

Ю. М. Мацевитый, академик НАН Украины

А. В. Русанов, член-кор. НАН Украины

В. В. Соловей, д-р техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: matsevit@ipmach.kharkov.ua)*

ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ – ОСНОВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Важнейшими задачами, стоящими перед электроэнергетической отраслью, является не только сохранение, но и наращивание к 2030 г. электрогенерирующих мощностей до уровня 88500 МВт, в том числе ТЭС – до 46400 МВт, АЭС – до 29500 МВт, ГЭС и ГАЭС – до 10500 МВт, а также использование возобновляемых источников энергии – до 2100 МВт.

Особо актуальным в сложившихся условиях является вопрос создания специальных высокоманевренных и высокоэкономичных «пиковых» мощностей. Эффективность работы таких энергетических установок может быть обеспечена только путем использования перспективных технологий и более совершенного оборудования для преобразования энергии. Следовательно, насущной задачей, стоящей перед отечественным энергомашиностроительным комплексом, является обеспечение энергетики надежной и эффективной техникой, способной функционировать в широком диапазоне регулирования мощности.

Очевидно, что инновационное развитие энергетической отрасли и топливно-энергетического комплекса в целом должно базироваться только на новейших научно-технических достижениях. Поэтому сохранение и наращивание отечественного научно-технического и промышленного потенциала является доминантой предлагаемой программы инновационной модернизации энергетики путем разработки коммерчески ценных технологий, что при создании благоприятного организационно-экономического климата может стать для инвесторов прибыльной сферой вложения средств как собственно в энергетику, так и в машиностроение, обеспечивающее отрасль необходимыми техническими средствами.

Анализ показывает, что в долгосрочной перспективе, безусловно, целесообразно с экономической и политической точек зрения, ориентироваться на производство собственной высокотехнологической продукции энергетического назначения, чем закупать ее за рубежом. В противном случае энергетическая отрасль на долгие годы становится заложником ценовой политики фирм-изготовителей при поставке расходных материалов и комплектующих изделий, необходимых для эксплуатации и ремонта импортируемого оборудования, что фактически лишает перспектив развития украинских энергомашиностроителей.

Результаты проведенных фундаментальных исследований в области термо- и газодинамики, теплофизики, проблем прочности и надежности эксплуатации оборудования, а также современных прикладных разработок в области конструирования более совершенных образцов техники позволили сформировать концептуальные подходы к решению проблемы обновления парка энергетического оборудования и трансфера эффективных технологий в производственную энергомашиностроительную сферу.

Энергомашиностроительный комплекс имеет необходимый для реконструкции отрасли научно-технический и промышленный потенциал, располагающий современной производственно-технической базой и кадрами высокой квалификации, способный обеспечить выпуск широкой номенклатуры оборудования для обеспечения устойчивого функционирования энергетической системы Украины. При этом у предприятий

энергомашиностроительного профиля появляется долгосрочная перспектива загрузки отечественными и зарубежными заказами, что позволит сохранить Украине статус страны, производящей наукоемкое энергетическое оборудование.

Для обеспечения системного подхода к созданию новой техники необходимо осуществить ряд организационных мероприятий, включающих формирование интеграционных системообразующих структур, в функции которых будет входить решение всего комплекса координационных вопросов, связанных с разработкой и производством энергетического оборудования. Формирование такой структуры в виде энергохолдинга предполагает включение в его состав научно-исследовательского сектора, формируемого на базе академических и вузовских коллективов, проектно-конструкторских и пусконаладочных организаций совместно с предприятиями энергомашиностроительного профиля. Это обеспечит более эффективное использование имеющихся кадровых, материальных и финансовых ресурсов при создании энергетического оборудования нового поколения и проведении реконструкции энергетической отрасли в сроки, предусмотренные энергетической стратегией Украины.

Учитывая мировые тенденции в области реструктуризации научно-производственных отношений, в сторону усиления роли интеллектуальной составляющей Научный парк инициировал формирование ряда новых организационно-инновационных структур, включающих технологические платформы и кластеры национального и международного уровней по направлениям имеющим научно-технический задел и сохранившим кооперационные связи.

УДК 621.165

А. А. Тарелин, член-корр. НАН Украины

И. Е. Аннопольская, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua)*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

В настоящее время первостепенной задачей для экономики многих стран, в том числе и Украины, является интенсификация исследований (работ) по созданию прогрессивных технологий и реализация передовых технических идей (научных результатов), направленных на существенное снижение энергетических и топливных ресурсов во всех отраслях промышленности. Это снижение ресурсов должно происходить в первую очередь в теплоэнергетике, т.к. именно в этой отрасли на тепловых электростанциях расходуется большая часть всех топливных ресурсов.

В докладе приведены результаты исследований в области энерго- и ресурсосберегающих технологий при создании и эксплуатации энергетического оборудования – паровых и газовых турбин. Проанализированы возможные пути совершенствования технологических процессов при проектировании, доводке и эксплуатации энергетических установок.

Представлена методология оптимального проектирования наиболее ответственных ступеней турбомашин с учетом требований надежности, экономичности и технологических особенностей производства, а также методика идентификации параметров математических моделей физических процессов энергоустановок по экспериментальным данным. Разработанная технология и качественно новая информационно-инструментальная среда для ее реализации позволяют повысить уровень, качество и культуру проектирования, существенно сократить сроки проектирования и доводки, количество экспериментальных исследований, и следовательно, улучшить энерго- и ресурсосберегающие показатели энергетических установок.

Рассмотрены вопросы влияния электризации пара на экономичность и надежность турбоустановки, а также методы эффективного управления этими процессами.

Представлены новые технологии управления режимными параметрами (давление и температура острого пара, температура промперегрева, расход циркуляционной воды), повышающими эффективность и надежность эксплуатационных характеристик ТЭС и ТЭЦ при их работе на переменных нагрузках. Рациональный комплексный выбор режимных параметров позволяет повысить тепловую экономичность турбоагрегатов на 3 % и более без существенных дополнительных капитальных затрат.

Н. В. Внукова, д-р техн. наук
М. М. Мухіна

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(м. Харків, Україна, e-mail:ecologyknady@mail.ru)*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ В ЕНЕРГОМАШИНОБУДІВНІЙ ГАЛУЗІ

Прийняття ефективних рішень по досягненню високої якості продукції при раціональному використанні ресурсів не можливо забезпечити без інженерно-спроектованої технології сприйняття інформації, оцінки і аналізу ситуацій, формування та відбору кращих технологій та організаційних заходів. Значимість такого підходу для підвищення ефективності забезпечення якості продукції зростає по мірі ускладнення конструкції виробів, збільшення їх номенклатури, ускладнення технології та розширення зв'язків з поставальниками та споживачами що є характерним для сучасного виробництва.

В ринкових умовах необхідно підвищувати якість продукції, тому що тільки найвищий рівень якості може зберегти існуючі та завоювати нові ринки. При цьому основою досягнення необхідного рівня якості є міжнародні стандарти серії ISO 9000 що базуються на «процесному підході», при якому та чи інша діяльність підприємства розглядається в сукупності кадрових, технологічних, інформаційних управлінських факторів.

У зв'язку з важливістю завдань у сфері забезпечення екологічної безпеки і раціонального природокористування спостерігається актуалізація питань розвитку еколого-орієнтованих інноваційних процесів, виробництва екологічно чистих продуктів і еколого-орієнтованих послуг з метою підвищення конкурентоспроможності.

До теперішнього часу вважалось, що екологічна діяльність є виключно витратним заходом, який може лише знизити конкурентоспроможність. Але сьогодні стає ясним, що спроби економії за рахунок мінімізації витрат пов'язаних з ресурсозбереженням і забезпеченню екологічної безпеки дають вигрaш тільки в короткостроковому плані. У довгостроковій перспективі заходи з охорони довкілля призводять до прямого зниження витрат виробництва завдяки скороченню виробничих витрат та мінімізації витрат при переробці відходів. Включення екологічної складової у свою діяльність сьогодні необхідно розглядати як сферу додаткових можливостей із забезпечення популяризації продукції та розвитку ділової активності, з підвищення конкурентоспроможності.

З цією метою для стимулювання підприємницької активності у сфері виробництва і просування на ринок еколого-орієнтованої інноваційної продукції відповідної якості потрібна розробка комплексу заходів організаційно-еколого-економічного регулювання вказаної діяльності, що передбачає створення: фінансово-економічного механізму; організаційно-технічного забезпечення; нормативно-правового забезпечення; науково-методичного і інформаційного забезпечення; системи підготовки і підвищення кваліфікації кадрів.

Теорія управління якістю розглядає інформацію як комунікативну функцію, яка передбачає наявність достовірних даних, що стосуються вимог до продукції и протікання процесів, які направлені на підвищення якості і повинні забезпечити раціональну координацію діяльності функціональних підрозділів й окремих технологічних ланок на всіх етапах життєвого циклу продукції.

Для відбору і прийняття ефективних управлінських рішень в галузі забезпечення якості необхідно передбачити можливість отримання в стандартній формі наступних даних: типових рішень по покращенню ситуації, прогнозних значень основних показників, виробництва в тому числі для різних варіантів регулюючих впливів, висновків експертів і рекомендацій консультантів, характеристик інтегральної економічної ефективності варіантів рішень.

Слід підкреслити суттєву залежність ефективності функціонування системи управління якістю від якості інформаційного ресурсу і способу об'єднання в рамках єдиної системи якості підприємства матеріального та інформаційного виробництва на базі впровадження інтегрованих багатофункціональних систем.

Таким чином, складовими створення інтегрованої інформаційно-комунікаційної інфраструктури, що забезпечує формування єдиного інформаційного простору інноваційної діяльності по пріоритетних напрямкам розвитку науки, технології і техніки у сфері екологічної безпеки і раціонального природокористування є:

- формування єдиного банку даних цих виробників і споживачів інновацій включно з багаторівневою екологічною освітою;

- розвиток інтегрованої національної бібліотечно-інформаційної системи по інноваційній діяльності, що забезпечує консультативний супровід різних користувачів інформацією про інновації (технологічних, організаційних і інших);

- розвиток механізму фінансування еколого-орієнтованої інноваційної діяльності, формуванні ринку споживачів еколого-орієнтованих інновацій, шляхом стимулювання платоспроможного попиту на інновації в цій сфері; створення спеціалізованих фондів, що надають пільгові кредити покупцям еколого-орієнтованих інновацій; створення сприятливих умов співпраці між науковим співтовариством і потенційними споживачами еколого-орієнтованих інновацій.

Władysław Kryłłowicz, prof
Kirill Kabalyk, phd

Lodz University of Technology, Institute of Turbomachinery
(Lodz, Poland, e-mail: kirill.kabalyk@p.lodz.pl)

SMALL STEAM TURBINES FOR DISTRIBUTED POWER GENERATION – FUNDAMENTAL TECHNICAL AND ECONOMIC PROBLEMS

The recent regulations of EU enforce the Polish power distribution system to undergo a complex reorganization. Decentralized power generation appears to be one of the fundamental elements of this process. Taking into account the aspects of geologic location of the country, the main energy sources should arrive from geothermal and agricultural (biomass) branches. At this moment, the main obstacle in implementing the programme is lack of industrial scale production of low-power water or organic (ORC) steam turbines within the country. The units manufactured by the Western enterprises happen to be economically non-relevant.

The paper focuses on the overview of the chosen experimental tests of single-stage low-power impulse steam turbines carried out in the Institute of Turbomachinery of Lodz University of Technology. The basic design and financial issues are reported. It occurs that the latter play the most crucial role when dealing with low-power machinery.

Carlos Brebbia, prof.

*Wessex Institute of Technology,
(Ashurst, New Forest, England, United Kingdom)*

GEARTURBINE

The present invention relates to a compression and pushing motor characterized in that it is composed of a housing, said housing accommodates a rotor rotating in its internal space supported by a pair of gears whose passage coincides with the inner surface of the rotor; A rotor (or core) that internally has flow ducts presented one in reverse of another, balanced these, begin at the point where they end; Has several cavity points for reaction turbines, as well as two combustion chambers isolated by means of a system of nozzles and presented in the manner of poles, that is on opposite sides of one another, but their flow with the same circular direction of the rotor when It rotates; The rotor also has several fluid conduits radically presented; A hollow power transmission rod arranged and traversing in the center of the rotor, which in its interior flows the lubricant and fuel with movement of the ends towards the center, at this point by means of the centrifugal force of the rotor reaches the required parts; In the bar is arranged an air intake fan which by rotating the rotor suction air and introduces it to the internal ducts of the rotor with an initial compression, next to this fan is a current collector that generates the necessary electricity and Together with a coil, activates the current necessary for combustion; A center of the nucleus in which the formation of the internal ducts of the rotor begins and ends (in and out); Said center of the core has arranged a pair of semi-cylindrical cavities housing two pairs of turbochargers said core of the core is diagonally traversed by fluid conduits exiting from the bar to the combustion bed and lubrication points and by the centrifugal force of the rotation Of the rotor sends the fluids to the required points due to their radial direction; Exhaust blades are the point of exit of the exhaust gases that leave the internal ducts of the rotor and contrary action with the fixed blade in the last point of use of propulsion of the motor; Two combustion chambers contained in the rotor's strong ducts when the parts forming it are joined, said chambers have their flame in front of the thrust blade, which is connected by a common shaft to a gear located on the outside of the rotor and Coincides with the internal gear of the housing; A starter motor which by means of a gear engages the starter gear attached to the bar. -This innovative concept consists of hull and core where are held all 8 Steps of the work-flow which make the concept functional. The core has several gears and turbines which are responsible for these 8 steps (5 of them are dedicated to the turbo stages). The first step is fuel compression, followed by 2 cold turbo levels. The fourth step is where the fuel starts burning – combustion stage, which creates thrust for the next, 5th step – thrust step, which provides power to the planetary gears and turbines and moves the system. This step is followed by two hot turbo steps and the circle is enclosed by the final 8th step – bigger turbine. All this motion in a retro dynamic circumstance effect, witch is plus higher RPM speed by self motion. The Reaction at front of the action.

УДК 621.515

В. П. Парафейник, д-р техн. наук

Н. С. Щербаков

И. Н. Тертышный

С. А. Прилипко

А. А. Рябов*

В. В. Шевчук*

В. Н. Разношинский**

ПАО «Сумское НПО»

(г. Сумы, Украина, e-mail: tkm@frunze.com.ua)

*ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» (г. Запорожье, Украина)

**ПАО «Мотор – Сич» (г. Запорожье, Украина)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫБОР СИСТЕМНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ТИПА ГПА-Ц-6,3А НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

На примере агрегата типа ГПА-Ц-6,3А мощностью 6,3 МВт для линейных компрессорных станций (ЛКС) магистральных газопроводов, дожимных компрессорных станций и станций подземных хранилищ газа рассмотрены некоторые методологические особенности создания блочно-комплектного компрессорного оборудования; особенности конструкции стендового и опытного образцов агрегата, созданного на основе газотурбинного двигателя (ГТД) типа Д-336 конструкции ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» (завод-изготовитель ПАО «Мотор-Сич») и центробежного компрессора (ЦК) типа НЦВ-6,3 конструкции СКБ ПАО «Сумское НПО», а также результаты его натурных испытаний на стенде замкнутого контура научно-испытательного комплекса разработчика. Полученные экспериментальные данные подтверждают достаточно высокий уровень эффективности ЦК и ГТД, КПД которых составляет $\eta_n = 85 \%$ и $\eta_e = 31 \%$, соответственно, на расчетном режиме работы агрегата при стандартных атмосферных условиях.

На основе ранее выполненного термодинамического анализа рабочего процесса блочно-комплектных турбокомпрессорных агрегатов (ТКА) типа ГПА-Ц [1, 2] и полученных экспериментальных данных, в настоящей работе построены системные характеристики агрегата ГПА-Ц-6,3А/56-1,45. Они построены с использованием двух подходов к оценке эффективности ТКА: *функционального*, при котором интегральный КПД агрегата ($\eta_{\Sigma}^{ТКА}$) равен 25,8%; *функционально-эксергетического*, при котором эксергетический КПД агрегата ($\eta_{\Sigma}^{ТКА}$) равен 26,5% на проектном режиме работы. При

этом в обоих случаях имеется расхождение между оптимальным режимом работы агрегата, при котором достигается его максимальный КПД, и проектным режимом работы ЦК. Указанное расхождение обусловлено использованием в проточной части (ПЧ) компрессора, рабочие колеса которого имеют $\beta_{л2} = 32^\circ$, и лопаточных диффузоров.

С использованием экспериментальных данных об эффективности ЦК и ГТД впервые в отечественной литературе выполнена верификация расчетной модели для термодинамического анализа рабочего процесса блочно-комплектного ТКА для ЛКС, оснащенного однокорпусным ЦК. Показано, что несовпадение в значениях максимальных эксергетических КПД ТКА, построенной на основе расчетных данных об эффективности ССК и ГТД, а также аналогичных экспериментальных данных,

составляет 1,5 % (относительных), что обеспечивает требуемую точность параметров при проектировании ТКА.

Впервые также получено аналитическое выражение для определения коэффициента топливной эффективности ($K_{ТГ}$) агрегата, с помощью которого выявляется связь с напорной характеристикой компрессора. Установлено совпадение оптимумов характеристик $\eta_{ex}^{ТКА} = f(G_{КГ})$ и $K_{ТГ} = f(G_{КГ})$ по $(\eta_{ex}^{ТКА})_{max}$ и $(K_{ТГ})_{min}$, соответственно. Это является еще одним подтверждением адекватности расчетной модели для термодинамического анализа эффективности рабочего процесса ТКА и его системных критериев.

Установлены основные направления совершенствования системных характеристик газотурбинных ТКА: повышение эффективности привода не только путем повышения его η_e , но и согласования режимов работы ГТД и ЦК в процессе алгоритмизации их характеристик и отработки в САУ и Р с целью достижения $(\eta_{ex}^{ТКА})_{max}$ на проектном режиме компрессора; выбор ПЧ компрессора агрегата, обеспечивающей достижение $(\eta_{ex}^{ТКА})_{max}$ за счет согласования по оптимуму системной характеристики ТКА и проектной характеристики $\eta_{ex}^{ЦК} = f(G_{КГ})$; создание более совершенных алгоритмов работы САУ и Р, реализация которых может обеспечить согласование системной характеристики и проектной характеристики ЦК по $(\eta_{ex}^{ТКА})_{max}$ с целью достижения $(K_{ТГ})_{min}$. В частности, при согласовании соответствующих характеристик агрегата ГПА-Ц-6,3А/56-1,45 и его компрессора типа НЦВ-6,3 имеется возможность экономии топливного газа при работе агрегата около 0,3 млн. $nm^3/год$.

Литература

1. Вопросы термодинамического анализа эффективности рабочего процесса дожимных газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Ч. I / И. Н. Тертышный, С. А. Прилипко, Е. А. Мирошниченко, В. П. Парафейник // Пробл. машиностроения. – 2015. – Т.18, №4/1. – С. 9–17.
2. Вопросы термодинамического анализа эффективности рабочего процесса дожимных газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Ч. II / И. Н. Тертышный, С. А. Прилипко, В. П. Парафейник // Пробл. машиностроения. – 2016. – Т.19, №2. – С. 10–18.

УДК

Б. Д. Бабаев, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет
(г. Махачкала, Дагестан, РФ, e-mail: bdbabaev@yandex.ru)

ФАЗОПЕРЕХОДНЫЙ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $(\text{LiF})_2\text{-CaF}_2\text{-CaMoO}_4\text{-BaMoO}_4$

Одним из возможных мероприятий, которое позволяет в различных областях народного хозяйства более эффективно использовать тепловую энергию является аккумулирование тепла посредством применения разных теплоаккумулирующих материалов и аккумуляторов тепла различных конструкций.

Включение в энергосистему аккумулирующих установок повышает надежность и стабильность энергоснабжения потребителей, дает возможность регулирования режима работы энергоустановки без жесткой зависимости от режима потребления энергии.

При рассмотрении различных типов аккумуляторов энергии должны приниматься во внимание многие их характеристики. В этом случае очень важным оказывается суммарный коэффициент полезного действия процесса аккумулирования, а затем выдачи энергии в той или иной удобной форме. Наконец, особенно для крупных аккумуляторов, существенное значение имеет удельная теплоемкость, стоимость, включающая как стоимость активного вещества, так и конструктивных элементов, вспомогательных механизмов и т. п. Конечно, важны и эксплуатационные характеристики – температура, давление, магнитные и электрические поля, безопасность, простота обслуживания и многое другое.

На рис. 1 показаны сравнительные характеристики удельной теплоаккумулирующей способности 1 м^3 воды при его возможном использовании в разных типах аккумуляторов тепла. При аккумулировании в виде механической энергии, например, на гидроаккумулирующих электростанциях при поднятии на 100 м, энергоаккумулирующая способность составляет 1 МДж/м^3 . При аккумулировании за счет теплоемкости (при повышении температуры на 1°C) – $4,2 \text{ МДж/м}^3$, за счет фазового перехода «твердый-жидкий» – $332,4 \text{ МДж/м}^3$ и за счет фазового перехода «жидкий-газообразный» удельная теплота аккумулирования составляет 2257 МДж/м^3 .

Как видно, лучшие удельные показатели имеют технологии, предусматривающие вовлечение в процесс аккумулирования более мелких структурных частиц материала. Это говорит об актуальности и перспективности разработки технологий и устройств аккумулирования тепла за счет фазовых переходов материалов и химических реакций [1, 2].

Поэтому с целью разработки нового энергоемкого фазопереходного теплоаккумулирующего материала на основе фазовых переходов I рода эвтектических

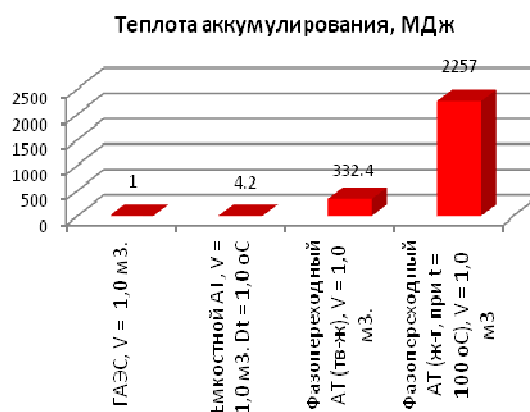


Рисунок 1 – Сравнение количества аккумулируемой теплоты водой в разных типах аккумуляторах тепла

композиций изучена система, состоящие из фторидов лития, кальция и молибдатов кальция, бария $(\text{LiF})_2$ - CaF_2 - CaMoO_4 - BaMoO_4 .

Исследования проводили дифференциально-термическим (ДТА) и визуально-политермическим (ВПА) методами анализа [3] с использованием платиновых тиглей и Pt - Pt/Rh термопары. Для записи кривых ДТА применялся электронный автоматический потенциометр КСП-4. В качестве усилителя термо-ЭДС дифференциальной термопары использован компаратор напряжений Р 3003. Чувствительность записи регулировалась с помощью делителя напряжений МСР-63, смещение нулевой линии дифференциальной кривой осуществлялось источником регулируемого напряжения ИРН-64. В качестве исходных веществ использовали соли марки не ниже «х.ч.». Величина теплоты фазового перехода выявленного эвтектического состава оценивалась с использованием методики количественного ДТА [4]. Погрешность измерения энтальпии плавления, установленная путем статистической обработки экспериментальных данных, составляла 8 %. Навески образцов составляли 0,4 при ВПА и 0,2 г при ДТА. Все составы приведены в эквивалентных процентах.

Концентрации исходных ингредиентов в неинвариантной точке определяли методами, описанными в [4 – 7].

Стабильный тетраэдр Li_2F_2 - CaF_2 - CaMoO_4 - BaMoO_4 выявлен в процессе дифференциации пятикомпонентной взаимной системы Li, Na, Ca, Ba // F, MoO₄ [8].

Для изучения стабильного тетраэдра Li_2F_2 - CaF_2 - CaMoO_4 - BaMoO_4 выбрано двухмерное политермическое сечение RST, расположенное в объеме кристаллизации фторида кальция параллельно трехкомпонентной системе ограничения Li_2F_2 - CaMoO_4 - BaMoO_4 (рис. 2), где каждая из вершин содержит 60 % CaF_2 и по 40 % остальных компонентов.

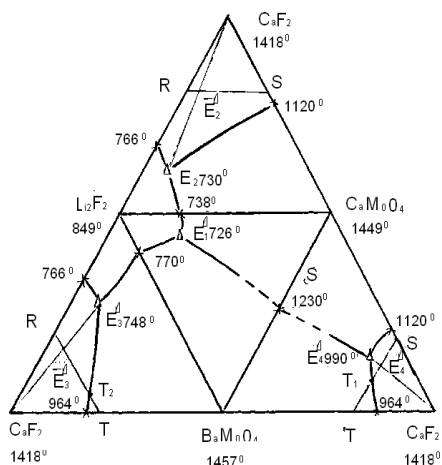


Рисунок 2 – Ограничивающие элементы стабильного тетраэдра Li_2F_2 - CaF_2 - CaMoO_4 - BaMoO_4 и расположение в ней сечения RST

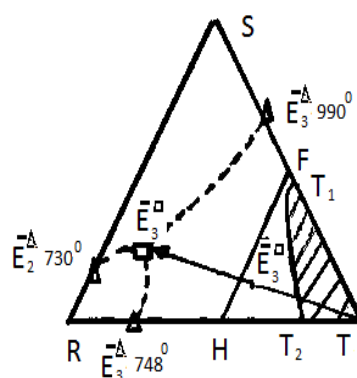


Рисунок 3 – Расположение политермического разреза H-F в сечении RST стабильного тетраэдра

Наиболее рациональным для экспериментального изучения в данном случае является политермический разрез F-H, который находится в объеме кристаллизации фторида кальция (F – 60 % CaF_2 + 20 % BaMoO_4 + 20 % CaMoO_4 , H – 60 % CaF_2 + 20 % BaMoO_4 + 20 % Li_2F_2) (рис. 3).

Аналогично, изучением диаграммы состояния политермического разреза H-F выявлена центральная проекция неинвариантной точки $\overline{E}_3$. Центральная проекция четырехкомпонентной эвтектики $\overline{E}_3$ на сечение RST определялась изучением вторичного «неинвариантного» разреза $T \rightarrow \overline{E}_3 \rightarrow \overline{E}_3$. А затем изучением «неинвариантного» разреза

$\text{CaF}_2 \rightarrow \overline{E}_3 \rightarrow E_3$ установлен состав четырехкомпонентной эвтектической точки: E_3 при 720°C и 7 % CaF_2 , 25 % CaM_0O_4 , 9 % BaM_0O_4 , 59 % Li_2F_2 (см. рис. 4).

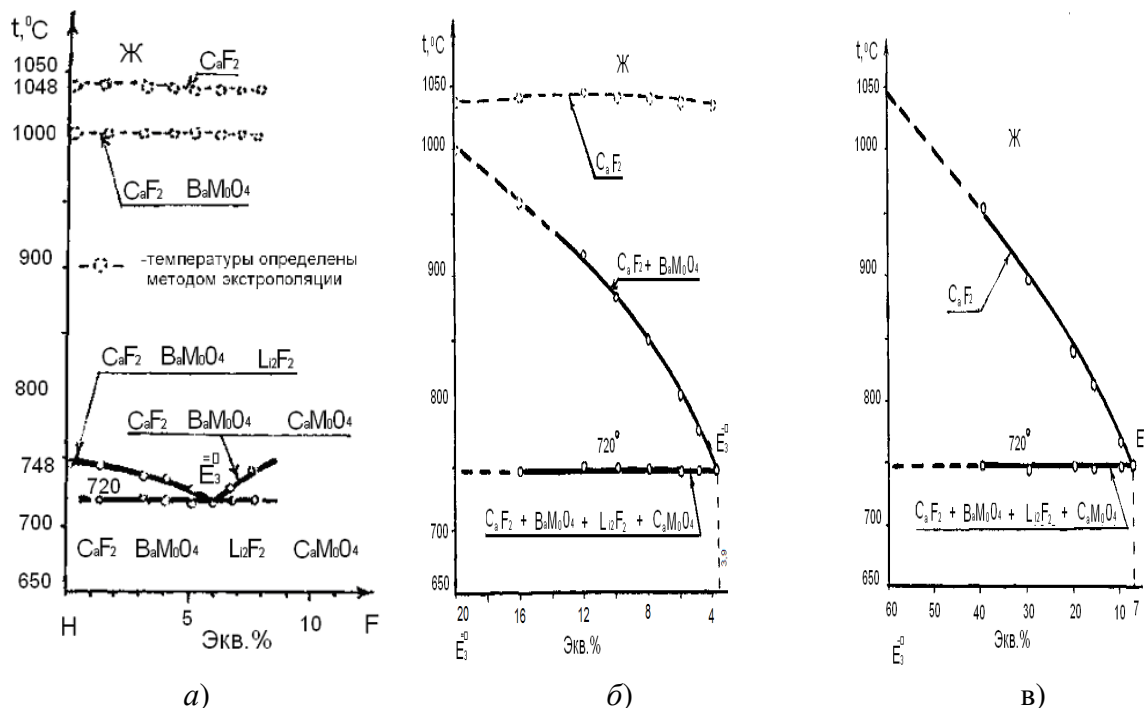


Рисунок 4 – Диаграммы состояний политермических разрезов:

H-F (a); $\overline{E}_3 \rightarrow \overline{E}_3$ (б) и $\overline{E}_3 \rightarrow E_3$ (в)

Состав эвтектической точки в весовых процентах: 4,9 % CaF_2 , 44,3 % CaM_0O_4 , 23,7 % BaM_0O_4 , 27,1 % Li_2F_2 .

Энтальпия плавления данного эвтектического состава, определенная количественным ДТА, составляет 609 кДж/кг.

Расчетные значения удельной теплоемкости эвтектического состава в твердой (при $t = 298^\circ\text{C}$) и жидкой ($t = t_{\text{плавления}}$) фазах, соответственно, равны $C_p^{\text{тв}} = 0,8$ кДж/кг К и $C_p^{\text{ж}} = 1,2$ кДж/кг К.

Выявленный эвтектический состав можно считать перспективным для использования в качестве фазопереходного теплоаккумулирующего материала [9].

Литература

1. Фортоа В. Е., Попель О. С. Возобновляемая энергетика в современном мире. Уч. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 450 с.
2. Бабаев Б. Д. Сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов тепла, перспективные направления разработок новых методов и устройств для аккумулирования тепловой энергии. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов // Материалы VI Школы молодых ученых им. Э. Э. Шпильрайна. 23 – 26 сентября 2013 г. /Под ред. д.т.н. А. Б. Алхасова. – Махачкала: ИП Овчинникова (АЛЕФ), 2013. С. 125 – 137.
3. Уэндлант У. Термические методы анализа. Пер. с англ. под ред. В. А. Степанова, В. А. Берштейна. М.: Мир. 1978. 526 с.
4. Попов М. М. Термография и калориметрия. М.: МГУ. 1954. 942 с.
5. Петров Д. А. Журн. физич. химии, 1940, т. 14, №11, с. 1498.
6. Трунин А. С., Космынин А. С. Проекционно-термографический метод определения характеристик невариантных точек в пятикомпонентных взаимных солевых

системах // Многокомпонентные системы. Физ. хим. анализ. Геометрия. - Новосибирск: СО АН СССР. 1977. 36 с.

7. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей, под общ. ред. Н. К. Воскресенской. -М.: Л.: АН СССР, 1961, т. 1. 845 с.
8. *Бабаев Б. Д.* Химические превращения и фазовые равновесия системы Li,Na,Ca,Ba/F,MoO₄: Дис. ... канд. хим. наук. - Махачкала: 1996. - 147 с.
9. *Делимарский Ю. К.* Пути практического использования ионных расплавов. - В кн.: Ионные расплавы. Киев: Наукова думка. 1975. В.3. С. 3-22.

УДК 621.165

А. В. Русанов, чл.-кор. НАН Украины

А. Л. Шубенко, чл.-кор. НАН Украины

Н. Ю. Бабак, канд. техн. наук

В. П. Сарапин, канд. техн. наук

А. В. Сенецкий, канд. техн. наук

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

(г. Харьков, Украина, E-mail: rusanov@ipmach.kharkov.ua, shuben@ipmach.kharkov.ua)

ВЫБОР ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ МИНИ-ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БИОТОПЛИВЕ

Увеличение цен на энергоносители, спроса на распределенные системы энергообеспечения, а также обязательства Украины развивать возобновляемую энергетику повысили интерес к созданию энергоустановок малой мощности. Таким образом, задача определения рациональной конфигурации мини-электростанции на биотопливе мощностью 500 – 1000 кВт является актуальной.

Для привода генератора мини-электростанции обычно используются конденсационные турбины малой мощности. В качестве рабочей среды в такой турбине используется водяной пар или низкокипящее рабочее тело (НРТ), в том числе фреоны (турбинный цикл с органическим НРТ принято называть органическим циклом Ренкина (ОРЦ)). ОРЦ турбины обычно работают с невысокими параметрами НРТ и имеют целый ряд достоинств. Эти турбины достаточно широко применяются в развитых странах.

Характерной особенностью мини-электростанций является высокая доля зарплаты обслуживающего персонала в себестоимости электроэнергии (затраты на топливо и зарплату персонала часто сопоставимы). Последнее приводит к необходимости оценки влияния мощности рассматриваемой мини-электростанции на ее технико-экономические показатели (ТЭП). В работе рассмотрены ТЭП мини-электростанций электрической мощностью 500 и 1000 кВт с рабочим телом водяной пар и НРТ.

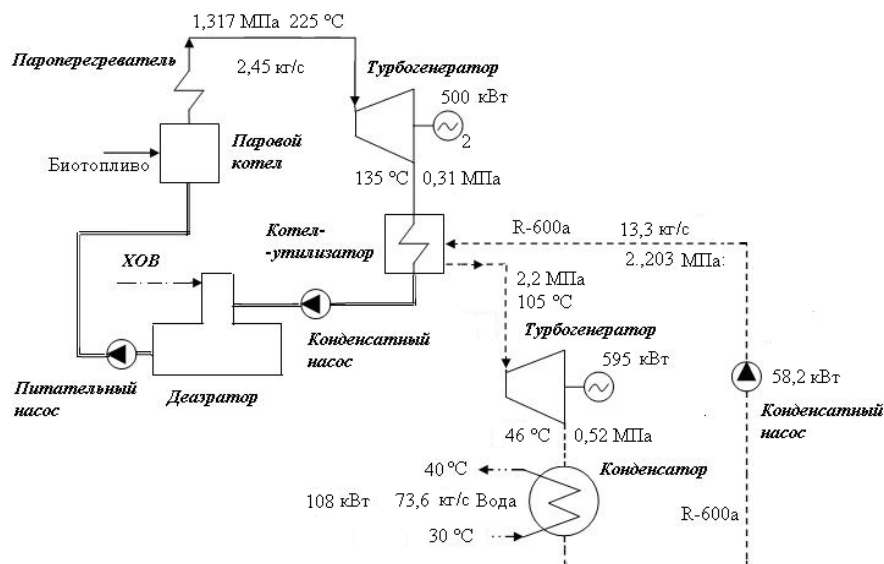
Интерес представляет также вариант комбинированного привода (бинарный цикл, см. рисунок). При таком техническом решении сначала в высокотемпературном турбинном цикле в качестве рабочего тела используется водяной пар, который расширяется в паровой турбине с противодавлением (на выходе водяной пар имеет параметры 0,5-0,3 МПа и 130 - 150 °С), приводящей в действие генератор. Теплота водяного пара из противодавленческой турбины в котле утилизаторе подводится к ОРЦ турбогенераторной установке.

Оценены ТЭП следующих вариантов технических решений мини-электростанций:

- с турбогенератором на базе паровой конденсационной турбины мощностью 0,5 и 1 МВт;
- с турбогенератором на базе ОРЦ конденсационной турбины мощностью 0,5 и 1 МВт;
- с двумя турбогенераторами (бинарный цикл) с суммарной электрической мощностью ~1,095 МВт: паровая противодавленческая турбина (турбогенератор «Кубань» – 0,5АЗ производства АО КТЗ мощностью 500 кВт) и ОРЦ конденсационная турбина, см. схему на рисунке.

При расчетах в качестве биотоплива принята солова, имеющая теплотворную способность 15, 5 МДж/кг цену 120-130 грн/т без НДС, КПД котлоагрегата ~0,85,

удельная стоимость турбогенераторов: на водяном паре 420 USD/кВт (Кубань) и 750 USD/кВт, турбины на ОПЦ 1400-1500 USD/кВт.



**Принципиальная тепловая схема энергоустановки на базе
противодавленческой паровой турбины и ОРЦ цикла на бутане (R600a)**

Повысить эффективность проекта мини-электростанции можно за счет когенерации, построив мини-ТЭЦ, тем самым, повысив КПД станции с 15 до 90 %.

О. Л. Шубенко, член-кор. НАН України

В. А. Маляренко*, д-р техн. наук

О. В. Сенецький, канд. техн. наук

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: senetskyi@ipmach.kharkov.ua)*

**Харківський Національний університет міського господарства ім. А.М. Бекетова
(м. Харків, Україна, e-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua)*

ЗАМКНЕНІ ПАРОТУРБІННІ ЦИКЛИ НА НИЗЬКОКИПЛЯЧИХ РОБОЧИХ ТІЛАХ ДЛЯ КОМУНАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ

На сучасному етапі розвитку комунальної енергетики важливим є підвищення надійності теплопостачання та поліпшення техніко-економічних показників потужних котелень. Цього можна досягти шляхом вдосконалення теплових схем теплогенеруючих об'єктів на основі генерації власної електроенергії (когенерації). При такому підході необхідно враховувати нерівномірність навантажень протягом року, що суттєво впливає на вибір технічного рішення та електрогенеруючих потужностей.

Джерелом теплоти, що скидається та безвозвратно втрачається, є димові гази котла. Саме тому в роботі розглядається можливість реалізації когенераційної установки на базі органічного циклу Ренкіна (Organic Rankine Cycle – ORC) в потужній водогрійній котельні, що працює на природному газі. Для обігріву цього контуру використовується енергія димових газів котла. Досліджуються літній та зимовий режим роботи котельні, при цьому враховується можливість роботи моноблока або дубль блоку (один або кілька котлів і одна турбіна).

Завдання дослідження формулюється в такий спосіб:

- аналіз особливостей функціонування ORC контурів, що обігріваються джерелами теплоти з температурою 80 – 180 °С;
- визначення технічних характеристик та режимів роботи потужної водогрійної котельні для створення когенераційної установки;
- синтез теплової схеми когенераційної установки на базі ORC контуру, що забезпечує переведення водогрійної котельні в міні-ТЕЦ з генерацією електроенергії для часткового або повного покриття власних потреб;
- вибір раціональних характеристик енергетичної установки на базі ORC контуру.

За результатами роботи виконано аналіз та обґрунтування рішення задачі енергозбереження на основі реалізації замкнених паротурбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах (НРТ) для комунальних котелень. Основні результати полягають у наступному:

- виконано рішення задачі енергозбереження на об'єктах комунальної енергетики шляхом реалізації замкнених паротурбінних циклів на НРТ;

– проведено дослідження з вибору низькокиплячих робочих тіл, що застосовуються в ORC контурах. Проведено розрахункові дослідження з оцінки можливої одержуваної електричної потужності при реалізації НРТ турбін на прикладі котельного агрегату ПТВМ-100. Отримано, що при максимальному навантаженні котла (100 Гкал/год) та використанні теплоти димових газів електрична потужність установки на НРТ може досягти ~2900 кВт;

– на основі наявних режимних карт районної котельні м. Харкова по вул. Костичева, 2/1 виконано розрахункові дослідження можливості переведення котельні у міні-ТЕЦ. Електричний ККД встановленої електрогенеруючої машини в зимовий період, при корисній потужності 610 кВт, становить ~8 %, але навіть з урахуванням низького показника ефективності доцільно використовувати їх у зв'язку з тим, що для виробництва електроенергії використовується скидне тепло відхідних газів і додаткове паливо не спалюється;

– для котельні м. Харкова по вул. Костичева, 2/1 проведено розрахункові дослідження при тепловому навантаженні 25 Гкал/год (літній період). При цьому електрична потужність і ККД турбіни на НРТ складуть 85 кВт та ~6,5 %, відповідно, що дозволить експлуатувати таку установку на протязі усього року без використання додаткового палива;

– розрахункові дослідження показали, що використання теплоти димових газів, без додаткового спалювання палива, обмежує максимальні температури НРТ та не дозволяє досягти максимальної потужності енергетичної установки ORC контуру через малий тепловий перепад, що приходить на турбіну. Більшу кількість теплоти можливо зняти тільки за рахунок збільшення витрати низькокиплячого робочого тіла, що не завжди є виправданим. Підвищення витрати робочого тіла тягне за собою збільшення масогабаритних характеристик теплообмінного, допоміжного та турбінного обладнання. На сучасному етапі розвитку замкнутих паротурбінних циклів на низькокиплячому робочому тілі, доцільним є вибір варіанту, який дозволить покривати власні потреби котельні у електричній енергії на рівні 5 – 10 % без додаткового спалювання палива;

– при визначенні доцільності впровадження ORC циклу треба враховувати, що у кожному окремому випадку необхідно проводити оцінку кількості та параметрів скидної теплоти, а також повне техніко-економічне обґрунтування.

УДК 621.165

В. А. Малярєнко, д-р техн. наук

С. Ю. Андрєєв*, канд. техн. наук

О. В. Сєнєцький**, канд. техн. наук.

І. О. Казарова

*Харківський Національний університет міського господарства ім. О.М. Бекєтова
(м. Харків, Україна, e-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua)*

**КП «Харківські теплові мережі» (м. Харків, Україна)*

***Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: senetskyi@ipmach.kharkov.ua)*

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ORC ТЕХНОЛОГІЇ

У комунальній енергетиці України знаходиться в експлуатації 30 тис. котелень на яких встановлено близько 110 тис. водогрійних та парових котельних агрегатів різних типів, тепловою потужністю від 0,5 до 180 МВт. Витрати викопних паливних ресурсів на опалення і гаряче водопостачання складають щорічно 8,5 – 9 млрд м³ природного газу, близько 50 тис. т вугілля, 1000 т рідкого палива (в залежності від зимових температур). Саме тому комунальна енергетика потребує уваги з точки зору впровадження енергозберігаючих технологій.

В залежності від потужності котлів змінюється температура відхідних газів від 80 до 150 °С, яка суттєво впливає на показники економічності котельних агрегатів. У різних джерелах літератури розглядається питання впровадження замкнених паротурбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах (НРТ) при розрахунковому навантаженні теплових джерел.

У роботі, що пропонується проводиться аналіз та розрахункові дослідження доцільності впровадження органічного циклу Рєнкїна (Organic Rankine Cycle – ORC) з урахуванням фактичних режимів роботи котлів. Виконано дослідження літнього та зимового режим роботи потужної котельні. Отримано, що економічну доцільність реалізації когенерації на основі використання відхідних газів котельного агрегату (температура не менше 90 °С) можна досягти при покритті 5 – 10 % власних потреб (без додаткового спалювання палива), ККД електрогенеруючої установки становитимє близько 6 %. Необхідно відзначити, що використання теплоти димових газів, без додаткового спалювання палива, обмежує підвищення температури НРТ та не дозволяє досягти максимальної потужності енергетичної установки ORC контуру через малий тепловий перепад, що приходить на турбіну. Більшу кількість теплоти можливо зняти тільки за рахунок збільшення витрати НРТ, що не завжди є виправданим. Підвищення витрати робочого тіла тягне за собою збільшення масогабаритних характеристик теплообмінного, допоміжного та турбінного обладнання.

Визначення доцільності впровадження ORC циклу потребує у кожному окремому випадку виконання оцінки кількості та параметрів скидної теплоти, а також повного техніко-економічного обґрунтування.

Г. І. Канюк , д-р техн. наук

А. М. Чернюк, канд. техн. наук

В. М. Князєва

А. В. Дон

Українська інженерно-педагогічна академія (м. Харків, Україна)

Харківський машинобудівний коледж (м. Харків, Україна)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАСОСІВ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВІДІВ МЕТОДАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Україна має чи не найбільший транзитний потенціал перекачки енергоресурсів в порівнянні з іншими країнами Європи. Основним споживачем енергії нафтотранспортної системи України є електроприводи насосних агрегатів нафтоперекачувальних станцій. Як електро-приводів використовуються переважно асинхронні і синхронні електродвигуни. Енергетичні характеристики роботи електроприводу визначається коефіцієнтом по-корисного дії електродвигуна. Паспортний ККД електроприводних двигунів нафтових магістральних насосів (наприклад серії НМ) знаходиться в межах від 79 до 90%. Однак ці значення характеризують роботу двигуна в штатному (найбільш енергоефективному) режимі і не враховують значного зниження ККД при зміні режиму роботи насоса.

З метою забезпечення роботи нафтопроводів в так званих молодших режимах, коли обсяг транспортування нафти складає від 75 до 25% максимальної потужності нафтопровода застосовують відповідне регулювання режиму роботи МНП. Слід виділити такі методи регулювання як:

1. Зміна кількості працюючих насосів НПС;
2. Зміна схеми з'єднання насосів на НПС;
3. Заміна роторів (робочих коліс) насосів;
4. Зміна діаметра (обточуванням) робочого колеса насосів;
5. Регулювання зміною частоти обертання валу насоса,
6. Дроселювання,
7. Перепуск частини рідини у всмоктувальну лінію (байпасування),

Регулювання в режимі реального часу (без виводу в плановий ремонт насосів) можливо за усіма методами окрім третього та четвертого. З огляду на ефективність споживання електричної енергії насосами НПС дроселювання та байпасування є нераціональним так як в першому випадку при значному споживанні електричної енергії обсяг перекачування нафти є малим, а у другому випадку присутнє значне непродуктивне перекачування нафти. Тому раціонально використовувати перший другий та п'ятий методи регулювання.

Система МНП є складним технологічним об'єктом, який потребує ефективного регулювання з метою забезпечення дотримання заданих режимів роботи. При цьому окрім таких вимог до системи його управління як надійність, адекватність, універсальність, швидкодія та ін. актуально стоїть питання забезпечення енергетичної ефективності технологічного процесу транспортування нафти.

Значні резерви по енергозбереженню в галузі транспортування нафти є в частині енергоефективного управління як окремими елементами МНП так і загальною системою в цілому.

На основі загального принципу енергоефективного управління нагнітачами НПС пропонується здійснювати управління за функцією мінімуму втрат споживаної енергії.

На підставі даного принципу розроблені математичні моделі управління нагнітачем, виведена функція втрат та відповідна функція управляючого впливу, які мають наступний вигляд:

- математична модель управління нагнітачем

$$V^2 \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{\left(\lambda \frac{l}{d} + \sum G_m \right)}{S^2} + \frac{G_{p3}}{S_{p3}^2} \right] = P - [\rho g h_{\text{т}} + (P_1 - P_0)];$$

- функція втрат енергії

$$\vec{x}_{\text{пот}}^{\text{н}} = f_{\text{пот}}(x_{\text{рз}}^{\text{н}}; n_{\text{н}}; \vec{x}_{\text{вн}}^{\text{н}}; \vec{\xi}_{\text{н}});$$

- функція управляючого впливу

$$\vec{x}_{\text{вк}}^{\text{н}} = f_{\text{упр}}(x_{\text{вык}}^{\text{н}}; \vec{x}_{\text{вн}}^{\text{н}}; \vec{x}_{\text{пот}}^{\text{н}}; \vec{\xi}_{\text{н}});$$

Система управління технологічним процесом транспортування нафти, яка налаштована на функцію мінімуму втрат спожитої електричної енергії дозволить використати можливі резерви заощадження енергоносіїв, а відповідно дасть значний економічний ефект.

М. М. Нечуйвітер, канд. техн. наук

О. Г. Кнабе, канд. техн. наук

І. Г. Шелепов, канд. техн. наук

Українська інженерно-педагогічна академія

(м. Харків, Україна, e-mail: nmmaria1947@gmail.com)

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВИХ ТУРБІН ЗВЕРХ КРИТИЧНИХ ТА ВИСОКИХ ПАРАМЕТРІВ У ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

Введення

До задач актуальної проблеми енергетики України відноситься підвищення економічності, маневреності, надійності, продовження терміну експлуатації теплоенергетичного оснащення існуючих енергетичних блоків шляхом виявлення енергозберігаючих ресурсів, можливостей підвищення технічної ефективності елементів існуючих парових турбін.

Стан питання

Досвід удосконалення конструктивних рішень та експлуатації парових турбін на зверх критичні параметри пари на прикладі реконструйованого енергоблоку потужністю 300 МВт [1] з паровою турбіною ПАТ «Турбоатом» показав, що проектна потужність турбіни навіть після її реконструкції (остання дозволила підвищити технічну ефективність турбоустановки: внутрішній відносний коефіцієнт корисної дії турбіни, ККД, на 14,7 %) не досягає до проектної потужності фактично 15 МВт, а внутрішній відносний ККД циліндра низького тиску (ЦНТ) парової турбіни на 4 % нижчий розрахункового.

Аналіз накопиченого досвіду експлуатації парових турбін зверх критичних та високих параметрів в пускових режимах дозволив знайти шляхи збільшення внутрішнього відносного ККД парової турбіни до розрахункового ККД шляхом управління тепловим станом роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін методом зворотного формування температурної нерівномірності (ЗФТН). Найбільшою проблемою в пускових режимах є найбільш уразливі місця корпусу турбіни, котрі викликані критичним термонапруженим станом, а також нерівномірністю температур, що сприяє виникненню неконцентричності та протіканню пари по нещільностям роз'єму.

На основі даних аналізу накопиченого досвіду експлуатації парових турбін зверх критичних та високих параметрів в пускових режимах та необхідності забезпечення вимог з економічності, маневреності, надійності, пускової мобільності, підвищення ефективності експлуатації роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін досягають шляхом управління тепловим станом роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін методом ЗФТН. Останнє дозволяє збільшити внутрішній відносний ККД парової турбіни до розрахункового [2].

Мета роботи - виявлення критерію управління тепловим станом роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін та закону зміни розрахункової величини зазорів в проточній частині при застосуванні методу ЗФТН.

Розрахункові дослідження пропонованого методу ЗФТН для роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін на основі критерію управління тепловим станом роз'ємних корпусів, визначення закону зміни розрахункової величини зазорів в проточній частині дозволяють забезпечити постійну різницю сумарних тангенціальних напружень від

різниці тисків на стінку корпусу циліндра високого тиску (ЦВТ), температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра; постійні тангенціальні напруження після застосування ЗФТН.

Підтримання постійної різниці сумарних тангенціальних напружень від різниці тисків на стінку корпусу ЦВТ, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра та тангенціальних напружень після застосування ЗФТН дозволяє забезпечити стабільність ЗФТН на ступенях 2–5 ЦВТ.

Результатом досліджень є спосіб формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів ЦВТ парової турбіни, що працює в режимі наближеному до номінального, де нагрів корпусу турбіни регулюють за програмою температурних перепадів між ступенями.

Висновки

1) Визначені критерій управління тепловим станом роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін та закон зміни розрахункової величини зазорів в проточній частині при застосуванні методу зворотного формування температурної нерівномірності.

2) Підтримання постійної різниці сумарних тангенціальних напружень від різниці тисків на стінку корпусу ЦВТ, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра та тангенціальних напружень після застосування ЗФТН дозволяє забезпечити стабільність ЗФТН на ступенях 2-5 ЦВТ.

3) Доцільним є застосування ЗФТН: без обігріву фланців, шпильок в періоди 1; 2; 3,2; 44 години після пуску при умові розробки програми ЗФТН при пусках турбіни з різних теплових станів; з обігрівом фланців та шпильок при удосконалених сумісних програмах при пусках турбіни з різних теплових станів.

Література

1. Кнабе А. Г. Способ повышения экономичности и маневренности разъемных корпусов турбин на высокие параметры пара / А. Г. Кнабе // Проблемы машиностроения. - 2010. – Т.13, № 6. – С. 3-8.

2. Кнабе О. Г. Доцільність застосування методу зворотного формування температурної нерівномірності для роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін / О. Г. Кнабе , М. М. Нечуйвітер, І. Г. Шелепов . - Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування .- Х.: НТУ «ХПІ», 2014.- № 13 – С. 55-60.

3. Спосіб формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів ЦВТ парової турбіни: патент 112336 Україна, МПК F01 D 19/02 (2006.01) , F01 D 1/00 / М. М. Нечуйвітер, О. Г. Кнабе - № у 2016 06622 заявл. 16.06.2016; Опубл. 12.12.2016 Бюл.23 – 3 с.

УДК 621.165.

А. А. Тарелин, член-кор НАН Украины

В. Г. Михайленко, канд. хим. наук

З. П. Гиль

О. И. Князева

Е. Ф. Лукьянов

А. Е. Хиневич

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua)*

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ МЕМБРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ

В последнее время энергогенерирующие компании переводят свои химические цеха на мембранную технологию водоподготовки. Ее суть заключается в обессоливании предварительно умягченной существующим реагентным процессом воды в двухступенчатой обратноосмотической установке. Затем вода подвергается глубокому обессоливанию в электромембранных аппаратах. Полученная глубокообессоленная вода отвечает требованиям ПТЭ по всем показателям, а концентрация растворенных органических веществ в ней значительно ниже, чем в питательной воде, полученной при традиционном процессе обработки.

Описанный мембранный процесс имеет следующие преимущества:

- резко снижается расход реагентов на обработку;
- сокращается сброс минеральных солей в окружающую среду.

В то же время, основные элементы мембранного оборудования не обладают высокой долговечностью. Так, если ионообменные смолы, применяющиеся при традиционном химическом обессоливании воды, могут эксплуатироваться 10 лет и более, обратноосмотические мембранные картриджи имеют нормативный срок эксплуатации 3 года, а в некоторых случаях этот показатель лишь немного превышает один год. Частая замена мембранных картриджей существенно ухудшает экономические показатели модернизированных химических цехов.

Нами в 2009 г. пущена в эксплуатацию экспериментальная промышленная установка обратноосмотического обессоливания воды для охлаждения эмальпровода на заводе «Южкабель», г. Харьков. До настоящего времени установка эксплуатируется без замены мембранного картриджа, при этом качество воды и параметры работы установки сохраняются на исходном уровне. Данный результат достигнут в результате учета следующих технологических нюансов.

1. В установке контролируется не только рабочее давление в канале мембранного картриджа, но и гидравлическое сопротивление этого канала. В течение всего периода эксплуатации установки перепад давлений на входе и выходе из мембранного канала колеблется в пределах 0,05 – 0,06 МПа.

2. За счет рецикла части концентрата в мембранном канале обеспечивается скорость движения воды 0,1 – 0,12 м/с.

3. Установка эксплуатируется круглосуточно в течение 60 – 70 % рабочего времени. При отключении установки происходит автоматическое вытеснение концентрата из мембранного канала и заполнение его обессоленной водой. При этом происходит частичное разрыхление и растворение образовавшихся отложений на мембране. Кроме того, заполнение мембранного канала пермеатом способствует микробиологической консервации мембраны.

4. Каждые полгода выполняются профилактические промывки мембранного картриджа химическими реагентами, растворяющими возможные отложения на мембранах. Завершается промывка дезинфекцией мембраны раствором метабисульфита натрия.

5. Промывка выполняется попеременно кислыми и щелочными растворами. В качестве кислых используются растворы органических кислот ($\text{pH} > 3,0$), а в качестве щелочных применяются растворы тринатрийфосфата с комплексообразователем ($\text{pH} < 10$). Растворы минеральных кислот и щелочей до настоящего времени для промывки мембран не использовались.

В начале 2016 г. описанная одноступенчатая установка водоподготовки была дооснащена электродеионизационным блоком глубокого обессоливания. Это позволило понизить проводимость обессоленной воды с 35 до 1 - 2 мкСм/см. В мае 2017 г. плоскокамерный электродеионизатор был подвергнут контрольной разборке, которая показала, что как графитовый анод, так и ионообменные мембраны полностью сохранили свою работоспособность. Отложения на мембранах отсутствуют. Заводу рекомендовано следующую контрольную разборку аппарата выполнить по истечении 5 лет эксплуатации – в 2021 г.

Учет технологических нюансов при разработке и эксплуатации мембранных установок позволяет обеспечить их надежную работу, при этом показатели их надежности не уступают традиционным химическим методам обессоливания воды.

УДК

А. Л. Лютиков

ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект»

(г. Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua)

ОСОБЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ГТД

Процессы проектирования и доводки ГТД базируются на использовании математических моделей (ММ), отражающих физическую картину процессов функционирования двигателя. Одним из путей повышения достоверности ММ является её идентификация по результатам стендовых испытаний двигателя.

Идентификация ММ современных энергетических ГТД представляет собой весьма трудоемкую задачу в силу необходимости идентифицировать основные контролируемые параметры (5...10 величин), определяемые в ходе экспериментальных исследований, зависящие от большого количества параметров (40...50 величин), неконтролируемых в ходе эксперимента, значения которых могут варьироваться в процессе идентификации. В связи с этим актуальным направлением снижения трудоёмкости процесса идентификации ММ является применение программных комплексов идентификации.

Разработанная Институтом проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного методология и средства идентификации параметров и характеристик энергетических установок по экспериментальным данным, позволяет вести направленный поиск оптимального решения на основе современных математических методов. Это, в свою очередь, приводит к сокращению времени выполнения идентификации, повышает адекватность ММ и позволяет более достоверно определять характеристики узлов двигателя.

Объектом исследования являются теплотехнические характеристики энергетического ГТД Д045. Испытания ГТД Д045 проводились в составе газотурбинной электростанции с выдачей электроэнергии в сеть.

Задача идентификации по результатам стендовых испытаний решается для поузловой нелинейной ММ ГТД Д045 с детализацией расчета турбинного тракта до уровня лопаточных венцов.

В качестве контролируемых параметров выбраны наиболее важные расчетные характеристики двигателя, измерения которых произведены в процессе эксперимента. В данном случае выбраны следующие параметры: электрическая мощность, расход воздуха на входе в двигатель, расход топливного газа, потери полного давления в воздухоприёмном устройстве, полное давление воздуха за компрессором, полная температура воздуха за компрессором, полное давление газа за турбиной и полная температура газа за турбиной (всего 8 параметров). При решении задачи идентификации были назначены несимметричные диапазоны изменений контролируемых параметров исходя из имеющейся априорной информации в пределах точности измерительного оборудования (погрешности измерений).

В качестве варьируемых параметров выбраны коэффициенты моделирования характеристики компрессора, величины горла сопловых аппаратов и рабочих колёс турбины, коэффициенты пропорциональности потерь полного давления в воздухоприёмном и газоотводящем устройствах и камере сгорания, относительное количество охлаждающего воздуха в сопловых и рабочих венцах турбины, а также коэффициенты потерь энергии в них. После решения тестовой задачи было принято решение добавить к числу варьируемых переменных температуру и давление атмосферного воздуха, которые измерялись в процессе испытаний и влияют на результаты расчётов. Таким образом, число варьируемых переменных возросло до 48.

Для варьируемых параметров заданы не симметричные диапазоны изменений, в зависимости от их типа (геометрические и термогазодинамические) и имеющейся априорной информации.

Целевые функции (критерии идентификации) представлены величинами перечисленных выше контролируемых параметров, определяемых по ММ, диапазон изменения которых устанавливается по результатам прямых измерений параметров потока по тракту двигателя, полученных при стендовых испытаниях.

Задача идентификации в данном случае представляет собой минимизацию ряда целевых функций (критериев идентификации), в процессе решения которой, для каждого из рассматриваемых контролируемых параметров сводится к минимуму расхождение значений, полученных по результатам испытаний двигателя и расчета по ММ в заданном диапазоне отклонений. Т.е. по сути решается задача многокритериальной условной оптимизации.

На рисунках 1-2 представлены результаты идентификации для некоторых параметров в сравнении с результатами стендовых испытаний.

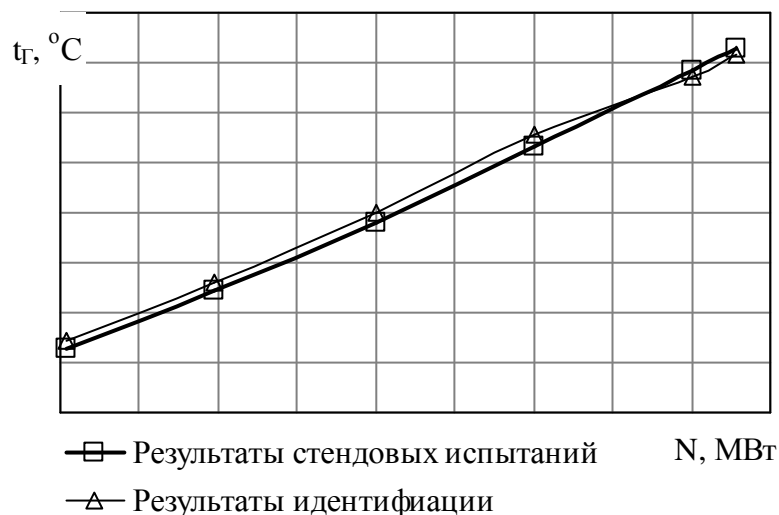


Рисунок 1 Зависимость температуры газа (t_g) на выходе из ГТД от мощности на клеммах генератора (N)

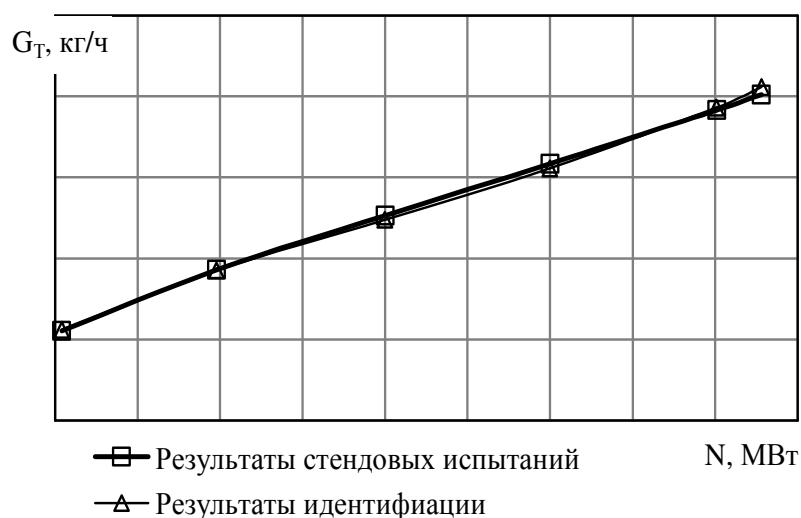


Рисунок 2 Зависимость расхода топлива (G_T) от мощности на клеммах генератора (N)

Следует отметить, что идентификация проводилась для каждой экспериментальной точки, в которых определены соответствующие наборы коэффициентов моделирования, таким образом, получен ряд адекватных ММ для конкретных точек дроссельной характеристики. Поэтому следующим этапом является корректировка ММ с учётом изменения коэффициентов моделирования в зависимости от режимных параметров, что позволит получить адекватную математическую модель, позволяющую получать информацию во всем диапазоне рабочих режимов двигателя

УДК

Б. С. Ільченко, д-р техн. наук

І. О. Прищепо*

*Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
(м. Харків, Україна, e-mail:)*

**ПАТ «Укртрансгаз» (м. Київ, Україна)*

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ З ГАЗОТУРБІННИМ ПРИВОДОМ

У докладі розглянуті наступні локальні джерела енергозбереження при експлуатації газотранспортної системи:

- заходи щодо локальної оптимізації режимів роботи окремих компресорних цехів (КЦ) і компресорних станцій (КС) (оптимізація схеми працюючих газоперекачувальних агрегатів (ГПА), оптимізація розподілу навантаження між КЦ багатоцехових КС, оптимізація режимів роботи агрегатів повітряного охолодження, оптимізація роботи проти обмерзання систем;

- заходи щодо підвищення технічного рівня устаткування (реконструкція КС через будівництво нових КЦ, заміна і модернізація ГПА; реконструкція технологічної обв'язки КЦ; застосування СПЧ відцентрових нагнітачів, упровадження ефективних ПОУ для очищення циклового повітря; упровадження торцевих ущільнень відцентрових нагнітачів; зниження гідравлічного опору вихлопного тракту; упровадження теплоутилізаційних приладів підігріву паливного газу);

- ремонт і технічне обслуговування устаткування (очищення проточної частини компресорів газотурбінних установок (ГТУ) кісточною крихтою, рідиною, паром; зменшення радіальних зазорів у проточній частині вічевих компресорів ГТУ; упровадження заходів щодо зменшення нерівномірності температурного поля ГТУ; теплоізоляція вихлопного тракту ГТУ. Очищення порожнин газопроводів для зменшення гідравлічного опору на лінійній частині.)

- удосконалення технологічних операцій (скорочення кількості примусових зупинок ГПА; упровадження схем продувки пилоуловлювачів для вилучення викидів газу в атмосферу; використання пересувних компресорних установок для очищення газу з дільниць, що ремонтуються.

УДК

В. А. Маляренко, д-р техн. наук

М. Б. Ильченко

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова
(г. Харьков, Украина)*

МЕТОД КОНТРОЛЯ БАЛАНСА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ТРУБОПРОВОДНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Основные технико-экономические показатели работы газотранспортной системы (ГТС) в значительной степени зависят от точности расчета баланса газа. Баланс газа в ГТС включает учтенные объемы всех источников поступления газа, учтенные объемы всех затрат и распределения газа потребителям и затраты газа на эксплуатацию оборудования ГТС.

На практике, разница между поступлениями и затратами газа не равна нулю. Она колеблется от десятых долей до нескольких процентов в зависимости от режимно-технологических параметров. Это объясняется тем, что значительная часть объемов газа на собственные нужды ГТС, запас газа в трубопроводе определяются расчетным путем по усредненным параметрам. Также погрешность расчета баланса газа обусловлена особенностью учета затрат объемов газа за различные временные интервалы возможным несоблюдением правил и условий транспортировки газа.

Поэтому контроль достоверности расчета баланса газа, опираясь на традиционные методы расчета не представляется эффективным.

Авторы решают проблему оценки достоверности расчета баланса газа в ГТС путем сопоставления оцениваемого «разбаланса» газа и его среднестатистического значения, полученного за определенный временной интервал при равных значениях режимно-технологических параметров транспортировки газа.

Среднестатистическое значение «разбаланса» газа определяется по предлагаемой адаптивной методике, основу которой составляет построение уравнения множественной линейной регрессии, членами которого являются показатели режимно-технологических параметров транспортировки газа, имеющие коэффициенты корреляции необходимой значимости.

Приводятся результаты численной проверки достоверности предлагаемого метода.

С. В. Кошель, канд. техн. наук

О. С. Цаканян, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: koser1003@gmail.com, tsakoleg@rambler.ru)*

ВЛИЯНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Проблема рационального расхода тепловой энергии при отоплении помещений неразрывно связана с необходимостью обеспечения максимально комфортных условий для пребывания в нем людей. Стремясь достичь максимального энергосбережения, проектировщики зачастую пренебрегают комфортом, вследствие чего одна часть помещения может быть перегретой, в то время как вторая – иметь далекую от оптимальной температуру. Добиться приемлемого распределения температуры можно с помощью правильной расстановки отопительного оборудования.

Исходные данные задачи включают помещение размером 4 х 4 м с бетонными стенками толщиной 0,3 м и наклонной крышей высотой 2,7...3,7 м. Три стены помещения имеют световые проемы со стеклопакетами с известным сопротивлением теплопередаче. Площадь проемов – 12,6, 2,52 и 12,6 м². Первый из них представлял собой окно с дверью, второй – окно и третий – окно почти на всю поверхность стены. В качестве отопительного прибора был выбран конвектор размерами 2400 х 400 х 98 мм с четырьмя нагревательными элементами в виде параллелепипедов общей мощностью 1,5 кВт. В наибольшей мере нагрев воздуха осуществлялся естественной конвекцией. В качестве начальных и граничных условий принята температура наружного воздуха 0 °С и коэффициент теплоотдачи от воздуха на поверхностях стен на уровне 7,5 Вт/(м²К). Интерес представляло решение стационарной задачи.

Было исследовано 4 варианта расстановки конвекторов: посередине помещения (вариант 1), под стеной без светового проема (вариант 2), под стеной с окном (вариант 3) и под стеной с окном и дверью (вариант 4). Также была исследован вариант обогрева помещения с помощью теплого пола той же мощности (вариант 5).

В качестве критерия для определения комфортности была выбрано отношение отклонений максимального и минимального значения температуры воздуха в горизонтальном сечении на уровне 1,3 м от пола помещения относительно средней температуры в этом сечении.

Исследования показали, что для всех вариантов расположения конвектора наблюдается достаточно равномерное распределение температуры на уровне 1,3 м от пола. При этом перегретыми являются места над отопительными приборами, но уже на небольшом удалении этого не чувствуется. Это говорит о хорошем перемешивании воздуха в помещении. Что касается средней температуры в помещении, то наибольшая ее величина наблюдается для варианта размещения 1. Это может быть вызвано тем, что остальные способы предполагают близкое расположения конвектора к стенкам, вследствие чего часть тепловой энергии отбирается ими. Установка экранов поможет решить эту проблему, средняя температура воздуха в помещении увеличится. Что касается варианта 5, то здесь и присутствует непосредственный контакт с полом, который имеет конечное тепловое сопротивление, из-за чего уменьшается средняя температура в помещении.

Разброс средней температуры для всех способов размещения отопительного прибора не превышает $0,4^{\circ}\text{C}$. Вариант 5 показал также наименьшую равномерность распределения температуры на высоте 1,3 м от пола. Это объясняется тем, что доля передачи тепла конвекцией для теплого пола значительно меньше, вследствие чего воздух плохо перемешивается. Диапазон изменения температуры на этой высоте в различных частях помещения достигает 2°C (15 % в относительных единицах), тогда как у остальных вариантов он не превышает 1°C . Скорость движения воздуха внутри конвектора для вариантов 1-4 составляет $0,4\ldots 0,8\text{ м/с}$, а во всем помещении в установившемся режиме – $0,085\text{ м/с}$. Для варианта 5 скорость воздуха в помещении составляет порядка $0,014\text{ м/с}$. Для улучшения равномерного распределения температуры в горизонтальной плоскости помещения варианта размещения 5 следует увеличить плотность теплового потока поверхности пола вдоль границы со стенами по сравнению с остальной поверхностью пола.

Учитывая, что все варианты размещения конвектора имеют практически одинаковую эффективность, стоит остановиться на варианте размещения 3 и 4. Кроме хорошего перемешивания теплового воздуха в помещении они за счет выходящей из конвектора струи теплого воздуха еще и обеспечат отсечение притока холодного воздуха из окон, что убережет от сквозняков.

ФІЗИЧНЕ ФОРМУЛЮВАННЯ 2-ГО ЗАКОНУ (НАЧАЛА) ТЕРМОДИНАМІКИ, ЯКЕ ОБҐРУНТОВУЄ АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТОДИ ТЕРМОТРАНСФОРМАЦІЇ

Термодинамічна система (ТС), яка здійснює кругове перенесення тепла одного й того ж природного джерела, є здатною генерувати роботу, механічна потужність якої не може перевищувати сумарного потоку спожитої зовнішньої ексергії, в тому числі й від кількісно незмінних транзитних потоків зовнішньої теплоти, які змінюють всередині цієї ТС свою якість (ексергію) завдяки підведенню і відведенню на різних температурних рівнях. За випадку, коли ексергія підводиться виключно від транзитних теплових потоків, дефіцит енергії, необхідної для генерації роботи, ТС може компенсувати завдяки споживанню теплоти того ж природного джерела.

Нижче наведено ідеалізований нехтуванням технічних втрат необоротний цикл складного термотрансформатора кругового перенесення теплоти на двох реальних робочих тілах. Вказаний комбінований цикл взаємодіє з одним природним джерелом теплоти та двома транзитними потоками компенсаційної теплоти. Його зображення розбито на дві частини, які відповідають прямому (силовому) циклу простого понижувального термотрансформатора на етані (рис. 1) та зворотному (холодильному) - підвищувального термотрансформатора на R41 (рис. 2).

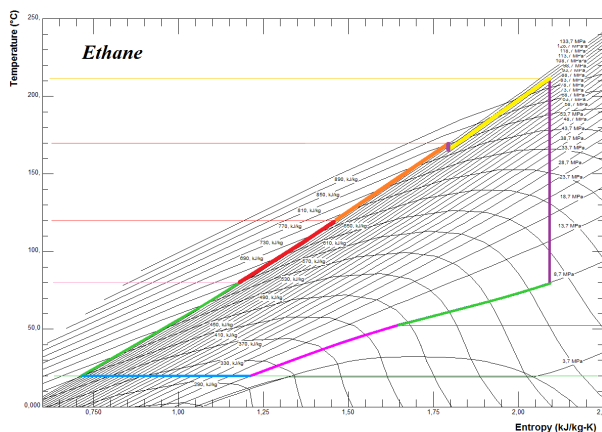


Рис. 1. Складовий прямий цикл термотрансформатора

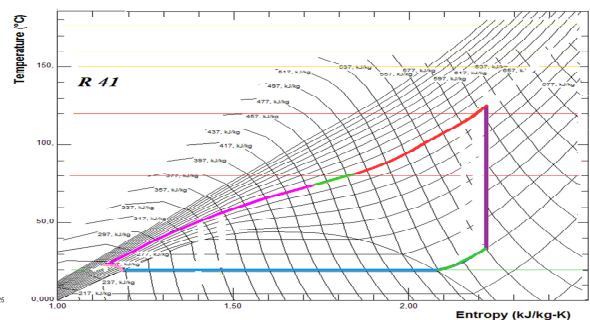


Рис. 2. Складовий зворотний цикл

В холодильному дросельному циклі з використанням регенеративного теплообміну, ізобарні процеси якого виділено зеленими відрізками, бордова лінія відповідає теплообміну стисненого потоку з природним джерелом; рожева – дроселюванню; фіолетова – адіабатному стисненню; блакитна – випарюванню. Етановий силовий цикл у «суперкритиці» з ізотермічним насосом (блакитний відрізок) та адіабатними турбінами (фіолетові), також використовує регенеративний теплообмін (зелені). Складові прості цикли складного термотрансформатора поєднані між собою тепловою взаємодією, близькою до оборотної, в ізобарних процесах, що зображено червоними відрізками на кожному з рис. 1, 2. Тепловий потік нагріву етану вищого тиску силового циклу (жовтогогарячий відрізок) кількісно дорівнює потоку, відведеному

в довкілля від *R41*. Потік теплоти до етану проміжного тиску (жовтий) кількісно дорівнює скидному потоку охолодження етану нижчого тиску перед його конденсацією (бордовий).

Показано, що механічна потужність комбінованого циклу складного термотрансформатора дорівнює спожитому потоку енергії природного джерела, який кількісно дорівнює різниці теплових потоків холодопродуктивності холодильного циклу і скидного потоку від ізотермічного насоса силового циклу. В таблиці наведено розрахункову [1], структуру сприймання і втрат ексергії двох транзитних потоків теплоти, які взаємодіють з комбінованим циклом рис.1-рис.2. Ідеалізація цього циклу полягає лише у припущенні про оборотну його взаємодію з природним джерелом теплоти потенціалом 20 °С. Розрахункові величини є питомими щодо вагової витрати *R41* в 1,0 кг/с.

Таблиця

Ексергетичний баланс складного термотрансформатора кругового перенесення тепла

	Найменування показника	Потужність, кВт
Сприймання ексергії	Споживання ексергії з 1 ^{-м} транзитним потоком теплоти, сприйнятим етаном вищого тиску на низьких температурах	55,396
	Сприймання ексергії з 2 ^{-м} транзитним потоком теплоти, сприйнятим етаном проміжного тиску на вищих температурах	65,871
	Всього сприймання ексергії: 121,267	
Втрати ексергії	При скиданні 1 ^{-го} транзитного потоку, за необоротного теплообміну між стиснутим <i>R41</i> та довкіллям	18,258
	При скиданні 2 ^{-го} транзитного потоку, за необоротного теплообміну між етаном нижчого тиску та довкіллям	10,102
	Необоротного регенеративного теплообміну між потоками етану вищого і нижчого тисків	8,742
	Необоротного регенеративного теплообміну між потоками <i>R41</i> вищого і нижчого тисків	6,010
	Дроселювання <i>R41</i>	11,286
	Необоротного теплообміну між <i>R41</i> та етаном	0,336
	Всього втрати ексергії: 54,734	
	Корисний ефект (механічна потужність)	66,525

Справедливість наведеного на початку тез нового формулювання 2^{-го} Закону (виділене синім шрифтом) додатково підтверджено аналізом комбінованих циклів двох ідеалізованих енергетичних систем. Це цикл теоретичної системи з охолоджувального складного термотрансформатора Карно-Карно та простого понижувального термотрансформатора Карно, та цикл ідеалізованої системи з реальною абсорбційною холодильною машиною *HJ-63E-LC* та тепловим двигуном Карно.

Запропоноване формулювання 2^{-го} Закону розширює арсенал прийомів побудови теплоенергетичних технічних систем в бік того фізичного механізму [2], який забезпечує енергопостачання поверхні Землі. Його усвідомлене застосування дозволяє суттєво покращувати споживацькі характеристики ряду конкретних теплоенергетичних систем. Приклади наведено в тезах інших доповідей, надісланих на дану конференції за участі автора.

Література

1. *Бродянский В. М. Эксергетический метод и его приложения / Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К.; под ред. В. М. Бродянского. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.*
2. *Бродянский В. М. Вечный двигатель – прежде и теперь. От утопии – к науке, от науки – к утопии / В. М. Бродянский. – М.: Физматлит, 2001. – 264 с. – ISBN 5-9221-0202-8.*

Ю. І. Горпинко, канд. техн. наук

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua)

ВИКОРИСТАННЯ ЕКСЕРГІЇ ТРАНЗИТНИХ ПОТОКІВ ТЕПЛОТИ В ІДЕАЛІЗОВАНИХ ЦИКЛАХ РЕНКІНА З ІЗОТЕРМІЧНИМИ ТА АДІАБАТНИМИ МАШИНАМИ

Показано, що застосування фізичного способу використання ексергії транзитних потоків зовнішнього тепла практично здійснюється в штучних теплоенергетичних системах, побудованих на циклах Ренкіна. На підтвердження виконано порівняльний аналіз ідеального циклу Карно та ідеалізованого циклу Ренкіна, які використовують ідентичні процеси ізотермічного розширення. Вказані цикли зображено на рис. 1; ідентичні процеси показано відрізком прямої лінії 5–6. Теоретичний прямий цикл Карно позначено точками 5–6–6'–5'–5; ідеалізований прямий цикл Ренкіна – точками 1–2–3–4–5–6–7–8–9–10–1. В циклі Ренкіна, окрім зовнішніх нагрівання та охолодження можлива організація трьох процесів внутрішнього (регенеративного теплообміну): 4–5÷6–7, 2–3÷7–8, та 1–2÷9–10.

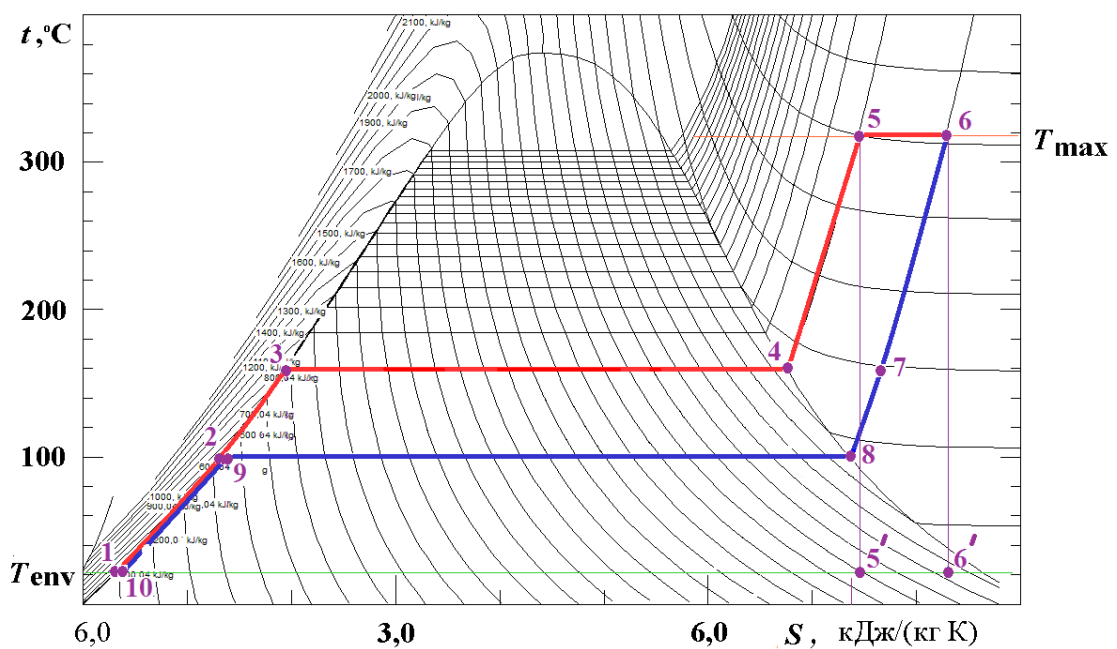


Рис. 1. Графічні зображення в t - s діаграмі пароводяного циклу Ренкіна з ізотермічними машинами й можливим використанням регенеративного теплообміну та циклу Карно, який використовує ідентичний процес ізотермічного розширення на вищому температурному рівні

Доведено, що ідеалізований цикл Ренкіна перетворює в механічну потужність майже весь **основний** потік зовнішнього тепла, який сприймає робоче тіло на вищих температурах його нагріву в процесі ізотермічного розширення, а порівняльний цикл Карно – лише ексергію основного теплового потоку. Вищу потужність циклу Ренкіна забезпечує альтернативний фізичний механізм споживання необхідної додаткової ексергії.

Встановлено, що додаткову ексергію надають один, чи декілька, допоміжних зовнішніх теплових потоки, які забезпечують нагрівання робочого тіла в інтервалі від температури довкілля до температури нагріву основним потоком. Вказаний допоміжний потік енергії є **транзитним**. Він сприймається робочим тілом циклу на більш високих температурних рівнях, а скидається до зовнішнього теплоприймача – на більш низьких, не змінюючи при цьому свої кількісні характеристики.

Було отримано формулу, яка встановлює теоретичне обмеження на споживання додаткової ексергії для циклів Ренкіна з використанням тільки одного процесу ізотермічного розширення:

$$\Delta E = W_{\text{Ren}} - W_{\text{Carnot}} = [T_{\text{env}}(s_6 - s_5) - (i_6 - i_5) + \{T_{\text{env}}(s_1 - s_{11}) - (i_1 - i_{11})\}] G,$$

де ΔE – додатково спожита ексергія транзитних теплових потоків; W_{Ren} , W_{Carnot} – механічна потужність (робота в одиницю) часу ідеалізованих циклів Ренкіна і Карно, відповідно; T_{env} – температура довкілля; s , i – питомі ентропія і ентальпія робочого тіла циклу Ренкіна, G – вагова витрата робочого тіла.

З формули випливає, що фізично споживання додаткового потоку ексергії від транзитних потоків тепла циклу Ренкіна з ізотермічними машинами не може перевищувати енергії теплового потоку основного нагрівання, зменшеної на втрати потужності, пов'язані з ізотермічним дросель-ефектом робочого тіла, та теоретичну механічну потужність, необхідну для здійснення процесу ізотермічного стиснення рідкого робочого тіла за температури довкілля.

Для пароводяного циклу Ренкіна, який відповідає рис.1, складено ексергетичний баланс [1]. В табл. наведено структуру сприймання і втрат ексергії теплових потоків основного і допоміжного нагрівання. Числові дані є питомими щодо вагової витрати водяної пари в 1,0 кг/с. Встановлено, що питомий транзитний тепловий потік (енергії) не перевищує величину 3019,1 кВт і може бути зменшеним завдяки регенеративному теплообміну. Він містить значний транзитний потік ексергії **688,535 кВт**, яка залишається не використаною в дослідженому циклі Ренкіна.

Таблиця

Ексергетичний баланс ідеалізованого циклу Ренкіна з ізотермічною турбіною протитиску

Найменування величини	Потужність, кВт
Сприймання ексергії з транзитним потоком теплоти допоміжного нагрівання на проміжних температурах нагріву водяної пари	923,41
Сприймання ексергії з потоком теплоти основного нагріву, який сприйняла водяна пара в процесі ізотермічного розширення	252,3
Всього сприймання ексергії:	1175,71
Втрати ексергії при скиданні циклом транзитного потоку теплоти, які відбуваються через необоротний теплообмін з довкіллям	688,535
Втрати ексергії з додатковим до транзитного потоком скидної теплоти, підвищеної відносно довкілля температури	0,0556
Всього втрати ексергії:	688,59
Корисна механічна потужність циклу Ренкіна	487,1

Виконано порівняльний аналіз ідеалізованого циклу Ренкіна з адіабатними насосом та турбіною з ідеальним циклом Карно, який використовує процес ізотермічного розширення, енергетично та ексергетично еквівалентний процесу основного нагріву. Як основний прийнято нагрів ізобарного потоку робочого тіла циклу Ренкіна в інтервалі вищих температур циклу. Початкова температура основного нагріву відповідає ентальпії, рівній ентальпії робочого тіла на виході з адіабатної турбіни; кінцева - найвищій температурі нагрівання перед турбіною. Показано, що альтернативний фізичний механізм споживання ексергії транзитного потоку тепла забезпечує перевагу також і для циклу Ренкіна з адіабатними машинами. Виведено формулу теоретичних обмежень на споживання ексергії транзитного теплового потоку, яке не може перевищувати енергії потоку тепла основного нагрівання, зменшеної на потужність адіабатного насосу.

Показано, що регенеративний теплообмін в ідеалізованих циклах Ренкіна не змінює встановлених теоретичними формулами обмежень, а лише надає змогу зменшити абсолютну величину транзитного теплового потоку, підвищуючи тим енергетичну ефективність циклів.

Література

1. *Бродянский В. М. Эксергетический метод и его приложения / Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К.; под ред. В. М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.*

Ю. І. Горпинко, канд. техн. наук

В. П. Сарапін, канд. техн. наук

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua)*

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ ДЛЯ СОНЯЧНО-ПАЛИВНОЇ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄ ОЧИЩЕННЯ РІДИН МЕТОДАМИ ВИПАРЮВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Запропоновано новий реальний цикл тригенерації для пароводяних теплоенергетичних систем з гібридним енергозабезпеченням, що здійснюється завдяки сонячному нагріванню та використанню тепла згорання палива. Як елементна база для його реалізації передбачаються нагрівна геліо-система, обладнання пароводяного силового циклу на основі турбіни протитиску та абсорбційна холодильна машина (АБХМ), активована теплом конденсації теплоносія (водяної пари). Цикл передбачає наступну структуру споживацьких ефектів, які одночасно надає тригенераційна система. 1) Постачання теплоти для процесів очищення методами випаровування-конденсації рідин з температурами нормального кипіння близькими до 100 °С. 2) Виробництво холоду потенціалом +10 °С. 3) Допоміжне виробництво електроенергії.

Зображення циклу наведено на рис. 1 на прикладі очищення (опріснення) морської води в $t-s$ діаграмі хімічно чистої води. Силовий цикл на ньому зображено червоним кольором. Передбачається, що турбіна протитиску та конденсатор забезпечують такий режим роботи, коли нижча температура конденсації водного робочого тіла силового циклу є не меншою від 118,5 °С. Основний зовнішній тепловий потік, сприйнятий робочим тілом на вищих температурах циклу забезпечує перегрівання водяної пари. Він створюється завдяки теплоті згорання палива.

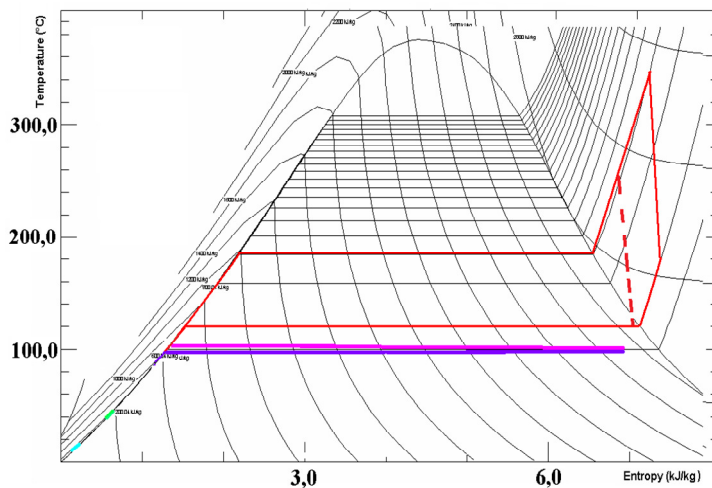


Рис.1. Цикл тригенераційної системи

Відмінності побудови циклу пов'язано з усвідомленим застосуванням ексергії допоміжного потоку зовнішньої теплоти з більш низьким ніж у основного температурним потенціалом. Цей потік теплоти є транзитним, бо входить в комбіновану систему і виходить з неї кількісно незмінним. Фізично він має забезпечуватися сонячним нагріванням і підводитися на рівнях не вищих від температур випаровування води, стиснутої насосом силового циклу.

В залежності від робочого рівня вищого тиску циклу це 150 – 250 °С. Завдяки скиданню на більш низькому рівні температур ~120 °С транзитний потік теплоти надає силовому циклу додаткову ексергію. Вона забезпечує вискоелективне (понад 70 %), повне (100 %), чи надефективне (понад 100 %) перетворення теплового потоку паливного нагріву в механічну потужність.

Умовою надефективності використання теплоти згорання палива є пониження

турбіною ентальпії пари робочого тіла нижче величини ентальпії насиченої пари вищого тиску циклу. Така ситуація відображена на рис. 1 пунктирною червоною лінією. За її виконання частина теплового потоку сонячного нагріву буде перетворюватися в механічну потужність турбіни, при цьому необхідний основний тепловий потік паливного нагріву стає меншим від величини вказаної потужності.

Конденсацію робочого тіла силового циклу (води) забезпечує теплообмінник, виконаний як випарник-конденсатор. Тепловий потік від силового циклу забезпечує процес випарювання морської води (бордова лінія), вагова витрата якої має перевищувати витрату води силового циклу. Перепади температур у випарнику-конденсаторі складають приблизно 20 °С. Не випаруваний залишок морської води утилізується за межами пристрою. Водяна пара низького тиску, отримана з морської води, надходить у АБХМ де знову конденсується (фіолетовий відрізок). Сприймаючи тепло конденсації АБХМ отримує необхідну ексергію також завдяки транзитному тепловому потоку, який скидається з охолоджувальною водою цієї машини на значно нижчих рівнях температур, близьких до температури довкілля. Дистилят морської води подається споживачеві.

Завдяки запропонованій побудові комбінованого циклу єдиним скидним потоком теплоти від тригенераційної системи є скидна теплота АБХМ. Такий прийом мінімізує втрати ексергії, при тому, що в силовому циклі застосовано турбіну протитиску, а не конденсаційну. Цикл АБХМ, схематично зображено ще двома додатковими короткими кольоровими відрізками, що відображають якісну зміну стану технологічної води АБХМ. Блакитний відрізок – стан охолодженої води, при нагріванні якої реалізується холодопродуктивність; зелений – охолоджувальної технологічної води, яка видаляє скидну теплоту як власне АБХМ, так і тригенераційної системи в цілому. За характеристиками промислових досконалих аналогів було прийнято, що холодопродуктивність АБХМ становить 0,68 від потоку компенсаційного тепла.

Дослідження запропонованого циклу було виконано методами комп'ютерного моделювання, розробленого на основі комплексів розрахунку елементів схеми та інтерактивної схемної графіки [1]. За дослідженням моделі, створеної з допомогою цих методів, були розраховані енергетичні характеристики циклу. Енергетичну ефективність тригенераційної системи було визначено як суму корисної механічної потужності силового циклу, холодопродуктивності АБХМ та потоку нагрівної теплоти силового циклу, що забезпечує випарювання морської води. На рис. 2 нижче зображено розрахункові залежності зміни ефективності та корисної потужності тригенераційної системи від зміни температури сонячного нагріву на двох режимах її роботи.

Рис. 2, а відповідає перегріванню робочого тіла силового циклу (водяної пари) до фіксованої температури 350 °С. При цьому залишкове тепло потоку розширеної пари використовується в регенеративному теплообміннику для підігріву стиснутої насосом силового циклу води. Вищим температурам випарювання відповідають вищі рівні тиску нагнітання насоса. З рис. 2, а випливає, що з підвищенням температури підведення транзитного потоку ефективність паливного нагрівання і корисна механічна потужність суттєво підвищуються. Загальна ж енергетична ефективність незначно зменшується. Це зменшення пов'язано з недосконалістю показника ефективності, який співставляє абсолютні величини отриманих і витрачених потоків енергії, не враховуючи їх термодинамічну якість.

Рис. 2, б відповідає фіксованій температурі на виході з турбіни 123,7 °С, температура перегріву підбирається відповідно до рівня тиску робочого тіла. Корисна потужність з підвищенням температурного потенціалу сонячного нагрівання також збільшується. Але ефективність використання палива – знижується. Це пов'язано зі зменшенням частки сонячного нагрівання у основному тепловому потоці, який фізично може бути перетворений в механічну потужність турбіни.

Надвисока абсолютна енергетична ефективність рівнів 1,5–1,6 на всіх досліджених режимах пояснюється тим, що основними енергетичними ефектами системи є теплові. Вони сумарно є на порядок більшими за механічну потужність.

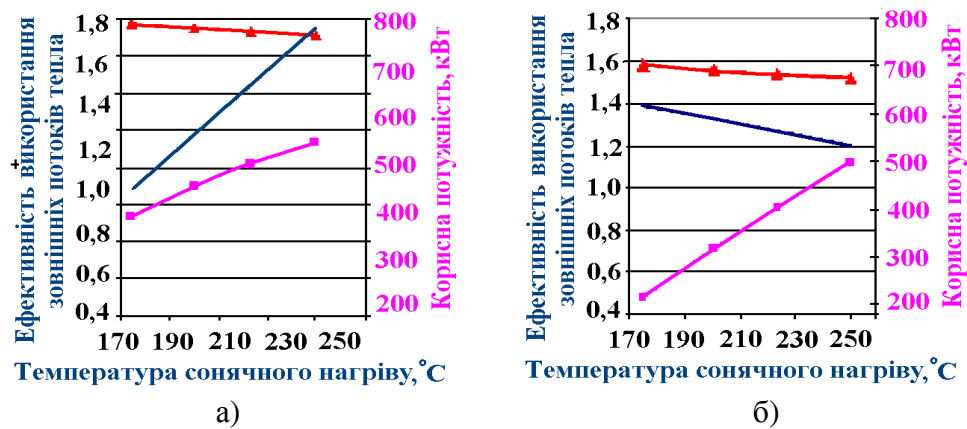


Рис. 2 – Залежності енергетичної ефективності (—▲) та корисної потужності (—■) тригенераційної системи від температури сонячного випарювання потоку вищого тиску на режимах:
а) фіксованої температури водяної пари перед турбіною 350°С;
б) фіксованої температури водяної пари за турбіною 123,7°С
(— умовна ефективність паливного нагріву, щодо генерації механічної потужності)

Вироблений холод має температурний потенціал +10 °С, який не значно відрізняється від температури довкілля. Це забезпечує досить близькі між собою величини потоків компенсаційного тепла та холодопродуктивності абсорбційного термотрансформатора. Основною термодинамічною перевагою запропонованого циклу є те, що надання послуги нагрівання (випарювання) не спряжено з суттєвими втратами ексергії.

Література

1. Лыхвар Н.В. Моделирование теплоэнергетических установок с использованием интерактивной схемной графики / Н.В. Лыхвар, Ю.Н. Говорущенко, В.А. Яковлев // Пробл. машиностроения. — 2003. — № 1. — С. 30–41.

УДК 621.1.

Ю. І. Горпинко, канд. техн. наук

В. П. Сарапін, канд. техн. наук

О. Л. Шубенко, д-р техн. наук

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua)*

СУЧАСНІ ВУГЛЕКИСЛОТНІ ЦИКЛИ, ЇХ ТЕРМОДИНАМІЧНІ Й ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА НОВІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Виконано аналіз літературних даних за ефективними вуглекислотними циклами енергетичних систем. Вони побудовані на базі циклів Брайтона у «суперкритиці» й можуть бути застосованими як окремо [1, 2], так і в комбінації з пароводяними циклами [3]. Показано, що термодинамічною відмінністю вуглекислотних циклів у «суперкритиці» є приблизна збалансованість потоків вищого і нижчого тисків за їх середніми теплоємкостями в зоні температур, яка простягається від температури доквілля до температури вуглекислоти після розширення в турбіні. Ця відмінність має багатогранний вплив на досяжний рівень енергетичної ефективності вуглекислотного циклу.

Фізична перевага полягає у можливості, завдяки застосуванню регенеративного теплообміну, підводити до вуглекислоти зовнішні теплові потоки лише високих температурних потенціалів зі значною часткою ексергії. Це забезпечує високий базовий рівень енергетичної ефективності циклу. Особливістю подібних циклів є робота збалансованого регенеративного теплообмінника (РТО) в режимах значних величин додаткового фактора впливу [4, 5], який пов'язано з фізичною багатоваріантністю можливих видів розподілу за температурами тепловмісту його потоків. Варіювання розподілу супроводжується суттєвими змінами ексергії, принаймні, потоку нижчого тиску вуглекислоти. В режимах зміни додаткового фактору одній й тій же інтенсивності теплообміну можуть відповідати зовсім різні величини крайових недорекуперацій, і, відповідно, енергетичної ефективності теплообміну.

В роботах [5, 6] запропоновано теоретичні і технологічні основи теплообмінних апаратів, що мають значно нижчі металоємність і гідравлічні опори протіканню потоків теплоносіїв, за однакової інтенсивності теплообміну із традиційними збалансованими рекуператорами. Результат досягається завдяки регулюванню температурного напору теплообміну шляхом використання принципово нових конструкцій теплообмінників, які у цьому зв'язку, мають перспективу застосування у вуглекислотних циклах.

Для збалансованих РТО для циклів в «суперкритиці» нелінійна теорія теплообміну [4, 5] прогнозує значну величину втрат від недорекуперацій, незалежно від інтенсивності теплообміну. Вказані втрати призводять до значних втрат ексергії. Типовим методом вирішення цієї проблеми [1], є стиснення частини потоку турбіни, який віддав своє тепло в двох послідовно встановлених регенеративних теплообмінниках, але ще має підвищену температуру відносно доквілля. Стиснення здійснюється в допоміжному «теплому» компресорі, температура на виході якого є близькою до вхідної температури РТО вищих температур. При цьому зменшується вагова витрата вуглекислоти в охолоджувачі і, відповідно, потік скидного тепла циклу в доквілля. Питомі ж втрати ексергії зі скидним потоком тепла підвищеної температури залишаються незмінними. Іншими недоліками методу є зменшення корисної

потужності системи через надлишкове енергоспоживання компресора з високою середньою температурою стиснення вуглекислоти, та великі металоємність й гідравлічні втрати в РТО традиційних конструкцій.

Альтернативним способом зменшення втрат ексергії зі скидним потоком тепла могло б бути застосування вуглекислотних циклів з конденсатором, подібних до органічних циклів Ренкіна (*ORC*-циклів). При цьому РТО переходив би в режим превалювання теплового еквіваленту потоку вищого тиску, за якого «холодна» недорекуперація стає значно меншою (на величину втрат енергетичного небалансу), ніж «тепла». Але для цього, найчастіше, відсутній природний приймач тепла з температурою не вище +10-15 С. Альтернативна побудова можлива для енергетичних вуглекислотних систем в полярних широтах.

Для підвищення енергетичної ефективності пароводяних ТЕЦ з турбінами Т-250/300-23,5 в [3] запропоноване комбіноване застосування пароводяного та вуглекислотного контурів, коли останній заміщує ЦНТ пароводяної турбіни та ЦСТ-2. Такий прийом дозволяє зменшити втрати корисної механічної потужності при значних теплових навантаженнях. Але при цьому не реалізується основна фізична перевага циклів в «суперкритиці» – можливість підведення до вуглекислоти зовнішнього теплового потоку з високою часткою ексергії.

Нові методи використання ексергії транзитних потоків тепла дозволили запропонувати оригінальні розв'язки комплексу проблем вуглекислотних циклів для гібридних енергетичних систем, в яких допоміжний зовнішній нагрів робочого тіла здійснюється без використання висококалорійного палива, чи палива взагалі. Перший з цих розв'язків, є придатним для циклів з єдиним робочим тілом – вуглекислотою. Він базується на найпростішій побудові циклу в «суперкритиці» з використанням одного збалансованого РТО. Величини енергетичних втрат від теплої і холодної недорекуперацій РТО будуть значними, але близькими між собою. Тому стає можливою їх компенсація шляхом використання транзитного потоку зовнішньої теплоти. Він має підводитися до потоку вуглекислоти вищого тиску, забезпечуючи її нагрів до вхідної температури в РТО потоку нижчого тиску. Відведення транзитного потоку має здійснюватися від потоку вуглекислоти нижчого тиску при її зовнішньому охолодженні до температури довкілля. Температурний потенціал підведеного транзитного потоку буде суттєво нижчим ніж у потоку подальшого основного (скоріш за все – паливного) нагріву вуглекислоти перед турбіною. Це дозволяє здешевлювати створення транзитного потоку тепла завдяки використанню сонячних колекторів простих конструкцій, чи низькокалорійних палив.

Другий варіант орієнтовано на покращення характеристик гібридних енергетичних систем з комбінованим застосуванням пароводяного і вуглекислотного контурів. Він має переваги застосування в умовах теплового клімату. Варіант базується на нетрадиційному використанні абсорбційної холодильної машини (АБХМ) для конденсації вуглекислоти її штучним охолодженням. На рис. 1, а нижче зображено вуглекислотний силовий цикл комбінованої енергетичної системи. На рис. 1, б – пароводяний силовий цикл, суміщений з циклом АБХМ, компенсаційне тепло до якої підводиться при конденсації водяної пари. АБХМ за якісною зміною стану її технологічних водних контурів схематично зображено на рис. 1 б двома окремими короткими відрізками. Бордовий відображає зміну температури охолодженої технологічної води, а зелений – охолоджувальної. Кількісні характеристики виробництва холоду приймалися за характеристиками АБХМ фірми SANYO HDC-E400 холодопродуктивністю 5,0 МВт. Передбачалося, що в денні години випаровування води буде забезпечувати геліоенергетична система нагріву до 230 - 250 °С; перегрів водяної пари та нагрів вуглекислоти – тепло згорання використаного палива.

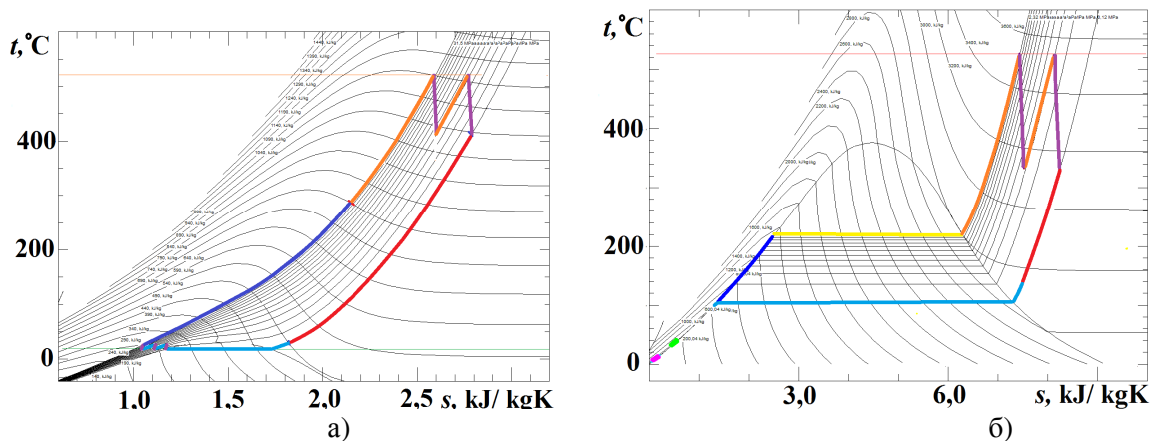


Рис. 1 – Зображення складових циклів комбінованої системи в t - s діаграмах:
а) Цикл вуглекислотного контуру; б) Цикл водяного контуру та конденсаційної АБХМ

Тепловий потік, підведений до випарюваної води і відведений при її конденсації, є близьким до транзитного. Через використання турбіни протитиску залишкова ексергія вказаного транзитного теплового потоку є значною. Ця ексергія споживається АБХМ для технологічного виробництва холоду; при цьому її теплоприймач – конденсатор забезпечує зрідження водяної пари силового циклу. Отримана холодопродуктивність дозволяє сконденсувати вуглекислоту більш низького тиску 5-5,7 МПа, ніж в типових циклах Брайтона. Вуглекислотний цикл комбінованої системи стає подібним до *ORC*-циклів. Запропонований спосіб дозволяє розширити температурний інтервал здійснення вуглекислотного циклу та отримати можливість для ефективного використання в ньому проміжного перегріву. При цьому втрати ексергії зі скидним потоком тепла наближаються до рівня, який відповідає технічним втратам теплообміну у водяному конденсаторі вуглекислоти. Температура вуглекислоти в ньому є низькою і змінюється незначно.

Завдяки запропонованій побудові нового циклу все скидання тепла від комбінованої енергетичної системи до довкілля відбувається в контурі охолоджувальної води АБХМ з мінімальними втратами ексергії технічного характеру. Прогнозні характеристики системи визначалися методами її комп'ютерного

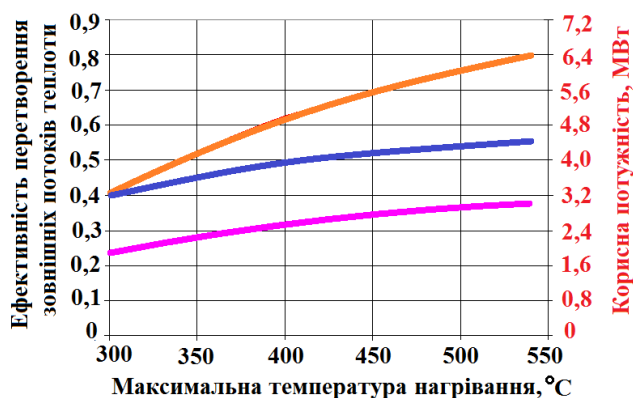


Рис. 2 - Енергетична ефективність комбінованої системи

- корисна потужність;
- умовна ефективність паливного нагріву;
- загальна енергетична ефективність

модельювання, в яких структура розрахункової моделі базується на загальних рівняннях теплових балансів [6]. Були прийняті помірні рівні енергетичної ефективності основного обладнання: теплообмінників – 0,75; турбін з адіабатним ККД – 0,8; насосів з адіабатним ККД – 0,7. На рис. 2 наведено результати дослідження комп'ютерної моделі енергетичної системи при змінах максимальної температури нагрівання вуглекислоти та перегрівання водяної пари, які приймалася однаковими. Показник загальної ефективності відображає енергетичну ефективність перетворення обох зовнішніх теплових потоків в корисну потужність; показник умовної – ефективність перетворення в механічну потужність потоку теплоти від згорання використаного палива, без урахування нагріву від геліоенергетичної установки.

З рис. 2 випливає, що комбінований паровий цикл з максимальним нагріванням робочих тіл до температури 540°C забезпечує розрахункову ефективність використання палива на рівні енергетичних установок з парогазовим циклом. При цьому запропоноване ускладнення теплової схеми дозволяє ефективно застосовувати в них турбінне обладнання малої і середньої потужності, яке можна виробляти великими серіями, суттєво знижуючи його вартість. Важливою якісною характеристикою застосованого нового циклу є полого зниження його енергетичної ефективності зі зменшенням максимальної температури нагрівання. Температура нагрівання в 400 °C забезпечується сучасними сонячними нагрівниками без суттєвих технічних проблем [7]. Проведені розрахунки показали, що в таких умовах для геліоенергетичної установки може бути прогнозована ефективність високого рівня 32,0%, характерного для потужних паливних енергоустановок на основі пароводяних циклів з температурами нагрівання пари понад 500 °C.

Література

1. *Yann Le Moullec*. Conception of a Pulverized Coal Fired Power Plant with Carbon Capture around a Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle / Yann Le Moullec // *Energy Procedia* 37 (2013) pp. 1180 – 1186.
2. *Gregory A.* Supercritical CO₂ Cycle Development at Pratt & Whitney Rocketdyne / Gregory A. Johnson and Michael W. McDowell // 2011 Supercritical CO₂ Power Cycle Symposium Boulder, Colorado, May 24-24, 2011.
3. *Leonid Moroz*. A New Concept to Designing a Combined Cycle Cogeneration Power Plant / Leonid Moroz, Boris Frolov, Maksym Burlaka // *PowerGen International* 2014. – 2014.
4. *Горпинко Ю.І.* Вплив розподілу тепловмісту потоків на ефективність протиструмних теплообмінників. / Ю.І. Горпинко // *Двигатели внутреннего сгорания* – 2006. – №2 – С. 85 –94.
5. *Горпинко Ю.І.* Теоретичні й технологічні основи кріогенного газового виробництва Ч.1 Системи зрідження кріогенних газів. Технології ефективної теплопередачі / Ю.І. Горпинко –Х. : ХУПС, 2010 – 124 с. ISBN 978- 966-468-057-5
6. *Горпинко Ю.І.* Фізичні переваги і основи технологій підвищення температурного напору теплопередачі / Ю.І. Горпинко // *Двигатели внутреннего сгорания* – 2006. – №1. – С. 102 – 108.
7. *Лыхвар Н.В.* Моделирование теплоэнергетических установок с использованием интерактивной схемной графики / Н.В. Лыхвар, Ю.Н. Говорущенко, В.А. Яковлев // *Пробл. машиностроения*. – 2003. – № 1. – С. 30–41.
8. *Кудря С.О.* Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с. – ISBN 978-966-622-521-7.

ПРИНЦИПЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Введение

В мире постоянно увеличивается потребление электроэнергии, что объясняется не только ростом населения, но и постоянным развитием новых энергоемких технологий в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве. Чтобы удовлетворить постоянный рост электропотребления необходимо строить новые электростанции и затрачивать дополнительно огромные объемы энергоресурсов. Следовательно, необходимо начинать с экономии уже имеющейся электроэнергии. Борьба с энергетическим расточительством является основой экологически щадящей, социально приемлемой и застрахованной от кризисов энергетической политики любой страны.

Мощность построенных электростанций в мире примерно на 30% больше максимального спроса на электроэнергию, поэтому при рациональном ведении режимов как потребителей, так и электростанций в большинстве случаев можно обойтись и без ввода дополнительных мощностей. Кроме того экономические расчеты показывают, что затраты на экономию электроэнергии уже существующих энергетических источников гораздо меньше, чем затраты на строительство дополнительных электрических станций

Цель статьи. Анализ и систематизация основных направлений энергосбережения в агропромышленном комплексе (АПК).

Основной материал исследования

Основными направлениями энергосбережения в сельском хозяйстве могут быть:

- соблюдение научно-обоснованных норм затрат топлива и энергии по видам производства и потребителей;
- организация системы учета и отчетности за затратами ТЭР;
- применение индустриальных и безотходных технологий производства, переработки и сохранения сельскохозяйственной продукции;
- использование в зонах децентрализованного энергоснабжения систем на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- замена агрегатов, которые используют моторные топлива и светлые нефтепродукты, на оборудование с автоматическими газовыми и газожидкостными устройствами;
- оснащение действующих и только что введенных в эксплуатацию птицекомплексов и ферм биоэнергетическими установками по производству органических удобрений и биогаза;
- усовершенствование систем отопления теплиц, животноводческих ферм и птицефабрик.

Выводы

Систематизированы мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов, а также по улучшению электроснабжения потребителей АПК.

Определены основные направления энергосбережения в АПК.

УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ ТА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ НА ПРОМИСЛОВИХ ТА ГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Введення

Із зростанням цін на енергоносії і передачею житлового фонду більшості підприємств на баланс адміністрації міст і районів значно виросла величина засобів направлених з обласного бюджету на фінансування споживачів енергії. Становище посилюється тим, що системи опалювання і гарячого водопостачання житлових і громадських будівель характеризуються високим рівнем втрат теплової енергії. Організації бюджетної сфери є крупними споживачами енергетичних ресурсів. Витрати бюджетів всіх рівнів на їх зміст складають значну частину всіх бюджетних витрат. Тому одному з пріоритетних завдань в області енергозбереження є проведення заходів для зниження величини бюджетних коштів, спрямованих на фінансування енергоспоживання організацій.

Наразі дуже швидко поширюється використання як на вітчизняних підприємствах, так і за кордоном систем обліку та контролю споживання електроенергії. Крім функції обліку ці системи також здійснюють контроль та управління електроспоживанням на підприємствах. Основний економічний ефект полягає в тому, що зменшується сплата за споживану електроенергію та потужність, а для енергокомпаній в часи зниження максимумів споживання – в зменшенні капіталовкладень на збільшення генеруємої потужності. За рахунок різниці в тарифах можливо отримати значний економічний ефект, який дозволяє компенсувати витрати на створення такої системи за декілька місяців. При цьому, бюджетні організації не мають фізичної можливості скорочення витрати енергоресурсів. Хоча проблема енергозбереження для бюджетних організацій на перший погляд є чисто технічною, проте практика проведення енергозберігаючих заходів показала, що дана проблема є техніко-економічною. Мета статті полягає в аналізі сучасного стану управління енергозбереженням на об'єктах енергоспоживання бюджетної сфери та промислових підприємствах.

Основна частина

Аналіз способів визначення лімітів показав, що лише розрахунки на основі прогресивних норм питомих показників енергоспоживання об'єктів, не дивлячись на свою трудомісткість і фінансові витрати, дозволяють достовірно встановити ліміти споживання енергетичних ресурсів організацій, точно планувати обсяги споживання енергетичних ресурсів і обґрунтовувати витрати на них. Даний спосіб визначення лімітів вимагає складання енергетичного паспорта організації, де вказані дані про енергетичні об'єкти організацій, обсяги споживання енергетичних ресурсів, питомі показники споживання енергоресурсів. Вирішення проблеми енергозбереження для бюджетних організацій вимагає створення автоматизованих системи управління процесами енергозбереження в організаціях бюджетної сфери на основі енергетичних паспортів організацій.

В ході управління процесами енергозбереження повинні вирішуватися наступні завдання:

- робота з організаціями для складання енергетичних паспортів;
- обробка даних енергетичних паспортів організацій, яка включає розрахунок лімітів споживання енергетичних ресурсів в натуральному і грошовому виразах;
- виявлення об'єктів із завищеним споживанням ресурсів за даними енергетичних паспортів;
- організація і проведення енергоаудитів на об'єктах організацій з виробленням

переліку енергозберігаючих заходів;

- стимулювання організацій при проведенні енергозберігаючих заходів;
- аналіз результатів проведення енергозберігаючих заходів з виробленням подальших рішень.

Внаслідок великого обсягу оброблюваної інформації при веденні енергетичних паспортів управління процесами енергозбереження доцільно автоматизувати. Автоматизація забезпечить вирішення різноманітних завдань, які можуть зустрічатися в ході управління енергозбереженням.

Програма автоматизації ведення енергетичних паспортів має бути побудована як база даних по енергетичних об'єктах, в якій реалізовані ряд розрахункових операцій:

- обчислення питомих показників споживання енергоресурсів;
- розрахунок лімітів споживання електроенергії в натуральному і вартісному виразах;
- статистичний аналіз споживання електроенергії об'єктами;
- складання плану проведення енергетичних аудитів.

Однак, процес управління енергозберігаючих функціями вимагає значних витрат. В зв'язку з цим зі всією очевидністю встає задача мінімізації витрат на функціонування системи управління процесами енергозбереження.

Висновки

Розвиток ринкових стосунків в Україні виявив цілий ряд економічних проблем. Серед них необхідно виділити проблему енергозбереження як одну з основних аспектів економічних зв'язків.

Проблемі в даний час приділяється особлива увага у зв'язку із зростанням цін на паливно-енергетичні ресурси, низькою ефективністю їх використання і громадською цінністю об'єктів господарства. У зв'язку з цим рішення задачі вдосконалення механізму управління процесами енергозбереження в організаціях бюджетної сфери на рівні області (регіону) представляється актуальною. Так, енергетичний менеджмент припускає планування і контроль витрати кожного енергоресурсу з метою зниження витрат підприємства на енергоресурси шляхом підвищення енергетичної ефективності. Найбільш ефективним інструментом планування і контролю була визнана методологія цільового енергетичного моніторингу.

УДК 621.43

А. Н. Авраменко, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, E-mail: an0100@ukr.net)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В ПОРШНЕВЫХ МОТОР-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

Использование мотор-генераторных установок в районах добычи нефти и газа позволяет обеспечить бесперебойное энерго- и теплоснабжение важных объектов инфраструктуры, особенно в случае отсутствия централизованного электроснабжения.

Особенностью работы таких мотор-генераторных установок является необходимость работать не только на штатном топливе, но и на альтернативных видах топлива либо топливах переменного состава. К альтернативным топливам относятся: биогаз, попутный нефтяной газ, метан, сырая нефть.

Применение микродобавок водорода к штатному или альтернативному топливу позволяет интенсифицировать процессы горения, особенно в локальных зонах камеры сгорания богаты топливом и, тем самым, увеличить полноту сгорания топлива, улучшить экологические показатели, снизить уровень нагарообразования и тем самым увеличить ресурс мотор-генераторной установки.

При работе двигателя на смесях переменного состава, характерных для районов добычи нефти и газа, возникают сложности, связанные с постоянной регулировкой состава топливовоздушной смеси, ухудшением условий работы двигателя, его экономических, экологических и ресурсных показателей.

Генерирование водорода на борту мотор-генераторной установки и последующая его подача во впускной коллектор двигателя позволяет эффективно влиять на процесс горения топлив переменного состава, что положительно сказывается на показателях двигателя.

УДК 621.43

А. М. Левтеров, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: an0100@ukr.net)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА БИОНЕФТЯНЫХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Поршневые двигатели, работающие по циклу Дизеля и являющиеся основным видом энергоустановок грузовых автомобилей и сельскохозяйственной техники, конкурируют также с бензиновыми двигателями для легковых автомобилей.

Сравнительные экспериментальные исследования показателей работы дизеля Д21А (2Ч10,5/12) с использованием минерального дизельного топлива (Евро) и смесевых (минеральное + биологическое) топлив различных композиций показали, что эксплуатация двигателя на смесевых топливах произвольного состава возможна без каких-либо ограничений и коррекций настроек топливоподающей аппаратуры, но при снижении эффективных показателей.

При замене традиционного дизельного топлива смесевым наблюдается ухудшение мощностных и экономических показателей дизеля. Интегральные экологические показатели свидетельствуют о некотором уменьшении содержания в отработавших газах диоксида и оксида углерода, снижение эмиссии оксидов азота, нарастающее по мере увеличения в топливной смеси биологической составляющей и достигающее 20 % при полной замене нефтяного топлива на биологическое. Наблюдаемое снижение эмиссии несгоревших углеводородов также увеличивается с ростом концентрации биотоплива и практически прекращается при полной замене.

Снижение дымности отработавших газов достигает 39 % при соотношении биотопливо-минеральное дизельное топливо 80/20, но полная замена биологическим топливом дает снижение дымности всего на 1,5 %, а в некоторых случаях наблюдается повышение дымности отработавших газов.

УДК 621.43

А. М. Левтеров, канд. техн. наук

А. Н. Авраменко, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: an0100@ukr.net)*

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ БЕНЗОЭТАНОЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Использование альтернативных топлив в ДВС требует комплексных исследований их эффективных, экологических и ресурсных показателей.

Одним из направлений является исследование теплонапряженного состояния деталей камеры сгорания, в первую очередь поршня, как одного из критериев надежной работы ДВС.

Расчет теплонапряженного состояния поршня был выполнен на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента при работе двигателя на штатном топливе и бензоэтанольных смесях с содержанием 20, 50 и 85 % спирта.

По результатам проведенных расчетных исследований теплонапряженного состояния поршня двигателя ВАЗ-2106 при работе двигателя на исследуемых режимах можно отметить следующее:

- работа двигателя на бензоэтанольных смесях сопровождается снижением максимальных температур и давлений цикла, что в свою очередь обуславливает снижение тепловой и механической нагрузки поршня и способствует снижению уровня максимальных температур и напряжений в его наиболее критичных зонах;

- ресурс поршня при работе на бензоэтанольных смесях по признаку накопления усталостных повреждений увеличивается;

- использование бензоэтанольных топлив в быстроходных автомобильных двигателях с искровым зажиганием не оказывает негативного влияния на условия работы цилиндропоршневой группы и может использоваться как альтернатива штатному топливу.

УДК 621.43

А. М. Левтеров, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: an0100@ukr.net)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВС, РАБОТАЮЩЕГО НА БЕНЗОЭТАНОЛЬНЫХ СМЕСЯХ

Анализ энергопотребления в мире и Украине показывает устойчивую тенденцию роста использования альтернативных моторных топлив биологического происхождения несмотря пока на небольшую их долю в общем балансе моторных топлив. Кроме того, с повестки дня не сходит решение вопроса о повышении уровня экономичности и экологичности энергоустановок с ДВС, работающих на альтернативных моторных топливах.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на поиск и реализацию новых методов и схем использования альтернативных топлив, были получены результаты как по усовершенствованию методов использования альтернативных топлив, так и по созданию научно-технических основ повышения экономических и экологических показателей двигателей с внешним и внутренним смесеобразованием, работающих на этих топливах.

Исследование рабочих процессов ДВС на различных топливных композициях бензоэтанола, прогнозирование рабочих характеристик двигателя проводилось по математической модели полного рабочего цикла поршневого двигателя с искровым зажиганием и позволило оценить изменение индикаторных показателей, величины эмиссии вредных составляющих с отработавшими газами в зависимости от концентрации этанола в топливной смеси и взаимовлияния регулировочных параметров двигателя, в частности угла опережения зажигания и цикловой подачи бензоэтанола на уровень мощности двигателя.

УДК 662.65: 662.763: 621.387.14

В. А. Жовтянський, член-кор. НАН України

Е. П. Колеснікова*

М. В. Якимович

П. А. Середенко*

Інститут газу НАН України

(м. Київ, Україна, e-mail: zhovt@ukr.net)

**НТУУ “Київський політехнічний інституту імені Ігоря Сікорського»*

НЕБЕЗПЕЧНІ ВІДХОДИ ЯК ВІДНОВЛЮВАНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛО- ГІЙ ГАЗИФІКАЦІЇ

Багато видів відходів містять вуглець і, таким чином, є потенційними поновлюваними джерелами енергії. Наприклад, в Україні щорічно утворюється понад 10 млн. т твердих побутових відходів (ТПВ), теплотворна здатність яких – на рівні одного бареля нафтового еквівалента з розрахунку на 1 т відходів. А «запаси» донних мулів тільки Бортницької станції аерації м. Києва, що мають вигляд торфоподібної маси (в тому числі - за паливними властивостями), складають близько 9 млн. т. Одночасно вони є потенційним джерелом величезної екологічної небезпеки з точки зору можливого забруднення річки Дніпро.

Значною перешкодою на шляху реалізації енергетичного потенціалу відходів є ризик супутнього забруднення атмосферного повітря або земної поверхні при їх переробці. У разі ТПВ найбільш небезпечними є діоксини та фурани, що утворюються в процесах спалювання відходів, які мають в своєму складі хлорвмісні компоненти. Нині ТПВ в Україні практично не сортуються, а відтак – не можна гарантувати відсутність в них згаданих компонент (наприклад, популярного пластику на основі полівінілхлоридів); це змушує розглядати цю проблему як більш загальну – переробки небезпечних відходів.

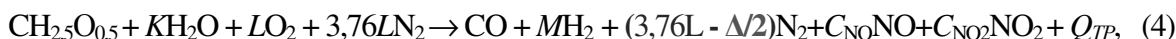
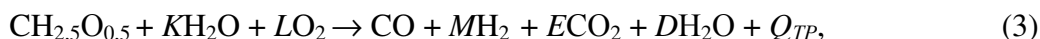
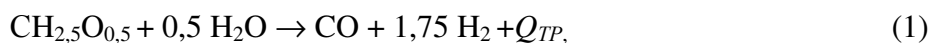
Утворення інших небезпечних відходів, якими є донні мули міських станцій водочисщення, пов'язане зі скидами в 70-80 рр. у каналізацію неочищених стоків гальванічних виробництв за відсутності локальної очистки, наприклад, радіотехнічних підприємств. У цьому випадку досить складною проблемою є локалізація наявних в їхньому складі важких металів, що є небезпечними токсикантами.

Логіка розвитку технологій переробки небезпечних відходів полягає в тому, щоб, з одного боку, здійснювати її в режимах, наближених до газифікації, а з іншого – організувати цей процес таким чином, щоб небезпечні складові відходів перевести в стан, в якому вони є нейтральними по відношенню до навколишнього середовища. Якщо дотримуватись також принципу «Waste to Energy» (відходи – в енергію), отримуючи, наприклад, надлишкову понад власні потреби електричну енергію, то процес може стати комерційно привабливим.

Як показано у роботі [1] на основі детального термодинамічного аналізу, найбільш ефективним є поєднання в процесі переробки як додаткової енергії генератора плазми, так і теплової енергії, що отримується в результаті часткового спалювання відходів у кисневому середовищі. Перший з них забезпечує високі термодинамічні параметри процесу

газифікації загалом некондиційного палива, якими є відходи. Проте основним джерелом введення теплової енергії в процес має бути хімічна енергія вуглецю у складі відходів.

На прикладі плазмової газифікації донних мулів, склад яких може бути представлений брутто-формулою $\text{CH}_{2,5}\text{O}_{0,5}$, розглядаються характерні реакції цього процесу:



де для стехіометричних процесів газифікації (2) і (4): $K = 0,25$, $L = 0,125$, $M = 1,5$ – коефіцієнти, що визначають вміст водяної пари, кисню та водню, відповідно; $\text{CNO} = 6,35 \cdot 10^{-2}$, $\text{CNO}_2 = 3,55 \cdot 10^{-5}$ – аналогічні коефіцієнти для оксиду та двооксиду азоту, відповідно; $\Delta = \text{CNO} + \text{CNO}_2$.

У всіх реакціях (1) – (4) $Q_{TP} = Q_R + \Delta Q$ – сумарна теплова енергія, одна зі складових Q_R якої виділяється в результаті хімічних реакцій в суміші заданого реакцією складу, а інша ΔQ – вводиться в реактор газифікатора струменем плазмотрона з таким розрахунком, щоб реагуюча суміш досягла необхідної температури T_p отримання продуктів газифікації. Для останньої прийнято значення $T_p = 1250 \text{ K}$, оскільки при ній у стехіометричних режимах (1), (2) і (4) присутні лише сліди CO_2 , H_2O і CH_4 серед продуктів газифікації.

Кількісним показником енергетичної ефективності процесу газифікації є відношення

$$\eta = (P_{PL}^C + P_{O_2})/W_{CG}, \quad (5)$$

де $P_{PL}^C = \Delta Q/0,8$ витрати електроенергії на виробництво плазмового струменя з ККД $\sim 0,8$ і на виробництво кисню P_{O_2} , W_{CG} – енергія синтез-газу, одержуваного з 1 кг вихідної суміші.

Найкращим показником енергетичної ефективності характеризується нестехіометричний процес газифікації (3) [1]. Стехіометричні реакції (2) і (4) дозволяють порівняти енергетичну ефективність процесів газифікації при використанні додаткового дуття: чисто кисневого (2) і повітряного (4). В останньому випадку значний вміст азоту в повітрі зумовлює необхідність введення значного обсягу додаткової теплової енергії для його нагрівання. Більш тонким ефектом є урахування витрат енергії на утворення оксидів азоту, якщо в технологічному процесі використовується не паровий, а повітряний плазмотрон. Його особливістю є некоректність застосування рівноважних значень вмісту оксидів азоту в продуктах газифікації. Тому тут використані результати наших попередніх досліджень [2], що ґрунтуються на строгих кінетичних розрахунках.

Детальні розрахунки свідчать, що повітряне дуття зумовлює погіршення показника енергетичної ефективності в 1,66 рази порівняно з кисневим (або в 1,5 рази у відсутність урахування оксидів азоту).

Виконання цієї роботи підтримано Міністерством освіти і науки України, проект "Розвиток паро-плазмової технології конверсії осадів стічних вод станцій аерації" та в рамках Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій».

1. Жовтянский В.А., Петров С.В., Орлик В.М., Якимович М.В. Общие принципы переработки отходов с извлечением их энергетического потенциала на основе плазменных

технологий. Ч. II. Газификация иловых осадков станций водоочистки // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2016. – № 3. – С. 25 – 42.

2. *Arsentiev I.V.*, Starik A.M., Zhovtyansky V.A., Honcharuk Yu.A. Nonequilibrium processes of nitric oxides formation in plasma-assisted waste gasification: modeling study // *Advances in Nonequilibrium Processes: Plasma, Combustion, and Atmosphere* / Ed. A.M. Starik and S.M. Frolov. – Moscow: Torus Press, 2014. – P. 272 – 277.

П. М. Канило, д-р техн. наук**А. Л. Шубенко**, член-кор. НАН Украины*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: pmk@ipmach.kharkov.ua)***ТОПЛИВНО-ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МИРОВОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Солнечная энергия плюс фотосинтез – ключевой процесс жизни на Земле. Живая материя возникла в Мировом океане ~ 3,5 млрд. лет тому назад и покорила сушу планеты Земля ~ 600 млн. лет тому назад. Именно в период 600–300 млн. лет тому назад в земной коре произошло накопление углеводородных энергоносителей. На планете Земля существует три основных потока энергии: солнечная, земных недр и океанических приливных течений, причем солнечное излучение (мощностью ~ 120000 ТВт) превышает мощность двух остальных энергопотоков ~ в 3500 раз, а установленную мощность современных энергоустановок мира ~ в 10000 раз. Следует особо отметить, что именно живые организмы сформировали на планете: кислородный состав атмосферы и защитный озоновый экран, глобальный круговорот углерода и воды, плодородные почвы, леса, полезные ископаемые, природный механизм стабилизации климата, создали биосферу и разум, т.е. подготовили все необходимые условия для существования и гармоничного развития человека и природы.

Вся история человеческого общества, развитие мировой энергетики и экономики во многом были достигнуты именно за счет неуклонного расширения объемов изъятия ресурсов природы при дальнейшем их неэффективном использовании, включая и энергоресурсы планеты. В XVIII–XIX столетиях человечество начало использовать уголь, в том числе в теплоэнергетике. В XX веке наступила эра широкомасштабного использования нефти и природного газа. При этом ~ 90 % ископаемых энергоносителей используется в стационарной и транспортной энергетике. За последние 50 лет человечество израсходовало энергии в три раза больше, чем за все предыдущие столетия и мировое потребление энергии продолжает расти высокими темпами. Уровни потребления и запасы ископаемых энергоносителей приведены в табл. 1, из которых следует, что запасов нефти и природного газа на Земле осталось ~ на 50 лет, углей ~ на 100 лет.

Таблица 1. Уровни потребления первичных энергоресурсов и их мировые запасы

Используемые энергоресурсы	Потребление по годам						Мировые запасы (2016 г.)
	1970	1980	1990	2000	2010	2016	
нефть, млн т	2254	2980	3150	3551	4080	4418	$241 \cdot 10^3$
природный газ, млн т н. э.	891	1293	1766	2185	2887	3204	$168 \cdot 10^3$
уголь, млн т н. э.	1480	1811	2243	2379	3634	3732	$558 \cdot 10^3$

Следует также отметить (табл. 2), что неэффективно и в малых объемах используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). При этом важно указать, что технический потенциал солнечной энергии на порядок превышает уровень остальных ВИЭ. В XXI веке должно произойти масштабное внедрение возобновляемой энергетики, в первую очередь, – солнечной. По прогнозу к 2100 г. потребуется производство энергии с применением ВИЭ в объемах до 10 млрд т н. э., что вполне реально, так как этот уровень находится ниже их технического потенциала. При этом ископаемые энергоносители до 2040 года останутся преобладающими, причем лидирующую роль сохранит угольная генерация.

Таблица 2. Потенциал ВИЭ, млрд. т н. э.

Вид ВИЭ	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Солнечная энергия	750	61,9	0,46
Гидроэнергетика	3,4	1,3	0,69
Энергия ветра	43	4,6	0,21
Энергия морских волн и приливов	1,9	0,5	0,05
Всего	798	68,3	1,41

Высокий прирост генерации электроэнергии демонстрирует атомная энергетика. Приняты необходимые меры по обеспечению безопасности функционирования существующих, строящихся и планируемых к строительству АЭС. Разработаны и изготовлены безопасные реакторы четвертого поколения, обладающие высоким уровнем самозащитности. Подписано международное соглашение (ЕС, США, Китай, Япония и др.) о строительстве первого в мире термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), запуск которого намечен ~ к 2020 г. во Франции. Но реальное внедрение термоядерных установок возможно, видимо, ближе к середине или к концу XXI века. При этом следует отметить, что запасы энергоресурсов (дейтерия и трития) для термоядерной энергетики в тысячи раз превосходят запасы углеродсодержащих энергоресурсов на Земле.

Экологические проблемы энергетики связаны со значительными объемами неэффективного использования углеродсодержащих энергоресурсов с ежегодными выбросами с продуктами их сжигания миллиардов тонн супертоксикантов (СТ), включая канцерогенно-мутагенные ингредиенты, тяжелые металлы, радионуклиды и т.д. При этом потребительски-хищническое отношение человечества к ПРИРОДЕ привело к снижению качества функционирования систем биосферы, в том числе, – биопродуктивности, средообразующих и климатостабилизирующих функций с отрицательными последствиями для человечества. Поэтому, без реальной экономизации и экологизации жизнедеятельности человеческого общества, включая его энергетику и макроэкономику в целом, будущего у человечества нет.

Потепление климата – это также кризис технократической цивилизации. Именно разрушение и деградация биосферы, в том числе, вследствие загрязнения среды жизни СТ (со значительной долей влияния энергетики), масштабное уничтожение лесов, техногенное опустынивание земель и т.д., – лежит в основе реальных истоков глобального потепления климата, в том числе, – вследствие нарушения веками отработанного биотического механизма регулирования климата. Связано это со значительным снижением стоков диоксида углерода (CO_2) из тропосферы (как основного парникового газа) и соответствующим повышением уровня парникового эффекта. Принятое же политико-техногенное решение (Париж, 2016 г.), направленное на снижение уровней выбросов CO_2 с дымовыми газами теплоэнергетических установок, представляется тупиковым, так как указанный рост выбросов CO_2 теплоэнергетикой не превышает 25 % от уровня накопления CO_2 в тропосфере. Поэтому, при выполнении такого техногенного решения, уровень снижения повышающейся среднеглобальной среднегодовой приземной температуры воздуха не превысит 0,01 °С, а затраты на внедрение таких технологий улавливания CO_2 могут составить десятки и сотни миллиардов долларов США.

Итак, важнейшими направлениями в решении современной топливно-эколого-климатической проблемы на Земле являются: экономизация и экологизация традиционной энергетики и макроэкономики в целом, существенное расширение использования возобновляемой энергетики и безопасных АЭС, а также – восстановление качества функционирования природной среды, т.е. нужны принципиальные изменения в стратегии природопользования.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ В УКРАЇНІ

Сучасні світові дані гідрометеорологічних і екологічних служб свідчать про тенденцію збільшення економіко-екологічних дисгармоній в результаті глобальної зміни клімату. Це явище викликано постійним зростанням викидів в атмосферу двоокиси вуглецю (CO_2) і інших газів, які створюють "парниковий ефект", що супроводжується зростанням кількості природних катастроф (паводків, посух, ураганів і так далі) і збільшенням масштабів економічних збитків, що обчислюються щорічно сотнями мільярдів доларів.

Наслідки глобальної зміни клімату стають все більш відчутними і в нашій країні. За минулі 20 років середньорічна температура зросла на $0,8^{\circ}\text{C}$, а середня температура січня та лютого – на $1-2^{\circ}\text{C}$, що призвело до змін у ритмі сезонних явищ – весняних паводків, початку цвітіння та випадіння снігу.

Трансформація широтного кліматичного поля на території України призводить до вирівнювання поля середньої місячної приземної температури. Для місяців для яких характерна порівняно висока температура, вона практично не змінилася, а де порівняно низька – підвищилась.

Основною характеристикою континентальності клімату є амплітуда сезонного ходу приземної температури. Аналіз інструментальних метеорологічних спостережень показав, що амплітуда сезонного ходу температури приземного повітря зменшилася приблизно на $0,4^{\circ}\text{C}$ (середня місячна норма амплітуди температури, приведеної до рівня моря, становить $12,6^{\circ}\text{C}$), що характеризує собою деконтиненталізація клімату, що зумовлює особливості циркуляції атмосфери, в результаті чого спостерігається різке загальне зниження середньорічної інтенсивності опадів.

Одним з основних факторів, що зумовлюють такі зміни клімату є суттєве збільшення обсягів викидів парникових газів техногенного походження. Найбільший внесок в сукупні викиди парникових газів в Україні вносить сектор енергетики. За минулі два роки частка цього сектора склала майже 69 % від сумарних обсягів викидів парникових газів. Наступним по значимості (22 % від сукупних викидів парникових газів) є сектор промислових технологій. Внесок сектору відходи в 2015-2016 роках в сумарні викиди складає 2,3 %.

Виходячи з прогнозних даних паливного балансу країни, що містяться в Енергетичній стратегії і загалом визначають динаміку викидів парникових газів, Україна до 2030 року не перевищить обсяг викидів 1990 року за жодного сценарію економічного розвитку. Щорічні викиди за базовим сценарієм у перший період відповідальності (2017 – 2018 рр.) будуть у межах 48 – 54 % від обсягу викидів базового року.

Результати досліджень свідчать про те, що глобальне потепління в межах від 1 до 2°C є досить сприятливим для економіки України, тому що воно вирівнює в значній мірі поле річної кількості атмосферних опадів. Так у південно-східних регіонах річна кількість опадів підвищиться на 10 – 15 %, а в північно-західних – знизиться на 5 – 10 %.

Серед основних факторів забезпечення сталого розвитку економіки слід відзначити програми по забезпеченню ефективного використання різних видів ресурсів

у промисловості та комунальному господарстві а також розвиток відновлювальних джерел енергії, зокрема, використання енергії вітру і сонця, гідроенергетики, використання біомаси і біогазу.

Нормативно-правова база України забезпечує можливість виконання Україною своїх міжнародних зобов'язань з проблем захисту навколишнього середовища. З метою реалізації природоохоронних заходів створено Національний центр кадастру антропогенних викидів та абсорбції парникових газів розроблено програмно-апаратні комплекси та відповідними базами даних для забезпечення архівування кадастрової інформації. Створено архів первинної кадастрової інформації на паперових носіях та в електронному вигляді, що забезпечує його ефективне використання

В Україні прийнято низку нормативно-правових актів, які полегшують виконання Україною своїх зобов'язань за Кіотським протоколом та Паризькою Угодою щодо скорочення викидів парникових газів. Залучення механізмів інвестування передбачені цими документами дозволяє отримати не тільки фінансову підтримку для виконання проектів, які спрямовано на зменшення викидів парникових газів а й залучати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження для їх практичного втілення. Суттєвий внесок в вирішенні цієї проблеми може бути зроблено за рахунок більш широкого застосування технологій отримання і використання біогазу в стаціонарній та транспортній енергетиці, а також залучення паливно-енергетичних ресурсів регіонального масштабу для задоволення потреб локальних систем генерації енергії. В сукупності це сприятиме зменшенню техногенного навантаження на оточуюче середовище і забезпечить надійне енергопостачання промислових і комунально-побутових споживачів. Тому для втілення біометанових технологій потрібна державна підтримка шляхом створення національної цільової програми та розробки, низки законодавчих актів включно з технічними умовами на виробництво і споживання біометану, як екологічно чистого палива, що слід розглядати як ефективний внесок в реалізацію політики заміщення природного газу альтернативними енергоносіями.

З огляду на викладене, слід відзначити, що інноваційний розвиток енергетичної галузі та паливно-енергетичного комплексу повинен базуватися тільки на новітніх екологічно чистих технологіях. Тому збереження і нарощування вітчизняного науково-технічного та промислового потенціалу повинно стати домінантою інноваційної модернізації енергетики шляхом розробки комерційно привабливих технологій, що при створенні сприятливого організаційно-економічного клімату може стати для інвесторів прибутковою сферою вкладення коштів як в екологічно чисту в енергетику, так і в машинобудування, що забезпечуватиме галузь необхідними технічними засобами.

Хан Вей*, д-р. техн. наук,
В. В. Соловей, д-р техн. наук,
А. А. Шевченко
И. А. Воробьева

**Цзилиньский Университет (г. Чанчунь, Китай)
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины,
(г. Харьков, Украина, e-mail: solovey_v_v@ukr.net)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ ВОДОРОДЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ В КИТАЕ

Геоклиматические условия многих регионов Китая характеризуются перманентными проявлениями смоговых явлений, негативно сказывающихся на экологических показателях атмосферы.

Известно, что около 85 % по массе твердых частиц ($d_p < 100$ нм) в атмосфере являются продуктами эмиссии процессов горения. При этом автомобильный транспорт служит основным источником этих выбросов в мегаполисах. Частицы ($1 < d_p < 100$ нм) являются не только прекурсорами для образования смоговых частиц под действием ультрафиолетового облучения, но и сорбентами для супертоксикантов, включая канцерогены. Поэтому наличие твердых частиц в атмосфере оказывает сильное влияние не только на формирование климатических условий, но и отрицательно влияют на здоровье людей.

Установлено, что основной причиной возрастания реакционной способности наночастиц при снижении их размера является увеличение степени энергетической неоднородности, связанной с возрастанием вклада высокоэнергетических центров поверхности (центры с низким координационным числом, локализованные на вершинах, ребрах, уступах, в вакансиях и т. д.) в свободную энергию частицы.

В качестве первоочередных проектов, которые могут быть реализованы с максимальной экономической эффективностью и имеющих большое социальное природоохранное значение следует выделить работы, направленные на повышение эффективности использования энергии ветра и солнца в инфраструктуре топливно-энергетического комплекса на основе использования водородных технологий.

Результаты исследований свидетельствуют, что применение водорода в качестве топлива обеспечивает кардинальное решение проблемы, связанной с выбросом твердых частиц транспортными и стационарными энергетическими установками.

Современный уровень водородных технологий, которые реализуются в электрохимических установках, созданных в ИПМаш НАН Украины, позволяет вырабатывать и накапливать водород в системах с высоким давлением, непосредственно в условиях водородных заправочных станций и использовать его в качестве топлива в автомобильных двигателях и энергоустановках судов каботажного плавания, что снижает токсичность отработавших газов транспортных средств и обеспечивает экономию углеводородных энергетических ресурсов.

С целью снижения остроты энергоэкологического кризиса предлагается расширить использование возобновляемых видов энергии путем создания солнечных ветроводородных заправочных станций (СВВС) на базе новейших технологий для обеспечения автотранспорта и судовых энергоустановок экологически чистым топливом – водородом. Исследования энергетических и режимных характеристик оборудования,

которое было разработано для использования в технологических схемах СВВС, позволили определить основные показатели работы установки в зависимости от геоклиматических условий эксплуатации. Результаты анализа показали, что автономная ветроводородная станция мощностью 200 кВт·ч при непрерывной работе на расчетном режиме может произвести за сутки ~100 кг (1100 м³) водорода, что соответствует ~300 л бензина в энергетическом эквиваленте и обеспечивает уменьшение выбросов в атмосферу 800 кг CO₂ и полностью исключает образование твердых частиц.

Применение в составе СВВС оригинальной электролизной технологии по сравнению с традиционными электролизерами обеспечивает снижение энергозатрат на 10-15 % на единицу произведенного продукта. При этом обеспечивается генерация водорода и кислорода высокого давления, что создает необходимые условия для использования данного электролизного оборудования в бескомпрессорных автозаправочных комплексах.

В результате обработки и обобщения информации, полученной в процессе экспериментальных исследований, сформированы научно-технические принципы создания электрохимических водородных аккумуляторов энергии и предложены пути оптимизации их работы на переменных режимах, характерных для реальных условий эксплуатации энерготехнологических установок в разных геоклиматических условиях.

Топливозаправочные станции, построенные по рассматриваемой схеме, могут составить конкуренцию Home Energy Station, которые предлагаются фирмой Honda для выработки водорода из бытового газа.

V. Stathopoulos*, Prof.

J. Kleperis**, Dr. of Sc.

L. Kozak***, PhD

V. Solovey****, Dr. of Sc.

A. Shevchenko****

*Technological Educational Institute of Sterea Ellada (TEISTE) Greece,

**Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Latvia

***Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

****A.M. Pidhorny Institute of Mechanical Engineering Problems of National

Academy of Science of Ukraine

(Kharkov, Ukraine, e-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua)

PERFECTION OF ELECTROCHEMICAL SYSTEMS GENERATIONS HYDROGEN

The high-pressure electrolyzer is intended for production of ecologically clean energy carrier – hydrogen and gaseous oxygen. It involves an electrolysis block, a gas-liquid flows separation system and an electronic control unit controlling the electrolyzer operation modes. The electrolyzer is adapted to use any “non-standard” electric power generated by the installations consuming the power of the renewable energy sources, in particular, wind power.

The novelty of this engineering design consists in the use of the electrodes special materials and also in the original cyclic technology of high-pressure gases generation that excludes their mixing.

The advantages of the proposed electrolyzer are in its ability to generate hydrogen under high pressure without a compressor providing for compact storage and commercial realization. The proposed electrolyzer is manufactured as a modular construction. It gives the possibility for providing given electrolyzer productivity due to combination of several modules together.

Up to now hydrogen and oxygen have been produced by thermo chemical methods, methane conversion or electrolytic decomposition of water. Traditional technologies have large overall dimensions and it is necessary to use additional compressing equipment.

The innovative electrolyzer is based on the following technologies and technological decisions: - the use of the chemically active electrodes; - separating in time and space of the electrolyte processes of generation and isolation of hydrogen and oxygen during water electrolysis. As a result the gases pressure is limited only by strength of the electrolyzer case details and fittings and by ultimate solubility of the gases in the electrolyte. As to the level of technical decisions, simplicity of mounting and servicing, reliability and safety – this electrolyzer surpasses all of the known analogues.

The electrolyzer module construction gives the possibility to create the hydrogen and oxygen stations of any productivity, and it means the possibility to have in a sufficient amount ecologically clean product - hydrogen that can be used as a technological product and as a fuel. From the economic efficiency point of view, the proposed installation is needed not only as a source of alternative fuel - hydrogen but also as a constituent of the energy - technological complexes involving the installations consumed the renewable energy (wind, sun). Such complexes will provide smoothing over of the unevenness of energy ingress and consumption. The use of the high-pressure electrolyzer is economically expedient also at the objects with autonomous energy supply, in particular, at the filling stations.

Our efforts to further improve the proposed hydrogen-generation method are focused on continued research into new electrode materials, with an initial focus is on gas-absorbing electrodes. Application of such electrodes could potentially decrease irreversible losses that occur during the electrochemical reaction of water dissociation. This would lead to improved operational effectiveness of wind-powered desalination complexes that use the buffer hydrogen-storage system instead of compressors. The table of comparative characteristics of the proposed electrolyzers and the industrial analogues.

Of comparative characteristics of the proposed electrolyzers and the industrial analogues

Electrolyzer title, manufacturer, country	Productivity of H ₂ , m ³ /h	Productivity of O ₂ , m ³ /h	Power consumption, kW·h/m ³	Working pressure MPa	Weight, kg	Hydrogen purity, %
EHP-1.0-150, IMEP, Ukraine	1	0,5	3,9-4,1	1-15	1200	99,998
ЭУ-2/3.2, “Electrolysis Technologies” Ltd., Russia	2	1	4,7	3,2	1300,	99,8
BLUE LINE, «McPhy Energy», France	1	0,5	6,2	0,4-0,8	-	99,998
P 1.5, McPhy Energy, France	1	0,5	7,4	0,3	265	99,5±0,1
HOGEN S40, Proton Onsite, USA	1,05	0,525	6,7	1,38	216	99,995
МБ 75, 3X0 “Zarua” Ltd., Russia	1,15	0,575	4,65	-	-	99,995
HySTAT™-A-1000Q-40-10, Hydrogenics Europe NV, Belgium	10	5	192 (under 100 % load)	6-10	2200	99,9

УДК 621.121

Я. Я. Клеперис, д-р физ.-мат. наук*

А. В. Русанов, член-корр. НАН Украины

В. В. Соловей, д-р техн. наук

**Институт физики твердого тела, г. Рига, Латвия*

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua)*

ТЕРМОГАЗОДИНАМИКА МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ АКТИВАЦИИ ВОДОРОДА В ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Результаты термогазодинамических исследований свидетельствуют, что десорбируемый из металлгидридов водород имеет, по сравнению с равновесным, повышенные на 30-50 % сечения ионизации молекул электронным ударом и пониженные на 0,3-0,5 эВ потенциалы появления молекулярных ионов H_2^+ . Последняя величина близка к энергии первого колебательного уровня молекулы водорода в основном электронном состоянии $X^1\Sigma_g^+$. Эти результаты, а также значительное время жизни наблюдавшихся возбужденных состояний молекул десорбируемого водорода, дают основания предположить, что данное возбуждение носит колебательный характер и имеет место в ходе рекомбинации атомов водорода, выходящих на поверхность гидрида при десорбции. Данное предположение подтверждается также экспериментами по измерению кривых эффективности ионизации водорода и дейтерия, установлено, что отношение смещений потенциалов ионизации десорбированных молекул H_2 и D_2 соответствует значению изотопного эффекта для частот колебаний этих молекул. О колебательном возбуждении десорбируемых молекул водорода свидетельствуют также эксперименты по изучению характеристик газовых разрядов с металлгидридным катодом. Так введение металлгидрида в состав катода источника ионов приводит к значительному повышению выхода ионов H^+ , что может свидетельствовать об увеличении сечения процесса диссоциативного прилипания медленных электронов к десорбируемым с поверхности металлгидрида колебательно-возбужденным молекулам водорода.

Экспериментально обнаружен и исследован автостабилизированный по давлению режим газового разряда в скрещенных $E \times H$ полях с металлгидридным катодом. Сравнение характеристик исследованного режима разряда с известными типами газовых разрядов показывает, что по механизму генерации плазмообразующего газа он аналогичен вакуумной дуге, а по механизму электронной эмиссии с поверхности катода – тлеющему разряду. Установлено, что в условиях автостабилизированного по давлению режима газового разряда баланс частиц в газовой фазе определяется комплексом теплофизических, сорбционных и эмиссионных характеристик гидридообразующего геттерного материала, взаимодействующего с водородной плазмой. В частности, это проявляется в существовании области параметров стабильного горения разряда с однозначной функциональной зависимостью между разрядным током и давлением водорода, которое устанавливается в замкнутой газоразрядной камере. Диапазон токов устойчивого горения разряда и соответствующий ему диапазон давлений водорода определяется термической стабильностью фаз, входящих в состав гидрида и геометрией разрядной ячейки.

Показана высокая эффективность ионной бомбардировки, как активного средства управления режимом работы металлгидридного элемента, совмещающего в себе функции катода и генератора плазмообразующего газа. Данное техническое

решение позволяет осуществлять программированный напуск изотопов водорода в рабочую область газоразрядной камеры ионного источника, режим работы которого определяется единственным управляющим параметром – током разряда.

Испытания ионного источника показали, что с введением металлгидридного элемента в анод газоразрядной камеры существенным образом повышается стабильность горения разряда, который зажигается при меньших, чем без металлгидрида, отношениях напряжения на электродах газоразрядной камеры к давлению газа в ней. Выход ионов в режиме генерации H^+ возрастает на 30-50 %, в режиме генерации H^- - на 15-20 %. Таким образом, вследствие непосредственного взаимодействия газоразрядной плазмы с поверхностью металлгидрида не только упрощается система газоснабжения и улучшается точность регулирования давления напуска в непрерывном режиме, но и существенно повышается эффективность генерации ионов, что обусловлено активированием водорода во время его десорбции из металлгидрида.

Введение в состав катода газоразрядной камеры металлгидрида с умеренно высокой термической стабильностью обеспечивает автостабилизированный по давлению режим горения газового разряда в замкнутом объеме в среде водорода. Разогрев катода вследствие интенсивной ионной бомбардировки стимулирует десорбцию водорода из металлгидрида в область разряда, что стабилизирует процесс горения. Показана достижимость высоких значений газовой и энергетической эффективностей плазменных источников отрицательных ионов водорода на основе отражательного разряда с металлгидридным катодом. Обнаружено наличие критического давления водорода в газоразрядной камере ионного источника с металлгидридным катодом, превышение которого приводит к значительному (на порядок величины) увеличению тока пучка H^- . Экспериментально получены пучки ионов H^- с плотностью тока $j=5\ldots 10 \text{ mA/cm}^2$. Токовая эффективность исследованного ионного источника с металлгидридным катодом составляла 40...50%.

УДК 669.85:502.7

Л. Л. Васильев*,

А. С. Журавлёв*,

А. П. Цитович*,

Л. А. Драгун*

В. В. Соловей, д-р техн. наук

Д. Х. Харлампиди, д-р техн. наук

В. А. Тарасова, канд. техн. наук

**Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси,*

(г. Минск, Беларусь)

Институт проблем машиностроения имени А. Н. Подгорного НАН Украины

(г. Харьков, Украина, e-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua)

ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОТРАНСФОРМАЦИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Одним из перспективных направлений энергетики может стать применение экологически безопасных тепловых машин, использующих источники тепла с низкотемпературным потенциалом (водные бассейны, грунт, грунтовые воды, отработавшие воду и пар промышленных производств и т. д.). В развитых странах они составляют стратегический потенциал роста экономики. Для извлечения энергии из возобновляемых источников и эффективного ее использования необходимо специальное оборудование – аппараты для трансформации тепла (тепловые насосы), которые позволяют экономить до 15–20% первичной энергии топлива при производстве электричества, теплоты и холода.

В Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси (г. Минск) и Институте проблем машиностроения имени А. Н. Подгорного НАН Украины (г. Харьков) проводятся исследования, направленные на создание теплонасосных установок сорбционного типа. Белорусской стороной выполняются эксперименты, украинские коллеги занимаются решением проблемы с помощью теоретических методов, используя методики синтеза схемных решений термотрансформаторов с учетом влияния вида низкопотенциального теплоносителя и условий энергопотребления объекта.

Одним из научных направлений, наиболее интенсивно развиваемых в настоящее время, является комплекс работ термодинамического, теплофизического и физико-химического плана по использованию низкотемпературной теплоты в энергоустановках с термопреобразователями, объединенных общей идеологией в рамках проблемы водородной энергетики.

Одной из разновидностей термотрансформаторов сорбционного типа являются металлогидридные термопреобразователи. В основу их работы положена особенность термодинамических свойств металлогидридов, заключающаяся в значительных удельных величинах энергии фазового перехода водорода из свободно-молекулярного состояния в химически связанное и детерминированном соотношении между температурой и давлением в сорбционных процессах, что позволяет осуществить термосорбционный способ трансформации теплоты.

Результаты системного анализа свидетельствуют, что термотрансформаторы на твердых и жидких сорбентах весьма перспективны. Они отличаются экологической безопасностью, что обусловлено не только отказом от фреонов в качестве рабочего тела, но и использованием энергетически эффективных циклов сжигания органического топлива для получения тепла и холода с выделением минимального количества углекислого газа, вызывающего парниковый эффект. Достоинствами сорбционных аппаратов являются также универсальность по отношению к источнику энергии, возможность использования природного газа, угля, солнечной энергии, простота конструкции (отсутствие вращающихся и высоконапряженных частей), бесшумность работы, высокая надежность. Однако для повышения конкурентоспособности сорбционных термотрансформаторов требуются проведение комплексных технико-экономических исследований с целью выбора наиболее эффективных инженерных разработок.

Полученные данные по расчету диаграмм «давление – концентрация – температура» для широкого спектра гидридообразующих материалов позволяют применять их для определения термодинамических характеристик водородных теплонасосных установок сорбционного типа.

Свойства сорбирующего материала влияют как на холодильный коэффициент, так и на удельную холодопроизводительность, поэтому его выбор имеет важное значение. Выбор сорбента должен основываться на сравнительном анализе с учетом термодинамических и динамических свойств материала. Существенный вклад в удельную холодопроизводительность системы вносят кинетические характеристики сорбента, оказывая значительное влияние на динамику тепло- и массообмена внутри сорбера.

Применение адсорбционной солнечной холодильной машины позволяет получить холод без использования дополнительных преобразований энергии, например, в электричество. Внедрение в практику солнечных адсорбционных холодильных систем не только снижает уровень энергозатрат, антропогенное воздействие на среду обитания, но и позволяет комплексно решать задачи теплоснабжения и кондиционирования воздуха. Интегрированное действие физической сорбции и химических реакций в едином пространстве и в одно и то же время для производства холода может существенно повысить коэффициент эффективности трансформации энергии в сорбционных системах.

Ю. М. Мацевитый, академик НАН Украины

А. В. Русанов, член-кор. НАН Украины

В. В. Соловей, д-р техн. наук

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

(г. Харьков, Украина, e-mail: matsevit@ipmach.kharkov.ua)

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Анализ перспектив развития энергетики свидетельствует об эволюционном характере происходящих технологических изменений в сфере производства, распределения и потребления энергии. Согласно прогнозу экспертов Международного энергетического агентства, развитие мирового ТЭК в ближайшей перспективе будет базироваться на поэтапном замещении ископаемых топлив, обеспечивающих в настоящее время более 90 % объема потребности мирового сообщества в энергоресурсах, альтернативными и возобновляемыми источниками энергии в инфраструктуре которых, важное место принадлежит водороду.

Среди наиболее важных направлений, имеющих теоретическую и практическую значимость, следует назвать методы получения водорода базирующиеся на комплексном использовании электрической энергии и химического потенциала исходных продуктов применяемых для получения водорода. В этих технологиях электроэнергия необходима лишь для инициирования химических реакций конверсии водородсодержащих композиций, а основной энерговклад в осуществление реакции вносится одним из реагентов. В качестве исходного сырья могут быть использованы некондиционные угли, продукты углеобогащения, органические отходы растительного и животного происхождения, коммунально-бытовые стоки и другие углеводородсодержащие вещества. В этом случае утилизируются отходы, что снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду, а также – производится экологически чистый энергоноситель, способный заменить природный газ в сфере промышленного и коммунального потребления.

Разработанные в ИПМаш НАН Украины оригинальные системы использования водорода в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания позволяют снизить токсичность выхлопных газов транспортного средства, и сэкономить углеводородное топливо. Практическое воплощение эти технологии нашли при создании опытной партии автомобилей, использующих водород в качестве топлива, которые эксплуатировались в качестве таксомоторов в г. Харькове. Выполнены работы по использованию водородно-энергетических установок на водном транспорте, в глубоководных комплексах.

Одним из проектов, направленных на улучшение ситуации в ТЭК Украины является реализация концепции, в основе которой лежит производство водорода путем газификации угля, а также электролиза воды с использованием электроэнергии, производимой на атомных и тепловых электростанциях. На начальном этапе произведенный водород мог бы использоваться как заменитель природного газа в промышленности и энергетике, в частности, для «подсветки» в энергоблоках ТЭС, использующих низкосортное угольное топливо. Оригинальными звеньями в разрабатываемых технологиях являются элементы электролизной техники, позволяющие снизить энергоемкость производства водорода, а также специальные горелочные устройства с предварительной зоной газификации угля, работающие по схеме парогидрогенной конверсии.

При складывающейся конъюнктуре цен на природный газ и стойкой тенденции к ее увеличению стоимость единицы энергии в водороде, получаемом путем электролиза

в установках, разработанных в ИПМаш НАНУ, становится сопоставимой со стоимостью аналогичного показателя природного газа при условии, что для производства водорода используется электроэнергия, отбираемая для обеспечения собственных нужд электрогенерирующих предприятий.

Весомый вклад в диверсификацию энергопотоков может обеспечить развитие децентрализованных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водорода – их вклад в энергобаланс страны может быть увеличен до 2 % и, наряду с гидроэнергетикой (5,3 %), явиться эффективным средством восполнения дефицита пиковых и высокоманевренных электрических мощностей.

Инновационные водородные технологии призваны сыграть важную роль в диверсификации потоков энергоносителей в инфраструктуре ТЭК, что существенно снизит зависимость Украины от импорта углеводородных топлив и позволит улучшить состояние окружающей природной среды в наиболее неблагоприятных в экологическом отношении территориально-промышленных регионах.

Опираясь на результаты фундаментальных, теоретических и экспериментальных исследований в области водородной энергетики в ИПМаш НАНУ в настоящее время успешно развиваются те направления, которые могут дать принципиально новые результаты в научном плане, а также обеспечат перевод на качественно новый уровень технико-экономические и экологические показатели энергетических и технологических объектов, что будет способствовать повышению их коммерческого рейтинга на отечественном и зарубежном рынках.

УДК

Л. Р. Козак*, канд. техн. наук

А. А. Шевченко

Н. Н. Зипунников, канд. техн. наук

И. А. Воробьева

**Государственное конструкторское бюро «Южное» (г. Днепр, Украина)
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, E-mail: shevchenko84@ukr.net)*

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Основными аргументами, свидетельствующими в пользу расширения масштабов производства и использования водорода, является имеющийся, но фактически не используемый в Украине, значительный потенциал ветроэнергетических ресурсов для получения экологически чистого энергоносителя – водорода. В настоящее время основными ресурсами для получения водорода является органическое сырье, что не позволяет рассматривать его в качестве потенциального ресурса в связи с всевозрастающим их дефицитом.

Производство экологически чистого энергоносителя не должно осуществляться с загрязнением окружающей среды, снижая экономический эффект от внедрения водородных технологий. Поэтому в качестве перспективных источников энергии для производства водорода, в первую очередь, следует рассматривать возобновляемые виды энергии, запасы которых характерны для многих регионов Украины

В качестве первоочередных проектов, которые могут быть реализованы в кратчайшие сроки с максимальной экономической эффективностью и имеющих большое значение для экономики Украины можно выделить работы, направленные на повышение эффективности использования энергии ветра и солнца в инфраструктуре топливно-энергетического комплекса на основе использования водородных технологий. Современный уровень водородных технологий позволяет вырабатывать и накапливать водород непосредственно в условиях водородных заправочных станций и использовать его в качестве топлива в автомобильном транспорте.

Автомобильные компании мира уже давно начали производить транспорт с низкой токсичностью выбросов отработавших газов. Однако, кардинальным решением транспортно-экологических проблем является использование водорода в качестве топлива. Для преодоления энергоэкологического кризиса предлагается создание ветроводородных заправочных станций (ВВС) с целью обеспечения автотранспорта экологически чистым топливом – водородом.

Ветроводородную станцию предлагается создать с электролизером высокого давления – модульной схемы (5×100 кВт):

1. Мощность ветроэлектрического генератора – 500 кВт;
2. Давление в электролизере, накопительные емкости и баллонных модулях для товарных поставок 35,0 МПа.;
3. Расход опресненной воды – 10 м³/ч;
4. Производительность одного модуля: водород – 120 м³/ч, кислород – 60 м³/ч.

Результаты проведенных экспериментальных исследований расходно-массовых характеристик использованы при разработке элементов конструкции водородного

накопителя и оптимизации его работы на переменных режимах, характерных для систем, использующих возобновляемые источники энергии.

Предлагаемые ветрозаправочные станции могут составить конкуренцию «Домашним Энергетическим Установкам» (Home Energy Station), которыми комплектуются автомобили Honda для выработки водорода в домашних условиях из бытового газа.

Применение в составе ВВС оригинальной электролизной технологии по сравнению с традиционными электролизерами обеспечивает следующие преимущества:

1. Снижение энергозатрат на единицу произведенного продукта составляют 3,8-4,1 кВт·ч/м³.
2. Система обеспечивает генерацию газов с давлением ограниченным лишь прочностью конструкции корпусных элементов. На практике достигнут уровень 70 МПа.
3. Отсутствие разделительных мембран, что повышает надежность и безопасность эксплуатации системы.
4. В электрохимическом генераторе водорода и кислорода высокого не используются редкоземельные металлы и металлы платиновой группы, что удешевляет стоимость основного оборудования.
5. Чистота получаемого в результате электрохимической реакции водорода 99,98 % и кислорода 99,95 %.

Одна такая станция при непрерывной работе на расчетном режиме может выработать за сутки ~250 кг водорода. Это соответствует ~ 625 л бензина в энергетическом эквиваленте и уменьшению выбросов в атмосферу ~1250 кг CO₂.

Получение водорода и кислорода с высоким давлением исключает использование механических компрессоров, КПД которых не превышает 60 % и обеспечивает подачу топлива непосредственно в бортовые газобаллонные системы хранения.

УДК 661.96

Нгуен Тиен Кхием*, д-р физ.-мат. наук

В. В. Соловей, д-р техн. наук

А. А. Шевченко

Н. Н. Зипунников, канд. техн. наук

**Институт Механики (ИМEX) ВАНТ Вьетнама (г. Ханой, Вьетнам)*

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, Украина, e-mail: shevchenko84@ukr.net)*

ВОДОРОДНАЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Интерес к неравновесным плазмохимическим процессам, стимулированным колебательным возбуждением основного электронного состояния реагентов, связан с возможностью достижения в них наиболее высокой энергетической эффективности эндозергических реакций. В разрядах умеренного давления при температурах электронов 1-3 эВ большая часть мощности разряда расходуется на возбуждение колебательных уровней молекул. Колебательно-возбужденные молекулы достаточно медленно дезактивируются при столкновениях и в тоже время быстро вступают в химические реакции, что позволяет направить большую часть энерговклада в нужные химические превращения.

При проведении плазмохимической реакции процесс проходит при невысоких среднетемпературных температурах, так как активности компонентов с возбужденными электронными оболочками достаточно для достижения желаемого эффекта. В этом случае суммарные затраты энергии на проведение реакции в несколько раз меньше, чем в термических или каталитических процессах. Возможности разработанного способа динамической стабилизации плазмы и проведения разряда без контакта с металлическими электродами открывают новые возможности в реализации систем, обладающих долговечностью, большим диапазоном мощности рабочих температур и давлений, способностью работать в разнообразных, в том числе, агрессивных средах.

Технология обеспечивает получение продуктов конверсии с заданным давлением, причем подъем давления осуществляется за счет увеличения объема при переводе жидких компонентов в газообразную фазу. В этом случае отпадает необходимость в газовых компрессорах. Благодаря разработанной методике создания динамически стабилизированных неравновесных свойств плазмы, обеспечивается протекание реакции при давлении $\sim 4\div 5$ МПа. При плазмохимических методах конверсии затраты энергии на проведение процесса сводятся к покрытию энтальпии реакции с коэффициентом полезного использования энергии около 80 %. Новизна подхода в решении проблемы утилизации отходов и получении вторичных энергоносителей складывается в оригинальном и эффективном научно-техническом решении технологических процессов плазмохимической переработки углеводородных отходов, получения и выделения водорода из продуктов реакции и последующей очистки от газообразных примесей, компактного и безопасного накопления, а также в его использовании для переработки других отходов. Предложенный подход отличается от известных использованием несамостоятельного Е разряда (с силой тока в < 1 А), а также в оригинальных инженерных решениях отдельных элементов плазмохимической установки для получения водорода и утилизации углеводородсодержащих отходов.

Предложенные методы позволяют создавать передвижные установки и перерабатывать отходы на месте их производства или хранения. Высокие температуры и регулирования состава плазмообразующих газов обеспечивают максимальную степень переработки супер-токсикантов. Для интенсификации процессов уничтожения канцерогенных веществ предлагается применение водорода. С целью получения плазмообразующего газа разработана схема электролизной установки для генерации и подачи водорода в реакционный объем плазмохимического реактора. Предлагаемые технические решения основных блоков установки для реализации плазмохимической технологии утилизации углеводородсодержащих отходов обеспечивают согласованность электрических, газодинамических и химических составляющих технологического процесса. Использование электродов, изготовленных из специально подготовленных металлов с переменной валентностью, обеспечивают получение газов с высоким давлением, в сравнении с традиционными способами электролиза.

Преимущество данного способа получения водорода заключается в возможности сравнительно просто (регулируя ток) управлять скоростью реакций и, следовательно, потребляемой мощностью. Важной особенностью предлагаемой технологии является ее одностадийность. Применение данной технологии позволит исключить стадию удаления влаги, которая уменьшит расходы при экологической совместимости производства с окружающей средой.

Целью дальнейшего совершенствования этого способа генерации водорода является разработка новых электродных материалов, в первую очередь газопоглощающих электродов соответствующей структуры, применение которых позволит снизить необратимые потери, которые возникают при протекании электрохимической реакции разложения воды и повысить эксплуатационные характеристики электролизного оборудования.

Исследование влияния режимных и конструктивных факторов обезвреживания канцерогенно-мутагенных веществ на технико-экономические показатели предлагаемого метода и разработка рекомендаций из наиболее эффективных направлений использования этой технологии, позволяют рассматривать его, как эффективное средство при утилизации отработавших фильтров и автомобильных нейтрализаторов, а также медико-биологических отходов.

Р. Кэмпбелл

В. Джорджадзе

А. А. Шевченко*

Н. Н. Зипунников*, канд. техн. наук

И. А. Воробьева*

Компания CEOCAP Holdings Company LLC, (Монтеррей, Калифорния, США)

**Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины*

(г. Харьков, Украина, e-mail: kolyazip@yandex.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Исходя из анализа конструктивных и технико-экономических показателей современного электролизного оборудования, можно сделать вывод, что его дальнейшее усовершенствование должно быть проведено, прежде всего, в направлении снижения энергопотребления процесса разложения воды, а также возможности генерации газов (водород и кислород) с более высоким давлением. В настоящее время уровень давления существующих электролизеров не превышает 2,5-4,0 МПа. Кроме того, наименее надежным элементом конструкции низкотемпературных электролизеров являются ионопроводящие мембраны, наличие которых также ограничивает верхний уровень давления в системе. Использование металлов платиновой группы для активации электродов усложняет технологию их изготовления и увеличивает стоимость оборудования.

В электрохимических установках на основе электролизных элементов электроэнергия и химическая энергия исходных веществ превращается в химическую энергию продуктов реакции, обладающих соответствующей эксергией. Такая эксергия, генерируемая в единицу времени, характеризует эксергетическую мощность электролизной установки. Предложенная технология генерации газа, осуществленная в безмембранном электролизере, оснащенный электродами, не содержащими дорогостоящих металлов платиновой группы, обеспечивает повышение энергетической эффективности на 15-17 % и в то же время производит водород и кислород с давлением, ограниченным прочностью электролизной ячейки. Нет необходимости использовать компрессоры для дальнейшего сжатия газов (H_2 , O_2), что повышает эксергетическую ценность полученных продуктов.

Основной целью эксергетического анализа является определение параметров критических процессов, влияющих на эффективность производства водорода и кислорода под высоким давлением с последующим их совершенствованием.

Предлагаемая технология производства водорода высокого давления состоит из двух стадий периодически чередующихся окислительных и восстановительных реакций с участием активной массы газопоглощающего электрода. Процесс генерации водорода начинается с подачи на пассивный электрод отрицательного потенциала. На этом этапе газопоглощающий активный электрод выступит в качестве анода. Реакция разложения воды происходит с одновременным выделением водорода и кислорода, при этом водород выделяется на пассивном электроде в газообразном виде, а кислород химически связывается активным электродом (накапливается в виде химического соединения). Питание электроэнергией электролизной ячейки синхронизировано с электромагнитным переключателем потока, в результате чего водород выделяется при высоком давлении и заполняет только водородную магистраль, не смешиваясь с кислородом. Первичная очистка от паров электролита происходит в сепараторе, который выполняет функцию

разделения газожидкостного потока на составные компоненты. Обычные электролизеры используют мембраны, чтобы исключить возможность образования газа Броуна. В нашем случае разделение образования водорода и кислорода во времени позволяет не использовать разделительные мембраны. На основе испытаний прототипов было подтверждено, что удельная эффективность предложенной конструкции электролизера выше, чем у существующих аналогов на 10-15 %.

Результаты эксергетического анализа свидетельствуют, что для электролизеров высокого давления КПД составил 88,7 %. Общий эксергетический КПД стандартных электролизеров не превышает $\eta_e = 62,1$ %. При этом КПД водородного и кислородного сепараторов в разработанной конструкции составляет соответственно $\eta_1 = 98,7$ %. В данном случае преимуществом разработанного образца электролизера является отсутствие омических потерь на разделительной диафрагме и постоянная работа установки под высоким давлением ($p = 15$ МПа), что исключает необходимость использования компримирующего оборудования для дополнительного сжатия выделяемых газов (H_2 , O_2). Наибольшие потери эксергии связаны с внутренними процессами в блоке электролизных элементов и составляют 10-12 % от общего КПД установки. Они определяются поляризационными потерями на катоде и аноде, токами утечки, трением и внутренним тепло- и массообменом. Дальнейшее совершенствование установок, реализующих эту технологию, следует проводить с учетом полученных результатов в процессе проведения эксергетического анализа.

Оценивая экономические перспективы широкого внедрения предлагаемой технологии электролиза для промышленного производства водорода и аккумулирования больших объемов энергии из возобновляемых источников можно утверждать, что предлагаемая безмембранная технология электролизера высокого давления не имеет аналогов в мире.

УДК 661.665.2

Robert Campbell*,
Vasily Jorjadze*,
Yu. M. Matsevity, academician NASU
V. V. Solovey, prof.

**Founding Chairman & CEOCAP Holdings Company LLC (Monterrey, CA, USA)
Pidhorny Institute of Mechanical Engineering Problems of National Academy
of Science of Ukraine (Kharkov, Ukraine, e-mail: solovey_v_v@ukr.net)*

INCREASE OF ECOLOGICAL SAFETY OF INDUSTRIAL COMPLEXES BASED ON INDUSTRIAL SYMBIOSIS TECHNOLOGIES

Industrial symbiosis methods are one of the important constituents of a conception of sustainable development for industrial regions of Ukraine. The industrial symbiosis is based on intersectoral energotechnological integration of the industrial potential of enterprises, which can be incorporated within the territorial and industrial complexes. The idea of industrial symbiosis is to provide a transition from focused technology of facility of a basic type of products to expansion of a range of the goods output due to complex utilization of material and power secondary resources of all economic players at the appointed territory.

Issues of anthropogenic safety, which relate to the problems solved within the framework of sustainable development, are of complex and dynamic nature. It has been shown that the problems raised must be solved on the basis of a systematic analysis of the existent technical and economic status with the obligatory next stage of improvement, which will be implemented by the synthesis of a new quality of the object under study, which is in conformity with modern technological and ecological priorities to the utmost. This approach determines the formation of the modern vector of the sustainable development, which is based on the selection of rational modes of operation of many technological systems within the territorial and industrial complex and it is aimed at minimization of the anthropogenic impact on an ecosystem of a region. The program of industrial symbiosis will transit power and physical and chemical potential of raw resources to a qualitatively new level and at the same time it will improve the quality of the environment in industrialized regions.

The introduction of new organizational and engineering solutions and technological schemes of industrial symbiosis aimed at increase of the integrating coefficient, will make it possible to carry out low-waste production, which will meet the environmental compatibility of industrial plants and the environment. The results of the feasibility studies indicate that the implementation of the model of industrial symbiosis of integration of material and energy flows within the boundaries of a territorial and industrial complex and an energy generating enterprise, reduces specific costs of energy and raw materials one – two point second or one – three point fifth as large. In some technologies an indicator can reach 3-4 fold value.

The introduction of methods for industrial symbiosis under functioning of territorial and industrial complexes consisting of budget-forming enterprises having ramified flow charts, the production cycle of which has a low level of product processing, and as a result, large waste volume, is the most effective one. In these circumstances, the programme of industrial symbiosis must have accurate strategic directions that will allow the region to be self-developed due to regular increase of material and social investments aimed at efficiency increase and reduction of the anthropogenic impact on the environment. The abovementioned problems, first of all, must be solved by innovative modernisation that meets modern economic requirements.

УДК 621.383

V. V. Solovey*, prof.

V. V. Fylenko**,

Francesco Tinti***

**A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems
(Kharkiv, Ukraine, E-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua)*

***V. N. Karazin Kharkiv National University,
(Kharkiv, Ukraine, E-mail: fylenko@gmail.com)*

****Alma Mater Studiorum University of Bologna
(Bologna, Italy, E-mail: francesco.tinti@unibo.it)*

PV-H₂ SMART GRID ENERGY COMPLEX ANALYSIS

Together with progressive depletion of traditional non-renewable sources of energy (fossils: coal, oil, natural gas etc.) the researches on seeking the renewable sources of energy are actively carried out all over the world. For the first time, the described below Energy Storage Solutions for Small and Medium-Sized Self-Sufficient Alternative Energy. The attempts of compiling renewable energy systems (namely the photovoltaic panels with concentrator) with electrolyzer, fuel cell and energy grid is at the early stage of research. This work focuses on the following targets: elaboration, design and optimization of the PV-H₂ SMART Grid energy complex configuration; manufacturing and assembling of constituent elements; creation of the specialized control system able to adapt, through a geolocalization module, to different geo-climate conditions. Thus, the novelty of our approach consists in the combination and advisable functional interaction of the constituent elements. The PV-H₂ complex was realised and tested both in laboratory as well in a standard work environment. The tests were conducted in Kharkiv, Ukraine in 2016. The obtained results in operational environment fit very well with laboratory ones. This verifies the PV-H₂ SMART Grid energy complex work potential.

The PV-H₂ complex consists of the following constituent elements, characterized by harmonized parameters: primary energy receivers - concentration photovoltaic energy farm; hydrogen and oxygen generator (electrolyzer); vessels for compressed gases; fuel cell, grid inverter. The complex is provided by informational control system connected with separate elements by means of pipelines and sensors for gathering and processing working parameters data. The basic idea of renewable energy use consists in opportunity of “dirty” energy processing. The irregular primary energy flow obtained from concentrated solar energy transformer (PV) is shared with the electrolyzer that is non-sensitive to the quality of received energy. This approach is preferable for creation of autonomous power plants with small and moderate power output for individuals. The elaborated PV-H₂ SMART Grid energy complex could be used as an autonomous hydrogen refill station for different kinds of hydrogen-feed vehicles.

УДК

Н. А. Чорна, канд. техн. наук

*Інститут проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: nataliyachernaya7@gmail.com)*

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЕННЯ В МЕТАЛОГІДРИДНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ВОДНЕВИХ УСТАНОВОК

Водневі енергоперетворювальні установки на базі термосорбційних компресорів (ТСК) знаходять все більш широке застосування на практиці, що свідчить про наявність техніко-економічної доцільності здійснення термохімічних енергозберігаючих технологій в промислових масштабах. Тому підвищення термодинамічної ефективності ТСК, які є основними елементами водневих установок різного цільового призначення, являє собою актуальну задачу.

Проведено розрахунок термодинамічної ефективності перетворення енергії в ТСК як частини енергоперетворювальної установки. Отримали розвиток нові теоретичні моделі реальних діаграм фазових рівноваг, кінетики взаємодії в системах «гідридоутворюючий матеріал – водень», ефекту гістерезису, нахилу ізотерм «тиск – склад металогідриду», параметрів тепломасопереносу в шарі металогідриду, конструктивних особливостей металогідридних елементів (геометрія, металоємність та ін.).

Проведено розрахунково-теоретичні дослідження теплофізичних і термодинамічних параметрів гідридоутворюючих матеріалів і кінетичних властивостей процесів взаємодії водню з інтерметалічними сполуками, обраними в якості робочого тіла. Визначено параметри тепло- і масопереносу в шарах металогідриду з різною геометрією теплопередаючої матриці. Визначення термодинамічних характеристик виконано шляхом побудови діаграми «тиск-концентрація-температура», що дозволить надати оцінку парціальних і інтегральних величин ентальпії взаємодії водню з інтерметалічними сполуками, а також визначити параметри ізобарного гістерезису та його вплив на ефективність процесу стиску водню у металогідридному термосорбційному компресорі.

В результаті виконання роботи надані рекомендації по створенню новітніх металогідридних технологій та обладнання для систем перетворення енергії в металогідридних елементах енерготехнологічних комплексів з метою підвищення їх енергоефективності та екологічної сумісності з оточуючим середовищем. У результаті узагальнення інформації, отриманої при проведенні розрахунково-теоретичних досліджень термосорбційних процесів, розроблена методика розрахунку конструктивних характеристик металогідридних елементів, яка дозволить створити зразки металогідридної техніки, що забезпечать перехід на якісно новий рівень технологій зберігання та переробки водню.

УДК

В. В. Соловей, д-р техн. наук

Н. А. Чорна, канд. техн. наук

*Інститут проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України
(м. Харків, Україна, e-mail: nataliyachernaya7@gmail.com)*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МЕТАЛОГІДРИДНОЇ СИСТЕМИ АКУМУЛЮВАННЯ ВОДНЮ

Металогідридні пристрої призначені для роботи в складі різних енерготехнологічних систем (лабораторне й технологічне устаткування, системи газозабезпечення, стаціонарні й транспортні енергоустановки). Усі вони характеризуються сполученням декількох функцій переробки водню. Пристрої мають широкий діапазон кількостей збереженого водню й робочих тисків. Стабільність видачі водню визначається точністю регулювання робочого тиску в металогідридном пристрої, ефективне керування яким реалізується шляхом використання температури в якості керуючого фактору.

Конструктивні особливості та технічні характеристики створюваних металогідридних систем, у першу чергу, визначаються вимогами їхніх споживачів. Найчастіше виконання однієї з таких вимог заважає виконання іншої (наприклад, великий запас водню й високі динамічні характеристики його видачі). Тому в кожному конкретному випадку варто шукати сукупність оптимальних технічних рішень, що включають вибір металогідриду, розробку конструкцій окремих вузлів і системи в цілому, визначення оптимальних режимів роботи. Крім згаданих вимог споживача, зазначені рішення визначаються комплексом фізико-хімічних, теплофізичних, газодинамічних і механічних параметрів, що характеризують процеси термосорбційної взаємодії гідридоутворюючого матеріалу з воднем.

Задача практичного конструювання металогідридних систем не може бути вирішена без математичного моделювання процесів тепломасообміну, які протікають у шарі металогідрида, що дозволяє розрахувати основні характеристики створюваного пристрою. Це потребує розробки ефективного обчислювального алгоритму та створення на його основі програм для моделювання роботи елементів водневих систем, дослідження їх параметричних характеристик, що дозволить із незначними витратами й досить оперативно вирішувати питання розробки та вибору ефективних режимів роботи систем такого типу.

На підставі результатів теоретичних, розрахункових і експериментальних досліджень в ІПМаш НАН України представлена вдосконалена методика розрахунку конструкцій металогідридних систем енерготехнологічної переробки водню. Зазначена методика включає розрахунок динамічних характеристик прийому й видачі водню з урахуванням термодинаміки сорбційних процесів і тепломасообміну в шарі металогідрида, а також удосконалення масогабаритних показників металогідридних систем. Елементи цієї методики можуть бути реалізовані при розробці й створенні зразків металогідридної системи зберігання водню.