

С.И. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Н.Н. ЗИПУННИКОВ, канд. техн. наук, ст. преп., НТУ «ХПИ»,
О. А. БЫНДЫЧ, студентка, НТУ «ХПИ»

ВОЗМОЖНОСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИННОВАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В работе проведен анализ приоритетов водородной энергетики и рассмотрена возможность управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных кинетических исследований получения водорода в реакторе и получено уравнение регрессии адекватно описывающее процесс

У роботі проведено аналіз пріоритетів водневої енергетики та розглянута можливість управління й регулювання процесом виробництва водню з води з використанням сплавів ФСА. Проведена статистична обробка експериментальних даних кінетичних досліджень виробництва водню у реакторі та отримано рівняння регресії, яке адекватно описує процес

The analyses of energy of hydrogen and hydrogen receiving control were carried out dealing with hydrogen production from water by special alloys use. The appropriate statistical treatment of experimental data was carried out too. The regression equation with adequate process interpretation is pres

Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными и практическими заданиями. Одной из основных задач мирового сообщества начиная со старта энергетического кризиса (семидесятые годы прошлого столетия) по настоящее время, является поиск путей повышения эффективности использования энергии, являющейся важной частью всех экономических систем.

Особое беспокойство вызывает сочетание двух тенденций: резкого повышения цен на традиционные энергоносители и рост выбросов двуокиси углерода (CO₂), которые за последние 20 лет увеличились в мире более чем на 20 %, в основном, за счет роста потребления энергии. Преодолеть обе тенденции возможно с помощью новой энергетической и климатической политики, внедрения новых эффективных технологий и более рационального использования уже имеющегося запаса топлива.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор. Представленные Международным энергетическим агентством (МЭА) альтернативные сценарии развития мировой энергетики на период до 2050 года

можно разделить на три основные группы [1, 2]: 1. Развитие будет продолжаться в соответствии с существующими тенденциями и при сохранении нынешних темпов повышения энергоэффективности и технического прогресса – увеличению потребления энергии и выбросов CO_2 к 2050 году более чем в два раза. 2. Сценарии ускоренного развития технологий (спрос на энергию не ограничивается, и ископаемое топливо будет обеспечивать до 70 % мировых потребностей в энергоресурсах в 2050 году) дадут эффекты внедрения и массового использования четырех видов энергетических и климатических технологий: энергосбережение; использование возобновляемых источников энергии; развитие атомной энергетики; улавливание и захоронение CO_2 . 3. Сценарий «Технологии плюс», где заложены наиболее оптимистические инновационные варианты из сценариев ускоренного развития технологий.

Общий эффект по снижению выбросов CO_2 от применения энергосберегающих технологий составит по данным МЭА 45 % при условии воплощения наиболее оптимистичного сценария ускоренного развития технологий – при одновременном внедрении повышения энергоэффективности в сфере конечного потребления энергии, использования возобновляемых источников энергии, развития атомной энергетики и улавливания и захоронения CO_2 (рис. 1).

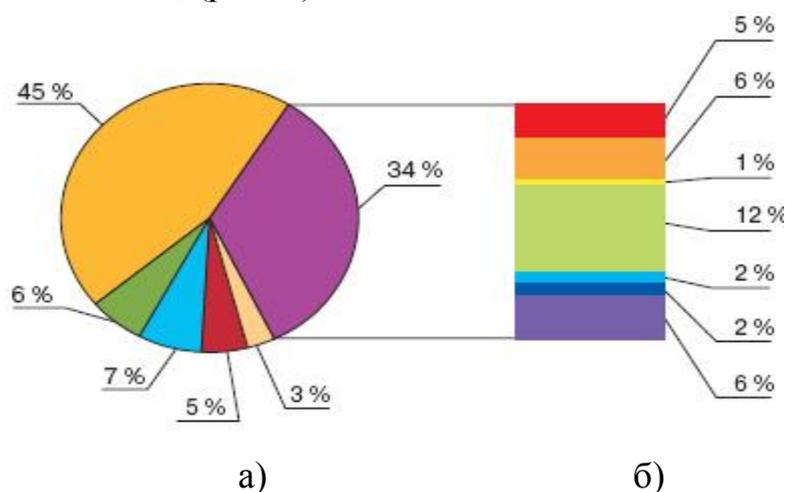


Рис. 1. Роль различных технологий снижения выбросов CO_2 :

а – энергосбережение (45 %); выработка электроэнергии и тепла (34 %); переход на другое топливо в промышленности, энерго- и теплоснабжении зданий (7 %); биотопливо на транспорте (6 %); улавливание и хранение CO_2 в промышленности (5 %); улавливание и хранение CO_2 в процессе переработки топлива (3 %); б – выработка электроэнергии и тепла: улавливание и хранение CO_2 (12 %); атомная энергия и возобновляемые источники энергии (6 и 6 %); переход с угля на газ (5 %); гидроэнергия и биомасса (2 и 2 %)

Сопоставление данных, представленных на рисунке, показывает, что на первое место по решению вопросов снижения выбросов CO₂ выходят энергоэффективность и энергосбережение, использование биомассы и других видов биотоплива. При любом сценарии развития энергосбережение – повышение эффективности потребления энергии – является приоритетным направлением, наиболее быстро выполнимым и позволяющим получить максимальный эффект в решении проблемы изменения климата. Согласно всем сценариям ускоренного развития, необходимо радикально обновить технологическую базу глобальной экономики. Рассмотрим возможности других технологий при условии их одновременного внедрения. 4 Избежать роста выбросов от транспортного сектора, по признанию специалистов, можно только благодаря коммерциализации биотоплива и водородного топлива [1].

Распределение произведенной энергии в развитых странах можно приблизительно поделить по основным потребителям следующим образом: обеспечение бытового сектора энергией – 40 %, из которых 85 % идет на отопление и 15 % составляет электроэнергия, транспорт и промышленность потребляют примерно поровну энергии – по 30 % [2, 3].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья. К решению вышеизложенных проблем можно отнести и создание комплексных безотходных предприятий вырабатывающих различные виды топлива из отходов, разрабатывающих оборудование и технологии по использованию альтернативных источников энергии и водородной энергетики. Широкое использование водорода в качестве универсального экологически чистого энергоносителя позволяет успешно решать многие важные энергетические и экологические проблемы. В последнее время разработана технология изготовления более дешевых ЭАВ-сплавов, на основе кремния, алюминия и железа, которые получают из неорганической части низкокалорийных углей. При гидрогенизации угля и нефти бедные водородом низкосортные виды топлива превращаются в высококачественные.

Главное свое применение водород находит в химической промышленности при производстве аммиака, идущего в свою очередь на производство азотной кислоты и азотных удобрений, получение метилового

спирта, синтетических топлив, при глубокой переработке нефти, газификации угля, производстве высокооктанового моторного топлива, гидрогенизации жиров и получении различных химических соединений. Другой областью применения водорода в машиностроении является очистка нагара с деталей двигателя при их ремонте. Водород также может быть основным сырьем в производстве белка – одна тонна водорода дает 1,4 т питательного белка. В рассмотренных ранее методиках водород получали в режимах соответствующих работающим реакторам при атмосферном давлении (рис. 2).

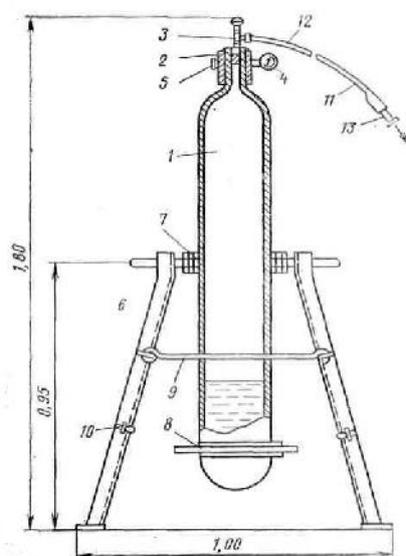


Рис. 2. Баллонный газогенератор АВГ-45: 1 – реактор, 2 – головка, 3 – вентиль, 4 – манометр, 5 – клапан предохранительный, 6 – штатив, 7 – обойма верхняя с полуосями, 8 – обойма нижняя с рукоятками, 9 – крюк сборочный большой, 10 – крюк сборочный малый, 11 – шланг дюритовый, 12 – наконечник шланга с накидной гайкой, 13 – патрубок шланга

Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов. В настоящее время сырьем для получения водорода служат углеводороды. В связи с повышением их стоимости, а также с учетом экологических преимуществ для производства водорода целесообразно использовать воду. Перед проведением опытов порошок сплава и гранулированную щелочь засыпают вручную, затем заливают требуемое количество воды. Отдельными опытами установлено, что растворение 0,8 кг гранулированного едкого натра повышает температуру 6 л воды с 10 °С до 40 °С. Подъем температуры примерно до 70 °С происходит за счет добавления незначительного количества порошка алюминия. Затем начинается основная реакция взаимодейст-

вия кремния со щелочью. Основные кинетические исследования выполнены в реакторе, обеспечивающем изохорное ведение процесса (рис. 3). В начале опыта необходимое количество водного раствора едкого натра заливают в реактор 1. Порошок исследуемого сплава засыпают в кассету 3. Кассету подвешивают в горловине 2 на металлической нити 4, соединенной через контакт 8, пусковую кнопку 9 и выпрямитель 10 с электросетью. После герметизации и разогрева реактора нажимают кнопку 9 и одновременно фиксируют время начала реакции. Поступающий из электросети импульс тока расплавляет нить 4, кассета падает, и порошок высыпается в раствор щелочи. Производят автоматическую запись изменения давления и температуры, для чего к реактору подсоединены манометр 7 и термопара 17 с соответствующими вторичными приборами 6 и 18.

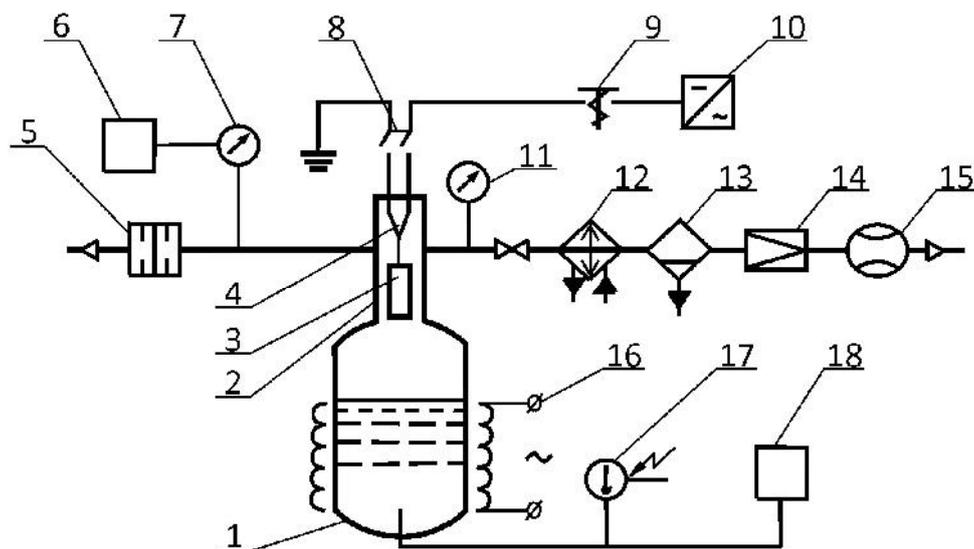


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования изохорного процесса: 1 – реактор, 2 – горловина, 3 – кассета, 4 – металлическая нить, 5 – предохранительная мембрана, 6 – записывающее устройство, 7 – манометр, 8 – контакт, 9 – пусковая кнопка, 10 – выпрямитель, 11 – контрольный манометр, 12 – конденсатор, 13 – сепаратор, 14 – редуктор, 15 – расходомер, 16 – электрообмотка, 17 – термопара, 18 – вторичный прибор

Опыт считается законченным при прекращении заметного роста давления и снижения температуры среды в реакторе на 3–5 °С. По окончании эксперимента реактор охлаждают, газ пропускают через конденсатор 12 и, после отделения капель воды в сепараторе 13 через редуктор 14 и расходомер 15, сбрасывают в атмосферу. Продукты реакции сливают, реактор тщательно промывают. Реактор 1 снабжен контрольным манометром 11 и предохранительной мембраной 5. Температуру

среды в реакторе поддерживают постоянной за счет значительного избытка раствора щелочи. При этом исключается влияние изменения концентрации щелочи в ходе реакции. Температуру измеряют термопарой типа ХК (диаметр спая 1 мм, толщина проводов 0,4 мм) и вторичным прибором КСП-4. При решении ряда задач усложненных процессов прибегают к экспериментально-статистическим методам. Используя при обработке опытных данных принципы регрессионного и корреляционного анализа, удается найти зависимость между переменными и условиями оптимума. Целью исследований является получение математического описания, с помощью которого можно было бы установить основные параметры, которые влияют на полноту реакции выделения водорода. Основными параметрами, влияющими на полноту реакции (X_5), являются: X_1 – температура, X_2 – концентрация щелочи, X_3 – процентное содержание алюминия в сплаве, X_4 – давление в реакторе (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость полноты реакции от температуры, давления, концентрации щелочи и содержания алюминия в сплавах ФСА 25, ФСА 30

№ опыта	Температура реакции, X_1 , °С	Концентрация щелочи, X_2 , %	Содержание алюминия, X_3 , %	Давление в реакторе, X_4 , атм	Полнота реакции, X_5 , %
1	120	13,3	25	10,6	59
2	121	13,3	25	10,7	60
3	123	13,3	25	10,7	61
4	122	13,3	25	10,7	61,5
5	124	13,3	25	10,7	63
6	125	13,3	25	10,7	64
7	126	13,3	25	10,75	64,5
8	133	10	25	11	67
9	130	13,3	25	11	65
10	135	13,3	29,8	9,6	65
11	133	13,3	29,8	9,4	61
12	134	10	29,8	9,2	61
13	92	13,3	29,8	4,4	29
14	90	10	29,8	0,6	27

В данной работе рассмотрены сплавы ферросиликоалюминия (ФСА) следующего химического состава (масс. %): ФСА 25 (Fe - 10, Si - 65, Al - 25); ФСА 30 (Fe - 10.3, Si - 59.9, Al - 29.8). Опыты проведены в кинетическом реакторе ($V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$) при взаимодействии сплавов с водным раствором NaOH от 10 до 13,3 % и температуре реакции от 90 до 137 °С. Давление в реакторе находилось в пределах 0,6 – 11 атм. Полнота реакции оценивалась за время полного периода процесса. Общее число опытов $N = 14$. В кинетических опытных данных наиболее активным из сплавов ферросиликоалюминия является ФСА 25. На рисунке 4 представлен график изменения давления от числа опытов, проведенные в одинаковых условиях.

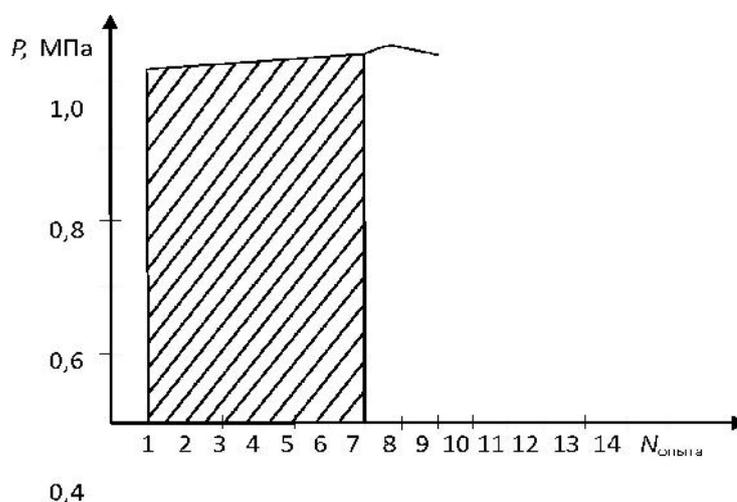


Рис.4. Зависимость изменения давления от количества опытов для сплава ФСА 25 в кинетическом реакторе ($V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$)

Изменение давления в зависимости от N - испытаний подчиняются закону равномерного распределения вероятностей на участке N (1 – 7). Плотность распределения $f(x)$ и функция распределения $F(x)$ связаны соотношением:

$$F'(x) = f(x), \quad (1) \quad f(x) = c, \text{ при } a < x < b,$$

следовательно, $c = \frac{1}{b-a}$; $b - a = \frac{1}{c}$; где $c = 0,076$; $b - a = 13$.

Характер роста давления в кинетическом реакторе имеет вид (рис. 5).

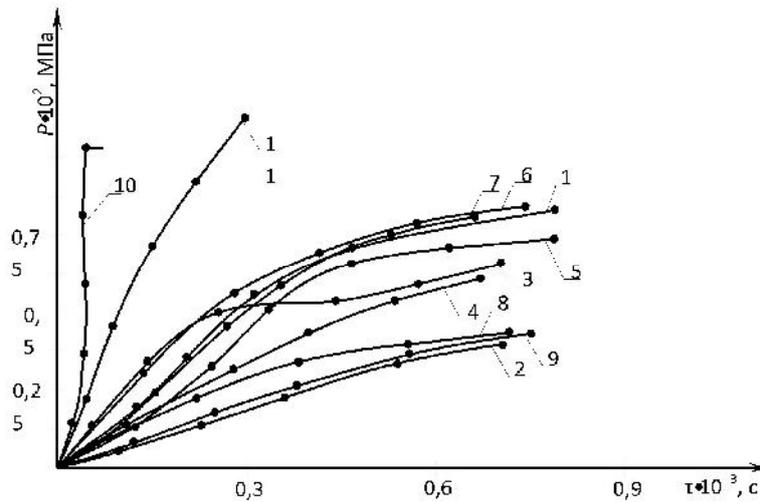


Рис. 5. Характер изменения давления в реакторе ($V = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$) при сплавів із NaOH 13,3%, $m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$: 1 – ФС 90; 2 – ФС 90 Ба4; 3 – ФС 75 Ба1; 4 – ФС75 Ба4; 5 – ФСА 4; 6 – ФСА 15; 7 – ФСА 30; 8 – ФСА 30 Мн1; 9 – ФСА 32; 10 – А-98КаМг; 11 – АВ 86

Из последнего равенства следует, что интервал (α, β) , на котором имеет место равномерное распределение, обязательно конечен. Вероятность того, что случайная величина x примет значение, заключенное в интервале $N(1 - \gamma)$, составляет

$$P(\alpha < x < \beta) = (\beta - \alpha)/(b - a), \quad (2)$$

$$P(\alpha < x < \beta) = 0,46.$$

Математическое ожидание дискретной случайной величины для независимых факторов носит случайный характер. Далее было рассчитано: математическое ожидание квадрата случайной величины; дисперсия и сумма дисперсий. Проверка однородности дисперсий производится по критерию Кохрена, для дисперсии воспроизводимости рассчитывалось значение числа степеней свободы определяется и среднее квадратичное отклонение j -го коэффициента, коэффициенты регрессии и свободные член уравнения регрессии.

Оценка значимости коэффициентов регрессии производится по критерию Стьюдента. После отсева незначимых коэффициентов, для которых t -отношение меньше табулированного, получаем уравнение регрессии в безразмерном виде:

$$X_5 = 5,27 + 0,89X_1 - 0,3X_3. \quad (13)$$

Для проверки адекватности полученного уравнения, определяли остаточную дисперсию и критерий Фишера.

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления. В работе проведен анализ приоритетов водородной энергетики и рассмотрена возможность управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает экспериментальные данные и может служить для управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. Установлено, что влияние изменения концентрации щелочи до 13,3 % и давления на процесс выделения водорода незначительно.

Список литературы: 1. Грицевич И.Г., Кокорин А.О., Луговой О.В., Сафонов Г.В. Развитие энергетики и снижение выбросов парниковых газов // WWF России. 2006. 2. Андреас Люке. Европейский рынок отопительного оборудования – ориентация на высокоэффективные технологии и возобновляемые источники энергии // Энергосбережение. 2007. № 4. С. 57–59. 3. Комолова М.Н. Энергосбережение – решение проблемы изменения климата // Энергосбережение. 2007. № 5. С. 33–39.

Поступила в редколлегию 05.02.11