 млн. тонн по сравнению с 5,1 млн. тонн по итогам 2011 года [5].

Оператором месторождение является АО «Разведка и Добыча НК «КазМунайГаз». Начиная с 2004 года, компания инвестировала в Мангистаускую область 11 миллиардов 641 миллион тенге. На модернизацию месторождения Узень планируется выделить более 43 миллиардов тенге, что почти равно государственным инвестициям, выделяемым на реализацию комплексного плана развития города Жанаозен.

Газовые месторождения

Амангельдинская группа, включающая газоконденсатные месторождения Амангельды, Анабай, Айрақты, Кумырлы, находится в 170 километрах к северу от Тараза (см. рис. 1). В соседстве с Амангельды расположены Айрактинская группа и месторождения Ушарал-Кемпиртубе. Сами месторождения Амангельдинской группы открыли еще в 1961 году.

Утвержденные геологические запасы Амангельдинской группы составляют 45,1 млрд м³, из них пригодного для употребления промышленностью и населением – 31,7 млрд. м³. Общие запасы конденсата составляют 2156 тыс. тонн. Извлекаемые запасы прогнозируются на уровне 50%. По оценкам независимых источников, общие запасы всей Амангельдинской группы могут достигать до 110 млрд. м³.

Рассматриваемые **месторождения уникальны содержанием гелия**. Гелий применяется во множестве областей современной химии и физики, учитывая, что этот элемент обладает самой низкой температурой кипения. Гелий используется, собственно, в лабораторных опытах физики низких температур, в качестве хладагента. Также его используют при консервации продуктов. Но самое главное – при автогенной обработке металлов, т. е. при высококачественной сварке гелий необходим для создания инертной среды. Такого рода сварка применяется, в первую очередь, в военно-промышленном комплексе.

Наибольшими запасами газа обладает месторождение **Амангельды**, открытое в 1975 году, глубины залегания газовых залежей небольшие от 450 м до 2500 м.

Запасы природного газа составляют 25,1 млрд м³, конденсата – 2,1 млрд. м³ [6]. Газ на 5–10 % калорийнее импортируемого узбекистанского газа.

Для его эксплуатации была создана дочерняя компания «Амангельды газ», которая ежегодно наращивает объемы производства. В 2011 году добыча составила 323,6 млн. куб. метров газа и 27,7 тыс. тонн газового конденсата, план на 2012 год – 344,1 млн. м³ газа и 27,7 тыс. тонн газового конденсата. Среднесуточная добыча газа составила 942 тыс. куб. метров газа, конденсата – 76 тонн. На сегодняшний день эксплуатационный фонд составляет 26 скважин.

С начала эксплуатации месторождения добыто свыше 2400 млн. м³ природного газа и 200 тыс. тонн газового конденсата.

Шагырлы-Шомышты – газовое месторождение находится в 100 км к северо-востоку от нефтепромысла Бейнеу (рисунки 1 и 5). Месторождение открыто в 1966 году. Это одно из самых крупных в Казахстане газовых месторождений наряду с Амангельдинским и Имашевским – на севере Каспийского моря на границе России и Казахстана (см. рис. 1). Общие запасы газа на месторождении Шагырлы-Шомышты оцениваются в 32,4 млрд. м³. Ежегодно здесь планируется добывать около 1 млрд. м³ газа на первом этапе и до 1,5 млрд. м³ газа в последующем [7].



Рисунок 5 – Газовое месторождение Шагырлы-Шомышты

Сравнительно высокие дебиты газа получены в центральных и северных частях поднятий (до 34–51 тыс. м³/сут.). Абсолютно свободный дебит газа достигает 288,5 тыс. м³/сут. Газ месторождения сухой, содержит 86,9% метана и незначительное количество этана. В составе газа установлены, %: азот 3,9–7,3, углекислый газ 0,5–2,35, присутствует гелий. Пластовые воды хлоридно-кальциевого типа, плотностью 1,08 г/см³ и минерализацией 87,9–147,2 г/л, содержат микрокомпоненты – йод, бром, бор.

Придорожное – газовое месторождение находится в 260 км к югу от г. Дзержказган (см. рис. 1). Поисковое бурение начато в 1971 г., в этом же году при проходке скважины № 3 с глубины 2456 м из песчаников фаменского

возраста был получен аварийный фонтан углеводородного газа дебитом до 1628 тыс.м³/сут. Размеры структуры 9х2,5 км при амплитуде 210 м. [8].

Глубина фаменской залежи в своде – 2400 м, высота залежи 140 м. Общая толщина продуктивного горизонта – 129 м, эффективная толщина – 37,5 м. Коллекторы трещинно-порового типа, средней пористостью 7 % при крайних ее значениях 3 – 1,8%, проницаемостью 0,038 мкм². Коэффициент газонасыщенности – 0,7. Пластовое давление – 28,5 МПа, температура пласта – 86⁰С. Дебит газа на 4,9-мм штуцере 74,4 тыс.м³/сут. Покрышкой для залежи служат галогенные осадки фаменского возраста толщиной до 450 м. Нижнесерпуховская залежь вскрыта на глубине 1178 м. Общая толщина газоносного горизонта – 102 м, эффективная толщина – 71,4 м. Емкостно-фильтрационные свойства обусловлены развитием трещиноватости. Пористость – 3,78%.

Начальный дебит – 96 тыс. м³/сут на 22,6-мм штуцере. Начальное пластовое давление – 15,1 МПа, температура 59 ⁰С. Покрышкой залежи служат разновозрастные сульфатно-терригенные (ангидриты, аргиллиты) отложения толщиной до 298 м. Состав газов фаменской залежи, %: метан 62,8–70,4, этан 1,2 – 1,76, пропан 0,11 – 0,12, бутан 0,12 – 0,04, изобутан 0,02, пентан и высшие 0,06, азот и редкие 27,6 – 34,2, гелий 0,21, углекислый газ 0,3 – 0,85.

Состав газов нижнесерпуховской залежи, %: метан 75,4 – 90, этан 0,51 – 2,06, пропан 0,14 – 0,36, бутан 0,03 – 0,21, изобутан 0,02, пентан и высшие 0,01 – 0,05, азот и редкие 7,4 – 22, гелий 0,155 – 0,255, сероводород 2,57, углекислый газ 0,55 – 1,25.

Бозойское – газовое месторождение было открыто трестом «Актюбнефтеразведка» в 1964 году на северо-западе Аральского моря (см. рис. 1). В это месторождение входят два газонасосных объекта – «Жаманкоянкулак» и «Жаксыкоянкулак». Первоначальные запасы в двух месторождениях составляли соответственно 11,785 и 12,248 млрд. м³. Промышленная эксплуатация месторождения началась в 1968 году. В начальной стадии газ подавался для собственных нужд Аральского ЛПУ, а затем, с вводом дожимной компрессорной станции, газ был подан в магистральный газопровод Бухара – Урал [9].

По окончании промышленной разработки залежей на территории бывшего месторождения было создано подземное хранилище газа, которое предназначено для выравнивания сезонной неравномерности газопотребления промышленных предприятий Урала и Актюбинской области. Пробная закачка газа в месторождение «Жаманкоянкулак» была осуществлена в 1974 году, а 28 ноября 1975 года Министерством газовой промышленности СССР был подписан приказ о переводе месторождения в статус подземного хранилища газа. В 1983 году началась пробная закачка

газа в месторождение «Жаксыкоянкулак». Сегодня подземное хранилище газа полностью обустроено, пробурены и введены в эксплуатацию скважины, обеспечивающие закачку и отбор до 3,5 млрд. м³ газа.

С увеличением добычи нефти и газа на таких месторождениях как Кашаган, Тенгиз, Карачаганак, Жанажол и т. д. в ближайшее время потребуется увеличить протяженность нефте- и газопроводов, строительство дополнительных нефте- и газоперерабатывающих заводов, увеличение числа хранилищ, а также модернизация и расширение уже имеющихся НПЗ и ГПЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 <http://ru.wikipedia.org/wiki/Кашаган>, веб-сайт www.bnews.kz.
- 2 [http://ru.wikipedia.org/wiki/Тенгиз\(тенгизское месторождение\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Тенгиз(тенгизское_месторождение)).
- 3 [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Карачаганакское нефтегазовое месторождение](http://ru.wikipedia.org/wiki/Карачаганакское_нефтегазовое_месторождение).
- 4 http://www.berkyt.kz/ke/index.php?option=com_content&view=article&id=193:2011-05-10-12-42-46&catid=59:2011-05-04-13-00-01&Itemid=98&lang=en.
- 5 веб-сайт www.bnews.kz, <http://www.zakon.kz/>.
- 6 [http://ru.wikipedia.org/wiki/Амангельды \(газовое месторождение\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Амангельды_(газовое_месторождение)).
- 7 <http://expert.ru/kazakhstan/2011/05>.
- 8 **Кнепель, М. Н., Высоцкий, В. И., Заргарян, Т. Г.** Современное состояние и тенденции развития нефтегазового комплекса Туркменистана и других центральноазиатских стран Ближнего зарубежья. – М. : , ОАО «Внииззарубежгеология», 2010. – 286 с.
- 9 http://82.200.130.64/rus/ekonomika/jubilej_bozojskogo_hranilishta_gaza.html.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.11.12.

P. E. Қайыржанов, В. В. Рындин, А. Т. Сагинаева

Қазақстанның мұнай және газды кен ошағы

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 20.11.12 редакцияға түсті.

R. E. Kairzhanov, V. V. Ryndin, A. T. Saginaeva

Oil and gas fields of Kazakhstan

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.
Material received on 20.11.12

Қазақстанның ең ірі кен орындары туралы келтірілген ақпарат: орналасқан жері, ашылған жылы, қосалқы қорлар және жылдық шығару көлемі, мұнай мен газдың физикалық қасиеттері және қатысушылардаң құрамы мен олардың мұнайгаз жобасындағы бөлігі. Іс-шараларда апаттарды ү № 37-Тенгиз. ңғымыларда жәю туралы сипатталады

Information is given about large oil and gas fields of Kazakhstan: location, year of opening, supplies and annual volume of booty, physical properties of oil and gas, and also structure of participants and their share in oil and gas projects. Actions for failure elimination on mining hole № 37–Tengiz are described.

УДК 621.313.3

В. В. Кибартас, Ю. В. Кибартене

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБМОТОК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Разработан способ идентификации электрических параметров обмоток двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Представлены результаты имитационного эксперимента.

Стремительное развитие и внедрение управляемого электропривода переменного тока с синхронными и асинхронными электродвигателями незначительно снижает долю производства двигателей постоянного тока в процентном соотношении к электродвигателям переменного тока. Двигатели постоянного тока применяются в электроприводах с широким диапазоном регулирования координат, в системах с электроснабжением постоянным током и находят широкое применение в электроприводах прокатных станков, станков, транспорта.

На стадии проектирования и при модернизации электроприводов постоянного тока целесообразно проводить исследования имитационным путем. Это позволит предварительно оценить статические (точность, диапазон) и динамические (быстродействие, колебательность, перерегулирование) показатели регулирования без создания физических моделей и проведения физических экспериментов.

Имитационный эксперимент предполагает использование математической модели электродвигателя в рамках оговоренных допущений, учитывающей погрешности измерительных, масштабирующих и преобразовательных устройств, а также точность программной среды, в которой реализован имитационный эксперимент.

Для построения имитационной модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением используется математическое описание, записанное в относительных единицах:

$$\begin{aligned} u_{\text{я}} &= r_{\text{я}} i_{\text{я}} + x_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}}}{dt} + \omega \cdot x_{12} \cdot i_{\text{в}} ; \\ u_{\text{в}} &= r_{\text{в}} i_{\text{в}} + x_{\text{в}} \cdot \frac{di_{\text{в}}}{dt} ; \\ M &= p \cdot x_{12} \cdot i_{\text{я}} \cdot i_{\text{в}} ; \\ M - M_{\text{ст}} &= J \frac{d\omega}{dt} , \end{aligned} \quad (1)$$

где $u_{\text{я}}$ - напряжение якоря; $i_{\text{я}}$ - ток якоря; $u_{\text{в}}$ - напряжение обмотки возбуждения; $i_{\text{в}}$ - ток обмотки возбуждения; $r_{\text{я}}$ - активное сопротивление обмотки якоря; $x_{\text{я}}$ - индуктивное сопротивление обмотки якоря; $r_{\text{в}}$ - активное сопротивление обмотки возбуждения; $x_{\text{в}}$ - индуктивное сопротивление обмотки возбуждения; x_{12} - взаимное индуктивное сопротивление обмоток якоря и возбуждения; M - электромагнитный момент; $M_{\text{ст}}$ - момент статического сопротивления; p - число пар полюсов; J - момент инерции; ω - частота вращения.

Электрические параметры обмоток, входящие в описание (1), реальных двигателей, как правило, неизвестны или отличаются от справочных, что не позволяет создавать адекватные объекту исследования модели для имитационного эксперимента.

Существуют известные способы определения электрических параметров двигателя постоянного тока, например, расчетный, метод вольтметра и амперметра [1, 2]. Расчетный способ обладает рядом недостатков. Основным недостатком заключается в том, что способ обладает невысокой точностью определения активного сопротивления и индуктивности обмотки возбуждения, так как для их определения необходимо знать точные значения конструктивных параметров двигателя. Метод вольтметра и амперметра также обладает существенным недостатком: невозможность определения индуктивных сопротивлений обмоток якоря и возбуждения.

Анализ системы уравнений (1) и методов параметрической идентификации динамических объектов позволяет разработать высокоточный

способ определения активных и индуктивных сопротивлений обмоток якоря и возбуждения. Задача определения искомых параметров решается методом наименьших квадратов [3, 4, 5].

Способ идентификации электрических параметров двигателя постоянного тока заключается в том, что измеряют напряжение $u_{\text{я}}$ и ток $i_{\text{я}}$ якоря, напряжение $u_{\text{в}}$ и ток $i_{\text{в}}$ обмотки возбуждения двигателя постоянного тока при неподвижном роторе, определяют первые производные токов якоря $\frac{di_{\text{я}}}{dt}$ и возбуждения $\frac{di_{\text{в}}}{dt}$. Далее, используя параметрические методы идентификации, определяют $r_{\text{я}}$ – активное сопротивление обмотки якоря и $x_{\text{я}}$ – индуктивное сопротивление обмотки якоря по выражению

$$\begin{bmatrix} r_{\text{я}} \\ x_{\text{я}} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} i_{\text{я}} & \frac{di_{\text{я}}}{dt} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} i_{\text{я}} & \frac{di_{\text{я}}}{dt} \end{bmatrix} \right)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{\text{я}} & \frac{di_{\text{я}}}{dt} \end{bmatrix}^T \cdot [u_{\text{я}}] \quad (2)$$

Активное сопротивление обмотки возбуждения $r_{\text{в}}$ и индуктивное сопротивление обмотки возбуждения $x_{\text{в}}$ идентифицируют по выражению

$$\begin{bmatrix} r_{\text{в}} \\ x_{\text{в}} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} i_{\text{в}} & \frac{di_{\text{в}}}{dt} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} i_{\text{в}} & \frac{di_{\text{в}}}{dt} \end{bmatrix} \right)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{\text{в}} & \frac{di_{\text{в}}}{dt} \end{bmatrix}^T \cdot [u_{\text{в}}] \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) получены из описания (1) с учетом того, что якорь двигателя постоянного тока неподвижен ($\omega = 0$, $M = 0$) и система уравнений (1) принимает вид:

$$\begin{aligned} u_{\text{я}} &= r_{\text{я}} i_{\text{я}} + x_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}}}{dt}; \\ u_{\text{в}} &= r_{\text{в}} i_{\text{в}} + x_{\text{в}} \cdot \frac{di_{\text{в}}}{dt}. \end{aligned} \quad (4)$$

Разработанный способ осуществляется следующим образом.

Для идентификации электрических параметров проводят два эксперимента при неподвижном якоря ($\omega = 0$):

1. Выводы обмотки возбуждения замыкают накоротко, а на обмотку якоря подают напряжение, определяют первую производную тока якоря $\frac{di_{\text{я}}}{dt}$ и идентифицируют активное $r_{\text{я}}$ и индуктивное $x_{\text{я}}$ сопротивления якорной цепи двигателя постоянного тока по выражению (2).

2. Выводы обмотки якоря замыкают накоротко, а на обмотку возбуждения подают специально сформированный тестовый сигнал, определяют первую

производную тока возбуждения $\frac{di_B}{dt}$ и идентифицируют активное r_a и индуктивное x_a сопротивления цепи возбуждения двигателя постоянного тока по выражению (3).

Параметры обмоток двигателя постоянного тока определяют по выражениям (2) и (3) с применением ЭВМ. При имитационном моделировании способа идентификации электрических параметров двигателя постоянного тока использована система MATLAB.

Имитационный эксперимент идентификации электрических параметров произведен для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением мощностью 4,8 кВт. В качестве тестового сигнала, подаваемого на обмотки якоря и возбуждения, использовано пульсирующее напряжение в диапазоне $(0,01 - 0,1) \cdot U_N$, с частотой пульсаций от 0,1 Гц до 100 Гц. Установлено, что частота пульсаций в выбранном диапазоне не оказывает значительного влияния на точность идентификации электрических параметров двигателя постоянного тока.

Корректность предложенного способа подтверждается результатами имитационного эксперимента, сведенными в таблицу 1.

Электрические параметры идентифицируются с точностью до 99%, точность определения активных сопротивлений якоря и возбуждения выше, чем точность определения индуктивных сопротивлений.

Таблица 1 – Результаты имитационного эксперимента идентификации электрических параметров двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Параметры	Обозначения	Ед. изм.	Справочные значения	Экспериментальные значения, без учета погрешностей датчиков	Экспериментальные значения, с учетом погрешностей датчиков
Активное сопротивление якорной цепи	r_a	о.е.	0,049	0,04900	0,04926
Погрешность идентификации активного сопротивления якорной цепи	δr_a	%	–	0,004	0,521
Индуктивное сопротивление якорной цепи	x_a	о.е.	0,308	0,309	0,312
Погрешность идентификации индуктивного сопротивления якорной цепи	δx_a	%	–	0,201	1,311

Активное сопротивление цепи возбуждения	r_b	о.е.	3,273	3,273	3,302
Погрешность идентификации активного сопротивления цепи возбуждения	δr_b	%	–	0,003	0,910
Индуктивное сопротивление цепи возбуждения	x_b	о.е.	1,285	1,287	1,304
Погрешность идентификации индуктивного сопротивления цепи возбуждения	δx_b	%	–	0,203	1,510

В соответствии с выражениями (2) и (3) для идентификации электрических параметров двигателя постоянного тока измеряют напряжения и токи обмоток якоря и возбуждения датчиками напряжения и тока соответственно, определяют первые производные токов обмоток якоря и возбуждения, и, используя параметрические методы идентификации (например, метод наименьших квадратов), идентифицируют активные и индуктивные сопротивления обмоток якоря и возбуждения двигателя постоянного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Постников, И. М.** Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин: Учебник для вузов, изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1975. – 319 с.
- 2 **Гольдберг, О. Д.** Испытания электрических машин: Учебн. для вузов. – 2-е изд. перераб. – М. : Высш. шк., 2000. – 255 с.
- 3 **Кибартас, В. В., Кибартене, Ю. В.** Идентификация параметров синхронной машины при неподвижном роторе // Материалы республиканской научно-теоретической конференции «Торайгыровские чтения», т.3. – Павлодар, ПГУ им. С. Торайгырова, 2003. – С. 168–173.
- 4 Предварительный патент РК № 15208 Способ определения параметров синхронной машины / Кибартас В. В., Кибартене Ю. В., Мельников В. Ю. Оpubл. 15.12.2004, бюл. № 12, – 8 с.
- 5 **Кибартас, В. В., Кибартене, Ю. В.** Метод идентификации параметров обмоток синхронных электродвигателей различных конструктивных особенностей // Вестник Павлодарского университета. – № 1. – 2004. – С. 163–168.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

В. В. Кибартас, Ю. В. Кибартене

**Тәуелсіз қоздырғышымен тұрақты тогының қозғалтқыш орамының
электр параметрлерінің идентификациясы**

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

V. V. Kibartas, Ju. V. Kibartene

**Identification of electric parameters of windings of the direct current
engine of independent excitement**

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 25.12.12

*Тәуелсіз қоздырғышымен тұрақты тогының қозағыш орамының
электр параметрлерін анықтау әдісі құрастыралған. Мақалада
имитациялық тәжірибенің нәтижелері берілген.*

*The way of identification of electric parameters of windings of a
direct current engine with independent excitement is developed. Results
of imitating experiment are presented.*

УДК 621.313.32

**В. В. Кибартас*, Ю. В. Кибартене*,
В. Ю. Мельников**, Е. В. Зигангирова****

**СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С НЕПОДВИЖНЫМ РОТОРОМ
КАК ОБЪЕКТ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ОБМОТОК**

*Рассмотрен синхронный электромеханический преобразователь
как объект идентификации. Приведено математическое*

описание синхронного электромеханического преобразователя в пространстве состояния. Сделан вывод о том, что к синхронному электромеханическому преобразователю возможно применение известных методов параметрической идентификации для определения электрических параметров обмоток.

Требования повышения надежности и энергетической эффективности технологических процессов и оборудования определяют постановку и решение научно-технических задач по созданию новых эффективных систем автоматического управления и регулирования с синхронными электромеханическими преобразователями (СЭМП). Желаемая надежность и эффективность во многом определена свойствами электрической машины, а именно, параметрами СЭМП, точные значения которых необходимы для формирования требуемых статических и динамических режимов.

В действительности реальные параметры электромеханических преобразователей могут значительно отличаться от паспортных данных, данных приводимых в справочной и технической документации, клиентских и наладочных формулярах. Это отличие может превышать 5...20 %.

Отличие реальных параметров от расчетных оказывает значительное влияние на статические и динамические показатели систем автоматического управления и регулирования СЭМП, серьезно ухудшая показатели надежности и энергетической эффективности технологического объекта.

Это вызывает необходимость создания специального инструмента, позволяющего простыми средствами осуществлять идентификацию параметров СЭМП. Таким инструментом может стать созданный научно-обоснованный метод, разработанные алгоритмы и технические реализации, обеспечивающие эффективную идентификацию параметров обмоток СЭМП различных конструктивных модификаций в режиме с неподвижным ротором [1]. Необходимыми условиями для обеспечения успешной идентификации параметров в режиме с неподвижным ротором являются следующие специальные требования к входным и выходным сигналам: входной сигнал должен возбуждать все собственные колебания объекта (объект должен быть управляемым), а выходной сигнал должен содержать достаточно информации об объекте (объект должен быть наблюдаемым и идентифицируемым) [2, 3]. Поэтому возникает необходимость проанализировать СЭМП с точки зрения объекта идентификации.

Управляемость, наблюдаемость и идентифицируемость объекта определяется из его математического описания в пространстве состояния методом переменных состояния. Модель состояния в общем случае имеет вид [2, 3]

$$\begin{aligned}\dot{X} &= A \cdot X + B \cdot U, \\ Y &= C \cdot X,\end{aligned}\quad (1)$$

где A , B , C – матрицы коэффициентов, соответственно: переменных состояния, размерностью $n \times n$; управления, размерностью $n \times r$; выхода, размерностью $m \times n$; X – n -мерный вектор-столбец переменных состояния; Y – m -мерный вектор-столбец выходных координат; U – r -мерный вектор – столбец переменных управления.

Для представления СЭМП в пространстве состояния воспользуемся математической моделью, представленной в виде дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные процессы, протекающие в СЭМП. При этом уравнения электромеханического преобразования не учитываются, т.к. идентификация проходит при неподвижном роторе, следовательно, $M=0$ и $\omega=0$.

Математическое описание СЭМП без демпферных обмоток представлено в виде, приведенном в [4, 5, 6]:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_a & 0 & 0 \\ 0 & r_a & 0 \\ 0 & 0 & r_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d\psi_d}{dt} \\ \frac{d\psi_q}{dt} \\ \frac{d\psi_f}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega & 0 \\ \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_f \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где индексы: d и q – статорной обмотки по продольной и поперечной осям d и q; f – обмотки возбуждения.

Потокосцепления обмоток по поперечной и продольной осям определяются соотношениями

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_d & 0 & x_{ad} \\ 0 & x_q & 0 \\ x_{ad} & 0 & x_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где индекс ad – взаимного влияния статорной обмотки и обмотки ротора по оси d.

Математическое описание неявнополюсного СЭМП без демпферных обмоток может быть получено как частный случай из уравнений явнополюсной синхронной машины (2, 3), принимая $x_d = x_q$ и $x_{ad} = x_{oq}$.

По уравнениям (2), (3) строим структурную схему (рисунок). Примем за переменные состояния потокосцепления ψ_d, ψ_q, ψ_f . Выходными координатами

являются токи по соответствующим осям i_d , i_q , i_f . Управляющими воздействиями будут напряжения u_d , u_q , u_f .

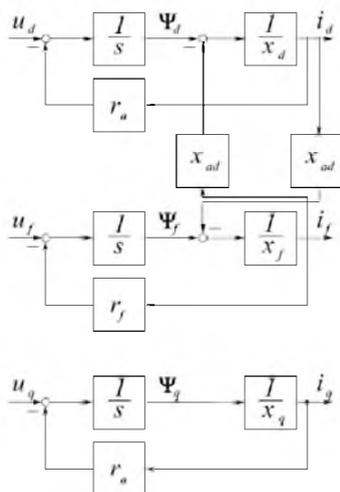


Рисунок 1 – Структурная схема СЭМП без демпферных обмоток при неподвижном роторе

На основании структурной схемы записываются выражения для определения переменных состояния

$$\dot{\psi}_d = u_d - \frac{r_a}{x_d} \psi_d + \frac{r_a x_d}{x_f} \psi_f; \quad (4)$$

$$\dot{\psi}_q = u_q - \frac{r_a}{x_q} \psi_q; \quad (5)$$

$$\dot{\psi}_f = u_f + \frac{r_f x_d}{x_d} \psi_d - \frac{r_f}{x_f} \psi_f. \quad (6)$$

Выходные координаты также определяются через переменные состояния

$$i_d = \frac{1}{x_d} \psi_d - \frac{x_d}{x_d x_f} \psi_f; \quad (7)$$

$$i_q = \frac{1}{x_q} \psi_q; \quad (8)$$

$$i_f = -\frac{x_d}{x_f x_d} \psi_d + \frac{1}{x_f} \psi_f. \quad (9)$$

Приведем уравнения (4–9) к виду (1)

$$\begin{bmatrix} \dot{\psi}_d \\ \dot{\psi}_q \\ \dot{\psi}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_a}{x_d} & 0 & \frac{r_a x_{ad}}{x_d x_f} \\ 0 & -\frac{r_a}{x_q} & 0 \\ \frac{r_f x_{ad}}{x_d x_f} & 0 & -\frac{r_f}{x_f} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_f \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \\ \dot{i}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{x_d} & 0 & -\frac{x_{ad}}{x_d x_f} \\ 0 & \frac{1}{x_q} & 0 \\ -\frac{x_{ad}}{x_d x_f} & 0 & \frac{1}{x_f} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_f \end{bmatrix}.$$

СЭМП является управляемым, если матрица управляемости U [2, 3]

$$U = [B; AB; A^2B]$$

имеет ранг равный трем (ранг матрицы равен порядку наибольшего минора, отличного от нуля).

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\frac{r_a}{x_d} & 0 & \frac{r_a x_{ad}}{x_d x_f} & \frac{r_a (r_f x_{ad}^2 + r_a x_f^2)}{x_d^2 x_f^2} & 0 & -\frac{r_a x_{ad} (r_a x_f + r_f x_d)}{x_d^2 x_f^2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -\frac{r_a}{x_q} & 0 & 0 & \left(\frac{r_a}{x_d}\right)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{r_f x_{ad}}{x_d x_f} & 0 & -\frac{r_f}{x_f} & -\frac{r_f x_{ad} (r_a x_f + r_f x_d)}{x_d^2 x_f^2} & 0 & \frac{r_f (r_a x_{ad}^2 + r_f x_d^2)}{x_d^2 x_f^2} \end{bmatrix}.$$

Система полностью наблюдаема, если по результатам наблюдения (измерения) выхода за ограниченный интервал времени можно оценить (восстановить) начальные значения всех переменных состояния. Для полной наблюдаемости СЭМП необходимо и достаточно, чтобы матрица наблюдаемости N

$$N = \left[C^T : A^T C^T : (A^T)^2 C^T \right]$$

имела ранг равный трем [2, 3].

$$N = \begin{bmatrix} \frac{1}{x_d} & 0 & \frac{x_d}{x_d x_f} & \frac{-x_d^2 - r_f^2}{x_d^2 x_f} & 0 & \frac{x_d (x_f + r_f x_d)}{x_d^2 x_f} & \frac{x_d^2 - r_f^2 x_d^2}{x_d^3 x_f} & 0 & \frac{x_d x_d (x_d - x_d) + x_d (x_d^2 - r_f^2 x_d)}{x_d^3 x_f} \\ 0 & \frac{1}{x_f} & 0 & 0 & \frac{r_f}{x_d} & 0 & 0 & \frac{r_f^2}{x_d^3} & 0 \\ \frac{x_d}{x_d x_f} & 0 & \frac{1}{x_f} & \frac{x_d (x_f + r_f x_d)}{x_d^2 x_f} & 0 & \frac{-x_d^2 - r_f^2}{x_d^2 x_f} & \frac{x_d x_d (x_d - x_d) + x_d (x_d^2 - r_f^2 x_d)}{x_d^3 x_f} & 0 & \frac{x_d^2 - r_f^2 x_d^2}{x_d^3 x_f} \end{bmatrix}$$

Система полностью идентифицируема, если по измерениям координат состояния объекта можно определить матрицу собственных (внутренних) коэффициентов системы [2, 3]. Для полной идентифицируемости СЭМП необходимо и достаточно, чтобы матрица идентифицируемости I

$$I = \left[X : AX : A^2 X \right]$$

имела ранг, равный трем.

$$I = \begin{bmatrix} \psi_d & \frac{r_d (x_d \psi_f - x_f \psi_d)}{x_d x_f} & \frac{r_d r_f x_d (x_d \psi_d - x_d \psi_f) + r_d^2 x_f (x_f \psi_d - x_d \psi_f)}{x_d^2 x_f^2} \\ \psi_q & -\frac{r_d}{x_d} \psi_q & \left(-\frac{r_d}{x_d} \right)^2 \psi_q \\ \psi_f & \frac{r_f (x_d \psi_d - x_d \psi_f)}{x_d x_f} & \frac{r_d r_f x_d (x_d \psi_f - x_f \psi_d) + r_f^2 x_d (x_d \psi_f - x_d \psi_d)}{x_d^2 x_f^2} \end{bmatrix}$$

Поскольку по условиям физической реализуемости все электрические параметры являются положительными и ненулевыми, то матрицы U, N имеют ранг равный трем. Матрица идентифицируемости I синхронной машины имеет ранг равный трем, если ψ_d, ψ_q, ψ_f не будут равны нулю.

При рассмотрении явнополюсного СЭМП с демпферной обмоткой пространство состояния расширяется, т.к. переменных состояния становится больше.

Показано, что СЭМП является полностью управляемым и наблюдаемым объектом. Идентифицируемым СЭМП является только при наличии потокосцеплений в обмотках. При нулевых значениях потокосцепления СЭМП находится в состоянии покоя и не может быть идентифицирован. Это создает принципиальную возможность осуществления полной

параметрической идентификации электрических параметров обмоток в режиме с неподвижным ротором, в том числе при учете различных конструктивных особенностей СЭМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пат. 15208 РК. МПК⁸ G01L 3/10. Способ определения параметров синхронной машины / В. В. Кибартас, Ю. В. Кибартене, В. Ю. Мельников. Заявлено 21.05.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12. – 8 с. : ил.
- 2 Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
- 3 **Эйххофф, П.** Основы идентификации систем управления: оценивание параметров и состояния. – М. : Мир, 1975. – 687 с.
- 4 **Горев, А. А.** Переходные процессы синхронной машины. – Л. : Наука, 1985. – 502 с.
- 5 **Ключев, В. И.** Теория электропривода. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
- 6 **Копылов, И. П.** Электрические машины. – 2-е изд., перераб. – М. : Высшая школа; Логос, 2000. – 607 с.

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

**Иновационный Евразийский университет, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

*В. В. Кибартас**, *Ю. В. Кибартене**, *В. Ю. Мельников***, *Е. В. Зигангирова***

**Айналым электр параметрлерінің объект идентификациясы
ретінде қозғалыссыз роторымен синхронды электр механикалық
түрлендіргіштер**

*С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

**Еуразиялық инновациялық университеті, Павлодар қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

*V. V. Kibartas**, *Ju. V. Kibartene**, *V. Ju. Melnikov***, *E. V. Zigangirova***

**The synchronous electromechanical converter with the motionless
rotor as object of identification of electric parameters of windings**

*Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.

** Innovative University of Eurasia, Pavlodar.
Material received on 25.12.12

Объект идентификациясы ретінде синхронды электр механикалық түрлендіргіштер қарастырылған. Жазықтықтағы синхронды электр механикалық түрлендіргіштерінің математикалық сипаттамасы келдірілген. Айналым электр параметрлерін анықтау үшін синхронды электр механикалық түрлендіргішке белгілі параметрлі идентификация әдісін қолдану мүмкіндігі бойынша қорытындылар жасалынды.

The synchronous electromechanical converter as object of identification is considered. The mathematical description of the synchronous electromechanical converter is provided in condition space. The conclusion is made that to the synchronous electromechanical converter application is possible of known methods of parametrical identification for determination of electric parameters of windings.

ӘОЖ 665.6.041

А. П. Кислов , С. А. Мендыбаев, Е. Б. Амренов

ҚҰБЫРЛЫ ПЕШТІ БАСҚАРАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ҚҰРАСТЫРУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Мақалада мұнай өңдеу зауыттының құбырлы пештің математикалық моделі қарастырылған, ол модель бойынша автоматты реттеу жүйелерін құрылымдық схемасы құрастыралған

Басқару объектілері бір сыйымдылықты және көп сыйымдылықты болуы мүмкін. Бір сыйымдылықты объектілер бір типтік звеномен, көп сыйымдылықтар – тізбектей, параллелді және аралас сұлба бойынша қосылған бірнеше типтік звенолармен суреттеледі [1,3].

Құбырлы пеш (автоматтандыру объектісі) көп сыйымдылықты болып саналады, себебі екі типтік звенолармен (апериодтық жүйе және транспорттық кешігу звеносы), яғни кешігуі бар қарапайым статикалық объекті үшін суреттеледі

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} / (T_{об} p + 1), \quad (1)$$

мұнда, $T_{об}$ – объектінің уақыт тұрақтылығы; $\tau_{об}$ – кешігу уақыты; $k_{об}$ – объектінің күшейткіш коэффициенті.

Бірінші ретті апериодтық (инертті) звеноның беру функциясы

$$W_{об}(p) = k_{об} / (T_{об} p + 1) \quad (2)$$

Транспорттық кешігу звеноның беру функциясы

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} \quad (3)$$

Пештің шығысындағы шығыс параметрлердің уақытқа тәуелділігі – эксперименталды айдау сипаттамасы бойынша объектінің динамикалық қасиеттерін сипаттайтын келесі параметрлер анықталады:

– кешігу – запаздывание – егер шығыс шамасы өзгеруінің максималды жылдамдығы нүктесінде графикке жанама жүргізсе және оны шығыс шамасының бастапқы тұрақтанған мәнінің сызығымен қиылысқанға дейін жалғастырса, онда ауытқу енгізу мезетінен абсцисс осінен жанамамен қиылысу нүктесіне дейін басқару объектісінің жалпы кешігуін $\tau_{об}$ анықтайды;

– уақыт тұрақтылығы – бастапқы тұрақтанған мән сызығымен жанаманың қиылысу мезетінен оның жаңа тұрақтанған мән сызығымен қиылысу мезетіне дейінгі уақыт аралығы объектінің уақыт тұрақтылығы $T_{об}$ деп аталады;

– кірісте жеке ауытқуға жатқызылған жаңа тұрақтанған күйге өту кезінде объектінің шығыс шамасының өзгеруін көрсететін сатикалық объект үшін екпін қисықтығы бойынша анықталатын жеткізу коэффициенті.

Объектінің күшейткіш коэффициенті $k_{об}$ объекті шығыс шамасының бастапқы күйден жаңа тұрақтанған күйге өтуі кезінде өзгеруі сияқты орташаландырылған екпіндік сипаттама бойынша анықталады.

Орташаландырылған екпіндік сипаттамаға жанама жүргізіп, жоғары жазылғандар негізінде объектінің динамикалық сипаттамасын суреттейтін негізгі параметрлерді анықтаймыз

$$k_{об} = 15.1^0 \text{ C}/(\text{M}^3 / \text{мин}); \tau_{об} = 2 \text{ мин}; T_{об} = 9 \text{ мин}$$

Сәйкесінше, (3) формулаға табылған мәндерді қойып, температураның АРЖ басқару объектісінің беру функциясын анықтаймыз

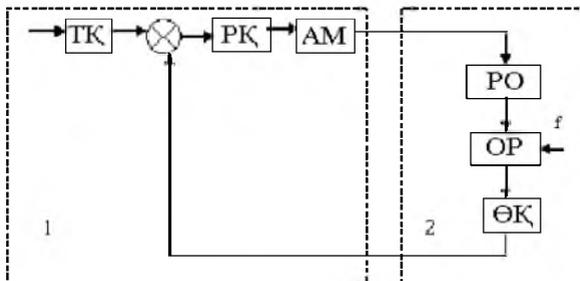
$$W_{об}(p) = \frac{15 \cdot 10^{-2} p}{9p + 1}$$

Қыздырылатын өнімнің температурасынан басқа пештің шығысында тағы екі реттелетін параметрлер бар:

- пешке шикізаттың шығыны;
- құбырлы пештің жылан түтігіндегі қысым (пешке енгізілгендегі шикізаттың қысымы).

Талдау кезінде автоматты басқару жүйесін типтік звенолар жиынтығы ретінде ұсынады: пропорционалды, апериодтық немесе бірінші ретті инерциялық, ауытқушы, интеграциялы, дифференциалды немесе кешігу звенолар[6].

Типтік автоматты реттеу жүйесінің құрылымдық сұлбасы 1 суретте көрсетілген.



1 сурет – Типтік АРЖ құрылымдық сұлбасы

Реттеуші құрылғы (РҚ) атқарушы механизммен (АМ), тапсырушы (ТҚ) және қосарлы құрылғылармен бірге автоматты реттеушіті 1 құрайды. Реттеуіш орган (РО), реттеу объектісі (ОР) және өлшеуіш құрылғы (ӨҚ) жалпыланған реттеу объектісін 2 құрайды.

Бірінші жақындауда басқару объектісінің қасиеті кешігу уақытының τ объектінің уақыт тұрақтылығына $T_{об}$ қатынасы бойынша бағалануы мүмкін: $\tau / T_{об}$. Қатынас үлкен болған сайын автоматтандыру есебі қиын болады, сондықтан әдетте

- $\tau / T_{об} < 0,2$ кезінде позициялық реттеушіті таңдайды;
- $0,2 \leq \tau / T_{об} \leq 1$ кезінде үздіксіз әрекетті реттеушіті таңдайды;
- $\tau / T_{об} > 1$ кезінде импульстік немесе сандық реттеушіті таңдайды.

Реттеуді жүзеге асыру үшін үздіксіз әрекет ететін реттеуішті таңдаймыз және біздің жүйеде позициялық реттеуіш сипатталатын автоауытқу режимі болмайды. ПИ-реттеуіш қалпына келтіруді есептік формулалар бойынша анықтаймыз:

$$k_p = \frac{0,7}{k_{об} \tau_{об} / T_{об}} = \frac{0,7}{15,1 \cdot 2 / 9} = \frac{0,7}{3,36} \approx 0,21$$

$$T_{II} = 0,7 \cdot T_{об} = 0,7 \cdot 9 = 6,3$$

мұнда, k_p – реттеуіш органы жүрісінің беру коэффициенті; T_{II} – уақыт, мин.

ПИ-реттеуіші бар автоматтандыру жүйесі қалыптасқан қателікті бір уақытта жою арқылы жақсы тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

ПИ-реттеуіштің беру функциясы мынадай

$$W_{\text{ПИ}}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{II} p} \right)$$

Сөйкесінше, қыздырылатын өнім температурасының автоматты реттеу жүйесінде пештен шыққандағы үздіксіз әрекетті реттеуіш (3.7) формулаға сәйкес мынадай өтпелі үрдіске ие

$$W_{\text{ПИ}}(p) = 0,21 \left(1 + \frac{1}{6,3p} \right) = 0,21 + \frac{0,21}{6,3} p$$

Сол сияқты пештегі шикізат шығынының АРЖ және пешке енгендегі шикізат қысымының АРЖ реттеуіштерінің функционалдау алгоритмін анықтаймыз. БО шығынын АРЖ кешігуі бар аппериодтық звеномен жуықталады, мұнда:

$$k_{об} = 0,9(\text{м}^3/\text{мин})/(\text{м}^3/\text{мин}),$$

$$\tau_{об} = 12\text{мин}, T_{об} = 24\text{мин}.$$

Есептеу әдістемесі пештен шыққандағы қыздырылатын өнім температурасының АРЖ ұқсас.

$\tau / T_{об}$ қатынасы бойынша реттеуіш типін анықтаймыз

$$\tau / T_{об} = 12 / 24 = 0,5|$$

$\tau / T_{об} > 0,2$ и $\tau / T_{об} < 1$ қатынасы болғандықтан, үздіксіз реттеуішті таңдай қажет (үздіксіз әрекетті реттеуіш).

ПИ-реттеуішті таңдаймыз (пропорционалды-интегралды реттеуіш).

ПИ-реттеуішті жөнге салуды (пештегі шикізат шығынын реттеу үрдісі үшін) мына формула бойынша анықтаймыз:

$$k_p = \frac{0,7}{k_{об} \tau_{об} / T_{об}} = \frac{0,7}{0,9 \cdot 12 / 24} = \frac{0,7}{0,45} \approx 1,56$$

$$T_{и} = 0,7 \cdot T_{об} = 0,7 \cdot 24 = 16,8.$$

мұнда, k_p – реттеу органы жүрісінің % / реттеу шамасының бірлігі;
 $T_{и}$ – изодром уақыты, мин.

Сәйкесінше, пештегі шикізат шығынын автоматты реттеу жүйесінде үздіксіз әрекетті реттеуіш осындай беру функциясына ие

$$W_{пш}(p) = 1,56 \left(1 + \frac{1}{16,8p} \right) = 1,56 + \frac{1,56}{16,8} p$$

Пешке енгендегі шикізат қысымының АРЖ қарастырайық. Берілген жүйеде басқару объектісі кешігуі бар бірінші ретті аппериодтық (инертті) звеномен жуықталған, мұнда $k_{об} = 0,27 \text{ атм} / (\text{м}^3 / \text{мин})$.

$$\tau_{об} = 5 \text{ мин}, \quad T_{об} = 29 \text{ мин}.$$

Реттеуіш типі мен функционалдау заңын пештен шыққандағы қыздырылатын өнім температурасының АРЖ және пештегі шикізат шығынының АРЖ реттеуішті таңдаған сияқты таңдаймыз. $T_{ог}$ қатынасын анықтаймыз

$$\tau / T_{ог} = 5 / 29 = 0,17$$

Сәйкесінше, релелік реттеуішті таңдау қажет, себебі $\tau / T_{ог} < 0,2$ қатынасы. Автоматтандырылатын үрдістің технологиясы автоауытқу режимін қабылдамайды, сондықтан АРЖ үздіксіз әрекетті реттеуіш колданылады.

ӘДЕБИЕТЕР ТІЗІМІ

- 1 Переработка нефти по топливному варианту: Учеб. пособие – М. : Химия, 1988. – Б. 96.
- 2 **Ентус, Н. Р.** Технологическое обслуживание и модернизация трубчатых печей – М. : Машиностроение, 1968. – 248 б.
- 3 **Ентус, Н. Р.** Трубчатые печи – М. : Химия, 1977. – 224 б.
- 4 Карманный справочник нефтепереработчика. – Л. : Химия, 1989. – 464 б.

Процессы разрушения металлов, являющиеся следствием их непосредственного химического взаимодействия с окружающей средой, относятся к химической коррозии. Процесс электрохимической коррозии в отличие от химической характеризуется тем, что протекающие при нем реакции сопровождаются возникновением электрического тока.

Значительная часть коррозионных процессов, протекающих в котельных агрегатах, являются электрохимическими. Сюда относятся коррозия под действием агрессивных газов (кислорода, углекислого газа), щелочная коррозия (частично), коррозионная усталость и щелочная хрупкость.

Сущность процесса электрохимической коррозии металла состоит в том, что при соприкосновении с электролитами на его поверхности образуются микрогальванические элементы. Они могут возникнуть вследствие возможных различий в химическом составе металла, различных отложений, температур, концентраций электролита, качества обработки поверхности на отдельных участках металла и т.п. Практически на поверхности нагрева, соприкасающейся с водными растворами различных веществ, может образоваться бесчисленное количество микроэлементов.

В котельных агрегатах наблюдаются как чисто химические, так и электрохимические коррозионные процессы. Нередко эти процессы протекают совместно. Примером чисто химической коррозии является пароводяная коррозия, при которой разрушение поверхностей нагрева происходит под действием перегретого водяного пара. Она является основным коррозионным процессом в условиях работы пароперегревателей. Кроме того, пароводяная коррозия может иметь место в парообразующих трубах, но лишь при нарушении в них гидродинамики (при расслоении пароводяной смеси и застое циркуляции воды). Пароводяная коррозия заключается в окислении железа водяным паром. Продуктами коррозии при этом являются окись-закись железа и водород: Пароводяная коррозия пароперегревателя, как правило, носит равномерный характер. На внутренней поверхности труб образуется пленка окислов, выполняющая защитные функции.

Основными факторами, влияющими на интенсивность пароводяной коррозии, являются температура и химический состав металла. Легирующие добавки в стали повышают устойчивость ее против пароводяной коррозии. Наиболее эффективными присадками являются молибден, хром и никель.

Пароводяная коррозия поверхностей нагрева котлов может иметь как равномерный, так и локальный характер. Равномерная коррозия, как правило, связана с образованием сплошной окалины в местах перегрева металла.

Пароводяная коррозия в пароперегревателях почти всегда равномерна, а в трубах котлов повреждения имеют разнообразную форму — от отдельных язвин (главным образом на обогреваемой стороне трубы) до сплошного разъедания металла.

Протекание равномерной пароводяной коррозии связано с чрезмерным ростом окисных пленок на перегретом металле вследствие взаимодействия с ним водяного пара. Локальные же виды пароводяной коррозии обусловлены частичным разрушением защитных пленок вследствие высоких тепловых нагрузок, наличия частых теплосмен и нарушений водяного режима, в первую очередь по содержанию в питательной воде котлов соединений железа и меди.

На интенсивность пароводяной коррозии основное влияние оказывают рабочая температура и химический состав металла труб. Пароводяная коррозия возникает в трубах из углеродистой и малолегированной стали, при высокой температуре пара, когда температура металла превышает 500 °С, в кипятильных и экранных трубах в зоне ослабленной циркуляции, при расслоении пароводяной смеси, застое пара и повышенном тепловосприятии на этих участках.

При высоких тепловых нагрузках и дестабилизации нормального режима кипения пароводяная коррозия может развиваться самостоятельно, даже при отсутствии отложений в экранных трубах и при питании котла водой согласно норм правил технической эксплуатации ТЭС и электрических сетей.

Развитию коррозии способствуют оксиды железа и другие загрязнения, приносимые водой из питательного тракта котла, вследствие чего происходит образование трещин с огневой стороны трубы, где наблюдается наиболее сильное наводороживание стали.

Язвенный вид пароводяной коррозии характерен выеданием металла на сравнительно небольшой площади огневой части труб преимущественно переходной зоны прямоточных котлов, входных змеевиков перегревателей и других участков поверхностей нагрева, где наблюдаются большие колебания тепловых нагрузок.

На многих отечественных электростанциях с газомазутными котлами, котловая вода которых фосфатируется, в зоне максимальных тепловых нагрузок через 3–4 года эксплуатации наблюдается интенсивная локальная коррозия в виде бороздок в местах сварки экранных труб.

На одной ТЭЦ в порядке опытной проверки вся экранная система, выполненная из стали 20 и подвергавшаяся подобному разрушению, была заменена трубами из стали 12Х1МФ. Замена не легированной стали малолегированной не только не снизила интенсивность коррозии, но, наоборот, привела к большей ее локализации.

Пароводяная коррозия в некоторых случаях сопровождается наводороживанием и обезуглероживанием поврежденного металла.

Для предупреждения пароводяной коррозии следует осуществлять комплекс мероприятий с учетом конструкции котлов, параметров вырабатываемого пара и условий эксплуатации.

Для предотвращения пароводяной коррозии в перегревателях при температуре выше 500 °С используются легированные стали, так как легирующие присадки (молибден, хром и никель) существенно повышают стойкость к ползучести и коррозии металла. Следует также предотвращать чрезмерный местный перегрев пара и металла труб выше допустимой температуры для данной стали, а также обеспечивать нормальное качество воды и хорошую циркуляцию в экранных и кипятильных трубах. В экономайзерах необходимо обеспечить равномерное распределение воды по змеевикам.

Если борьба с подшламовой коррозией предполагает в основном снижение выноса в котлы из питательного тракта оксидов железа, то предупреждение пароводяной коррозии требует еще обязательного воздействия на уровень тепловой нагрузки и (или) устранения нарушений гидродинамики потока среды. В ряде случаев предупреждение коррозионных повреждений металла экранных труб вблизи стыков контактной сварки обеспечивалось путем выноса стыков из зон высоких теплонапряжений или только в результате качественной переварки их ручной электродуговой сваркой без подкладных колец.

Устранение коррозии труб – обводов горелок – в некоторых случаях достигалось их ошпировкой с нанесением огнезащитного хромитного либо карборундового слоя либо изменением аэродинамики факела с оттяжкой его от экрана и предотвращением наброса пламени на трубы.

Иногда с целью предупреждения пароводяной коррозии прибегают к реконструкции топочно-горелочных устройств и (или) изменению водно-химического режима.

Протекание пароводяной коррозии может контролироваться рядом способов: проверкой состояния внутренней поверхности реальных труб по вырезкам коротких (около 600 мм) участков из различных зон котла примерно после годовичного срока эксплуатации; оценкой состояния металла специальных вставок после годовичного срока их пребывания в работающем котле; определением содержания водорода в питательной воде и паре работающего котла.

Химическая коррозия представляет собой реакции взаимодействия металла с внешней средой, не сопровождающиеся возникновением электрического тока.

При действии на металл химических соединений на его поверхности образуется пленка, состоящая из продуктов коррозии. Если образующаяся пленка не растворяется, имеет достаточную плотность и эластичность, а также хорошо сцеплена с металлом, то коррозия будет замедляться и при определенной толщине пленки может прекратиться. Химическая коррозия является сплошной коррозией, при ней толщина стенки трубы уменьшается равномерно. Такой процесс является менее опасным с точки зрения сквозного повреждения труб.

Химическая коррозия возникает от действия на металл различных газов и жидких неэлектролитов. Она не сопровождается превращением

химической энергии в электрическую. При действии на металл химических соединений на его поверхности образуется пленка, состоящая из продуктов коррозии. Если образующаяся пленка не растворяется, имеет достаточную плотность и эластичность, а также хорошо сцеплена с металлом, то коррозия будет замедляться и при определенной толщине пленки может прекратиться. Химическая коррозия является сплошной коррозией, при которой толщина стенки трубы уменьшается равномерно. Такой процесс является менее опасным с точки зрения сквозного повреждения труб.

Химическая коррозия характерна для сред, не проводящих электрический ток. При химической коррозии происходит прямое гетерогенное взаимодействие металла с окислителем окружающей среды. По условиям протекания коррозионного процесса различают: а) газовую коррозию в газах и парах без конденсации влаги на поверхности металла, обычно при высоких температурах.

Химическая коррозия представляет собой самопроизвольное разрушение металлов в среде окислительного газа (например, кислорода, галогенов) при повышенных температурах или в жидких неэлектролитах. Сущность процессов коррозии этого вида сводится к окислительно-восстановительной реакции, осуществляемой непосредственным переходом электронов металла на окислитель.

Газовая коррозия – наиболее распространенный вид химической коррозии. При высоких температурах поверхность металла под воздействием газов разрушается. Это явление наблюдается в основном в металлургии (оборудование для горячей прокатки, ковки, штамповки, детали двигателей внутреннего сгорания и др.)

Скорость протекания газовой коррозии определяется несколькими факторами: температуры окружающей среды, природы металла или состава сплава, характера газовой среды, времени контакта с газовой средой, от свойств продуктов коррозии.

Процесс химической коррозии во многом зависит от характера и свойств образовавшейся на поверхности оксидной пленки.

Процесс появления на поверхности оксидной пленки можно условно разделить на две стадии:

- на поверхности металла, которая непосредственно контактирует с атмосферой, адсорбируются молекулы кислорода;
- металл взаимодействует с газом с образованием химического соединения.

На первой стадии между поверхностными атомами и кислородом возникает ионная связь: атом кислорода забирает у металла два электрона. При этом возникает очень сильная связь, намного сильнее, чем связь кислорода с металлом в окисле. Возможно это явление наблюдается из-за действия на кислород поля, создаваемого атомами металла. После полного насыщения поверхности окислителем, что происходит почти мгновенно, при

низких температурах за счет ванн-дер-вальсовых сил может наблюдаться и физическая адсорбция молекул окислителя.

В результате образуется очень тонкая мономолекулярная защитная пленка, которая со временем утолщается, затрудняя подход кислорода.

На второй стадии, из-за химического взаимодействия, окислительный компонент среды отнимает у металла валентные электроны и с ним же реагирует, образуя продукт коррозии.

Если образовавшаяся оксидная пленка будет обладать хорошими защитными свойствами - она будет тормозить дальнейшее развитие процесса химической коррозии.

Чтобы оксидная пленка была защитной, она должна отвечать некоторым требованиям: не иметь пор, быть сплошной, хорошо сцепляться с поверхностью, быть химически инертной по отношению к окружающей ее среде, иметь высокую твердость, быть износостойкой.

Существует условие сплошности, которое формулируется так: молекулярный объем оксидной пленки должен быть больше атомного объема металла.

Сплошность – способность окисла покрывать сплошным слоем всю поверхность металла.

Если это условие соблюдается, то пленка сплошная и, соответственно, защитная.

Для определения толщины образовавшейся на поверхности оксидной пленки, изучения ее защитных свойств применяют множество методов. Защитную способность пленки могут определять во время ее формирования, по скорости окисления металла и характеру изменения скорости во времени. Если окисел уже сформировался, целесообразно исследовать толщину и защитные его свойства, нанося на поверхность какой-нибудь подходящий для этого случая реагент. По времени проникновения реагента к поверхности можно определить толщину пленки.

Даже уже образовавшаяся сплошная пленка не прекращает своего взаимодействия с металлом и окислительной средой.

На скорость химической коррозии очень сильное влияние оказывает температура. При ее повышении процессы окисления идут намного быстрее. При этом уменьшение термодинамической возможности протекания реакции не имеет никакого значения.

Особенно сильно влияет переменный нагрев и охлаждение. В защитной пленке вследствие появления термических напряжений образуются трещины. Сквозь трещины окислительный компонент среды имеет непосредственный доступ к поверхности. Формируется новая оксидная пленка, а старая – постепенно отслаивается.

Большую роль в процессе коррозии играет состав газовой среды. Но это индивидуально для каждого металла и изменяется с колебаниями температур.

Скорость окисления зависит от состава сплава. Возьмем, к примеру, железо. Добавки серы, марганца, фосфора и никеля не влияют на его окисление. Кремний, хром, алюминий – замедляют процесс. А бериллий, кобальт, титан и медь очень сильно тормозят окисление. При высоких температурах интенсифицировать процесс могут вольфрам, молибден, а также ванадий. Это объясняется летучестью или легкоплавкостью их окислов.

Наблюдая за скоростью окисления железа при различных температурах, отметим что с увеличением температуры самое медленное окисление наблюдается при аустенитной структуре. Она является наиболее жаростойкой, по сравнению с другими.

На скорость протекания химической коррозии влияет и характер обработки поверхности. Если поверхность гладкая, то она окисляется медленнее, чем бугристая поверхность с дефектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Агожин, Ф. Ф.** Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. М. : Металлургия, 1974. – 256 с.
- 2 **Балезин, С. А.** Отчего и как разрушаются металлы. – М., 1971. – 546 с.
- 3 **Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К.** Коррозия и консервация энергетического оборудования. – Павлодар, 2011. – 728 с.
- 4 **Розенфельд, И. Л.** Основы коррозии и защиты металлов. – М. : Иваново, 1969. – 446 с.
- 5 **Скорчеллетти, В. В.** Теоретические основы коррозии металлов. – Л. : Химия, 1973.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

A. N. Kozkin, A. B. Abeldinova, A. A. Omarov, A. I. Glazyrin
Бу мен су аралас коррозия. Химиялық коррозия.

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

A. N. Kozkin, A. B. Abeldinova, A. A. Omarov, A. I. Glazyrin
Steam-water corrosion. Chemical corrosion.

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.
Material received on 25.12.12

Мақалада коррозияның үдерістері, металды коррозиядан қорғау көріністері және іс-шаралар бейнеленген.

The article describes the processes of corrosion, its types and measures that help protect the metal from corrosion.

УДК 621.182.36

**А. А. ЛЫСИКОВА, А. А. БАЙДЕЛЬДИНОВА,
Д. Б. АМИРЖАНОВА, А. И. ГЛАЗЫРИН**

КОНСЕРВАЦИЯ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ АММИАЧНЫМ РАСТВОРОМ ТРИЛОНА Б

Рассматриваются характеристики трилона Б, его применение

Одним из наиболее эффективных реагентов для проведения консервации барабанного котла является аммиачный раствор трилона Б.

Динатриевая соль этилендиамина тетрауксусной кислоты (комплексон-III, трилон Б, хелатон III, ЭДТА) – представляет собой белый кристаллический порошок или кристаллы белого цвета, хорошо растворимые в воде и щелочах, очень малорастворимые в спирте. Растворимость в воде при температуре 20 °С составляет 100 г/л, при температуре 80 °С – 230 г/л. ж; рН 1 %-ного водного раствора 4,5; рН препарата с массовой долей 5 % 4–5.5.

Образует очень устойчивые комплексные соединения с большинством катионов. Что и обуславливает его основное применение, он делает нерастворимые соли металлов растворимыми.

Схема действия его основана на извлечении ионов металла из нерастворимых солей металлов и замещения их на ионы натрия, почти все соли, которого растворимы в воде, причем независимо от валентности металла одна молекула трилона реагирует с 1 молекулой металла. Это ценное свойство нашло огромное применение в аналитике. Причем трилон Б не является окислителем, и не взаимодействует с металлами, находящимися в нулевой степени окисления. То есть не разрушает железные конструкции емкости и оборудование, при этом очень эффективно и безопасно снимает с них ржавчину (FeIII и FeII). Или накипь, извлекая из отложений ионы кальция и магния. Также он достаточно инертен по отношению и к органике, и к водным растворам ПАВ, что делает его незаменимой добавкой в моющие средства, позволяющие регулировать пенообразование, в жесткой и не жесткой воде. Трилон Б применяют для очистки

автомобильных систем охлаждения, защиты стиральных машин как отдельный препарат или в комплексе со стиральным порошком.

Основные физические свойства Трилона Б: температура плавления 110 °С, температура разложения 255 °С, рН 1 %-ного водного раствора 4,0 – 4,5, растворимость в воде при температуре 20 °С составляет 100 г/л, при температуре 80 °С – 230 г/л.

Опасность для человека: может вызвать раздражение кожных покровов, слизистых оболочек глаз и дыхательных путей. Средства индивидуальной защиты: противопылевой респиратор, средства защиты лица, глаз.

Консервацию котлов, турбоустановок и другого теплоэнергетического оборудования проводят для предотвращения коррозии металла внутренних поверхностей как при режимных остановах (вывод в резерв на определенный и неопределенный сроки, вывод в текущий, средний и капитальный ремонт, аварийный останов), так и при остановах в продолжительный резерв или ремонт (реконструкцию). Консервация предназначена также для защиты поверхностей металлических изделий от коррозии в процессе изготовления, временного хранения на складах предприятий-изготовителей, при транспортировании и хранении у потребителя, а также в следующих случаях:

Временная противокоррозионная защита изделий производится предприятиями-изготовителями и выполняется в соответствии с технологическим процессом производства изделий.

На поверхностях изделий, поступающих на консервацию желателен отсутствие коррозионных поражений, а температура поверхности изделий не должна быть ниже температуры воздуха помещения.

Если это отдельные детали и узлы, то консервация должна проводиться в специально оборудованных помещениях или участках сборочных и других цехов, позволяющих соблюдать установленный технологический процесс и требования безопасности. Поверхности изделий, недоступные для временной противокоррозионной защиты без специальной разборки изделия, подвергают консервации в процессе сборки.

Если выполнена консервация отдельных деталей или узлов перед отправкой их потребителю, то в сопроводительной документации предприятия-отправителя на законсервируемые изделия должны быть указаны: дата консервации, вариант внутренней упаковки, условия хранения (климатическая зона, вид склада и т. п., а также срок защиты без переконсервации).

Необходимо предусматривать нейтрализацию или обезвреживание сбросных вод, а также возможность повторного использования консервирующих растворов.

Трилонная обработка поверхностей нагрева котла является одним из вариантов выполнения консервации экранных поверхностей нагрева

барабанных котлов выполняемых в режиме пуска при растопке. Одним из наиболее эффективных реагентов, применяемых для создания защитных оксидных пленок на металле при высоких температурах, следует считать аммиачный раствор трилона Б. При разработке технологии учитывается ряд особенностей в поведении аммиачного раствора трилона Б при различных температурах.

Пассивация поверхностей нагрева раствором трилона Б основана на термическом разложении предварительно образованных комплексонатов железа.

На первом этапе обработки при температуре среды около 150 °С происходит подготовка поверхностей нагрева водяного экономайзера и экранов котлов к созданию на них защитной пленки за счет комплексования железа из отложений и перевода его в раствор. Осуществляется отмывка поверхностей нагрева от отложений. На втором этапе при температуре среды более 160 °С происходит термолит части комплексонатов железа с образованием защитной пленки на поверхности металла.

В процессе разложения комплексонатов железа выделяются газообразные продукты, в том числе водород и аммиак, которые удаляются с паром и пассивируют пароперегреватель.

Преимуществом данного способа следует считать совмещение пассивации поверхностей нагрева трилоном Б с растопкой котла.

Расчетная концентрация трилона Б в воде, заполняющей котел перед растопкой от 300 до 3000 мг/кг.

На первом этапе обработки поддержание в течение 1,5 – 2 ч в котле давления от 0,5 до 1,0 МПа. Затем выполняется продувка котла нижними точками для удаления отмытых отложений, заполнение котла новой порцией трилона Б с аммиаком. Идет растопка котла и пуск его в работу, при выполнении периодически продувки нижними точками. Обработка используется:

- обработка трилоном Б с аммиаком применима для всех типов барабанных котлов давлением выше 3,9 МПа независимо от режимов коррекционной обработки питательной воды (гидразинно-аммиачной или аммиачной) и котловой воды (фосфатной или комплексонной);

- проведение обработки после химической очистки (предпусковой и эксплуатационной) на котлах, где предусмотрена коррекционная обработка питательной воды гидразином до капитального ремонта и после него;

- проведение обработки на электростанциях, где гидразин не применяется по условиям снабжения паром потребителей, помимо указанных случаев еще и не менее одного раза в год, например, после осенне-зимнего максимума.

- возможно увеличение концентрации реагента в растворе с учетом того, чтобы после подпитки котла до растопочного уровня концентрация трилона Б

в котловой воде была в нужных пределах в случаях, когда вместимость бака недостаточна для заполнения котла до растопочного уровня;

- включение линии рециркуляции котловой воды на вход экономайзера, отключение ее только на период подпитки котла водой;
- выдержка в течение 1,5–2,0 ч при достижении в котле давления 0,5–1,0 МПа;
- прекращение растопки, при наличии взвеси, если пробы воды мутные или содержание свободного трилона менее 30 мг/кг, с дренированием раствора из котла.

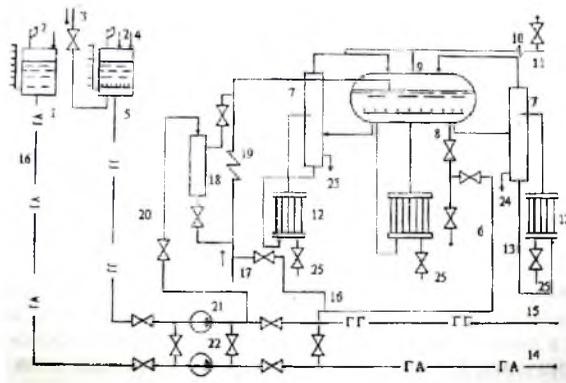


Рисунок – 1 Схема консервации барабанного котла аммиачным раствором трилона Б

1 – бак концентрированного раствора аммиака; 2 – концентрированный раствор аммиака; 3 – подача воздуха; 4 – подача трилона Б; 5 – бак концентрированного раствора трилона Б; 6 – трубопровод подачи консервирующего раствора в барабан котла; 7 – выносной циклон (солевой отсек); 8 – линия фосфатирования котла; 9 – барабан котла (чистый отсек); 10 – пароперегреватель; 11 – воздушник пароперегревателя; 12 – экран (солевой отсек); 13 – опускные трубы; 14 – трубопровод подачи аммиака на другие котлы; 15 – трубопровод подачи трилона Б и аммиака на другие котлы; 16 – трубопровод подачи концентрированного раствора аммиака на вход экономайзера котла; 17 – питательная вода на вход экономайзера; 18 – шайбовый дозатор; 19 – экономайзер; 20 – подача концентрированного раствора трилона Б и аммиака в шайбовый дозатор; 21 – насос-дозатор трилона Б и аммиака; 22 – насос-дозатор аммиака; 23–24 – линия непрерывной продувки; 25 – линия периодической продувки.

Для выполнения консервации монтируется отдельная схема, показанная на рисунке. Оборудование, необходимое для приготовления концентрированного консервирующего раствора, можно размещать в

существующем помещении трилонной установки котлотурбинного цеха. В этом случае трилонно-аммиачный раствор из бака 5 заранее подается насосом дозатором 21 по трубопроводу 20 в шайбовый дозатор 18. Лучший вариант расположения баков в котельном цехе – на отметке, позволяющей самотеком заполнять шайбовый дозатор любым из консервирующих растворов: аммиачным и трилонно-аммиачным. В схеме монтируют два бака из простой стали вместимостью 0,5–1,5 куба каждый. Бак 1 используют для хранения концентрированного аммиачного раствора, бак 5 – для приготовления и хранения раствора трилона Б и аммиака. Все трубопроводы изготавливают из простой стали. Подачу реагентов осуществляют насосами-дозаторами 21, 22. Баки для приготовления концентрированных растворов трилона Б и аммиаком оборудуют стёклами с делениями, позволяющими производить измерения расхода раствора с точностью до 2–3 л., и дренажными трубопроводами диаметром 38–50 мм. для периодической промывки баков. Воздушники баков могут быть объединены и должны быть выведены за пределы зон обслуживания котельного оборудования цеха.

При установленных насосах-дозаторах на трубопроводах подвода аммиака и трилона Б запорную арматуру устанавливают вблизи насосов-дозаторов.

Их общестанционных помещений хранения трилона Б и аммиака в баке 1 и 5 по линиям 2–4 за несколько часов до начала консервации подают расчетное количество концентрированного раствора трилона Б и аммиака. Для обеспечения подачи расчетного количества реагентов целесообразно выполнять заполнение бака 5 раствором трилона Б и аммиака только для проведения одной консервации. Подачу консервирующего раствора в баке 1 и 5, как правило, осуществляют в дневное время под наблюдением инженера-химика дневной лаборатории и с учетом продолжительности простоя котла выбирают необходимое количество реагентов. Подачу консервирующих растворов в шайбовый дозатор и на котел выполняет вахтенный дежурный персонал. В баке 1 на случай непредвиденной дополнительной дозировки желательно иметь избыток раствора аммиака. Для перемешивания трилона Б с аммиаком в бак 5 подводят сжатый воздух или пар. На период перемещения раствора воздухом (30–60 с.) воздушник должен быть открыт, при перемешивании паром – закрыт.

Консервацию котла высокого давления раствором трилона Б и аммиака выполняют в следующем порядке. За 10–12 ч. до начала проведения консервации прекращают фосфатирование. Непосредственно перед отключением котла от паросборного коллектора желательно произвести удаление шлама через нижние коллекторы экранных поверхностей нагрева. Самотеком или насосами-дозаторами 21, 22 заполняют шайбовый дозатор 18 расчетным количеством концентрированного раствора трилона Б и аммиака из бака 5 по линии 20. За 10–15 мин. до отключения котла

от общего паросборного коллектора прекращают непрерывную продувку. После отключения котла от паросборного коллектора включают линию рециркуляции котловой воды из барабана котла на вход экономайзера и подают концентрированный консервирующий раствор реагентов из шайбового дозатора 18 на вход экономайзера в барабан котла 9. За 5–10 мин. до окончания ввода реагентов в котел согласно режимной карте останова открывают продувку пароперегревателя. Продувку ведут не более 10–15 с. с минимальными расходами. Это обеспечивает сохранение высокой температуры, необходимой для обеспечения высокой эффективности консервации.

Для перемешивания консервирующего раствора необходимо на 10–15 мин., одновременно с начала продувки пароперегревателя, включать 1–2 мазутные форсунки.

Консервация котла происходит при его постепенном остывании, и поэтому продолжительность процесса пассивации определяется параметрами котла. Окончанием пассивации следует считать момент, когда температура котловой воды снижается до 200–250 °С. Процессу пассивации сопутствуют частичная отмывка поверхностей нагрева котла от рыхлых отложений, переходящих в шлам, которые необходимо удалить с продувкой. В период консервации непрерывная продувка закрыта, первую периодическую продувку через нижние коллекторы проводят через 3–4 ч., начиная с панелей соленых отсеков. При консервации котлов с номинальным давлением 15,5 МПа продувку обычно проводят при 7,5; 4,5 и 1,0 МПа. При консервации котлов с номинальным давлением 11,0 МПа удаление шлама через нижние коллекторы экранов проводят при давлении в барабане котла 6,0; 4,5 и 1,0 МПа. Продолжительность продувки каждой панели при давлениях 7,5; 6,0 и 4,5 МПа составляет 10–15 с., а при давлении 1,0 МПа – 30–60 с.

В схеме предусмотрена возможность дозирования концентрированного консервирующего раствора трилона Б с аммиаком из бака 5 или аммиака из бака 1 насосами-дозаторами 21 или 22 по линии 16 на вход экономайзера, по линии 20 в шайбовый дозатор и по линии 6 в линию фосфатирования и барабан котла. При проведении продувок котла в питательную воду перед экономайзером дозируют концентрированный раствор аммиака из расчета получения рН не менее 10,5, что позволяет исключить нарушение пассивной пленки на поверхностях нагрева экономайзера. При давлении в барабане котла на уровне 1,0–1,2 осуществляют продувку пароперегревателя в течение 1–1,5 мин. В это время в питательную воду и в барабан котла так же дозируют концентрированный раствор аммиака для создания рН питательной воды не менее 10,5. Поверхности нагрева пароперегревателя заполняют паром с высоким содержанием аммиака, что обеспечивает создание пассивной пленки и на этих поверхностях, а

так же защищает пароперегреватель от коррозии при конденсации пара после полного остывания котла. По окончании консервации и на период всего простоя воздушники пароперегревателя открывать не следует с целью сохранения в них аммиачного раствора. Наиболее эффективная отмывка поверхностей нагрева пароперегревателя и создание на них защитной пленки происходят в период проведения первой его продувки. В это время, так же как и при последующих продувках пароперегревателя, в питательную воду перед экономайзером подают концентрированный трилонно-аммиачный раствор из расчета получения в питательной воде 30–50 мг/кг трилона Б и рН не менее 10,5.

При завершении консервации содержание железа и меди в консервирующем растворе заметно возрастает. Так, при подпитке котла химически обессоленной водой содержание железа в чистом отсеке может увеличиваться в 8–15 раз, достигая 0,5 мг/кг, а в соленом отсеке – в 11–40 раз, достигая 2,5 мг/кг, в отдельных случаях 3,5–4,5 мг/кг. Точно так же содержание меди в чистом отсеке может достигать 250–450, а в соленом отсеке – 350–500 мкг/кг. При большой загрязненности поверхностей нагрева может возрасти и жесткость, поэтому по окончании расхолаживания котла консервирующий раствор необходимо сдренировать. Однако, при наличии в консервирующем растворе непрореагировавшего трилона Б или рН не менее 11, его можно оставить и в котле.

При правильно выбранной исходной концентрации трилона Б в консервирующем растворе остаточная концентрация его при сбросе не превышает 3–5 мг/кг. Поскольку в растворе содержится достаточное количество окислов меди, при дренировании на воздухе трилон Б быстро разлагается, и при сбросе следует лишь нейтрализовать аммиак и удалить или разбавить окислы тяжелых металлов. Во избежание нарушения защитной пленки после слива консервирующего раствора не рекомендуется промывать внутренние поверхности нагрева котла, а также заполнять его водой с величиной рН ниже 10,5. В случае необходимости выполнения опрессовки в питательную воду при заполнении также целесообразно дозировать концентрированный раствор аммиака для повышения рН до 10 и более.

Контроль за качеством консервации следует осуществлять по образцам их поверхностей нагрева котла, вырезаемым непосредственно после ее проведения и по окончании ремонта, а также визуальным осмотром барабана котла. Законсервированная поверхность металла должна иметь темную пассивную пленку. Для контроля качества этой пленки в период проведения исследовательских и наладочных работ часть образцов из консервированных поверхностей нагрева помещают в обессоленный конденсат в открытой емкости; пассивная пленка на образцах не разрушится в течение 5 мес.

Таким образом, исследования и опыт промышленного использования технологии высокотемпературной консервации поверхностей нагрева котлов показали, что при использовании трилонно-аммиачного консервирующего раствора с концентрацией 30–200 мг/кг трилона Б, при рН более 10 и при температуре начала консервации 300–340 °С образуется защитная пленка магнетита, которая сохраняется в течение не менее 3–4 мес. без каких-либо следов вторичного ржавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Акользин, П. А.** Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. – М. : Энергоиздат, 1982. – 304 с.
- 2 **Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р. К.** Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – Павлодар. 2011. – 728 С.
- 3 **Маргулова, Т. Х.** Применение комплексонов в теплоэнергетике. – М. : Энергия, 1973, – 264 с.
- 4 **Глазырин, А. И., Маргулова, Т. Х., Иванов, Б. П. Щеткин, В. С.** Способ консервации барабанного котла. Авторское свидетельство N1086297 от 15.12.83.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 12.12.12.

A. A. Lysikova, A. I. Glazyrin, A. A. Baideldinova, D. B. Amirzhanova
Б трилон амиакты ерітіндісінде барабан котелдерін сақтау
С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 12.12.12 редакцияға түсті.

A. A. Lysikova, A. I. Glazyrin, A. A. Baidel'dinova, D. B. Amirzhanova
Preservation of drum boilers by ammonia solution Trilon B
Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.
Material received on 12.12.12

Бұл мақалада трилон Б-ның мінездемелері және оның қолданыстары қарастырылады.

The article describes the characteristics of trilon B, and its use.

Е. Б. Макашев, Б. К. Кумар

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПХГ

В настоящее время в Казахстане создана развитая система подземного хранения газа, которая выполняет следующие функции:

- *регулирование сезонной неравномерности газопотребления;*
- *хранение резервов газа на случай аномально холодных зим;*
- *регулирование неравномерности экспортных поставок газа;*
- *обеспечение подачи газа в случае нештатных ситуаций;*
- *Создание долгосрочных резервов газа на случай форс-мажорных обстоятельств при добыче или транспортировке газа.*

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются неотъемлемой частью системы газоснабжения Казахстана и расположены в основных районах потребления газа. На территории Республики Казахстан расположены основных 3 объекта подземного хранения газа, которые сооружены в водоносных пластах и структурах.

Газовое хранилище представляет собой геологическую структуру или искусственный резервуар, используемый для хранения газа. Работа хранилища характеризуется двумя основными параметрами – объемным и мощностным. Первый характеризует емкость хранилища – активный и буферный объемы газа; второй показатель характеризует суточную производительность при отборе и закачке газа, продолжительность периода работы хранилища при максимальной производительности.

По режиму работы ПХГ подразделяются на базисные и пиковые:

– базисное ПХГ предназначено для циклической эксплуатации в базисном технологическом режиме, который характеризуется сравнительно небольшими отклонениями (увеличением или уменьшением в пределах от 10 до 15 %) суточной производительности ПХГ при отборах и закачках газа от среднемесячных значений производительности;

– пиковое ПХГ предназначено для циклической эксплуатации в пиковом технологическом режиме, который характеризуется значительными приростами (пиками) свыше 10–15 % суточной производительности ПХГ в течение нескольких суток при отборах и закачках газа относительно среднемесячных значений производительности.

По назначению ПХГ подразделяются на базовые, районные и локальные:

– базовое ПХГ характеризуется объемом активного газа до нескольких десятков миллиардов кубических метров и производительностью до нескольких сотен миллионов кубических метров в сутки, имеет региональное значение и влияет на газотранспортную систему и газодобывающие предприятия;

– районное ПХГ характеризуется объемом активного газа до нескольких миллиардов кубических метров и производительностью до нескольких десятков миллионов кубических метров в сутки, имеет районное значение и влияет на группы потребителей и участки газотранспортной системы (на газодобывающие предприятия при их наличии);

– локальное ПХГ характеризуется объемом активного газа до нескольких сотен миллионов кубических метров и производительностью до нескольких миллионов кубических метров в сутки, имеет локальное значение и область влияния, ограниченную отдельными потребителями. По типу различают наземные и подземные газовые хранилища. К наземным относятся газгольдеры (для хранения природного газа в газообразном виде) и изотермические резервуары (для хранения сжиженного природного газа), к подземным – хранилища газа в пористых структурах, в соляных кавернах и горных выработках.

В систему инженерных сооружений ПХГ входят скважины для закачки и отбора газа, компрессорная станция, система газопроводов, установки охлаждения, осушки и очистки газа (сепараторы, фильтры, абсорберы и адсорберы). Скважины ПХГ оборудуются автоматическими забойными клапанами для исключения возможности открытого фонтанирования. Важное условие успешного создания и эксплуатации ПХГ – сохранение его герметичности, т.е. предупреждение возможных утечек газа, в основном в вышележащие проницаемые пласты [1,2].

История развития и геологическая модель

Потребления газа в южных регионах Казахстана обуславливаются тем, что потребность газа растет и созданные ранее ПХГ в этих районах, частично не покрывают сезонную неравномерность, это говорит о том, что потребность в эксплуатации и в повышении надежности ПХГ будет самой актуальной. В связи с этим, будут рассмотрены ряд вопросов по улучшению надежности и эффективности эксплуатации ПХГ Акыртобе.

ПХГ «Акыртобе» создано в 1986 г. в водоносном пласте-коллекторе, залегающем в основании надсоленосной толщи верхней перми на глубине 770–840 м, представленным переслаиванием песчаников, алевролитов и глин.

Акыртобинская структура выявлена в 1965 г. в процессе проведения региональных сейсморазведочных работ, а в 1772–1773 гг. детально изучена сейсморазведкой МОВ по кровле подсоленосной толщи нижней Перми.

С сентября 1973 г. по август 1977 г. на площади было пробурено 35 разведочных скважин, из них 34 вскрыли пласт-коллектор, а одна пробурена для контроля за герметичностью пласта-покрышки.

В январе 1984 г. на Акыртобинской площади началось бурение эксплуатационных скважин на восточном куполе поднятия. Позднее были добурены еще четыре доразведочные скважины [3,4].

Геологическая модель ПХГ «Акыртобе» представлена на рисунке 1

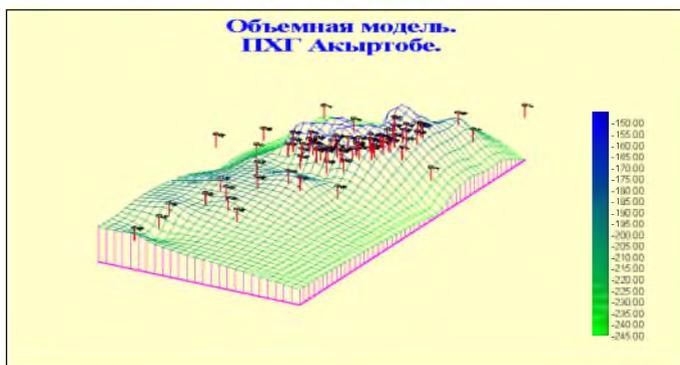


Рисунок 1 – Объемная модель кровли пласта-коллектора

Повышение эффективности эксплуатации скважин на ПХГ «Акыртобе»

В сезоне отбора газа 2011–2012 гг. выйти на планируемые показатели отбора за сезон по ПХГ не удалось. Основными причинами заниженного по сравнению с утвержденным режимом отбора газа являются:

- активное обводнение скважин;
- отсутствие эффективной системы регулирования и контроля над эксплуатацией отдельных эксплуатационных скважин ПХГ.

Главными причинами низкой производительности скважин хранилища являются несовершенство вскрытия пласта-коллектора эксплуатационными скважинами и высокие водные факторы по скважинам, из-за вскрытия эксплуатационными скважинами водонасыщенной части пласта-коллектора.

Для резкого снижения водного фактора по скважинам ПХГ Акыртобе предлагается использовать технологию капитального ремонта с водоизоляцией перфорированной водонасыщенной части пласта-коллектора и соляно-кислотную обработку скважин. Для определения эффективности данных методов в условиях ПХГ Акыртобе были проведены опытные работы по соляно-кислотной обработке скважин.

Соляно-кислотная обработка (СКО) скважин была проведена с целью оценки возможности увеличения производительности скважин в результате разрушения зон кольтатации и очистки путей попадания газа в скважину.

В качестве экспериментальной скважины был выбран № 71, расположенные на участке газораспределительного пункта № 2. На этих скважинах до и после СКО в течение 30 минут на дросселе инструментально замерялись давление и температура на пружере, затрубное давление.

Полученные данные легли в основу расчетов пластовых, забойных и приведенных давлений, приведенных температур, коэффициентов сверхсжимаемости газа, а также его дебитов при различных режимах работы скважин, коэффициенты линейной и площадной фильтрации.

Конкретные результаты по скважинам показаны ниже

Результаты СКО по скважине № 71

До соляно-кислотной обработки:

$A=0,9$ $B=0,0797$. Абсолютно свободный дебит: $Q_{a.c.d.} = 276$ тыс. м³ газа.

Оптимальный дебит при депрессии на пласт $6,5$ кгс/см² – 112 тыс. м³ газа.

Всего выпущено в атмосферу $15,7$ тыс. м³ газа, из них $13,8$ тыс. м³ при исследовании и $1,9$ тыс. м³ при продувке.

После соляно-кислотной обработки:

$A=0,7$ $B=0,0236$. Абсолютно свободный дебит: $Q_{a.c.d.} = 505$ тыс. м³ газа. Оптимальный дебит при депрессии на пласт $6,5$ кгс/см² – 191 тыс. м³ газа. Всего выпущено в атмосферу $19,0$ тыс. м³ газа, из них $15,5$ тыс. м³ при исследовании и $3,5$ тыс. м³ при продувке.

В целом, по результатам СКО в скважине № 71 абсолютно свободный дебит газа увеличился на 83%, а оптимальный рабочий дебит на 70,5 %. Рекомендуется проводить кислотные обработки (КО) скважин в конце периода заполнения ПХГ, т.е. когда давление в скважинах наибольшее и достаточное для освоения их после обработок, кроме того ствол скважины и ПЗП осушены закачиваемым газом.

При закачке растворов, давления на забоях скважин не должно превышать давлений гидроразрыва пластов.

В терригенных коллекторах основным кольтатантом являются илы и глины, поэтому для обработки рекомендуются следующие кислотные составы.

Предлагаемый кислотный состав: 1-2 % фтористоводородной кислоты + 5-10 % уксусной (муравьиной или лимонной*) кислоты + 10-15 % метанола.

Проведенные работы свидетельствуют в пользу целесообразности и необходимости периодической кислотной обработки скважин.

В связи с этим важнейшей и первоочередной задачей на Акыртобинском ПХГ как с точки зрения повышения текущих показателей – по суточной производительности, величине отбора газа в сезонах, снижению обводнения скважин и водного фактора, так и перспектив его вывода на проектные

показатели является задача интенсификации производительности скважин с применением методов СКО.

Ключевые слова: ПХГ – подземное хранилище газа, СГ – система газоснабжения, ВФ – водный фактор, ГРС – газораспределительные станции, ПЗП – призабойная зона пласта, пружер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Коршак, А. А., Шаммазов, А. М.** Основы нефтегазового дела. Учебное издание, УФА-центра, 2001.

2 **Левыкин, Е. В.** Технологическое проектирование хранения газа в водонесных пластах. – М., Недра, 1973.

3 **Мординсон, П. М.** и др. Анализ и обработка материалов разведочных работ по подземному хранению газа в Узбекской и Казахской ССР и выработка рекомендаций дальнейших работ. Отчет по теме 5/76–77, том 1, – М., 1976.

4 **Мординсон П. М.** и др. Предварительное заключение о результатах разведочных работ на Акыртюбинской площади (район г. Джамбула). ПО Союзбургаз, – М., 1980.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 27.12.12.

Е. Б. Макашев, Б. К. Кумар

ЖГС тиімділігін жоғарлату және пайдалану сипатын жақсарту

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 27.12.12 редакцияға түсті.

Е. В. Makashev, B. K. Kumar

Improvement of performance and efficiency characteristics of UGS

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.

Material received on 27.12.12

Кәзіргі таңда Қазақстанда газдың жерасты сақтау қоймаларын дамыту жүйесі қолға алынуда, жалпы атқаратын қызметі мынадай:

- маусымдық әркелкілікті реттеу;
- газ резервін ұзақ сақтау жүйесі;
- газдың экспорттық жеткізілімін реттеу;
- форс-мажорлы жағдайларда газ берісінің қамсыздандыруы;

Жерасты газ қоймалары Қазақстанның газ құбырлары жүйесінің негізгі бөлігі болып табылады.

Currently in Kazakhstan is created the developed system of underground gas storage facilities, which performs the following functions:

- regulation of seasonal fluctuations in gas consumption;*
- storage of gas reserves in the event of abnormally cold winters;*
- regulation of uneven gas exports;*
- ensure the gas supply in the event of emergency situations;*
- create long-term gas reserves in case of force-majeure during extraction or transportation of gas.*

Underground gas storage facilities(UGS) are an integral part of the gas supply system of Kazakhstan and are situated in the main areas of consumption of gas. In Kazakhstan there are three main underground gas storage facilities, which were built in the aquifer and structures.

УДК 669.168

С. А. Мендыбаев, А. Р. Файзулин

ОСНОВНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассматриваются основные перспективы снижения затрат энергетических и материальных ресурсов завода по выплавке феррохрома, являющееся энергоэским металлургическим производством.

Процесс выплавки ферросплавов связан с большими затратами энергоресурсов и дорогостоящих материальных ресурсов [2,4].

Затраты на современную технику управления, особенно на средства аналитического контроля состава продуктов высокотемпературного металлургического производства также являются значительными.

Поэтому оценка ориентировочного объема затрат на реализацию различных схем управления технологией и ожидаемого экономического и технологического эффекта является достаточно актуальной и экономически эффективной.

Одно из главных требований рыночной экономики заключается в необходимости постоянного поиска возможностей совершенствования технологии и снижения затрат на производство продукции.

Для металлургических производств эта задача особенно актуальна из-за естественного снижения качества рудных материалов и большой энергоемкости производства в условиях постоянного роста цен на энергоресурсы.

Перспективы снижения затрат производства связаны с модернизацией оборудования технологического цикла.

Усовершенствование технологического процесса выплавки феррохрома невозможно без модернизации оборудования и, как правило, сводится к реализации следующих мероприятий:

- замена или конструктивное совершенствование основных технологических аппаратов для улучшения качества продукции, повышения производительности оборудования и улучшения характеристик исходных материалов и реагентов;

- комплексная автоматизация управления основными и вспомогательными агрегатами производства с применением компьютерных систем управления (контроллеров и персональных компьютеров) с целью сокращения удельных расходов сырья, реагентов, энергии и трудозатрат в производстве и повышения срока службы технологического оборудования;

- комплексная автоматизация контроля исходных, промежуточных и конечных продуктов производства с использованием компьютеризированных средств измерения содержания компонентов.

Комплексная автоматизация обеспечит повышение качества оперативного управления технологическими процессами, учета сырья, реагентов и товарной продукции на предприятии и ускорения документооборота и др. [3,8].

При внедрении современных способов переработки продуктов металлургического производства и аппаратуры для его реализации, первый путь является радикальным способом улучшения технологических и экономических показателей производства.

Для электропечных переделов – это освоение агрегатов повышенной мощности (64, 80 мВт). Однако этот путь модернизации технологического процесса связан с большими капитальными вложениями в основные фонды, соизмеримыми, а, часто, и превышающими их действующую стоимость.

Второй путь модернизации производства связан с меньшими затратами, которые оцениваются в пределах 3-8% от стоимости автоматизируемого основного оборудования, не связан с необходимостью прерывания производственного цикла и дает возможность распределить капитальные затраты во времени по очередям внедрения.

Современные компьютерные системы управления технологическими переделами обеспечивают экономию ресурсов (сырья, реагентов,

вспомогательных материалов) в пределах 1–2% за счет стабилизации технологических параметров установок; экономию энергетических затрат в пределах 5–8% за счет стабилизации технологических показателей эффективности работы оборудования.

Для электродуговой технологии технологические показатели – дозировка шихты и электрическая мощность печи.

Компьютерные системы управления также способствуют увеличению производительности агрегатов на 2–5 % и срока службы на 10–30%.

Третий путь модернизации металлургического производства соизмерим со вторым по затратам на современные средства автоматизированного анализа продуктов по многим компонентам и на средства быстрой доставки анализируемых образцов к месту выполнения анализа.

Кроме того, эффективное использование современных средств анализа продуктов производства требует создания оперативной сети передачи информации в места формирования и использования учетной документации и в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП), использующие аналитическую информацию [6,7].

Немаловажное значение при этом приобретает хорошо организованный единый электронный банк данных предприятия.

Эффект от улучшения оснащения производства средствами сбора информации, аналитического контроля состава материалов и продуктов производства, формирования документов и доставки информации потребителям обуславливается использованием аналитической информации о составе продуктов производства.

При оперативном управлении технологическими процессами, что существенно повышает эффективность оперативного управления режимами работы технологического оборудования и снижает затраты производства.

Кроме того, повышается качество учетной и отчетной документации и повышается скорость документооборота, следствием чего обычно является снижение объема оборотных средств производства.

Однако одним из основных факторов является возможность использования аналитической информации для оперативного управления технологическими процессами производства, что повышает эффективность оперативного управления режимами работы технологического оборудования и снижает затраты производства.

Особенность ферросплавного производства состоит в том, что существующая технология позволяет одновременно сконцентрировать на одном предприятии крупномасштабное производство марганцевых, кремнистых и хромосодержащих ферросплавов различного фракционного состава.

Процесс производства ориентирован на потребителя и существует реальная возможность варьировать количественный и химический состав выпускаемой продукции.

Строительство ферросплавного электрометаллургического комбината было вызвано увеличением выпуска качественных сталей и создавшимся в связи с этим дефицитом в производстве ферросплавов [8].

Также электрометаллургический комбинат имеет в своем составе участок складского хозяйства, цех общественного питания, товаров и услуг, лечебно-оздоровительный цех, спорткомплекс.

Достижение основной цели производства – выпуска рентабельной продукции в соответствии с плановым заданием по количеству и номенклатуре обеспечивается следующими функциями системы управления:

- перспективное и текущее технико-экономическое планирование производства;
- определение технической политики, путей и средств повышения эффективности производства;
- выявление и использование резервов производства;
- обеспечение ритмичного хода производства и выпуска продукции в соответствии с плановым заданием всеми видами ресурсов;
- организация выполнения плановых заданий;
- оперативное устранение причин и последствий отклонений в ходе производства;
- контроль и анализ технико-экономической и хозяйственной деятельности цеха.

Возглавляет цех начальник, который на основе единоначалия осуществляет руководство его работой и лично отвечает за результаты этой работы.

В подчинении начальника цеха находится заместитель, который руководит технической подготовкой производства.

Руководство работой производственных участков осуществляют мастера, подчиняющиеся старшему мастеру соответствующего участка.

Функции управления основным производством осуществляют бригадиры, мастера, старшие мастера, зам. начальника цеха, начальник цеха и экономист цеха.

В функции начальника цеха входит:

- ежесуточный контроль хода производства по всей номенклатуре цеха;
- формирование плановых заданий;
- ежемесячный контроль хода производства в цехе. В функции заместителя начальника цеха входит:

- обеспечение своевременного выполнения номенклатурного плана по изготовлению и подаче продукции цеха потребителям в течение месяца;
- контроль за отправкой продукции из цеха;
- разработка мероприятий по улучшению технико-экономических показателей, снижению себестоимости.

В функции экономиста цеха входит:

- учет выполнения плана по бригадам, участкам, цеху за сутки, неделю, месяц и год;

– ежесуточная корректировка сменно-суточных заданий;

– доведение месячных планов производства до участков, бригад и печей;

– ежемесячный анализ себестоимости продукции;

– ведение статического учета по всем ТЭП работы цеха. В функции старшего мастера входит:

– выполнение плановых заданий по количественным и качественным показателям с учетом правил техники безопасности;

– отслеживание качества сырья для предупреждения брака;

– установление причин и виновников брака;

– доведение плановых заданий до бригад и рабочих мест. В функции мастера входит:

– выполнение заданий и технических указаний;

– анализ брака и разработка мер по его устранению.

В функции бригадира входит:

– выполнение заданий и технических указаний;

– контроль за ходом технологического процесса.

Функции управления технико-экономической деятельностью производства заключается в нормировании и установлении основных этапов работы отдельных единиц, а также учете и анализе сопоставимых с ними учетных данных.

Функции технико-экономического управления производством на верхнем уровне осуществляют производственный отдел, технический отдел, планово-экономический отдел и бухгалтерия.

На уровне цеха технико-экономическое управление заключается в планировании работы цеха и участков и их анализе, обеспечении систематического учета и контроля за выполнением плановых заданий цехом и участками, расчете себестоимости продукции, учете затрат на производство и поиске путей снижения себестоимости. Функции управления осуществляются экономистом и нормировщиком цеха.

Функции управления материальными ресурсами заключаются в планировании потребностей в материальных ресурсах, необходимых для выполнения плана, в учете материальных ресурсов на складах и в контроле за расходованием их на производство.

Управление поступающими в цех материальными ресурсами заключается в учете наличия материальных ресурсов в кладовых цеха на первое число каждого месяца и контроле за расходованием их на производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Нестационарные режимы работы рудовосстановительных электропечей : Хапеевский В. Ф. –Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2001. – 144 с.
- 2 Развитие АСУ металлургическим предприятием. Сакиаков В. П., Лукашов А. З., – М. : Металлургия, 1991, – 192 с.
- 3 Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 234 с.
- 3 Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Вальков В. М., Вершин В. Е. – Л. : Политехника, 1991. 345 с.
- 4 Теория и технология производства ферросплавов. Гасик М. И. и др. М. : Металлургия, 1992. – 321 с.
- 6 Рудотермические плавильные печи. Струнский Б. М. – М. : Металлургия, 1972. – 368 с.
- 7 Справочник проектировщика систем автоматизации управления производством. Под. ред. Г. Л. Смилянского. Изд.2-е, перераб. и доп. – М. : «Машиностроение», 1991. – 590 с.
- 8 **Рысь, М. А.** Производство ферросплавов. - М. : Металлургия, 1985. –344 с.
- 9 **Курапин, И. Н., Курапина, М. Н.** Руднотермические электропечи / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 1994. – 173 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 21.12.12.

С. А. Мендыбаев, А. Р. Фаизулин

Ферроқорытпа өндірісінің шығынның төмендеу перспектива негізі

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 21.12.12. редакцияға түсті.

Mendybayev S. A., Faizullin A. R.

Prospects of cost savings of the ferrochrome smelting plant

Pavlodar State University named after S. Toraiygyrov, Pavlodar.

Material received on 21.12.12.

Мақалада феррохромның қорытуы бойынша зауыттың энергетикалық және заттық қорларының шығыны төмендетудің негізгі перспективалары қаралады.

This article discusses the basic prospects of cost savings of energy and material resources for ferrochrome smelting plant, which is an energy-intensive metallurgical production.

УДК 621. 182. 36

**А. Ж. Оралова, С. Б. Жангазинова,
Т. С. Абдрахманов, А. Е. Карманов**

ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ КОНСЕРВАЦИИ КОТЛОВ

В статье изображается методика консервации котлов.

Консервация энергетического оборудования, т.е. изоляция металла от агрессивных составляющих окружающей среды обусловлена необходимостью защитить его от атмосферной коррозии во время простоя оборудования в резерве или ремонте. При газовом способе консервации очищенный от накипи и шлама котел заполняют через воздушный кран газообразным аммиаком, а воздух выпускают через нижние точки котла. Давление аммиака в котле должно быть около 100 мм рт. ст. Аммиак, растворяясь в пленке влаги, остающейся на поверхности металла, образует щелочную среду, которая защищает металл от коррозии. Содержание кислорода в азоте не должно превышать 0,5 %.

Длительный останов котла. Консервация котла необходима, если длительность его останова составляет > более 3 суток. Возможны следующие способы консервации:

1. Метод избыточного давления. Заключается в периодической подаче пара в нижний или верхний барабан, что исключает доступ кислорода в котёл.
2. Заполнение питательной водой.
3. Заполнение раствором с ингибиторами.
4. Заполнение инертным газом.
5. Сухой метод консервации.
6. Попеременная схема работы котлов.

При «мокроем» методе консервации заполняется весь внутренний объём котла.

Сухой метод консервации заключается в просушке котла и поддержании низкой влажности во внутреннем объёме котла влагопоглотителями. Просушка котла производится при открытых люках барабанов. Содержание кислорода в пробе воздуха при заполнении инертным газом не должно превышать 0,5 %.

Если котёл останавливается до 3 суток, то целесообразно применять метод избыточного давления, а при остановке более 10 суток – мокрый или сухой. Если котёл останавливается на длительный срок, то пароперегреватели желательно заполнять конденсатом с аммиаком.

Сухой способ консервации применяют для консервации для котлов низкого давления при длительной остановке котла и когда невозможно отапливать помещение котельной зимой. Сущность его заключается в том, что после удаления воды из котла, пароперегревателя и экономайзера и очистки поверхностей нагрева сушку котла производят пропуском горячего воздуха (тщательной вентиляцией) или разводят в топке небольшой костер. При этом предохранительный клапан должен быть открыт для удаления водяных паров из барабана и труб котла. При наличии пароперегревателя необходимо открыть дренажный вентиль на камере перегретого пара для удаления оставшейся в нем воды. После окончания сушки через открытые лазы в барабанах помещают заранее приготовленные железные противни с негашеной известью CaO или силикагелем (в количестве 0,5–1,0 кг CaC 12, 2–3 кг CaO или 1,0–1,5 кг силикагеля на 1 м³ объема котла). Плотно закрывают лазы барабана и перекрывают всю арматуру. При остановке котла более чем на 1 год рекомендуется снять всю арматуру, а на штуцерах установить заглушки. В дальнейшем не реже 1 раза в месяц должно проверяться состояние реактивов, а затем через каждые 2 мес в зависимости от результатов проверки обязательно должна производиться его замена. Рекомендуется периодически следить за состоянием обмуровки и в случае необходимости производить ее сушку.

Мокрый способ. Мокрую консервацию котлов низкого давления применяют тогда, когда нет опасности замерзания в них воды. Сущность ее заключается в том, что котел полностью заполняют водой (конденсатом) с повышенной щелочностью (содержание едкого натра 2 – 10 кг/м³ или тринатрийфосфата 5 – 20 кг/м³). Затем подогревают раствор до температуры кипения для удаления из него воздуха и растворенных газов и плотно закрывают котел. Применение щелочного раствора обеспечивает при равномерной концентрации достаточную устойчивость защитной пленки на поверхности металла.

Заполнение инертным газом осуществляется при консервации котла после дренирования. Котел заполняют через воздушник газообразным аммиаком или азотом с концентрацией кислорода 0,5 % и создают давление около 100 мм вод ст. Действие аммиака состоит в том, что он растворяется в пленке влаги, которая находится на поверхности металла в котле. Эта пленка становится щелочной и защищает котел от коррозии. При газовом способе персонал, производящий консервацию, должен знать правила техники безопасности.

Метод избыточного давления заключается в том, что в котле, отключенном от общего паропровода, поддерживают давление пара несколько выше атмосферного и температуру воды выше 100 °С. Это предотвращает попадание в котел воздуха, а следовательно, и кислорода, являющегося

основным коррозионным агентом. Добиваются этого периодически подогревателями котлов. При всех способах консервации котлов необходимо обеспечить полную герметичность арматуры; все люки и лазы должны быть плотно закрытыми; при сухом и газовом способе неработающие котлы нужно отделить от работающих заглушками. Консервация оборудования и ее контроль проводятся по особой инструкции.

Способ сухой консервации труб поверхностей нагрева водогрейных котлов при сезонных простоях.

Способ сухой консервации поверхностей нагрева котла включает дренирование этих поверхностей, обогрев всех труб с внутренней стороны горячей сетевой водой. При этом имеет место поддержание температуры наружной и внутренней поверхностей труб выше температуры точки росы окружающего котел атмосферного воздуха путем автономной подачи горячей сетевой воды в несколько конвективных пакетов, стояки которых отглушены от входного раздающего и сборного коллекторов конвективной части котла. Такой способ позволяет обеспечить надежную консервацию поверхностей нагрева за счет поддержания их температуры на уровне, более высоком, чем температура точки росы воздуха, заполняющего объемы топки и конвективных шахт.

Современные водогрейные котлы типа КВГМ работают на ТЭЦ в пиковых режимах отопительного сезона и находятся в длительном, до 6–7 месяцев, сезонном простое.

Для предотвращения коррозии металла поверхностей нагрева при простоях применяется консервация проточной горячей сетевой водой. При выходе водогрейного котла в резерв во время отопительного сезона проток осуществляется через входную и выходные задвижки с обеспечением скоростей воды в трубах или через байпасы входной и выходной задвижек, при этом скорости воды в трубах котла снижаются в пятьдесят раз – от 1,6 см/с до 0–3,2 см/с.

Этот способ консервации прост, широко применяется, поскольку обеспечивает надежную сухую консервацию наружных поверхностей горизонтальных труб конвективных пакетов для котлов КВГМ–180 за счет поддержания их температуры на уровне более высокой (70 °С), чем температура точки росы воздуха, заполняющего объем топки и конвективных шахт.

Вместе с тем для внутренних поверхностей горизонтальных труб конвективных пакетов этот способ консервации не безопасен в коррозионном отношении, поскольку при средних скоростях сетевой воды около 1,5 м/с наблюдается типичная стояночная язвенная коррозия с образованием многочисленных бугорков из продуктов коррозии над язвочками и, помимо этого, осаждение по нижней образующей труб взвешенных частиц, содержащихся в сетевой воде.

По этим причинам отдельные змеевики конвективных секций во время отопительного сезона, при рабочем давлении, преждевременно выходят из строя (свищи, пережоги).

В техническом решении при сезонных простоях может быть сухая консервация как наружной, так и внутренних поверхностей змеевиков конвективных пакетов и экранных труб проведением полного дренирования котла и поддержанием температуры наружной и внутренней поверхностей труб выше температуры точки росы окружающего воздуха, путем автономной подачи горячей сетевой воды в несколько конвективных полупакетов, стояки которых отглушены от входного раздающего и выходного сборного коллекторов конвективной части котла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Паули, В. К.** Методические указания по организации технического обслуживания поверхностей нагрева котлоагрегатов тепловых электростанций: РД 34.26.609 97. – М. : СПО ОРГРЭС, 1997.

2 Паровые котла ДКВР. Краткое описание и инструкция по монтажу и эксплуатации. – БИЙСК. : БиКЗ, 1978.

3 **Кукушкин, А. Н.** Консервация теплоэнергетического оборудования с использованием реагентов на основе пленкообразующих аминов // Теплоэнергетика. 1999. №9.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 21.12.12.

A. Zh. Oralova, S. B. Zhangazimova, T. S. Abdrahmanov, A. E. Karmanov
Котелдің консервациясының технологиялық тәртіптері болуы мүмкін
С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 21.12.12 редакцияға түсті.

A. Zh. Oralova, S. B. Zhangazimova, T. S. Abdrahmanov, A. E. Karmanov
Possible technological regimes of boilers conservation
Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 21.12.12.

Мақалада котелдің консервілеуінің әдіс-айлалары бейнеленді.

In the given work some regimes of boilers conservation have been revised.

УДК 621.184.82

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК СОВРЕМЕННЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Представлен анализ материалов по тематике течений при отрицательном градиенте давления. Произведена постановка задач для исследования подобных течений.

В последнее время значительно возросло вредное воздействие промышленных предприятий на окружающую среду. Одной из актуальных задач современности является обеспечение чистоты воздушного бассейна и снижение влияния вредных веществ на комплекс живой природы. Особенно остро стоит проблема тонкой очистки продуктов сгорания энергетических котлов, использующих высокозольные марки углей. В связи с низкой очистной способностью существующих систем инерционной пылеочистки, подверженности традиционных аппаратов эрозионному износу, дороговизной эффективных золоуловителей возникла необходимость поиска новых путей эффективной очистки продуктов сгорания органического топлива. Многие исследователи занимаются решением этой проблемы путем создания установок, позволяющих очищать дымовые газы с наибольшей эффективностью.

Широкое применение в современных энергетических установках каналов с переменным по ходу потока сечением привлекает традиционный интерес исследователей, обусловленный стремлением к изучению особенностей их работы в разнообразных условиях. Основное назначение таких каналов - взаимное преобразование статического и динамического давлений движущегося потока теплоносителя. В большинстве случаев течение в диффузорах и конфузорах происходит в сложных газодинамических условиях и принципиально отличается от каналов постоянного сечения наличием продольного градиента давления. Благодаря этим свойствам сужающиеся и расширяющиеся каналы используются в качестве элементов пылеочистных сооружений.

Так, например, в работах авторов [1–6] представлены устройства и способы снижения гидравлического сопротивления в трубопроводах, снижения давления и неравномерности поля скоростей в диффузорах.

Экспериментальное исследование кольцевых течений с начальной закруткой [17] было проведено с целью расширения функциональных возможностей и повышения точности сравнения оценки эффективности различных способов закрутки. Рассматривалось два способа закрутки – тангенциальный подвод рабочей среды и установка шнека в средней части корпуса.

Закрученный поток обладает специфическими свойствами, принципиально отличающими его от осевого течения [20]. Это – соизмеримые значения осевой, вращательной и радиальной составляющих скорости, продольный и поперечный градиенты статического и полного давления, существенные значения градиентов составляющих скорости в поперечном направлении, высокий уровень турбулентных пульсаций, активное и консервативное воздействие центробежных сил на структуру потока. Вследствие этого методы расчета закрученных потоков принципиально отличаются от методов расчета осевых потоков.

Специфические свойства закрученного потока широко используются в технических приложениях, и многие изобретатели используют их для создания установок, имеющими назначение очищение пылегазового потока. Многие исследователи занимаются решением вопроса загрязнения окружающей среды путем создания установок, позволяющих очищать дымовые газы с наибольшей эффективностью.

Так, группа авторов [12] соединила преимущества каналов с переменным сечением и свойства закрученного потока в установке, предназначенной для очистки технических газов от пыли и взвешенных частиц и разделения многокомпонентных газовых смесей. При градиентном способе очистки используется градиентная сила, действующая на частицы при их движении в скоростном ламинарном закрученном потоке, что позволяет повысить эффективность очистки газа и довести степень очистки золоуловителя практически до 100 % для потока частиц определенной фракции. Теоретические и экспериментальные исследования градиентного сепаратора отражены в работах [35, 36].

Подобная установка была разработана другими авторами [13]. Она представляет собой сопло Лаваля, т.е. корпус с конфузorno – диффузornoми участками, внутри которого установлен обтекатель, наружная поверхность которого снабжена спиральными лопастями, а также пылеприемный насадок. На входе в пылеуловитель расположен завихритель. Принцип действия устройства практически такой же, как и в предыдущем случае с той разницей, что закрутка осуществляется механическим завихрителем и потому поток здесь движется в турбулентном режиме. При внимательном изучении принципа работы пылеуловителя становятся очевидными такие недостатки как сильная эрозия обтекателя, находящегося под интенсивным воздействием агрессивных частиц и невозможность точного попадания пылевого шнура в пылеприемник вследствие размытости потока.

Для сравнения были рассмотрены другие типы пылеуловителей, основанные на использовании сил инерции: центробежных сил [7], поворота запыленного потока [9], [13], [14], когда тяжелые по сравнению с газом частицы отбрасываются на периферию канала, откуда отводятся; на комбинировании изменения направления потока и сил инерции [11]. В пылеотделителе [8] повышается эффективность пылеотделения и снижается аэродинамическое сопротивление воздушного потока за счет снижения степени турбулизации.

Аппарат [10] сконструирован как единое устройство с системой матерчатых фильтров. Для того чтобы снизить нагрузку на фильтрующие элементы, предварительный очиститель выполнен в виде коаксиально установленных труб Вентури, причем угол диффузора труб должен быть больше угла естественного откоса твердых примесей.

Установка Ишкова [15] работает при отрицательном градиенте давления. Дымососом создается разрежение в потоке газа, и когда засосанный поток попадает в пространство бункера пылесборника, он освобождается от своего сжатия. В результате частицы пыли из разреженного потока свободно выпадают в неподвижный воздух бункера и, двигаясь по наклонной стенке, оседают в пылесборнике.

Инерционно-вакуумный пылеуловитель [19] и его прототип поперечно-струйный аэрофильтр [16] предназначены для улавливания золовых частиц из дымовых газов промышленных предприятий. Газ в этих золоуловителях находится при отрицательном градиенте давления, так как тягодутьевое устройство, приводящее его в движение, расположено на выходе из установки.

Очищаемый газ (рисунок 1) подается в разгонное сопло, разворачивается и выходит из золоуловителя. За счет сужения канала рабочий поток набирает скорость, соответственно разгоняются и твердые частицы, содержащиеся в нем. Большая скорость, а, следовательно, и большая кинетическая энергия позволяет твердым частицам, минуя сечение b , устремиться вдоль образующей поворотной камеры по траектории $2-2'$. По мере движения скорость частиц падает, и в области осадительной решетки частицы выпадают в бункер сбора пыли. Малая часть не провалившихся частиц ($2-3\%$) идет на выход из аппарата и здесь, попадая под влияние входной струи, вновь направляется в поворотную камеру, т.е. попадает в аэродинамическую ловушку. Накапливаясь в ней, частицы под действием гравитационной силы в итоге проваливаются в пылевой бункер.

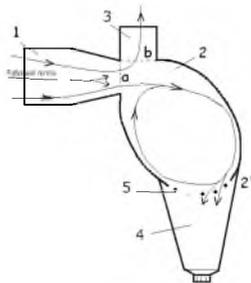


Рисунок 1 – Схема аэрофильтра

1 - подводной газоход с разгонным соплом; 2 – поворотная камера (ловушка); 3 – выходной патрубок; 4 – бункер сбора пыли; 5 – осадительная решетка.

Важным аспектом работоспособности этого устройства является его эрозионная безопасность. В аэрофилт্রে течение потока формируется таким образом, что частицы не могут преодолеть пограничный слой, и движутся, не касаясь стенок до зоны установки пылесадительных решеток. Однако для улучшения показателей его работы (повышения качества улавливания пыли) необходимо владеть газодинамическими характеристиками течения аппарата. В свете овладения закономерностями поведения рабочей среды в аэрофилт্রে, возникла необходимость в исследовании течения аппарата, на основании анализа которого возможна корректировка его конструкции.

Широки экспериментальные исследования по гидрогазодинамике в диффузорах и конфузорах. Так, Буглаев В. Т. и Василев Ф. В. в [21] проанализировали экспериментальные данные по теплообмену в плоских дозвуковых диффузорах и конфузорах в зависимости от режимных и геометрических характеристик турбулентных воздушных потоков и дали рекомендации по практическому использованию результатов исследований. В другой своей работе [22] эти же авторы отмечают, что детальный анализ литературных данных позволяет говорить о чрезвычайной ограниченности работ по вопросам исследования диффузоров, при течении в которых присутствует положительный градиент давления и отрывные течения.

Работы исследователей относятся к изучению способов снижения гидравлических потерь в диффузорах и трубопроводов различной области использования (паровые и газовые турбины, компрессоры, конденсаторы, насосы) [23, 24, 28]; к изучению особенностей течения и теплообмена газа в трубах, в межтрубном пространстве теплообменников различной конфигурации с насадками и без них, в различных каналах [25, 26, 30, 31, 32]. Программа исследовательского класса БАГИРА [27] предназначена для моделирования теплогидродинамики многомерных нестационарных течений двухфазной смеси (пар и неконденсирующийся газ) с учетом скорости и температурных неравномерностей. Применяется для моделирования теплогидродинамики контура многократной принудительной циркуляции энергоблоков АЭС с целью обеспечения безопасности эксплуатации.

Добровичев О. В. [29] пересматривает классификацию моделей турбулентной вязкости Прандтля и выявляет общие закономерности и подобиа в различных явлениях турбулентности. В работе [33] излагаются основы численного метода расчета двумерных стационарных дозвуковых течений газа в каналах с учетом влияния пограничных слоев. Приводится результат решения прямой и обратной задач о течении газа в каналах, сравнение расчетных и экспериментальных данных. Интегральный метод расчета основан на уравнениях Эйлера и реализован на разностной сетке 29×11 узлов.

Лукина Н. Я. [34] при оптимизации работы аэрофилтра использует математическую модель на основе уравнений Навье-Стокса. Для замыкания

применена К-Е модель для турбулентной вязкости. Для расчетов профиля давлений в проточной части аппарата использован вычислительный комплекс PHOENICS.

Анализ литературы показал, что исследования в области газодинамики энергетических аппаратов, золоуловителей, потоков, находящихся при отрицательном градиенте давления ограничены. Совершенствование установок большим количеством натурных экспериментов связано с расходом времени и материалов. Назрела необходимость в разработке математической модели течения потоков при отрицательном градиенте давления, так как полученные результаты не дают единой методики расчета подобного типа установок. На базе численного и натурального эксперимента в конечном итоге необходимо создать алгоритм расчета с реализацией его на языке программирования. Созданная универсальная методика расчета позволит применить её к исследованию любого типа золоулавливающего устройства, что даст возможность целенаправленно корректировать конструкцию аппарата для улучшения эффективности его работы.

На сегодняшний день аппаратов, улавливающих золовые частицы из дымовых газов, кроме традиционно применяемых, создано довольно большое количество [7–19]. Аэрофильтр относится к аппаратам сухой инерционной очистки газа. Но степени очистки позволяет достичь на уровне электрофильтра при малой стоимости, небольших габаритах, отсутствии расхода воды и независимости от удельного электрического сопротивления золы. Этот золоуловитель является перспективным эффективным золоуловителем, что повышает интерес к возможности увеличения его степени очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А. с. № 1714232 SU МКИ⁵ F15D1/04. Способ уменьшения гидравлического сопротивления трубопровода. // Фадеев И. В., Лашков Д. Л., Михайлов В. В., Енюгин Г. В. (СССР). – № 4626901 / 29; заяв. 27.12.88; Оpubл. 23.02.92, бюл. № 7. – 2 с. : ил
- 2 А. с. № 1710876 SU МКИ⁵ F15D1/04. Короткий диффузор. // Чернявский Л.К. – № 71391 / 29; заяв. 26.05.89; Оpubл. 07.02.92. Бюл № 5. – 4 с. : ил
- 3 Пат. № 2018727 RU МКИ⁵ F15D1 / 04, F04 D29 / 44. Пирамидальный или плоский диффузор с большим углом раскрытия. // Чернявский Л. К. – № 4948502 / 29; заяв. 25.06.91; Оpubл. 30.08.94, бюл. № 16. – 4 с. : 5 ил
- 4 А. с. № 1735622 SU МКИ⁵ F15D1/04, F04D29/44. Диффузор. // Косенко С.И. – № 4882542/29; заяв; 15.11.90; Оpubл. 23.05.92, бюл. № 19. – 2 с. : ил
- 5 А. с. № 909383 SU МКИ³ F15D1/04. Отрывной дозвуковой симметричный диффузор. // Аин Е. М., Голубев Л. В., Грибков В. Н., Кипреев В. Е.,

Павловский Ю. И. – № 2775859 / 25 – 26; заяв. 06.06.79; Опубл. 28.02.82, бюл. № 8. – 2 с. : ил

6 Пат. 1822472 SU МКИ³ F15D1 / 00, F04D29 / 44. Жидкоструйный сверхзвуковой диффузор // Черников А. А., Третьякова А. А. и Черников С. А. – № 4936792 / 29; заяв. 16.05.91; Опубл. 15.06.93, бюл. № 22. – 4 с. : 3 ил

7 А. с. № 1724323 SU МКИ⁵ B01D45 / 02. Пылеуловитель. // Батлук В. А. и Кулык А. П. – № 4771564 / 26; заяв. 18.09.89; Опубл. 07.04.92, бюл. № 13. – 2 с. : ил

8 А. с. № 1386247 SU МКИ⁴ B01D45 / 00. Инерционный пылеотделитель. // Каюнов Б. В., Ерастов С. В., Грибов С. В. – № 4141562/23 – 26; заяв. 29.10.86; Опубл. 07.04.88, бюл. № 13. – 3 с. : ил

9 А. с. № 936971 SU МКИ³ B01D45/00, B01D45/04. Инерционный пылеотделитель. // Теверовский Б. З., Яценко В. Е., Джусов А. Б., Клевакин В. В., Демущ С. Г. – № 2987763 / 23 – 26; заяв. 07.10.80; Опубл. 23.06.82, бюл. № 23.

10 А. с. № 906077 SU МКИ³ B01D45/00, B01D46/02. Устройство для очистки газоздушных потоков от твердых примесей. // Израилов Э. Р., Шапиро Б. А., Глазков В. Т., Каретников В. В. – № 2775796 / 23 – 26; заяв. 05.06.79; Опубл. 07.04.84, бюл. № 13. – 2 с. : ил

11 А. с. 1650203 SU МКИ⁵ B01D45/06. Прямоточный пылеуловитель. // Батлук В. А., Кулык А. П. и Шестопалов В. Е. - № 4693197/26; заяв. 19.05.89; Опубл. 23.05.91, бюл. № 19. – 2 с. : ил

12 А. с. № 1637099 SU МКИ⁵ B01D45/00. Градиентный сепаратор. // Агапов Ю. Е., Давыдов М. И., Данилов Л. И., Онищенко А. И., Пичугин Ю. Н., Тюрников Н. Н., Хафизов М. Х., Абрамов Н. М. – № № 4729410/26, 4729432/26; заяв. 16.08.89.

13 А. с. № 1599058 SU МКИ⁵ B01D45/06. Инерционный пылеуловитель. // Фарберович М. Я., Лукашев В. А., Лукашева Л. Л., Шевченко Г. А. – № 4618336/23 – 26; заяв. 12.12.88; Опубл. 15.10.90, бюл. № 38. – 2 с. : 2 ил

14 А. с. № 1611406 SU МКИ⁵ B01D45/16. Сепаратор - пылеуловитель. // Шнайдер А. И. – № 4616935/23 – 26; заяв. 07.12.88; Опубл. 07.12.90, бюл. № 45.

15 Пат. № 2023477 RU МКИ⁴ B01D45/00. Установка Ишкова для очистки воздуха от пыли. // Ишков Б. Л. (КЗ). - №4922226/26; заяв. 28.03.91; Опубл. 30.11.94, бюл. № 22. – 4 с. : ил

16 **Агапов, Ю. Е., Сафарбаков, А. М.** Поперечно – струйный аэрофильтр. Предварительный патент № 3810. – Алматы 1996.

17 А.с. № 1687939 SU МКИ⁵ F15D1/02. Устройство для исследования гидродинамики закрученного потока // Пошкас П. С., Шимонис В. М., Пабарнюс Р. Ю. – № 4657313/29; заяв. 02.03.89; Опубл. 39.10.91, бюл. № 40. – 2 с. : ил

18 Пат. РФ № 2183496 B01D45/12, B04C3/06. Вихревой уловитель пыли. // Щибраев Е. В.; Щибраев А. Е.; Тюрин Н. П.; Хурин И. А.; Ватузов Д. Н.;

Дежуров С. В. – 2000106815/12; заяв. 20.03.2000; Опубл. 20.06.2002, бюл. № 22. – 3 с. : ил.

19 Патент на полезную модель RU. Инерционно-вакуумный пылеуловитель. // Белоглазов В. П., Ченцов А. В. – № 92358; заяв. № 2009139047; Опубл. 20.03.2010.

20 **Халатов, А. А.** Теплообмен в закрученных потоках. // Инж. – физич. журнал 1993 г. т 64 № 6 С. 681 – 688.

21 **Буглаев, В. Т., Васильев, Ф. В.** Конвективный теплообмен при турбулентном течении в плоских диффузорах и конфузорах. // Изв. Вузов. Машиностроение 1990 № 1.– С. 64 – 69.

22 **Буглаев, В. Т., Васильев, Ф. В.** Особенности конвективного теплообмена в безотрывных диффузорных каналах.//Изв. Вузов. Энергетика 1991 № 7. –С. 93–97.

23 **Зарянкин, А. Е., Грибин, В. Г., Дмитриев, С. С.** Сравнительная эффективность диффузорных каналов при различных методах аэродинамического воздействия на поток.// Изв. Вузов. Энергетика 1991 № 4. –С. 67 – 73.

24 **Мигай, В. К.** Повышение эффективности круглых диффузоров путем установки продольных перегородок.//Изв. Вузов. Энергетика 1990 № 1 –С. 110–113.

25 **Петриман, Е. Ф., Никольшин, Р. К., Васько, В. Б., Поповский, И. С., Речицкая, Е. В.** Теплообмен и гидродинамика щелевых каналов со знакопеременным градиентом давления.// Изв. Вузов. Энергетика 1989 № 4. – С. 78 – 82.

26 **Шинкевич, Т. О., Назмеев, Ю. Г.** Теплообмен при ламинарном течении вязкой ньютоновской жидкости в канале с аксиально – лопаточным закручивателем. // Теплоэнергетика 1998 № 6. – С. 68 – 69.

27 **Веселовский, А. Н., Животягин, А. Д., Калинин, С. Д., Крошилин, А. Е., Крошилин, В. Е.** Комплекс программ БАГИРА для моделирования теплогидродинамики многофазных сред.// Теплоэнергетика 1998 № 5. – С. 11 – 16.

28 **Логвиненко, В. В.** Исследование гидродинамики и теплообмена в шероховатых криволинейных конфузорно – диффузорных каналах. // Теплоэнергетика 1996 № 2. – С. 21 – 24.

29 **Доброचेев, О. В.** Турбулентная вязкость в неоднородных потоках. // Теплоэнергетика 1989 г. № 7 с. 12 – 15.

30 **Буглаев, В. Т., Васильев, Ф. В.** Сопротивление и теплоотдача пластинчатой поверхности теплообмена с чередующимися гладкими и волнистыми участками. // Теплоэнергетика 1989 № 7. – С. 41 – 44.

31 **Мишустин, Н. И., Щукин, Л. Н.** Численное исследование гидродинамики и сопряженного теплообмена при движении группы тел по трубопроводу в ламинарном потоке жидкости. // Теплоэнергетика 1989 № 3. –С. 66 – 69.

32 **Адомавичус, А. А., Мотулевич, В. П., Сергиевский, Э. Д., Швенцянас, П. П., Яновский, Л. С.** Течение и теплообмен на проницаемых

стенках конфузورных каналов при направленном вдуве. // Теплоэнергетика 1987 № 2 – С. 27 – 30.

33 **Ланюк, А. И., Пхайко, А. Н.** Численные методы расчета дозвуковых двумерных безотрывных течений газа в каналах. // Изв. АН. Энергетика и транспорт 1989 № 4. – С. 156 – 161.

34 **Лукина, Н. Я.** Оптимизация работы поперечно-струйного аэрофильтра. Диссертация на соискание степени магистра. ПГУ. – Павлодар, 2003.

35 **Глазырин, С. А., Белоглазов, В. П., Кравцов, А. А.** «Теоретические и эмпирические исследования градиентного сепаратора. Новосибирск: НГАВТ «Сборник научных трудов», 1998. С. 65–73.

36 **Глазырин, С. А., Белоглазов, В. П., Кравцов, А. А.** Экспериментальные исследования градиентного сепаратора и его математическая модель. Сб. статей «Ученые записки ПГУ», Павлодар, 1998. – 6 с.

37 **Оришевская, Е. В. Агапов, Ю. Е., Белоглазов, В. П.** Течения в растянутых потоках. Сб. статей «Ученые записки ПГУ», №1. – Павлодар 1998. – С. 66 – 73.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 27.11.12.

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

Қазіргі инерциялық шаңаулағыштарды оңдеу анализі

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 27.11.12 редакцияға түсті.

Y. V. Orishevskaya, E.V. Prichodko

Analysis of development of modern inertial dedusters

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 27.11.12.

Теріс қысым градиентінде таныс бойынша таныстырылған ағыстағы материалдарды талдау. Ұқсас ағыстарды зерттеу үшін тапсырманы орындаған.

The authors presented an analysis of materials on flows in the negative pressure gradient. Performed setting targets for investigation of such flows.

УДК 636.72:532.536

В. В. Рындин

ВВЕДЕНИЕ В КЛАССИЧЕСКУЮ ТЕРМОДИНАМИКУ УРАВНЕНИЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА

Даётся вывод уравнений энергии для различных видов движения микрочастиц системы (хаотического, упорядоченного, абсолютного) в случае нестационарного течения. Использование полученных уравнений показано на примере расчёта параметров нестационарного потока в центрированной волне разрежения.

В учебнике по термодинамике [1] приводится уравнение первого закона термодинамики (ПЗТ) для открытой системы (неподвижного контрольного пространства) при протекании нестационарных процессов. Однако для подвижного элемента (подвижной закрытой термодинамической системы) нестационарного (неустановившегося) потока уравнение ПЗТ в учебниках по термодинамике не приводится, хотя для нестационарного потока балансовое уравнение изменения энергии играет ту же роль, что и для стационарного потока. Нестационарное движение газообразных сред представляет большой интерес при решении ряда прикладных технических задач, как например, исследование колебаний газа в компрессорах, во впускных и выпускных трактах ДВС, а также при взрывах.

В неравновесной термодинамике уравнения энергии выводятся в самом общем виде с использованием теории векторного и тензорного исчисления механики сплошной среды [2], что затрудняет введение этих уравнений в классическую термодинамику. Ниже даётся упрощённый (применительно к классической термодинамике) вывод уравнений энергии для нестационарного потока, основанный на составлении балансового уравнения изменения энергии малого элемента подвижной среды (макрочастицы или жидкой частицы) – подвижной закрытой термодинамической системы. Объём макрочастицы должен быть, с одной стороны, элементарным, чтобы в пределах его можно было пренебречь изменением термодинамических параметров и считать состояние макрочастицы равновесным, а с другой стороны, он должен быть достаточно большим, чтобы число содержащихся в нём молекул было достаточно для статистического осреднения их кинетических энергий и однозначного определения макроскопических величин (p , v , T). Изучаемое течение среды рассматривается как движение совокупности непрерывно распределённых в пространстве жидких частиц.

В зависимости от рассматриваемого вида движения молекул – абсолютного, хаотического или направленного – можно составить три балансовых уравнения изменения соответствующего вида энергии, два из которых независимы.

Уравнение энергии для потока в механическом виде (для упорядоченного движения). Применительно к выделенному элементу потока закон сохранения энергии (ЗСЭ) для упорядоченного движения можно сформулировать так: изменение полной механической энергии (кинетической и потенциальной) элемента потока равно сумме работ внешних сил давления и вязкостных сил (трения) по перемещению элемента среды как целого и технических сил (под техническими силами понимаются силы, которые возникают при взаимодействии элемента потока с подвижными лопатками турбины или компрессора). Аналитическое выражение данного физического утверждения для малого элемента среды имеет вид

$$d^2 E_{уд} = d^2 E_{мех} = d(\delta E_k + \delta E_p) = \sum \delta^2 W'_i = \delta^2 W'_{\text{дав.пер}} + \delta^2 W'_{\text{вяз.пер}} + \delta^2 W'_{\text{тех}} \quad (1)$$

В теплотехнике для технической работы, совершаемой в потоке, принято следующее правило знаков: в турбине техническая работа считается положительной величиной, в компрессоре – отрицательной. Поскольку в турбине за счёт совершения технической работы потоком ($W_{\text{тур}} > 0$) его полная энергия уменьшается ($\Delta E < 0$), то, следовательно, знак технической работы противоположен знаку изменения энергии системы. Такая связь между работой и изменением энергии характерна для внутренней по знаку работы. Следовательно, под технической работой при существующем выборе знаков понимается внутренняя техническая работа: $\delta^2 W_{\text{тех}} = -\delta^2 W'_{\text{тех}}$ (здесь и далее W' – работа внешних сил, $W = -W'$ – работа внутренних сил; δ – символ элементарности величины).

Выражение для работы сил давления по перемещению элемента среды как целого легко получить в случае рассмотрения одномерного нестационарного потока, который наиболее часто встречается на практике. Выделим в канале (рис. 1) элемент потока толщиной δx и площадью поперечного сечения A . Если в сечении x действует давление p , то в сечении $x + \delta x$ будет действовать давление $p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x$, так как здесь принято, что перемещение (путь) центра инерции элемента равен длине этого элемента $dx = \delta x$.

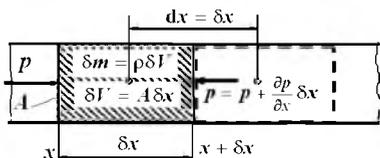


Рисунок 1 – К расчёту работы результирующей сил давления

Приращение величины, обусловленное приращением координат, принято называть конвективным приращением. В случае трёхмерного течения конвективное приращение определяется выражением

$$\delta p_{\text{конв}} = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

Конвективное приращение входит в состав полного приращения

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt + \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \delta p_{\text{лок}} + \delta p_{\text{конв}} \quad (2)$$

где $\delta p_{\text{лок}} = \frac{\partial p}{\partial t} dt$ – локальное приращение давления, обусловленное переменностью (нестационарностью) поля давления.

Тогда результирующая сил давления, действующих на элемент одномерного потока со стороны остальной части потока и приложенная в центре инерции этого элемента, определится выражением

$$\delta F_{\text{рез}} = pA - (p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x) A = - \frac{\partial p}{\partial x} \delta x A = - \delta p_{\text{конв}} A$$

Работа результирующей внешних сил давления по перемещению элемента среды как целого (сокращённо работа перемещения) в направлении оси x определится в виде произведения проекции на ось x результирующей сил давления $\delta F_{\text{рез}}$ на перемещение (путь) центра инерции элемента dx :

$$\delta^2 W'_{\text{дав.пер}} = \delta F_{\text{рез}} dx = - \frac{\partial p}{\partial x} \delta x A dx = - \frac{\partial p}{\partial x} dx \delta V = -v \delta p_{\text{конв}} \delta m \quad (3)$$

где $v = \delta V / \delta m = A \delta x / \delta m$ – удельный объём жидкой среды.

Разделив все члены этого уравнения на массу, получим выражение для удельной работы перемещения (работы результирующей внешних сил давления по перемещению элемента среды как целого), справедливое и в случае рассмотрения движения элемента трёхмерного потока,

$$\delta w'_{\text{дав.пер}} = -v \delta p_{\text{конв}} = \delta w'^p = -\delta w^p \quad (4)$$

В случае установившегося течения локальное приращение в выражении (2) равно нулю, следовательно, конвективное приращение равно полному приращению ($dp = \delta p_{\text{конв}}$), и выражение (4) для работы перемещения принимает общеизвестный вид $\delta w'_{\text{дав.пер}} = -v dp$. Работу ($-x dp$) можно вычислять не только для подвижного элемента стационарного потока,

но и для рабочего тела (РТ) в цилиндре двигателя, например, в процессе расширения. Однако применительно к РТ в цилиндре выражение $(-x dp_{\text{цил}} \neq -x dp_{\text{конв.цил}} \equiv 0)$ уже не будет иметь смысла работы результирующей сил давления по перемещению элемента среды в неоднородном поле давления: внутри цилиндра поле давления принимается однородным и конвективное приращение давления равно нулю $\partial p_{\text{конв}} = (\partial p / \partial x) dx = 0$. Поскольку работа перемещения всего РТ как целого в цилиндре не совершается (совершается лишь работа деформации – изменения объёма), то работа $-x dp_{\text{цил}}$ будет некоторой условной работой, которую по аналогии с работой изменения объёма $\delta w = p dv$ (содержит дифференциал удельного объёма dx) можно назвать работой изменения давления δw^p (содержит дифференциал давления dp).

В соответствии с (4) работа изменения давления δw^p приобретает конкретный физический смысл в потоке в качестве работы результирующей внешних сил давления по перемещению элемента среды как целого.

В настоящее время работа $(-v dr)$ чаще всего вводится не путём её расчёта через результирующую сил давления, действующую на элемент потока со стороны соседних слоёв среды, а путём математических преобразований уравнения ПЗТ для хаотического движения $(\delta q = du + p dv)$, либо путём различных комбинаций с работами сил давления. В связи с этим данной работе авторы учебников дали различные наименования: «располагаемая работа», «техническая работа», «полезная работа», «работа потока», «работа процесса открытой системы», «полная работа газа», «собственно работа» и др. (критика этих терминов дана в [3, 4]).

С учётом выражений для работ сил давления (3) и вязкостных сил (отождествляемых с силами трения $\delta^2 W_{\text{тр}} = -\delta^2 W'_{\text{вяз.пер}}$) по перемещению элемента среды как целого (без его деформации, так как деформация не меняет энергию упорядоченного движения, а только ХД микрочастиц системы), а также для технической работы $\delta^2 W_{\text{тех}} = -\delta^2 W'_{\text{тех}}$ уравнение энергии (1) для упорядоченного движения элемента среды как целого принимает вид

$$d^2 E_{\text{мех}} = d(\delta E_k + \delta E_p) = d(c^2/2 + gz) \delta m = v \partial p_{\text{конв}} \delta m - \delta^2 W_{\text{тр}} - \delta^2 W_{\text{тех}}$$

и для удельных величин

$$de_{\text{мех}} = g dz + dc^2/2 = -v \partial p_{\text{конв}} - \delta w_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тех}}. \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (5) при условии одинаковости значений давления и скорости по всему рассматриваемому сечению, получим уравнение изменения полной механической энергии элемента потока единичной массы ($m = 1 \text{ кг}$) при

его перемещении из сечения 1-1 в сечение 2-2 канала произвольной формы (интегральное уравнение энергии для **нестационарного** потока в **механическом** виде)

$$\Delta e_{\text{мех}} = (gz_2 + c_2^2/2) - (gz_1 + c_1^2/2) = - \int_1^2 v \partial p_{\text{конв}} - w_{\text{тр}} - w_{\text{тех}}. \quad (6)$$

В случае энергоизолированного ($w_{\text{тех}} = 0$) одномерного изэнтропного течения газа ($s = \text{const}$, $w_{\text{тр}} = 0$) уравнение (6) для изменения кинетической энергии элемента среды единичной массы (при пренебрежении изменением потенциальной энергии газа) примет вид

$$c_{2s}^2/2 - c_1^2/2 = - \int_1^{2s} v \partial p_{\text{конв}} = - \int_1^{2s} v \frac{\partial p}{\partial x} dx, \quad (7)$$

Уравнение первого закона термодинамики для нестационарного потока (уравнение энергии для абсолютного движения). Энергетический баланс в случае рассмотрения абсолютного движения микрочастиц, входящих в состав малого элемента среды, формулируется так: изменение полной энергии, включающей в себя внутреннюю, кинетическую и потенциальную энергии этого элемента, равно сумме внешней теплоты (подведённой, отведённой из вне) и внешних работ (сил давления, вязкостных и технических), что аналитически выражается в виде

$$\begin{aligned} d(\delta E) &= d^2 E_{\text{АД}} = d(\delta U + \delta E_k + \delta E_p) = d(w + c^2/2 + gz) \delta m = \\ &= \delta^2 Q^e + \sum \delta^2 W_i^* = \delta^2 Q^e + \delta^2 W_{\text{дав}}^* + \delta^2 W_{\text{вяз}}^* + \delta^2 W_{\text{тех}}^*. \end{aligned} \quad (8)$$

Для вывода выражения для работы сил давления выделим в нестационарном одномерном потоке его элемент толщиной δx и площадью поперечного сечения A (рис. 2). Если в сечении x действует давление p , то в сечении $x + \delta x$ будет действовать, как уже отмечалось, давление $p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x = p + \partial p_{\text{конв}}$.

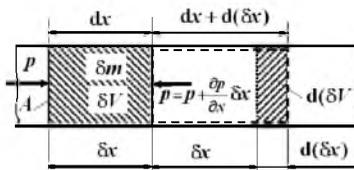


Рисунок 2 – К расчёту полной работы сил давления

Пусть левая грань элемента потока смещается на длину, равную толщине элемента $dx = \delta x$, тогда правая грань с учётом деформации элемента сместится

на длину $dx + d(\delta x) = \delta x + d(\delta x)$. Тогда работа внешних сил давления определится как сумма работ по перемещению левой и правой границ элемента потока

$$\delta^2 W'_{\text{дав}} = pA\delta x - (p + \partial p_{\text{конв}})A[\delta x + d(\delta x)]$$

Раскрывая произведение с учётом выражений (3), (4), замены $\delta V = A\delta x$ и пренебрегая величиной высшего порядка малости $\partial p_{\text{конв}} A d(\delta x)$, получим

$$\begin{aligned} \delta^2 W'_{\text{дав}} &= pA\delta x - pA\delta x - pAd(\delta x) - \partial p_{\text{конв}} A\delta x - \partial p_{\text{конв}} Ad(\delta x) = \\ &= -pd(\delta V) - \delta V \partial p_{\text{конв}} = \delta^2 W'_{\text{дав,деф}} + \delta^2 W'_{\text{дав,пер}} = -(pdv + v \partial p_{\text{конв}}) \delta m, \end{aligned} \quad (9)$$

или для удельных величин (с учётом (2) для полного приращения давления)

$$\begin{aligned} \delta w'_{\text{дав}} &= \delta w'_{\text{дав,деф}} + \delta w'_{\text{дав,пер}} = -pdv - v \partial p_{\text{конв}} = \\ &= -(pdv + v dp) + v \partial p_{\text{лок}} = -d(pv) + v \frac{\partial p}{\partial t} dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, полная (суммарная) работа внешних сил давления складывается из внешних (со штрихом) работ деформации элемента среды (работы изменения объёма) и его перемещения как целого (работы перемещения).

В случае стационарного течения ($\partial p_{\text{лок}} = 0$) полную работу внутренних сил давления (без штриха) (получаемую в термодинамике при рассмотрении открытых систем), равную работе внешних сил давления (со штрихом), взятой с противоположным знаком, принято называть удельной **работой проталкивания**

$$\delta w'_{\text{прот}} = \delta w^v + \delta w^p = pdv + v dp = d(pv). \quad (11)$$

Аналогичным образом, работа вязкостных сил состоит из работ деформации элемента жидкости и перемещения элемента жидкости как целого [1]

$$\delta w'_{\text{вяз}} = \delta w'_{\text{вяз,деф}} + \delta w'_{\text{вяз,пер}} \quad (12)$$

Работу внутренних сил вязкости по перемещению элемента среды как целого принято называть работой трения $\delta w_{\text{тр}} = \delta w'_{\text{вяз,пер}} = -\delta w'_{\text{вяз,пер}}$, а работу внешних сил вязкости по деформации элемента среды – работой диссипации или теплотой трения $\delta w_{\text{дис}} = \delta w'_{\text{вяз,деф}} = \delta q_{\text{тр}} > 0$.

Следовательно, полную удельную работу вязкостных сил (12) по изменению энергии макрочастицы можно представить через теплоту и работу трения в виде

$$\delta w'_{\text{вяз}} = \delta w'_{\text{вяз,деф}} + \delta w'_{\text{вяз,пер}} = \delta q_{\text{тр}} - \delta w_{\text{тр}} \quad (13)$$

Если работа $\delta w'_{\text{вяз,пер}}$ может как уменьшать скорость отдельной макрочастицы жидкости, так и увеличивать её, т.е. иметь любой знак (для конечного элемента среды, соприкасающегося со стенками, работа трения всегда положительна $\delta w_{\text{тр}} > 0$), то работа $\delta w_{\text{дис}} = \delta w'_{\text{вяз,деф}}$ всегда увеличивает энергию ХД молекул внутри макрочастицы, т.е. всегда положительна. В работе [5] по заданному профилю скорости приводится расчёт работ сил вязкости $\delta w'_{\text{вяз,пер}}$ и $\delta w'_{\text{вяз,деф}}$ в случае стационарного плоскопараллельного течения несжимаемой вязкой жидкости. Расчёт показывает, что в случае стационарного течения в потоке происходит взаимная компенсация составляющих работы вязкостных сил $\delta w'_{\text{вяз,деф}} + \delta w'_{\text{вяз,пер}} = 0$, т.е. выполняется условие равенства теплоты трения и работы трения $\delta q_{\text{тр}} = \delta w_{\text{тр}}$.

Подставляя выражения для работ сил давления (10) и вязкости (13), а также вводя внутреннюю по знаку техническую работу $\delta w_{\text{тех}} = -\delta w'_{\text{тех}}$ вместо внешней, в уравнение (8), и деля соответствующие величины на массу элемента δm , получим уравнение ПЗТ для нестационарного потока (для абсолютного движения микрочастиц элемента подвижной среды единичной массы) в таком виде:

$$g dz + dc^2/2 + dh = \delta q^e + \delta q_{\text{тр}} - d(pv) + v \frac{\partial p}{\partial t} dt - \delta w_{\text{тех}} - \delta w_{\text{тр}}. \quad (14)$$

Если из уравнения энергии (14) для абсолютного движения вычесть уравнение энергии (5) для упорядоченного движения и сделать соответствующие преобразования с учётом (2) и (11), то получим уравнение энергии только для одного хаотического движения

$$dh = \delta q^e + \delta q_{\text{тр}} - p dv \quad \text{или} \quad \delta q = \delta q^e + \delta q_{\text{тр}} = dh + p dv. \quad (15)$$

Следовательно, вид уравнения ПЗТ (15) для хаотического движения частиц тела относительно их подвижного (или неподвижного) центра инерции не зависит от того, движется ли это тело (элемент потока) или неподвижно (рабочее тело в цилиндре), стационарный поток или нестационарный.

Используя выражение для дифференциала энтальпии $dh = du + d(pv)$, уравнение ПЗТ для нестационарного потока (14) можно преобразовать к виду

$$\delta q = \delta q^e + \delta q_{\text{тр}} = g dz + dc^2/2 + dh - v \frac{\partial p}{\partial t} dt + \delta w_{\text{тех}} + \delta w_{\text{тр}}, \quad (16)$$

где $\delta q = \delta q^e + \delta q_{\text{тр}}$ – полная или суммарная удельная теплота.

В случае установившегося течения уравнение ПЗТ для потока (16) с учётом $\delta q_{\text{тр}} = \delta w_{\text{тр}}$ и $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$ принимает общеизвестный вид

$$\delta q^e = g dz + dc^2/2 + dh + \delta w_{\text{тех}}$$

Интегрируя уравнение ПЗТ (16) в случае энергоизолированного изэнтропного (нет технической работы и теплообмена, нет трения) установившегося течения газа (изменением потенциальной энергии положения газа пренебрегаем), получим

$$h_1 + c_1^2/2 = h_2 + c_2^2/2 - \int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx. \quad (17)$$

С учётом выражения для энтальпии идеального газа

$$h = c_p T = \frac{k}{k-1} RT = \frac{a^2}{k-1}$$

где $k = c_p/c_v$ – показатель адиабаты; $a = \sqrt{kRT}$ – скорость звука, уравнение (17) можно записать в виде

$$\frac{a_1^2}{k-1} + c_1^2/2 = \frac{a_2^2}{k-1} + c_2^2/2 - \int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx. \quad (18)$$

Особенности вычисления интегралов $\int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx$ и $\int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx$, входящих в уравнения (7) и (18), покажем на примере расчёта параметров нестационарного потока, возникающего в центрированной волне разрежения. Центрированная волна разрежения образуется при разрыве диафрагмы в ударной трубе и представляет собой в плоскости $x - t$ расходящийся пучок прямых линий (волн Маха или характеристических линий), исходящих из начала координат (рис. 3).

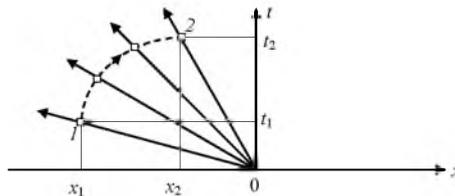


Рисунок 3 – К расчёту параметров нестационарного потока в центрированной волне разрежения

Пусть первая волна Маха, распространяющаяся со скоростью звука a_0 в невозмущённом газе ($c_1 = c_0 = 0$), подходит к макрочастице,

расположенной в сечении x_1 , в момент времени $t_1 = -x_1/a_0$ (точка 1). В момент времени t_2 макрочастица газа сместится в сечение x_2 (точка 2) и разгонится в волне разрежения до скорости c_2 , определяемой из уравнения соотношения параметров на характеристике

$$c_2 = \frac{2}{k-1}(a_0 - a_2) \quad (19)$$

(все зависимости для волны разрежения взяты из [6] для $k=1,4$).

Уравнения (7) и (18) для энергоизолированного изэнтропного одномерного течения, возникающего в центрированной волне разрежения, запишутся так:

$$c_2^2/2 = -\int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx, \quad (20)$$

$$\frac{a_0^2}{k-1} = \frac{a_2^2}{k-1} + c_2^2/2 - \int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial t} dt. \quad (21)$$

Используя зависимость давления в волне разрежения от координат и времени

$$p = p_0 \left[\frac{5}{6} \left(1 - \frac{x}{5a_0 t} \right) \right]^7,$$

находим

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{7}{5} \left(\frac{5}{6} \right)^7 \frac{p_0}{a_0} \left(1 - \frac{x}{5a_0 t} \right)^6 \frac{1}{t}$$

и

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{7}{6} \frac{p_0 x}{a_0} \left[\frac{5}{6} \left(1 - \frac{x}{5a_0 t} \right) \right]^6 \frac{1}{t^2},$$

а с учётом уравнения траектории движения макрочастицы газа

$$x = [1 - (6/5)(t_1/t)]^{1/6} 5a_0 t \quad (22)$$

переходим к одной переменной

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{7}{6} \frac{p_0}{a_0} \frac{t_1}{t^2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{35}{6} p_0 \left[1 - \frac{6}{5} \left(\frac{t_1}{t} \right) \right]^{1/6} \frac{t_1}{t^2}.$$

(Заметим, что переход к одной переменной не является очевидным, как можно было бы полагать, так как общепринятым является вычисление интеграла

$\int_1^{2s} x \frac{\partial p}{\partial x} dx$ для начального или конечного момента времени, а интеграла $\int_1^2 x \frac{\partial p}{\partial t} dt$ — для начального или конечного положения макрочастицы).

Удельный объем газа v определяем из уравнения изоэнтропы с учётом зависимости давления в макрочастице от времени с начала её движения

$$p/p_0 = (t_1/t)^{7/6} = (a/a_0)^7 \quad (23)$$

и соотношения для скорости звука $a_0^2 = k p_0 v_0$:

$$x = x_0 (p/p_0)^{-1/k} = (5/7)(a_0^2/p_0)(t_1/t)^{-5/6}$$

Дифференцируя (22), находим зависимость элементарного перемещения макрочастицы от времени

$$dx = 5a_0 [1 - (t_1/t)^{1/6}] dt .$$

С учётом перехода к одной переменной t и зависимости (23) вычисляются интегралы, входящие в уравнения (20) и (21):

$$-\int_1^2 x \frac{\partial p}{\partial x} dx = (25/2) a_0^2 [1 - (t_1/t_2)^{1/6}]^2 = (25/2)(a_0 - a_2)^2 ,$$

$$-\int_1^2 x \frac{\partial p}{\partial t} dt = 25aa_0 - 10a_0^2 - 15a^2 .$$

Подставляя выражения для соответствующих интегралов в уравнения (20) и (21), и разрешая их относительно скорости потока в момент времени t_2 , получим

$$c_2 = 5(a_0 - a_2) = \frac{2}{k-1}(a_0 - a_2) \quad (24)$$

Выражение для скорости (24), полученное путём решения уравнений энергии для нестационарного потока (20) и (21), совпадает с соотношением параметров на характеристике (19), получаемым путём решения известной системы дифференциальных уравнений, описывающей нестационарное течение идеального газа. Таким образом, на частном примере нестационарного течения газа в волне разрежения показана справедливость полученных уравнений (20) и (21).

Выводы

1 В термодинамику вводятся (без привлечения тензорного исчисления) уравнения энергии для нестационарного потока, содержащие частные производные давления по координатам или по времени, что расширяет область применения классической равновесной термодинамики на нестационарные потоки.

2 Полученные уравнения апробированы на примере расчёта параметров нестационарного потока в центрированной волне разрежения и могут быть использованы при расчёте нестационарных потоков, возникающих в поршневых ДВС и компрессорах.

3 Сам пример имеет самостоятельное значение для теории волн конечной амплитуды, так как позволяет получить уравнение волны (соотношения параметров на характеристике) из уравнения первого закона термодинамики для нестационарного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бэр, Г. Д.** Техническая термодинамика. Теоретические основы и технические приложения // Пер. с нем. – М. : Мир, 1977. – 518 с. : ил.

2 **Седов, Л. И.** Механика сплошной среды. Т. 1. М. : Наука, 1986. – 536 с. : ил.

3 **Рындин, В. В.** Понятие располагаемой работы в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 4. – С. 84–89.

4 **Рындин В. В.** Понятие работы в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 10. – С. 64–68.

5 **Кушнырев, В. И., Лебедев, В. И., Павленко, В. А.** Техническая термодинамика и теплопередача : Учеб. для вузов. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с.

6 **Станюкович, К. П.** Неустановившиеся движения сплошной среды. М. : Гостехиздат, 1955. – 531 с. : ил.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 04.01.13.

В. В. Рындин

**Стационарлық емес ағынға арналған энергияның теңдеулерін
классикалық термодинамикаға кіріспе**

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 04.01.13 редакцияға түсті.

V. V. Ryndin

**Introduction into the classical thermodynamics of energy equations for
non-stationary stream**

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.
Material received on 04.01.13.

Стационарлық емес ағыс жағдайында жүйенің микробөлшектерін қозғалысының (ретсіз, реттелген, абсолюттік) әртүрле түрлерге арналған энергияның теңдеулерін қорыту беріледі. Сейілменің центрленген толқынында стационарлық емес ағын параметрлері үлгісін есептеу алынған теңдеулерді қолданғанда байқалады.

The inference of the energy equations for various kinds of movement of system microparticles (for chaotic, directional, absolute) in case of non-stationary current is given. Use of the received equations is shown on the example of calculation of a non-stationary stream parameters in the centered rarefaction wave.

UDC 532.536

V. V. Ryndin

INTEGRATION OF EQUATION OF MOTION OF VISCOUS COMPRESSIBLE FLUID (NAVIER-STOKES) LENGTHWAYS TRAJECTORIES AND STREAMLINES

Method is founded on multiplication of members of the vectorial equation of Navier-Stokes on an elementary transition $d\vec{r}$ of an element of a fluid, or on an elementary segment $\delta\vec{r}$ of a streamline; thus the introduction of potential functions of forces of pressure, mass forces and velocity is not required. The method of calculation of the integrals, which are going into obtained equations, on an example of the centered wave of pressure is given.

In existing educational courses of a mechanics of a fluid and gas [1, 2, 3] the integration of equations of motion of Euler and Navier-Stokes is yielded only along a streamline. A method of an integration of equations of motion of Navier-Stokes along a trajectory, and also new method of an integration along a streamline is explained below.

Let's consider unsteady motion of viscous compressible fluid, for which one the equation of motion of Navier-Stokes can be written to an aspect of the vectorial equation expressing balance of specific forces (N/kg), operating on a device (macroscopic particle) of a fluid of a unit mass, –

$$\vec{f}_{\text{grav}} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \mu[\nabla^2 \vec{c} + \frac{1}{3} \nabla(\nabla \cdot \vec{c})] = \frac{d\vec{c}}{dt}$$

or

$$\vec{f}_{\text{grav}} + \vec{f}_p + \vec{f}_{\text{fr}} + \vec{f}_{\text{iner}} = 0, \quad (1)$$

where $\vec{f}_{\text{grav}} = \vec{F}_{\text{grav}}/m$ – specific gravity force;

$\vec{f}_p = \vec{F}_p/m = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p = -v \text{grad} p$ – specific resultant of forces of pressure (hydrodynamic of pressure); $x = V/m$ – specific volume, m^3/kg ;

$\vec{f}_{\text{fr}} = \vec{F}_{\text{fr}}/m = v[\nabla^2 \vec{c} + \frac{1}{3} \nabla(\nabla \vec{c})]$ – specific force of viscous friction;

$\vec{f}_{\text{iner}} = \vec{F}_{\text{iner}}/m = -d\vec{c}/dt$ – specific force of inertia.

Integration of the differential equation (1) in the beginning we shall conduct **along a trajectory** of a macroscopic particle, that it is much easier, than integration along a streamline, and it has concrete physical sense. For this purpose we shall multiply scalarly all member of equations (1) on partial transition of a fluid particle $d\vec{r} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}$:

$$\vec{f}_{\text{grav}} d\vec{r} + \vec{f}_p d\vec{r} + \vec{f}_{\text{fr}} d\vec{r} + \vec{f}_{\text{iner}} d\vec{r} = 0. \quad (2)$$

From the physical point of view such multiplication means passage from specific forces to specific works (J/kg), which one are committed by these forces at transition of a element of a fluid of a unit mass on distance $d\vec{r}$. Let's consider these works.

If in quality of spatial (volumetric) forces takes only force of the gravity, directional vertically downwards $\vec{f}_{\text{grav}} = \vec{g}m/m = -\vec{k}g$,

where $\vec{g} = -\vec{k}g$ – the free fall acceleration, then specific work of gravity will be defined so:

$$\vec{f}_{\text{grav}} d\vec{r} = -\vec{k}g(dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}) = -g dz$$

The specific work of resultant of forces of pressure operating on the verges of a macroscopic particle of a fluid, will be defined so:

$$\vec{f}_p d\vec{r} = -v \text{grad} p d\vec{r} = -v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right).$$

The specific work of viscous forces (friction work)

$$\vec{f}_{\text{fr}} d\vec{r} = v[\nabla^2 \vec{c} + \frac{1}{3} \nabla(\nabla \vec{c})] d\vec{r} = \delta w'_{\text{fr}} = -\delta w_{\text{fr}}.$$

(here w' – work of external forces, $w = -w'$ – work of interior forces).

Specific work of an inertial force with the count that $d\vec{r}/dt = \vec{c}$, will be defined so:

$$\vec{j}_{\text{iner}} d\vec{r} = -(d\vec{c}/dt) d\vec{r} = -\vec{c} d\vec{c} = -dc^2/2$$

(as we see, she is equal of decrease of a specific kinetic energy of an element of a fluid).

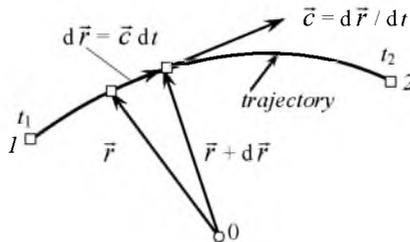
Substituting the retrieved expressions for works in the equation (2), we shall receive

$$-g dz - v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) - \delta w_{\text{fr}} = dc^2/2. \quad (3)$$

Equation (3) expresses law of a modification of a kinetic energy of a element of a fluid of an unit mass during dt.

Integrating equation (3) along trajectory from point 1 up to point 2 (**figure 1**), we shall receive final values of works and modification of a kinetic energy of an element of a fluid of a unit mass during Δt :

$$g(z_2 - z_1) + (c_2^2 - c_1^2)/2 + w_{\text{fr}} = - \int_1^2 v \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right). \quad (4)$$



- 1 – position of a macroscopic particle in moment of time t_1 ;
- 2 – position of a macroscopic particle in moment of time t_2 ;
- $d\vec{r}$ – elementary transition of a macroscopic particle during dt .

Figure 1 – To an integration along a trajectory

If to take a relation for a differential of pressure

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt + \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz,$$

then the equation (4) is possible to give and such view:

$$g(z_2 - z_1) + (c_2^2 - c_1^2)/2 + w_{fr} + \int_1^2 v dp - \int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dt = 0. \quad (5)$$

If a fluid is incompressible ($v = \text{const}$ and inviscid $\nabla \vec{c} = \text{div} \vec{c} = 0$), then

$$\int_1^2 x dp = (p_2 - p_1)x = (p_2 - p_1)/\rho$$

and the equation (5) will accept such view:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{iner} + h_{fr}, \quad (6)$$

where quantity $h_{iner} = -\frac{1}{\rho g} \int_1^2 \frac{\partial p}{\partial t} dt$ it is possible to term as an «inertial head»;

$$h_{fr} = \frac{w_{fr}}{g} = -\frac{v}{g} \int_1^2 \nabla^2 \vec{c} d\vec{r} = -\frac{v}{g} \int_1^2 \left(\frac{\partial^2 c_x}{\partial x^2} dx + \frac{\partial^2 c_y}{\partial y^2} dy + \frac{\partial^2 c_z}{\partial z^2} dz \right) -$$

specific weight work of frictional forces acting on a element of a fluid of a single weight, J/N (friction head).

The equation (6) it is possible to term as a Bernoulli's relation for an elementary trickle in case of non-stationary fluxion of viscous incompressible fluid. In case of steady flow $h_{iner} = 0$ and the equation (6) becomes of a known Bernoulli's relation for a elementary trickle of viscous incompressible fluid:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{fr}. \quad (7)$$

For an **integration** of the equation (1) **along a streamline** we shall multiply scalarly all its members on a elementary segment of a streamline $\delta \vec{r} = \delta x \vec{i} + \delta y \vec{j} + \delta z \vec{k}$ – elementary segment, is conducting in space in the given instant (he the transition of a separate fluid particle does not characterize, as joins two different fluid particles in the given instant), –

$$\vec{f}_{grav} \delta \vec{r} + \vec{f}_p \delta \vec{r} + \vec{f}_{fr} \delta \vec{r} + \vec{f}_{iner} \delta \vec{r} = 0. \quad (8)$$

Multiplying specific forces on segments of a streamline¹, we obtain works, which one could be accomplished, if the fluid particle instantaneously moved along a streamline under an operation of the forces, operating lengthways her in the given instant, that is, these works are only calculated, or conditional, as the real works are gained at multiplication of forces to real transition of a particle $d\vec{r}$, committed by her for some time interval.

In case of stationary (steady-state) flow, streamlines and allocation of values of flow parameters along streamlines coincide with trajectories and allocation of values of the corresponding parameters along trajectories. Only in this case, conditional works, committed along streamlines gain sense of real works calling a modification of a kinetic energy of a fluid particle at her moving along a trajectory.

In conditionality of works committed along a streamline, concluded difficulty of energy interpretation of members which are included in the integral Bernoulli, obtained at an integration of the equations of Euler along a streamline. These shortages the method of an integration of equations of motion along trajectories surveyed above is dispossessed, that allows to consider his as basic for deriving a Bernoulli's relation (7) of the equation (1).

Let's uncover expressions for conditional works which are included in the equation (8).

Conditional specific work of gravity

$$\vec{f}_{\text{grav}} \delta \vec{r} = \vec{g} \delta \vec{r} - \vec{k} g (\delta x \vec{i} + \delta y \vec{j} + \delta z \vec{k}) = -g \delta z.$$

The conditional specific work of resultant of forces of pressure

$$\vec{f}_p \delta \vec{r} = -v \text{grad} p \delta \vec{r} = -v \left(\frac{\partial p}{\partial x} \delta x + \frac{\partial p}{\partial y} \delta y + \frac{\partial p}{\partial z} \delta z \right) = -\frac{1}{\rho} dp,$$

as the change of pressure along a streamline happens only at the expense of increase of coordinates, and the change of pressure from time to be equal zero ($\frac{\partial p}{\partial t} dt = 0$).

The conditional specific work of viscous forces (conditional friction work)

$$\vec{f}_{\text{fr}} \delta \vec{r} = \mu \left[\nabla^2 \vec{c} + \frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{c}) \right] \delta \vec{r} = -\delta w'_{\text{fr}}.$$

¹ Streamline – line, in each point by which one the vector of velocity in the given instant is tangential to her. Therefore, the streamline is formed by an whole of particles taken in one same instant, the velocities which one are tangential to this line. The trajectory – line, which is described one the same particle at the her moving for some time interval.

(in case of non-stationary fluxion the work of frictional force along a trajectory is not equal to conditional work of frictional force along a streamline $\delta w_{fr} \neq \delta w'_{fr}$, because the forces of the viscosities operating along a streamline between sections 1-2 in the given instant, are not equal to forces of viscosity operating on a fluid particle at her moving between sections 1-2 during dt).

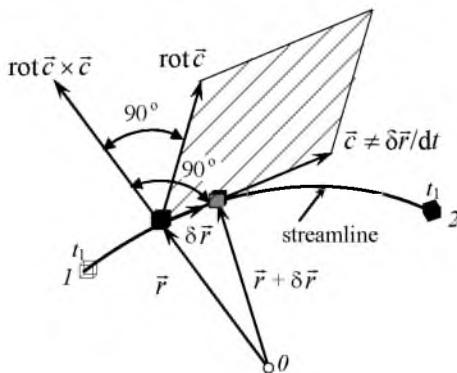
As $\delta \vec{r}/dt \neq \vec{c}$, then and $\int_{inert} \delta \vec{r} = -(\frac{d\vec{c}}{dt})\delta \vec{r} \neq -dc^2/2$, therefore we shall take advantage of transformations Gromeco-Lamba for acceleration of a particle

$$d\vec{c}/dt = \partial \vec{c} / \partial t + \text{grad}(c^2/2) + \text{rot } \vec{c} \times \vec{c}.$$

Then

$$(\frac{d\vec{c}}{dt})\delta \vec{r} = (\partial \vec{c} / \partial t)\delta \vec{r} + \text{grad}(c^2/2)\delta \vec{r} + (\text{rot } \vec{c} \times \vec{c})\delta \vec{r} = (\partial \vec{c} / \partial t)\delta \vec{r} + dc^2/2,$$

as by virtue of made above notes $\text{grad}(c^2/2)\delta \vec{r} = dc^2/2$ and by virtue of a perpendicularity of vectors ($\text{rot } \vec{c} \times \vec{c}$) and $\delta \vec{r}$ (**figure 2**) the dot product of these vectors is equal to zero $(\text{rot } \vec{c} \times \vec{c})\delta \vec{r} = 0$.



1 – position of the first macroscopic particle in an instant t_1 ;
 2' – position of the second macroscopic particle in an instant t_1 ;
 $\delta \vec{r}$ – elementary distance between two macroscopic particles in an instant t_1 .

Figure 2 – To an integration along a streamline

With the count of made notes the equation (8) will accept an aspect

$$-gdz - \frac{1}{\rho} dp - \delta w'_{fr} = (\partial \bar{c} / \partial t) \delta \bar{r} + dc^2 / 2.$$

Integrating this equation from a point 1 up to a point 2' (the point 2' on a streamline has the same coordinates, as point 2 on trajectory of a particle, but as the instants are various, also state variables of a particle in points 2 and 2' will be different, excluding of height z) on a streamline, we shall receive

$$g(z_2 - z_1) + \int_1^{2'} \frac{dp}{\rho} + (c_2^2 - c_1^2) / 2 + w'_{fr} + \int_1^{2'} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} \delta \bar{r} = 0 \quad (9)$$

At $\rho = \text{const}$ the equation (9) will accept an aspect of a Bernoulli's relation for a elementary tube of a current in case of non-stationary fluxion of viscous incompressible fluid [1, 3]

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} + h'_{iner} + h'_{fr}, \quad (10)$$

where $h'_{iner} = \int_1^{2'} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} \delta \bar{r}$ – so-called inertial head;

$$h'_{fr} = \frac{w'_{fr}}{g} = -\frac{v}{g} \int_1^{2'} \nabla^2 \bar{c} \delta \bar{r} \quad \text{– conditional friction heads.}$$

In case of steady flow the equation (10), obtained at an integration along a streamline, coincides with the equation (7), obtained at an integration along a trajectory.

Singularities of calculation of integrals included in equations (4), (5) and (9), we shall show on an example of calculation of parameters of the unsteady flow, originating in a centered wave of pressure.

The centered wave of pressure can be received in a tube in front of the cylinder piston at his moving under the particular law, when all characteristics (straight lines along which one all parameters of gas remain stationary values) intersect in one point $A(x_0, t_0)$ (**figure 3**). Coordinate of a point A can be spotted under the formula $x_0 = a_n t_0$, where a_n – speed of sound in nonperturbed gas, when the flow velocity equal zero $a_n = 0$.

As the one-dimensional fluxion of gas in a wave of pressure is considered isentropical (without exterior heat exchange and without friction) up to the moment of formation of a shock wave in a point A , then the equation of a modification of a kinetic energy of a macroscopic particle (4) at forgetfulness by work of gravity will accept such aspect:

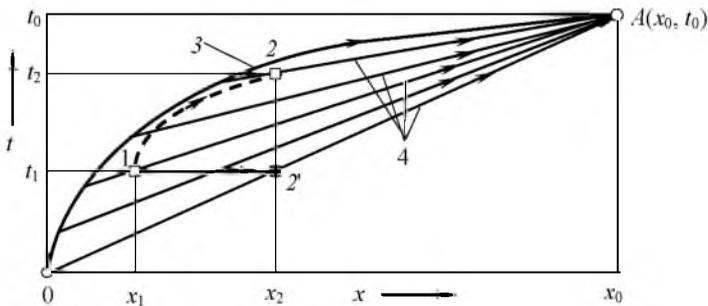
$$c_2^2/2 - c_1^2/2 = -\int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx, \quad (11)$$

and the equation (5) with the count that connection between a denseness (specific volume) and pressure is erected by the equation of an isentrope $p/\rho^k = \text{const}$ and

$$\int_1^2 x dp = \int_1^2 dp/\rho = \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{a_2^2}{k-1} - \frac{a_1^2}{k-1}$$

(where $k = c_p/c_v$; $a = \sqrt{kp/\rho}$ – the speed of sound), will accept such aspect:

$$\frac{a_1^2}{k-1} + \frac{c_1^2}{2} = \frac{a_2^2}{k-1} + \frac{c_2^2}{2} - \int_1^2 x \frac{\partial p}{\partial t} dt. \quad (12)$$



1-2 – trajectory of a macroscopic particle;
 1-2' – a streamline; 3 - path of the cylinder piston;
 4 – characteristics

Figure 3 – To calculation of parameters of the unsteadyflow originating in a centered wave of pressure

The equation (9), defining relation of parameters of gas on a streamline (line 1-2' in figure 3), with the count that in a point 2' gas is in a nonperturbed state ($c_2' = c_n = 0$, $a_2' = a_n$), will accept such aspect:

$$\frac{a_1^2}{k-1} + \frac{c_1^2}{2} = \frac{a_n^2}{k-1} + \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) dt. \quad (13)$$

Let's consider a method of calculation of an integral which is included in the equation (11). Using association of pressure in the centered compression wave from coordinates and time

$$p=(5/6)^7 p_n \left(1 + \frac{1}{5a_n} \frac{x-x_0}{t-t_0} \right)^7$$

(all associations for a wave of pressure are taken from work [4, 5] for $k = 1, 4$), we find:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = (7/5)(5/6)^6 \frac{p_n}{a_n} \left(1 + \frac{1}{5a_n} \frac{x-x_0}{t-t_0} \right)^6 / (t-t_0), \quad (14)$$

and with the count of the equation of a trajectory for a macroscopic particle of gas

$$x = x_0 - \left[6a_1 \left(\frac{t_0-t_1}{t_0-t} \right)^{\frac{1}{6}} - 5a_n \right] (t_0 - t) \quad (15)$$

we transfer to one variable in the equation (14)

$$\frac{\partial p}{\partial x} = (7/5)(5/6)^7 \frac{p_n}{a_n} \left(\frac{6a_1}{5a_n} \right)^6 (t_1 - t_0) / (t - t_0)^2.$$

Specific volume of gas is defined from the equation of an isentrope with the count of association of pressure in a macroscopic particle from time from a beginning of moving it

$$\frac{p}{p_n} = \left(\frac{a_1}{a_n} \right)^7 \left(\frac{t_1-t_0}{t-t_0} \right)^6 = \left(\frac{a}{a_n} \right)^7$$

and of relation for a speed of sound in nonperturbed gas $a_n^2 = k p_n v_n$

$$v = v_n \left(\frac{p_n}{p} \right)^{\frac{1}{k}} = \frac{5a_n}{7p_n} \left(\frac{a_1}{a_n} \right)^{-5} \left(\frac{t_1-t_0}{t-t_0} \right)^{-\frac{5}{6}}.$$

Differentiating the equation (15), we define association of elementary transition of a macroscopic particle from time

$$dx = 5\alpha_n \left[\frac{a_1}{a_n} \left(\frac{t_1 - t_0}{t - t_0} \right)^{\frac{1}{6}} - 1 \right] dt.$$

Substituting the corresponding expressions in the equation (11) and integrating, we shall receive:

$$\begin{aligned} c_2^2/2 - c_1^2/2 &= - \int_1^2 v \frac{\partial p}{\partial x} dx = (25/2) \left\{ \alpha_1^2 \left[\left(\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] - 2\alpha_n \alpha_1 \left[\left(\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} \right)^{\frac{1}{6}} - 1 \right] \right\} = \\ &= \frac{2}{(k-1)^2} [(a_2 - a_n)^2 - (a_1 - a_n)^2]. \end{aligned} \quad (16)$$

On the other hand, using the equation of a relation of parameters on characteristics

$$c_1 = \frac{2}{k-1} (a_1 - a_n) \text{ and } c_2 = \frac{2}{k-1} (a_2 - a_n), \quad (17)$$

find

$$c_2^2/2 - c_1^2/2 = \frac{2}{(k-1)^2} [(a_2 - a_n)^2 - (a_1 - a_n)^2],$$

that coincides with expression (16). Therefore, the integration along a trajectory of a particle in a wave of pressure is performed correctly.

Let's consider a method of calculation of an integral which is going into the equation (13). Using association of a velocity of a macroscopic particle on time and coordinates

$$c = \frac{5}{6} \left(\frac{x - x_0}{t - t_0} - a_n \right),$$

find

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{5}{6} \frac{x - x_0}{(t - t_0)^2}$$

and

$$\int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) dx = \frac{5}{12} \left[\left(\frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \right)^2 - \left(\frac{x_2 - x_0}{t_2 - t_0} \right)^2 \right] = \frac{5}{12} [(c_1 + a_1)^2 - a_n^2].$$

Putting a value of this integral into the equation (13) and solving him concerning a velocity c_1 , we shall receive

$$c_1 = 5(a_1 - a_n) = \frac{2}{k-1} (a_1 - a_n),$$

that coincides with the equation of a relation of parameters on characteristic (17).

LIST OF REFERENCES

- 1 **Емцев, Б. Т.** Техническая гидромеханика. – М. : Машиностроение, 1978. – 463 с. : ил
- 2 **Лойцянский, Л. Г.** Механика жидкости и газа. – М. : Наука, 1987. – 840 с.: ил
- 3 **James, W. Daily, Donald, R. F.** Harleman. Fluid dynamics. Addison–Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, U.S.A. Addison–Wesley (Canada) Limited, Don Mills, Ontario, 1966. – 480 p.
- 4 **Robert Sauer.** Nichtstationäre probleme der gasdynamik. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York, 1966. – 230 p.
- 5 **Станюкович, К. П.** Неустановившиеся движения сплошной среды. – М. : Госэнергоиздат, 1971. – 854 с. : ил

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.
Material received on 07.01.13.

В. В. Рындин

Ағын сызығын және траекторияны жағалай тұтқыр сығатын сұйықтың (Навье-Стокса) қозғалысының теңдеуін интегралдау

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.
Материал 07.01.13 редакцияға түсті.

В. В. Рындин

Интегрирование уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости (Навье-Стокса) вдоль траектории и линии тока

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 07.01.13.

Ағының сызығы элементар кесіндісі әлде элементар ауыстырушылықпен Навье-Стокса теңдеудің мүшелерін көбейтумен әдіс негіздеді. Сонымен қатар жылдамдық және қысым күштерінің потенциалды функциялар кіріспені керек болмайды. Қысымның центрлеген толқынын үлгісінде интегралдар есептеудің әдістерін берілді.

Интегрирование вдоль траектории основано на умножении членов уравнения Навье-Стокса на элементарное перемещение, а вдоль линии тока – на элементарный отрезок линии тока. При этом не требуется введения потенциальных функций сил давления и скорости. Дается методика вычисления интегралов на примере централизованной волны давления.

УДК 621:622:665:681

В. В. Рындин, Р. Е. Кауржанов, А. Т. Сагинаева**ПУТИ ЭКСПОРТА НЕФТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Приведены схемы и технические характеристики магистральных нефтепроводов Казахстана: Узень-Атырау-Самара, Омск-Павлодар-Шымкент-Туркменабад, Тенгиз-Атырау-Новороссийск (КТК), Атырау-Кенкияк-Кумколь-Каракоин-Атасу-Алашанькоу (Казахстан-Китай), Ескене-Курык (звено ККСТ), а также БТД.

Введение. Самым востребованным товаром на мировом рынке являются энергетические ресурсы, в особенности нефть, газ, уголь, уран. **Нефть** называют **кровью земли**, которой питаются экономики всей планеты. Казахстан по геологическим запасам занимает второе место в СНГ вслед за Россией и девятое в мире. Наличие колоссальных запасов углеводородного сырья (более 2,2 млрд. тонн нефти и более 2,0 трилл. м³) придают Казахстану глобальную значимость. Наибольшие запасы казахстанской нефти сосредоточены в зоне Каспийского региона – зоне интересов США (рис. 1), рассматривающих Каспий как стратегическое резервное месторождение. При президентстве Дж. Буша-младшего Каспий стали называть «внутренним морем» США или «шестым Великим озером» [1].

Особенностью каспийского региона является его удалённость от основных рынков сбыта, отсутствие прямого выхода к морю, необходимость транзита через территории с нестабильной политической и межэтнической обстановкой (Грузия, Нагорный Карабах, Афганистан, Курдистан, СУАР и др.). Поэтому ключевыми вопросами Каспийского региона стали вопросы транспортировки нефти на мировые рынки – именно они предопределяют экономические перспективы развития прикаспийских стран, и именно они выступают в качестве главных факторов формирования нового геополитического расклада сил в регионе.

Успех экономического развития нашей страны зависит не только от наличия запасов нефти и газа, а прежде всего, от обеспечения транспортной независимости республики при экспорте углеводородного сырья. Трубопроводный транспорт, который называют транспортом **чёрного золота и голубого огня**, является основным для экспортной транспортировки нефти за пределы РК. Любой нефтепровод должен отвечать, как минимум, двум условиям: иметь гарантированную загрузку в начале трубы в долгосрочной перспективе и стабильный рынок в конце трубы также в долгосрочной перспективе. Помимо

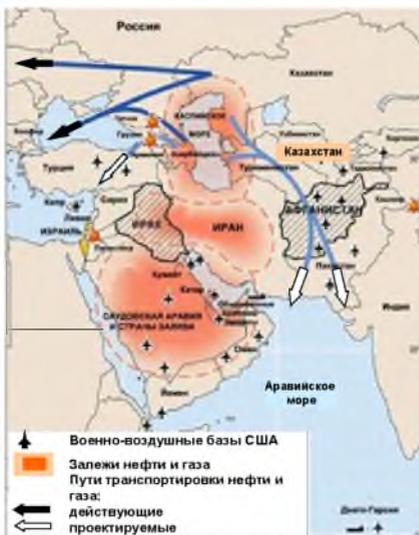
этого выбранная труба должна обеспечить надежность доставки и иметь приемлемую цену (тариф) доставки нефти на мировые рынки.

Кто контролирует добычу и транспортировку нефти – контролирует и экономику всех стран, которые от неё зависят. Именно, ради контроля над нефтью в нефтеносных регионах и в странах возможной прокладки нефтепроводов США размещают свои военные базы (см. рис. 1) [2].

Для обеспечения стабильности поставок требуется иметь несколько альтернативных маршрутов, уравнивающих в своей совокупности риски каждого из них в отдельности. Экспортную политику республики обозначил в Стратегии развития Казахстана до 2030 года президент РК следующим образом: «Только **большое количество независимых экспортных маршрутов** может предотвратить нашу зависимость от одного соседа и монопольную ценовую зависимость от одного потребителя».

Нефтепроводная система Казахстана, доставшаяся по наследству от СССР, состояла из двух самостоятельных подсистем – Западной и Восточной, между которыми на участке Атырау-Кумколь имелся разрыв. **Западная подсистема** нефтепроводов, начинающаяся на месторождении Каламкас, обеспечивает транспортировку нефти до терминалов порта Актау, НПЗ Атырау и в нефтепроводную систему РФ (Самара). Эта система включает в себя также и нефтепроводы КТК, Кенкияк-Атырау и Кенкияк-Орск (рис. 2). Нефтепровод Кенкияк-Орск (400 км, 6,6 млн т/год) предназначен для поставки нефти на Орский НПЗ РФ. После запуска нефтепровода Кенкияк-Атырау в 2004 году поставки по этому маршруту были сокращены.

Восточная подсистема нефтепроводов включает в себя казахстанскую часть трансазиатского нефтепровода Омск-Павлодар-Шымкент-Чарджоу (Туркменабад), построенного в советское время для поставок западно-сибирской нефти на НПЗ Казахстана, Узбекистана и Туркменистана. Западно-сибирская нефть по нефтепроводу Омск-Павлодар поставляется на Павлодарский НПЗ и наливную железнодорожную платформу Атасу в основном с использованием схемы её замещения казахстанской нефтью в Самаре.



Транспортные пути ранней нефти. Первый нефтепровод на территории РК был проложен в 1911–1913 гг. от промысла Доссор до порта Б. Ракуш для перекачки Эмбинской нефти к берегу Каспийского моря протяжённостью 60 км, из них 16 – пролегли по дну Каспийского моря [3]. На момент обретения независимости по территории Казахстана проходило 6300 км магистральных нефтепроводов (некоторые из них приведены в таблице 1). Наиболее протяжёнными являются нефтепроводы Узень-Атырау-Самара и Омск-Павлодар-Шымкент-Чарджоу (см. рис. 2).

Таблица 1 – Нефтепроводы Казахстана, построенные до 1991 года

Нефтепровод, год сдачи в эксплуатацию	Протяжённость, км (всего/РК)	Диаметр, мм	Пропускная способность, млн т/год
Узень-Жетыбай-Актау (1966)	150		9
Узень-Атырау-Самара (1970)	1480/1237	710/1020	17/40
Омск-Павлодар-Шымкент- Чарджоу (1977 по 1983)	1636/1127	820/635	17/40 (40 - проект)
Каламкас-Каражанбас- Актау (1979–1986)	290	530/720	8,04/15
Жанажол-Кенкияк-Орск (1986)	810/450	377/530	7,7
Прорва-Кульсары (1986)	103		5
Кумколь-Каракоин (1990)	230 (2 линии)	530/710	2/15
Тенгиз-Атырау-Астрахань- Грозный (1991)	678		30

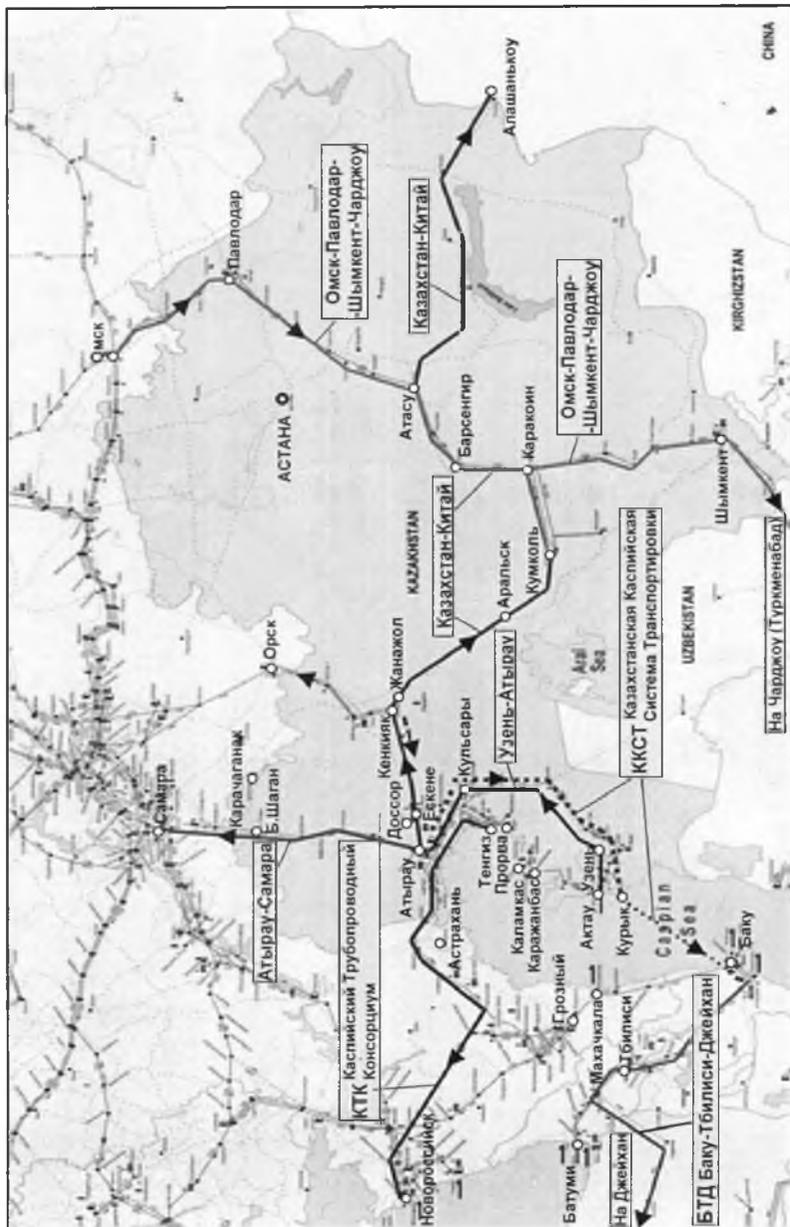


Рисунок 2 – Схема нефтепроводов Казахстана, а также БТД и КТК

Нефтепровод Узень-Атырау-Самара – уникальный подогреваемый магистральный нефтепровод, построенный в 1970 году, имеет длину 1480 км (на территории Казахстана – 1237 км). Начинается с месторождения Узень и проходит по территории Казахстана и Самарской области России (см. рис. 2).

Нефть месторождений, близлежащих к этому нефтепроводу, имеет плотность от 771 до 963 кг/м³, кинематическую вязкость при 20 °С от 1,14 до 920 мм²/с, содержание парафина от 0,06 до 23,4 %, смол от 1,0 до 20,9 %, асфальтенов от 0,08 до 6,5 %. Из-за высокого содержания парафина такая нефть обладает очень неудобным свойством – застывать при тридцатиградусной жаре. Нефть на выходе из скважины имеет температуру 65 °С и, двигаясь по трубе со скоростью приблизительно 3 км/ч, остывает через 145 км трассы. Поэтому на всём протяжении трубы были построены пятнадцать станций подогрева, из них семь станций совмещены с нефтеперекачивающими станциями. Помимо использования печей, приходится ежемесячно пропускать по трубам скребок, снимающий 20 мм слой липкого парафина, осевшего за месяц на стенках. Но, несмотря на это, добыча мангышлакской нефти рентабельна и на рынке она пользуется спросом.

Нефтепровод Атырау-Самара является одним из крупнейших существующих маршрутов, по которому казахстанская нефть транспортируется далее по системе «Транснефти» в порты Одесса, Приморск, Новороссийск и по системе Дружба на рынки Северо-Западной, Центральной и Восточной Европы.

По итогам 2011 года объём транспортировки нефти составил 15,75 млн тонн. В 2013 году Казахстан планирует увеличить поставки нефти в Россию по трубопроводу Атырау-Самара до 17,5 млн тонн [4].

Владельцами нефтепровода являются «КазТрансОйл» до российской границы, на российской территории – «Транснефть».

Нефтепровод **Омск-Павлодар-Шымкент-Чарджоу** (Туркменабад) был построен поэтапно в период с 1977 по 1983 годы с целью транспортировки западносибирской нефти на нефтеперерабатывающие заводы Павлодара, Шымкента и Чарджоу. В 1990 году к нефтепроводу был подключён **двухниточный отвод Каракоин-Кумколь** (см. рис. 2). Данный нефтепровод является одним из самых крупных – его протяжённость по территории республики 1636 км. В настоящее время он используется для удовлетворения внутренних потребностей республики за счёт западносибирской нефти, поступающей на Павлодарский НПЗ и Шымкентнефтеоргсинтез. После распада СССР и прекращения поставок западносибирской нефти нефтепровод Шымкент-Чарджоу (Туркменабад) на участке от 11 км до 294,5 км не эксплуатировался. В 1999 году ЗАО «КазТрансОйл» произвело вытеснение нефти на данном участке нефтепровода и его консервацию.

С вводом в эксплуатацию участка Атасу-Алашанькоу нефтепровода Казахстан-Китай стало возможным экспортировать российскую нефть в Китай из Омска, а постройка двухниточного трубопровода на участке Атасу-Каракоин позволит выйти

на рынки соседних Афганистана или Ирана. Для налаживания прокачки сибирской нефти по данному маршруту есть все технические возможности.

Ежегодная пропускная способность нефтепровода на участках Омск-Павлодар составляет до 30 млн. тонн, Павлодар-Шымкент – 22 млн. тонн и Шымкент-Туркменабад – 7 млн. тонн.

Поздние маршруты нефти. Сложившаяся в рамках СССР система трубопроводов не отвечала интересам независимой республики – географическая разорванность между местами добычи, переработки, потребления и полная ориентированность нефтепроводов на Россию создавала большие проблемы в формировании энергетической независимости. Единственный действующий нефтепровод, связывающий Казахстан с внешним миром (с Европой), проходил через Россию (нефтепровод Атырау-Самара), и свою подневольность от России Казахстан в полной мере почувствовал, как только дело дошло до транзита тенгизской нефти.

За годы независимости было построено порядка 6 000 км нефтепроводов: Тенгиз-Атырау-Новороссийск (КТК), Кенкияк-Атырау, Кенкияк-Кумколь, Атасу-Алашанькоу (табл. 2). На данный момент основными действующими экспортными направлениями казахстанской нефти являются нефтепроводы: Узень-Атырау-Самара, Тенгиз-Атырау-Новороссийск, Атасу-Алашанькоу, морской порт Актау (см. рис. 2).

Важным событием в истории нефтяной промышленности Казахстана стал ввод в эксплуатацию в 2001 году нефтепровода Тенгиз-Атырау-Комсомольская-Кропоткин-Новороссийск Каспийского трубопроводного консорциума (КТК), образованного в 1992 году.

Таблица 2 – Основные нефтепроводы Казахстана, построенные после 1991 года

Начальный, промежуточный и конечный пункты	Год ввода в эксплуатацию	Протяженность, км (всего/РК)	Пропускная способность, млн т/год/ диаметр, мм
КТК (Тенгиз-Атырау-Новороссийск)	2001	1580/695	28-67/ 530
Карачаганак-Б. Шаган-Калмыково-Атырау	2003	650	7/610
Кенкияк-Атырау	2004	449	6-12/610
Казахстан-Китай – участок Атасу-Алашанькоу (Китай)	2006	965,2 (988)	10-20/813
Казахстан-Китай – участок Кенкияк-Кумколь (КАК)	2010	761 (786)	10-20/813

Каспийский трубопроводный консорциум (КТК). Нефтепровод КТК общей протяженностью 1580 км (из них протяженность нового трубопровода – 748 км, в том

числе 695 км по территории РК) соединяет казахстанское нефтяное месторождение «Тенгиз» и нефтетерминал «Южная Озереевка» на российском побережье Чёрного моря вблизи порта Новороссийск (см. рис. 2). Количество нефтеперекачивающих станций 15:4 – на территории Казахстана, 11 – на территории России. В систему КТК поступает нефть в основном с месторождений Западного Казахстана, а также сырьё российских производителей. КТК, в отличие от трубопровода Атырау-Самара-Дружба, позволяет тенгизской нефти выйти на мировой рынок **со своей маркой Tengiz**.

Ежегодно КТК прокачивает более трети всей экспортной нефти Казахстана. С начала эксплуатации нефтепровода (2001 г.) транспортировано 266 млн. тонн, в том числе казахстанской нефти – 224 млн. тонн, за 2010 г. – 36 млн. тонн, их них казахстанской нефти – 29,9 млн. тонн, за 2011 год объем транспортировки нефти по системе КТК снизился на 0,2 % и составил 34,2 млн. тонн. По итогам 2011 года тарифная выручка КТК составила 1,12 миллиарда долларов.

В связи с наращиванием объемов добычи нефти на Тенгизском и Карачаганакском месторождениях и ввода в эксплуатацию месторождения Кашаган встал вопрос об увеличении пропускной способности нефтепровода. 15 декабря 2010 года акционерами КТК принято решение об инвестициях по **Проекту расширения КТК**. Проект предусматривает увеличение пропускной способности нефтепровода КТК с 28,2 млн т/год до 67 млн т/год в 2015 году, в том числе на казахстанском участке до 52,5 млн т/год. Для реализации утвержденного акционерами проекта потребуется 5,4 млрд. долларов. Проект расширения КТК предполагает строительство 10 дополнительных нефтеперекачивающих станций (двух – на территории РК, восьми – в РФ), шести резервуаров для хранения нефти под Новороссийском и третьего выносного причального устройства на Морском терминале КТК, а также замену 88 км. трубопровода на территории Казахстана. Консорциум планирует достигнуть указанных объемов прокачки в 2015 году. Реализация Проекта расширения выведет КТК на новый экономический уровень. Предполагается, что выручка увеличится более чем в два раза и составит порядка 2,3 млрд. долларов в год.

1 июля 2011 г. в г. Атырау состоялась церемония начала строительных работ по Проекту расширения. Расширение планируется провести в три этапа, полностью завершив Проект к 2015 году [5].

Акционеры КТК: РФ – 31 %, РК – 20,75 %; Chevron Caspian Pipeline Consortium Company – 15%, LUKARCO B.V. – 12,5 %, Mobil Caspian Pipeline Company – 7,5 %, Rosneft–Shell Caspian Ventures Limited – 7,5 %, BG Overseas Holding Limited – 2 %, Eni International N.A. N.V. – 2 % и Oryx Caspian Pipeline LLC – 1,75 %.

Нефтепровод Казахстан-Китай. В сентябре 1997 года было подписано соглашение по проекту транспортировки актюбинской, а в перспективе каспийской нефти, по нефтепроводу Западный Казахстан-Западный Китай. Примерно тогда же была согласована трасса нефтепровода: **Атырау-Кенкияк-**

Кумколь-Каракоин-Атасу-Актогай-Алашанькоу (рис. 3). К трассе, как уже отмечалось, может быть подключена и западносибирская нефть с помощью нефтепровода Омск-Павлодар-Атасу.

В мае 2002 года с участием китайской стороны началось строительство трубопровода **Кенкияк-Атырау**, и в 2004 году он был введён в эксплуатацию. Пропускная способность этого нефтепровода составляет 6 млн т/год, протяжённость – 449 км; при проектировании предполагалась возможность реверсирования нефтепровода с увеличением мощности до 12 млн т/год. 51 % финансирования строительства взяло на себя ЗАО «КазМунайГаз», 49% – КННК. Ближайшая задача нового маршрута – доставка нефти из Центрального Казахстана в систему КТК, дальняя задача – доставка казахстанской нефти в Китай путём её реверсирования и строительства участков **Кенкияк-Аральск-Кумколь** и **Атасу-Алашанькоу** (участок Кумколь-Каракоин-Атасу длиной 623 км достался от СССР).



Рисунок 3 – Нефтепровод Казахстан-Китай

В целях строительства нефтепровода АО «КазГрансОйл» и Китайская национальная корпорация по разведке и разработке нефти и газа (дочерняя компания КННК) создали на паритетной основе ТОО «Казахстанско-китайский трубопровод» (ТОО «ККТ»).

Строительство нефтепровода Казахстан-Китай предусматривалось в два этапа. **Первым этапом** явилась реализация проекта нефтепровода **Атасу-Алашанькоу** общей длиной 965,2 км и диаметром 813 мм. Изначальная пропускная способность трубопровода составляет 10 млн т/год. В состав нефтепровода входят: ГНПС Атасу, станция Алашанькоу, промежуточная насосная станция № 9, станции запуска и приёма СОД № 8, 10, 11, и 40 станций линейной арматуры.

15 декабря 2005 года Президент Казахстана Н. А. Назарбаев осуществил торжественный запуск магистрального нефтепровода Атасу-Алашанькоу [6]. Первый пусковой комплекс введён в эксплуатацию в июле 2006 года, строительство полностью завершено в 2008 году. Именно Главе нашего государства принадлежит идея создания казахстанско-китайского трубопровода: «Когда я впервые говорил об этом в 1997 году, все считали, что это утопия...

А сегодня мы запускаем 1000-километровую трубу стоимостью более 800 миллионов долларов. Оживляется весь край, растёт экономика региона...».

В 2010 году по нефтепроводу Атасу-Алашанькоу было транспортировано 10,1 млн. тонн нефти, По итогам 2011 г. объем перевалки нефти в нефтепровод Атасу-Алашанькоу достиг уровня в 10 млн. 894 тыс. тонн нефти, в том числе российской нефти – 200 тыс. тонн.

Первой очередью второго этапа проекта строительства нефтепровода Казахстан-Китай явилась реализация проекта нефтепровода **Кенкияк-Кумколь** протяженностью 761 км, диаметром 813 мм. В октябре 2009 года был введен в эксплуатацию пусковой комплекс, а в декабре 2010 года полностью завершена реализация проекта строительства первой очереди нефтепровода Кенкияк-Кумколь. Пропускная способность первой очереди нефтепровода составляет 10 млн т/год, а с возможностью расширения – до 20 млн т/год.

В рамках реализации **второй очереди** предполагается расширение пропускной способности нефтепроводной системы Казахстан-Китай в 2014 году до 20 млн т/год в точке Алашанькоу. Реализация проекта в рамках 2-ой очереди предполагает следующее:

- реверс и увеличение пропускной способности нефтепровода Кенкияк-Атырау до 12 млн т/год за счёт строительства дополнительно трёх промежуточных НПС (на рис. 3 они изображены в виде белых кружочков);
- увеличение пропускной способности нефтепровода Кенкияк-Кумколь до 20 млн т/год за счёт строительства трёх промежуточных НПС);
- реконструкция нефтепровода на участке Кумколь-Атасу (строительство третьей нитки на участке Кумколь-Каракоин протяжённостью 200 км и НПС Кызылжар на участке Каракоин-Атасу, а также реконструкция существующих НПС);
- расширение нефтепровода Атасу-Алашанькоу до 20 млн т/год за счёт строительства трёх промежуточных НПС (см. рис. 3).

В рамках достигнутых договоренностей в 2010 году начато строительство НПС 11 нефтепровода Атасу-Алашанькоу (см. рис. 3). Ввод в эксплуатацию НПС 11 позволит увеличить пропускную способность нефтепровода до 12 млн т/год.

Казахстанская каспийская система транспортировки (ККСТ). В январе 2007 года «Тенгизшевройл», «Казмунайгаз» и Agip KCO (оператор месторождения Кашаган) достигли договорённости о создании Казахстанской каспийской системы транспортировки начальной пропускной способностью 25 млн. тонн. В рамках **ККСТ** планируется создать **нефтепровод Ескене-Курык** и **Транскаспийскую систему (Курык-Баку)**, последняя будет состоять из нефтесливных терминалов на казахском побережье Каспийского моря, танкеров и судов, нефтеналивных терминалов на азербайджанском побережье Каспийского моря и соединительных сооружений **до системы Баку-Тбилиси-Джейхан** (БТД).

Нефтепровод системы БТД имеет протяжённость 1773 километра и проходит по территории трёх стран – Азербайджана (449 км), Грузии (235 км) и Турции

(1059 км). Строительные работы начались в апреле 2003 года. Официальное торжественное открытие всего нефтепровода прошло 13 июля 2006 года в Джейхане.

Создание системы транспортировки ККСТ обеспечит выход к глубоководному порту Джейхан в обход турецких проливов Босфор и Дарданеллы и к портам Чёрного моря, в том числе Батумского нефтяного терминала (см. рис. 2). После открытия месторождения Кашаган, Н. Назарбаев предложил переименовать проект нефтепровода Баку-Тбилиси-Джейхан в Актау-Баку-Тбилиси-Джейхан/ Максимальная пропускная способность 56 млн т/год [5].

Нефтепровод Ескене-Курык. Этот нефтепровод призван соединить расположенный в Ескене (в р-не Атырау) завод по подготовке нефти, поступающей с месторождения Кашаган, с портом Курык, где планируется построить новый нефтеналивной терминал для приема танкеров большого дедвейта – до 60 тыс. тонн. Порт Курык позволит сократить расстояние доставки нефти и нефтепродуктов по Каспийскому морю в порты Азербайджана и Ирана примерно на 110 км. Предполагается, что трасса проектируемого нефтепровода пройдет в одном техническом коридоре с действующим нефтепроводом Узень-Атырау-Самара, что позволит оптимизировать капитальные затраты на строительство.

По предварительным данным протяженность Ескене-Курык составит порядка 770 км, а с учетом соединительного нефтепровода от Тенгиза до нефтепровода Ескене-Курык и до порта Актау – около 950 км. Также рассматриваются два варианта максимальной пропускной способности нефтепровода – 56 и 80 млн. тонн в год. Нефтепровод будет построен за два года, и его начальная пропускная способность составит 23, затем 38 млн. тонн нефти в год. А когда начнется добыча нефти на Кашаганском месторождении, эта цифра будет увеличена до 56 млн. тонн. Стоимость проекта оценивается в 1,5 млрд. долларов.

Закключение. На сегодняшний день основными действующими экспортными маршрутами казахстанской нефти являются трубопроводы Атырау-Самара, КТК, Атасу-Алашанькоу и порт Актау. В 2011 году объем добычи нефти в РК составил 80 млн. тонн, а экспортные мощности нефтетранспортной системы страны составляют порядка 70 млн. тонн в год. Наибольший объем казахстанской нефти в 2011 году экспортирован по нефтепроводам КТК – 29,9 млн. тонн и Атырау-Самара – 15,4 млн. тонн. В китайском направлении транспортировано – 10,9 млн. тонн. Морской экспорт составил – 9,3 млн. тонн [5].

По прогнозам Министерства нефти и газа Республики Казахстан добыча нефти в Казахстане в 2020 году прогнозируется на уровне 130 млн. тонн. Таким образом, к 2020 году возникает необходимость увеличения суммарных экспортных мощностей с текущих 70 млн. тонн до 120 млн. тонн, то есть более чем на 70%. В связи с этим стратегическими целями АО «КазТрансОйл» по расширению и диверсификации экспортных мощностей для обеспечения экспорта в долгосрочной перспективе являются расширение пропускной способности нефтепроводов КТК к 2015 году до 67 млн. тонн в год и Казахстан-Китай в 2014 году до 20 млн. тонн

в год, и реализация в 2016–2018 годах проекта Казахской каспийской системы транспортировки (ККСТ) [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Сырлыбаева, Б. Р.** Каспий : проблемы и приоритетные направления внутрирегионального сотрудничества. Клуб политологов – Южный Кавказ : <http://club.xronika.az/analitika/print:page,1,132-kaspij-problemy-i-prioritetnye-napravleniya.html>. Дата: 12. 05. 2010.

2 **Звонимир Трайкович.** Как осуществляется развал России: www.polit.mnov.ru/2005/09/05/russia/.

3 Казахстан – моя Родина : <http://www.tarih.spring.kz/ru/kazakhstan/>.

4 Нефтепровод Узень-Атырау-Самара. Институт транспорта нефти (ИТН): http://www.iot.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=8.

5 Транспортировка нефти. АО Национальная компания «КазМунайГаз», 2012: <http://www.kmg.kz/manufacturing/>.

6 Запуск магистрального нефтепровода Атасу-Алашанькоу. КАЗИНФОРМ: <http://ru.government.kz/site/news/2005/12/news102>.

7 **Польских, М.** КазТрансОйл – курс на процветание страны: <http://www.kazpravda.kz/c/1323824198>. Дата: 14. 12. 2011.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 03.01.13.

V. V. Ryndin, R. E. Kairzhanov, A. T. Saginaeva

Қазақстан Республикасының мұнайының экспортының жолдары

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 03.01.13 редакцияға түсті.

V. V. Ryndin, R. E. Kairzhanov, A. T. Saginaeva

Ways of oil export from the Republic Kazakhstan

Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar.

Material received on 03.01.13.

Қазақстанның магистральдық мұнай құбырғыларының техникалық сипаттамалары және схемалары берілген: Өзен-Атырау-Самара, Омск-Павлодар-Шымкент-Туркменабад, Тенгиз-Атырау-Новороссийск (КТК), Атырау-Кеңияқ-Күмкөл-Қарақойын-Атасу-

Алашанькоу (Қазақстан-Қытай), Ескене-Құрық (ҚКТЖ), сонымен қатар БТД.

Schemes and technical characteristics of the main oil pipelines of Kazakhstan is given: Uzen-Atyrau-Samara, Omsk-Pavlodar-Shymkent-Turkmenabad, Tengiz-Atyrau-Novorossiysk (CPC), Atyrau-Kenkiyak-Kumkol-Karakoin-Atasu-Alashankou (Kazakhstan-China), Eskene-Kuryk (part of KCST), and also BTD.

УДК 620.193.22

З. А. Ченбаев*, **А. Б. Шешенин****,
А. Б. Абельдинова**, **А. И. Глазырин****

КИСЛОРОДНАЯ КОРРОЗИЯ

Кислородная коррозия как самый распространённый вид разрушения металла.

Коррозия (от лат. *corrosio* — разъедание) — это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это разрушение любого материала, будь то металл или керамика, дерево или полимер. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде.

Кислородная коррозия является самым распространённым видом разрушения металла котла, ей подвергаются, все элементы котла, изготовленные из углеродистых и низколегированных сталей, которые контактируют с водой практически с любым содержанием в ней кислорода. В случае литания котла недеаэрированной водой или неудовлетворительной работы деаэратора при эксплуатации котлов коррозия приобретает опасный характер лишь при содержании кислорода в питательной воде, превышающем 20 мкг/кг. Коррозия может сопровождаться образованием локальных язв с диаметром до 5 и редко до 10 мм, как, правило, закрытых рыхлым слоем ржавчины.

Кислородная язвенная коррозия развивается в глубь металла. Значительные язвы коррозии встречаются под влажным шламом (в торцах барабанов и в коллекторах).

Скорость кислородной коррозии в главных котлах низкая, что обусловлено эффективной работой деаэраторов и фосфатно-нитратным водным режимом. Во

вспомогательных водотрубных котлах она нередко достигает от 0,5 до 1 мм/год, хотя в среднем лежит в пределах от 0,05 до 0,2 мм/год. Характер повреждения котельных сталей - язвы небольших размеров.

Более опасной разновидностью кислородной коррозии является **стояночная коррозия**, протекающая в период бездействия котла. В силу специфики работы все судовые котлы (а вспомогательные особенно) подвержены интенсивной стояночной коррозии. Как правило, стояночная коррозия не приводит к отказам котла, однако металл, подвергшийся коррозии во время остановок, при прочих равных условиях более интенсивно разрушается при работе котла.

Основной причиной возникновения стояночной коррозии является попадание кислорода в воду, если котел заполнен, или в пленку влаги на поверхности металла, если котел осушен. Большую роль при этом играют хлориды и NaOH, содержащиеся в воде, и водорастворимые отложения солей.

При наличии в воде хлоридов интенсифицируется равномерная коррозия металла, а если в ней содержится незначительное количество щелочей (меньше 100 мг/дм³), то коррозия локализуется. Чтобы избежать стояночной коррозии при температуре 20 – 25 °С в воде должно содержаться до 200 мг/дм³ NaOH.

Внешние признаки коррозии с участием кислорода: локальные язвы небольшого размера (рис. 1, а), заполненные продуктами коррозии бурого цвета, которые образуют бугорки над язвами.

Удаление кислорода из питательной воды является одним из важных мероприятий по снижению кислородной коррозии. С 1986г. содержание кислорода в питательной воде для судовых вспомогательных и утилизационных котлов ограничивается 0,1 мг/дм³.

Однако и при таком кислородсодержании питательной воды в эксплуатации наблюдаются коррозионные повреждения элементов котла, что свидетельствует о преобладающем влиянии процессов разрушения оксидной пленки и вымывании продуктов реакции из очагов коррозии. Наиболее наглядным примером, иллюстрирующим влияние этих процессов на коррозионные повреждения, являются разрушения змеевиков утилизационных котлов с принудительной циркуляцией.

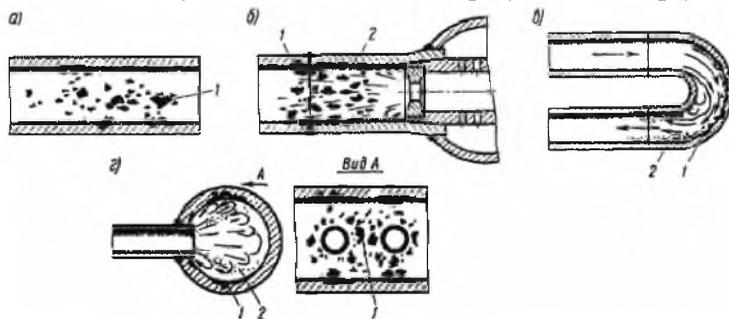


Рисунок 1 – Повреждения при кислородной коррозии

Коррозионные повреждения при кислородной коррозии обычно строго локализованы: на внутренней поверхности входных участков (см. рис. 1, а), в районе гибов (рис. 1, б), на выходных участках и в колене змеевика (см. рис. 1, в), а также в пароводяных коллекторах утилизационных котлов (см. рис. 1, г). Именно на этих участках (2 – область пристенной кавитации) гидродинамические особенности потока создают условия для разрушения оксидной пленки и интенсивного вымывания продуктов коррозии. Действительно, любые деформации потока воды и пароводяной смеси сопровождаются возникновением *кавитации в пристенных слоях* расширяющегося потока 2, где образующиеся и тут же схлопывающиеся пузырьки пара обуславливают разрушение оксидной пленки вследствие энергии гидравлических микроударов. Этому способствуют также знакопеременные напряжения в пленке, вызванные вибрацией змеевиков и колебаниями температуры и давлений. Повышенная же локальная турбулизация потока на этих участках вызывает активное вымывание продуктов коррозии.

На прямых выходных участках змеевиков оксидная пленка разрушается из-за ударов о поверхность капелек воды при турбулентных пульсациях потока пароводяной смеси, дисперсно-кольцевой режим движения которой переходит здесь в дисперсный при скорости потока до 20–25 м/с. В этих условиях даже невысокое кислородосодержание ($\sim 0,1$ мг/дм³) обуславливает интенсивное разрушение металла, что приводит к появлению свищей на входных участках змеевиков утилизационных котлов типа Ла Монт через 2–4 года эксплуатации, а на остальных участках – через 6–12 лет.

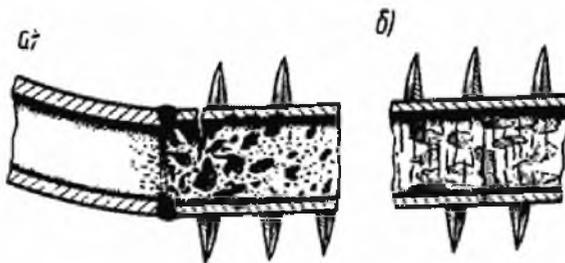


Рисунок – 2. Коррозионные повреждения змеевиков экономайзеров утилизационных котлов КУП1500Р теплохода «Индира Ганди»

В качестве иллюстрации к изложенному рассмотрим причины повреждения змеевиков экономайзеров двух утилизационных котлов типа КУП1500Р, установленных на лихтеровозе «Индира Ганди» (типа «Алексей Косыгин»), который вступил в эксплуатацию в октябре 1985 г. Уже в феврале 1987 г. из-за повреждений заменены экономайзеры обоих котлов. Через 3 года и в этих экономайзерах появляются повреждения змеевиков, расположенные на участках до 1–1,5 м от

входного коллектора. Характер повреждений свидетельствует (рис. 2, а, б) о типичной кислородной коррозии с последующим усталостным разрушением (поперечные трещины). Однако природа усталости на отдельных участках различна. Появление трещины (а ранее - растрескивание оксидной пленки) в районе сварного шва (см. рис. 2, а) является следствием знакопеременных напряжений, обусловленных вибрацией пучка труб и конструктивной особенностью узла соединения змеевиков с коллектором (к изогнутому шпудлеру диаметром 22х3 мм приварен конец змеевика диаметром 22х2 мм). Разрушение же оксидной пленки и образование усталостных трещин на внутренней поверхности прямых участков змеевиков, удаленных от входа на 700-1000 мм (см. рис. 2, б), обусловлены знакопеременными термическими напряжениями, возникающими в период ввода котла в действие, когда на горячую поверхность подается холодная вода. При этом действие термических напряжений усиливается тем, что оребрение змеевиков затрудняет свободное расширение металла трубы, создавая дополнительные напряжения в металле.

При эксплуатации котлов кислородная коррозия наблюдается в основном на входных участках экономайзеров, и при содержании кислорода более 0,3 мг/кг она появляется на остальной части экономайзера, в барабане котла и даже в опускных трубах.

На внутренней поверхности барабана образуются бугорки – ржавчина коричневого цвета, под которой обычно имеется слой оксидов железа черного цвета. При очистке этих мест – стальной щеткой обнаруживается язвина, которая, если не принять меры, может увеличиваться вплоть до образования свищей. Наибольшее количество язвин обнаруживают в паровом пространстве барабана, в местах переменного уровня воды, под коробками сепарационных устройств, на головках заклепок и др.

Кислородная коррозия барабанов может происходить в период ремонта котла и при нахождении, его в резерве. В последнем случае коррозию называют стояночной. Стояночная коррозия может образоваться как в котлах, наполненных водой, так и в котлах без воды. В первом случае она возможна, если в воде имеется растворенный кислород, а во втором – если стенки барабана влажные и к ним имеется доступ кислорода.

При температуре воды от 40 до 75 °С, как правило, поражается одновременно воздушное и водяное пространство барабана, а при 40 °С и ниже коррозия поражает водяное пространство. Во всех случаях коррозия особенно интенсивно образуется на границе раздела вода – воздух, т.е. на ватерлинии и петли не дренируемого перегревателя. Если возникают затруднения в установлении происхождения кислородной коррозии, необходимо вырезать участки труб из петель перегревателя, которые при простаивании заполнены водой и часто имеют солевые отложения.

При выявлении коррозионных язв в вырезанных участках труб можно полагать, что подобные поражения в других местах котла вызваны протеканием стояночной коррозии. Значит, коррозия петель перегревателя является

индикатором стояночной коррозии всего котла. Если обнаружены язвы на входных участках экономайзерных труб, то это говорит о том, что коррозия вызвана поступлением в котёл кислорода во время работы, а не при его простаивании; поражение в петлях перегревателя в данном случае отсутствуют.

На практике часто выявляются коррозионные поражения металла смешанного характера в виде язв стояночной и рабочей коррозии, которые взаимно усиливают протекание коррозии. Интенсивной коррозии подвергаются элементы котлов после гидравлического испытания на заводах – изготовителях и монтажных площадках. Оставшаяся вода часто является причиной серьезных язвенных поражений металла до включения в работу котла.

Длительное хранение блоков на монтажной площадке без их консервации может привести к опасной коррозии до монтажа котла.

Влияние кислорода на скорость коррозии металла проявляется в двух противоположных направлениях. Во-первых, кислород увеличивает скорость коррозионного процесса, так как является мощным деполяризатором катодных участков, во-вторых – оказывает пассивирующее действие на – поверхность металла. Побочными процессами при воздействии кислорода на металл являются образование пар неравномерной аэрации и резкое снижение концентрации ионов Fe^{2+} из-за окисления их до Fe_3O_4 . Оба этих процесса способствуют развитию коррозии.

Кислородная коррозия металла паровых котлов может быть предотвращена термической деаэрацией и термической деаэрацией с последующей обработкой воды сульфитом натрия для устранения остаточного кислорода (сульфитирование воды). Выбор наиболее приемлемого способа для предупреждения кислородной коррозии производится с учетом параметров и мощности котлов, а также специфики их эксплуатации.

Для предупреждения аварий из-за коррозионных повреждений питательных трубопроводов и пароводяного тракта с давлением до 3,9 МПа паропроизводительностью 2 т/ч и более Правилами по котлам [1] нормируется содержание кислорода в питательной воде в зависимости от применяемых в котельных агрегатах экономайзеров, которое не должно превышать: 100 мкг/кг для котлов без экономайзеров и с чугунными экономайзерами, 30 мкг/кг для котлов со стальными экономайзерами.

На тепловых электростанциях содержание кислорода в питательной воде (до точки ввода обескислороживающих химических реагентов) в соответствии с правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Минэнерго СССР не должно превышать 20 мкг/кг для котлов с давлением 10 МПа и выше.

Выполнение приведенных нормативов обеспечивается обработкой воды в деаэраторах. Содержание кислорода в воде при ее кипении равно нулю. При температуре воды ниже температуры кипения содержание растворенного в ней кислорода тем выше, чем больше недогрев.

При обслуживании деаэрационной установки необходимо следить за давлением и температурой в баках аккумуляторов. Нормальным считается уровень воды в деаэрационных баках, достигающий 3/4 высоты верхнего водоуказательного стекла.

Водоуказательные стекла должны быть всегда чистыми, не реже 1 раза в смену их следует продувать. Задвижки на линиях перелива деаэраторов необходимо держать открытыми, работоспособность их проверять не реже одного раза в 10 дней.

Недопустимы перегрузки, переполнение деаэраторов и работа на перелив, а также вибрация деаэраторов, появление гидравлических ударов в колонках и баках. Не реже двух раз в смену следует производить отбор проб питательной воды из баков для определения содержания в ней кислорода. Периодически определяют также содержание CO_2 в деаэрированной воде.

Наличие свободного диоксида углерода в питательной воде паровых котлов недопустимо.

Один раз в смену следует проверять исправность клапанов регуляторов уровня и перелива предохранительных клапанов на деаэраторах, коллекторе греющего пара, а также на трубопроводах сбросов из растопочных сепараторов котла в деаэраторы.

Различают коррозию с водородной, кислородной или окислительной деполаризацией. При наличии в растворе газообразного кислорода и невозможности протекания процесса коррозии с водородной деполаризацией основную роль деполаризатора исполняет кислород. Коррозионные процессы, у которых катодная деполаризация осуществляется растворенным в электролите кислородом, называют процессами коррозии металлов с *кислородной деполаризацией*. Это наиболее распространенный тип коррозии металла в воде, в нейтральных и даже в слабокислых солевых растворах, в морской воде, в земле, в атмосфере воздуха.

Общая схема кислородной деполаризации сводится к восстановлению молекулярного кислорода до иона гидроокисла



Коррозия металла с кислородной деполаризацией в большинстве практических случаев происходит в электролитах, соприкасающихся с атмосферой, парциальное давление кислорода в которой равно 0,021 МПа.

Каждый процесс с кислородной деполаризацией включает следующие последовательные стадии.

Растворение кислорода в электролите.

Транспортировка растворенного кислорода в растворе электролита (за счет диффузии или перемешивания).

Перенос кислорода в результате движения электролита.

Перенос кислорода в диффузионном слое электролита или в пленке продуктов коррозии металла к катодным участкам поверхности.

Ионизация кислорода:

В реальных условиях коррозии металла наиболее затрудненными стадиями процесса являются:

Реакция ионизации кислорода на катоде. Возникающую при этом поляризацию называют перенапряжением кислорода. Говорят, что процесс идет с кинетическим контролем.

Диффузия кислорода к катоду, либо перенапряжение диффузии. В этом случае, говорят, что процесс идет с диффузионным контролем.

Возможны случаи, когда обе стадии – ионизация кислорода и диффузия кислорода оказывают влияние на процесс. Тогда говорят, о кинетически-диффузионном контроле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Акимов, Г. В.** Основы учения о коррозии и защите металлов. // – М. : Металлургиздат, 1946.–463 с.

2 **Балезин, С. А.** Отчего и как разрушаются металлы. – М, 1971. – 546 с.

3 **Колотыркин, Я. М.** Металл и коррозия. – М. : Металлургия, 1985. – 328 с.

4 **Скорчеллетти, В. В.** Теоретические основы коррозии металлов. Л. : Химия, 1973.

5 **Глазырин, А. И., Глазырин, А. А., Орумбаев, Р К.** Коррозия и консервация теплоэнергетического оборудования. – 2011. – 728. с.

*Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда;

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

Материал поступил в редакцию 21.12.12.

Z. A. Chenbaev, A. G. Chechenin, A. G. Abeldinova, A. I. Glaziryn

Оттегі оттеқ коррозиясы

*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,
Қарағанды қ.;

**С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 21.12.12 редакцияға түсті.

Z. A. Chenbaev, A. G. Chechenin, A. B. Abeldinova, A. I. Glaziryn

Oxygen corrosion

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.

Material received on 21.12.12.

Oxygen corrosion as threw the most widespread type of destruction.

Оттегі коррозиясы маталдарды бүлдірудің ең көп таралған түрі болып табылады.

УДК 621.182.36

А. Г. Шешенин, А. И. Глазырин

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРАЗИНА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

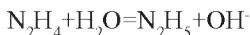
Рассматриваются характеристики гидразина, его применение.

Гидразингидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$ – бесцветная жидкость, легко поглощает воду, углекислоту и кислород из воздуха. Гидразингидрат хорошо растворим в воде и спирте. Температура кипения при атмосферном давлении $+118,5$ °С, замерзания $-51,7$ °С. Молекулярная масса реагента равна 50, плотность $1,03$ г/см³. Гидразингидрат обладает сильными восстановительными свойствами, токсичен, а при концентрациях, превышающих 40 %, горюч. Основной метод получения гидразингидрата в производственных масштабах – это использование синтеза Рашига, включающего частичное окисление аммиака гипохлоритом.

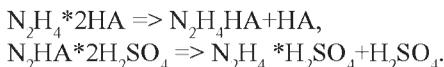
Для гидразингидрата предполагается, что в жидкой фазе существует равновесие:



которое с увеличением температуры смещается вправо. Реакция между гидразином и водой протекает с образованием иона гидразония:



Растворы гидразина в воде обладают основными свойствами. Как основание он в 8 раз слабее гидроксида, и его можно рассматривать как аммиак, в котором один атом водорода замещен группой NH_2 . С кислотами гидразин образует соли, которые в воде разлагаются по реакции:

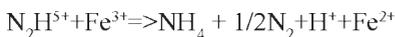


Гидразин способен выступать в качестве донора пары электронов при образовании комплексов с ионами металлов, что связано с возможностью гидразина координационно присоединять ион водорода с образованием иона $N_2H_4^*H^+$. При образовании таких гидразинатов гидразин ведет себя главным образом как координационно-двухвалентная молекула и действует в воде в качестве восстановителя металлов.

Гидразин как в кислой, так и в щелочной среде подвергается реакции самоокисления – восстановления:



Продуктами реакции трехвалентного железа и гидразина являются азот и аммиак:

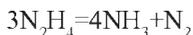


Как отмечалось выше, гидразин способен выступать в качестве донора пары электронов с образованием ионов гидразония $N_2H_5^+$, хотя в большинстве случаев координационно связанный с ионами металлов гидразин ведет себя как координационно-двухвалентная молекула, возможно существование и трехчленных металл-гидразиновых колец.

Многие соединения, содержащие координационно-связанный гидразин, слабо растворимы в воде, и вполне возможно, что некоторые из них представляют собой поликатионные комплексы, в которых гидразин является мостиковой группой. Число возможных соединений с координационным гидразином несколько ограничено вследствие его восстанавливающей способности.

Добавление гидразинов даже к водным растворам солей металлов приводит к осаждению нерастворимых комплексов.

При повышенных температурах гидразин разлагается с образованием аммиака и азота:



Скорость термического разложения гидразина зависит от pH раствора. Так, при pH менее 8 и температуре 300 °C разложение гидразина происходит через 10 мин, а при pH 8 и 9 (и той же температуре) - соответственно через 20 и 30 мин.

Катализаторами температурного распада гидразина являются оксиды железа, меди и других металлов. На разложение гидразина влияет также состояние стенок трубок, в которых циркулирует раствор. При движении растворов каталитическое воздействие стенок труб сказывается достаточно сильно. В неподвижном растворе скорость термоллиза гидразина замедляется.

С увеличением давления скорость разложения гидразина также уменьшается. Гидразин способен переходить в пар лишь при насыщении системы. Скорость его разложения в паре зависит в первую очередь от температуры.

Отсутствие катализаторов рН незначительно влияет на скорость окисления гидразина. Гораздо большее влияние на этот процесс оказывает температура.

Заметное взаимодействие реагирующих веществ начинается только при 150 °С. При этой температуре, если реакция протекает по мономолекулярному механизму, за 5 мин. может быть связано до 50 % меньшего по количеству компонента. При 250 °С – почти 100 % его будет связано за 1 минуту. Если же концентрации гидразина и кислорода близки, как, например, в питательной воде, реакция проходит по бимолекулярному механизму.

Даже при температуре 250 °С через 5 минут остается несвязанным свыше 70 % гидразина (из 30 мкг гидразина и 20 мкг кислорода прореагировало только по 8 мкг). При более низких температурах реакция идет значительно медленнее, что и объясняет их совместное сосуществование в питательной воде.

Гидразин применяют в органическом синтезе, в производстве пластмасс, резины, инсектицидов, взрывчатых веществ, в качестве компонента ракетного топлива.

Гидразин и его производные, такие как метилгидразин, несимметричный диметилгидразин и их смеси (аэрозин) широко распространены как ракетное горючее. Они могут быть использованы в паре с самыми разными окислителями, а некоторые и в качестве однокомпонентного топлива, в этом случае рабочим телом двигателя являются продукты разложения на катализаторе. Последнее удобно для маломощных двигателей.

Во время Второй мировой войны гидразин был применён в Германии на реактивных истребителях «Мессершмитт Me-163».

Гидразин также применяется в качестве топлива в гидразин-воздушных низкотемпературных топливных элементах.

Жидкая смесь гидразина и нитрата аммония используется как мощное взрывчатое средство с нулевым кислородным балансом – астролита, который, однако, в настоящее время практического значения не имеет.

Гидразинная обработка воды способствует предотвращению образования железистоокисных и медистых отложений на поверхностях нагрева котлов, воздействуя на механизм процесса.

Окислы железа и меди, восстановленные гидразином до закиси железа и металлической меди (формы низшей валентности), не являются накипеобразователями и могут быть удалены в виде шлама при продувке барабанного котла.

Удаление окислов железа с поверхности питательного тракта зависит в первую очередь от содержания гидразина в питательной воде, температуры среды, а также структуры и состава продуктов коррозии на поверхности

трубопроводов. Рыхлые и непрочно связанные с металлом окислы железа удаляются быстрее, плотные отложения восстанавливаются гидразином очень медленно. Степень загрязнения питательной воды окислами железа, удаляемыми из питательного тракта и экономайзера котла, также зависит от перечисленных выше факторов и может быть значительной при больших дозировках гидразина, сильной загрязненности питательного тракта, в особенности рыхлыми, плохо связанными с поверхностью металла окислами железа.

Образование защитной пленки на поверхности металла под действием гидразина может произойти только после полного удаления продуктов коррозии с питательных трубопроводов и экономайзерных поверхностей нагрева. Скорость образования этой пленки определяется избытком гидразина, температурой и значением pH.

Перед началом гидразиновой обработки для предотвращения образования железистоокисных отложений необходимо уменьшить содержание продуктов коррозии в питательной воде и ее составляющих, а также в котловой воде с помощью известных мероприятий (антикоррозионные покрытия баков, фильтров, трубопроводов, деаэраторов; периодическая отмывка катионитов и анионитов от накопившихся в них продуктов коррозии; регулярная продувка баков и деаэраторов из нижних точек; организация отсосов неконденсирующихся газов теплообменных аппаратов; тщательная термическая деаэрация питательной воды; обработка питательной воды аммиаком и т.д.). Для удаления продуктов коррозии из котловой воды необходимо осуществлять периодическую и непрерывную продувку котла. Особое значение имеет усиление непрерывной и периодической продувок во время начального периода гидразиновой обработки. Непрерывную продувку увеличивают до тех пор, пока содержание продуктов коррозии в котловой воде не снизится до обычных эксплуатационных значений, а периодическую продувку из всех нижних точек производят не реже 1 раза в смену.

Для предотвращения или ослабления «прикипания» продуктов коррозии к поверхностям нагрева барабанных котлов используют гидразин-гидрат или гидразин-сульфат.

В момент «насыщения» системы гидразином его дозируют для предотвращения накипеобразования одновременно в конденсат турбин (или питательную воду) и котловую воду. Дополнительный ввод гидразина в котловую воду наиболее желателен при наличии окислителей в питательной воде и сильной загрязненности питательного тракта.

Для предотвращения выделения окислов железа на поверхностях нагрева гидразин дозируют из расчета содержания в питательной воде не только кислорода, нитритов и нитратов, но и окислов меди и железа.

Начальную дозировку гидразина на ТЭЦ, т.е. на электростанциях, работающих со значительными добавками умягченной воды и большим количеством конденсата, возвращаемого с производства, при повышенном содержании окислов железа

в питательной воде, целесообразно поддерживать равной 10 – 15 мкг/кг. На конденсационных электростанциях или электростанциях, работающих с добавками обессоленной воды, дозировку гидразина можно уменьшить до 50 – 100 мкг/кг.

В котлах с естественной циркуляцией гидразин дозируют в таких количествах, чтобы обеспечить постоянный избыток его в котловой воде примерно 10–30 мкг/кг.

Если гидразин в котловой воде отсутствует, еще не произошло «насыщение» системы гидразином и нельзя рассчитывать на успешное предотвращение образования окисных отложений.

Учитывая летучесть гидразина и способность его сравнительно быстро разлагаться при высоких температурах, для «насыщения» системы и поддержания постоянного избытка гидразина в котловой воде во время начального периода обработки концентрацию гидразина в питательной воде увеличивают до 300 мкг/кг, но не более, во избежание усиленного загрязнения котловой воды продуктами коррозии как из питательного тракта, так и из экранных труб. При этом возможно забивание экранных труб образовавшимся шламом и увеличение выноса продуктов коррозии паром. После «насыщения» системы гидразином (увеличения содержания аммиака в пароводяном цикле электростанции) избытки его в питательной воде можно сократить, поддерживая постоянный небольшой избыток гидразина в котловой воде.

Контролируют эффективность данной обработки вырезкой образцов котельных труб и исследованием состояния внутренней их поверхности. Количество отложений определяют механическим удалением их с поверхности трубы или катодным травлением.

Загрязненность труб оценивают количеством отложений в граммах на квадратный метр поверхности ($г/м^2$).

Гидразинная обработка теплоносителя энергетических установок является радикальной мерой предупреждения кислородной коррозии и коррозионного растрескивания металла котлов, паровых турбин, конденсаторов и оборудования водоконденсатного тракта, а также снижения содержания окислов железа, меди и других продуктов коррозии в конденсатах, питательной, котловой и реакторных водах и паре котлов.

Питательную и котловую воды барабанных котлов можно обрабатывать как гидразин-гидратом, так и гидразин-сульфатом на котлах давлением 9,8 МПа, коррекционная обработка должна производиться только гидразин-гидратом, на котлах 9,8 МПа и менее – гидразин-гидратом и гидразин-сульфатом в соответствии с РД 34.37.522-88.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Акользин, П. А.** Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. – М : Энергоиздат, 1982. – 304 с.

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

3 **Маргулова, Т. Х.** Применение комплексонеров в теплоэнергетике. – М : Энергия, 1973. – 264 с

4 **Глазырин, А. И., Маргулова Т. Х., Иванов Б. П. Щеткин В. С.** Способ консервации барабанного котла. Авторское свидетельство N1086297 от 15.12.83

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.12.12.

A. G. Sheshenin, A. I. Glazyrin

Жылу энергиясында гидразинді қолдану

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ.

Материал 25.12.12 редакцияға түсті.

A. G. Sheshenin, A. I. Glazyrin

Application of hydrazine in heat power industry

Pavlodar State University named after S. Toraiyrov, Pavlodar.
Material received on 25.12.12.

Бұл мақалада гидразиннің сипаттамасы және оның қолданыстары қарастырылады.

The article describes the characteristics of hydrazine and its application.

НАШИ АВТОРЫ

Абдрахманов Токтар Сагындыкович – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Абельдинова Алия Бигалиевна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Азаматов Б. – кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Азаматова Ж. К. – к.т.н., кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Акаев Айбек Муратбекович – доцент, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Алимгазин А. Ш. – д.т.н., доцент.

Алимгазина С. Г. – ТОО «Научно-производственная фирма КазЭкоТерм».

Амиржанова Диляра Бекболатовна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Амренов Ержан Берикович – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Байдельдинова Айслу Абаевна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Байсанов А. С. – к.т.н, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда.

Байсанов С. О. – д. т.н., профессор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда.

Бакланов А. Е. – к.ф.-м.н., кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Батенов Аят Естаевич – магистрант, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бергузинов Асхат Нурланович – доцент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бороденко В. А. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Глазырин Александр Иванович – д.т.н., профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Говорун Владимир Федорович – д.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Говоруи Дмитрий Владимирович – инженер, Аксуский завод ферросплавов ОАО ТНК «Казхром», г. Аксу.

Говоруи Олег Владимирович – к.т.н., доцент, ТОО «Инжиниринговая Компания «КОТЭС КАЗАХСТАН».

Григорьева С. В. – магистр, кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Джусупов С. Е. – магистрант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Жангазинова Сандугаш Баглановна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Жунусов А. К. – к.т.н. Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

Зигангирова Елена Викторовна – к.т.н., Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

Исенов Султанбек Сансызбаевич – к.т.н., и.о. доцента, кафедра «Эксплуатация электрооборудования», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана.

Каиржанов Руслан Ерланович – студент, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Карманов Амангельды Ерболович – старший преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Квасов А. И. – д.т.н., кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Кибартас Виктор Витаутасович – к.т.н., заведующий кафедрой «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кибартене Юлия Викторовна – к.т.н., доцент, кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кислов Александр Петрович – к.т.н., профессор, декан Энергетического факультета, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Козкин Алишер Нурланович – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кумар Б. К. – д.т.н.

Лысикова Анна Алексеевна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Макашев Е. Б. – докторант PhD.

Марковский Вадим Павлович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Мельников Виктор Юрьевич – к.т.н., Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

Мендыбаев Сергазы Амиргалиевич – к.т.н., профессор, преподаватель кафедры «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Омаров Алихан Асетович – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Оралова Анар Жумагалиевна – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Оришевская Елена Вячеславовна – магистрант, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Падруль Надежда Михайловна – старший преподаватель, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Приходько Евгений Валентинович – к.т.н., доцент, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Рындин Владимир Витальевич – к.т.н., профессор, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сагинаева Асемгуль Толенбергеновна – студент, «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сембаев Нурболат Сакенович – к.т.н. Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Титов Д. Н. – к.т.н., кафедра «Приборостроение и автоматизация технологических процессов», Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск.

Толымбеков М. Ж. – д.т.н., профессор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда.

Файзуллин А. Р. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Ченбаев Заур Амирович – студент, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.

Шешенин Артем Григорьевич – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ****(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
«ӨЛЖЕТАНУ- 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, название статьи: кегль - 14 пунктов и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе «Word 7,0 (97, 2000, 2007) для Windows».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, 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 Вестник химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Название статьи - на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац центрованный;
3. Имя, отчество, фамилия (-и) автора(-ов), полное название учреждения;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа — 1 см, интервал 1,0; для Вестников химико – биологической серии требуется также экспертное заключение (см. образец);
5. Текст статьи: кегль - 14 пунктов, гарнитура - Times Nev Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times Nev 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). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84 (см. образец).

На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах приводятся:

- **сведения об авторе:** - Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы (для публикации в разделе «Наши авторы»);
- **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail** (для связи редакции с авторами, не публикуются);
- название статьи и фамилия (-и) автора (-ов) на казахском, русском и английском языках (для «Содержания»).

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 как Microsoft Equation (каждая формула - один объект).

3. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи, диски и дискеты не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в Вестнике 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 (718-2) 67-36-69, (внутр. 147; 183) факс: 8 (718-2) 67-37-02.

E-mail: kereku@mail.ru

Наши реквизиты:

РГКП Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 4 5 1 8 0 0 0 3 0 0 7 3

АО «Цеснабаню» БИН 990 140 004 654

Код сектора экономики – 6 ИИК 579 9 8 F T B 0 0 0 0 0 3 3 10

Признак резиденства -1 БИК T S E S K Z K A

Признак резиденства -1

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ISSN 1811-1815. Вестник ПГУ. Сер. гум., 2010. № 2

УДК 316:314.3

А. Б. Есимова

СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Одной из актуальных проблем современности является проблема демографическая. Еще в XX веке исследователи активно занимались поиском детерминант рождаемости, выявлением факторов, определяющих реализацию репродуктивных планов семей, индивидов.

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

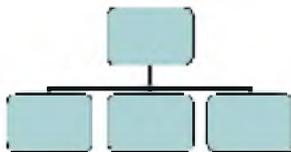
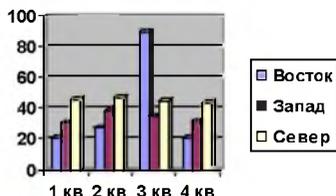


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Этнодемографический ежегодник Казахстана. Статистический сборник. – А., 2006. – С. 424.

2 **Бурдые, П.** Формы капитала // Экономическая социология. – Т. 3, № 5. – 2002. – С. 66.

Место работы автора (-ов):

Международный Казахско-Турецкий университет имени
Х. А. Яссави, г. Туркестан.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлуметтік капитал ретінде

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық
қазақ-түрік университеттегі, Түркістан қ.



A. B. Yessimova

The famili-related networks as social capital for realization of reproductive behavios

K. A. Yssawi International Kazakh-Turkish universiti, Turkestan.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық –туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықында айырмашылықтарын талдайды.

In given article the author analyzes distinctions of reproductive behaviour of married women of Kazakhstan through a prism the kinship networks.



Теруге 04.03.2013 ж. жіберілді. Басуға 06.05.2013 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 11,11 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген О.А. Гладкий
Корректорлар: Б.Б. Әубәкірова, А. Елемесқызы, А.Р. Омарова
Тапсырыс №1982

Сдано в набор 04.03.2013 г. Подписано в печать 06.05.2013 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 11,11 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка О.А. Гладкий
Корректоры: Б.Б. Аубакирова, А. Елемесқызы, А.Р. Омарова
Заказ № 1982

«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