

*В.Г. Борисенко, канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,
Ю.Ф. Деркач, канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,
К.Р. Умеренкова, канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

(представлено д-ром техн. наук, проф. Кривцовой В.И.)

Рассмотрена возможность получения экологически чистого энергоносителя – водорода из угля (в местах добычи). Указаны меры пожаровзрывобезопасного транспортирования водорода по трубопроводам к районам его использования.

Ключевые слова: уголь, водород, водородная энергетика, трубопроводный транспорт, пожаровзрывобезопасность.

Постановка проблемы. Углубляющийся в течение двух последних десятилетий дефицит органических топлив в сочетании с глобальными экологическими проблемами обусловили огромный интерес к водородной энергетике, в основе которой лежит эффективное производство и применение водорода в качестве экологически чистого энергоносителя.

Роль водорода в техническом прогрессе трудно переоценить. Особенно это наглядно видно на примере последних научно-технических достижений в энергетике, завоевании космоса и материаловедении [1].

Достаточно эффективным способом получения водорода для энергетике является газификация твердых топлив с последующей очисткой промежуточного продукта – синтез-газа [2].

Уголь является основным энергетическим ресурсом Украины, запасы которого не менее 300 млрд. тонн и его добыча может продлиться несколько столетий. Украины располагает также значительными ресурсами бурых углей. Только разведанные запасы составляют ~ 3,5 млрд. тонн [3]. Преимуществом использования их является то, что они находятся в большинстве областей Украины. При использовании бурого и каменного угля наиболее эффективна комплексная переработка этих топлив для производства синтетических жидких продуктов, синтез-газа, генерации электроэнергии.

Поэтому наиболее рационально создавать углеперерабатывающие энергохимические комплексы в местах добычи угля, включающие обогащение угля, получение жидких продуктов, газификацию полукокса и других остатков, извлечение водорода, парогазовую тепловую электростанцию, установки по переработке отходов.

При этом необходимо решать важнейшую проблему безопасной и дешевой доставки водорода в энергодефицитные районы стра-

ны, где он будет использоваться.

Одним из наиболее экономичных методов транспортировки газов является трубопроводный транспорт.

Анализ исследований и публикаций. Опыт использования трубопроводного транспорта водорода уже имеется. Расчеты и экспериментальные испытания [4] существующих систем магистрального транспорта показали техническую возможность их использования для транспортировки и распределения газообразного водорода и его смесей с другими газами при наличии более мощных компрессорных установок, чем используемые для перекачки природного газа.

Смесь водорода с окисью углерода (водяной газ) широко использовалась в Европе и передавалась по трубам с середины прошлого столетия. В Германии на предприятиях “Хемише Верке Хюльс АГ” в Руре с 1938 года транспортируется газообразный водород по подземному трубопроводу в количестве более 10^5 т (в пересчете на условное топливо) в год с чистотой 95% под давлением до 4 МПа общей длиной более 200 км при диаметрах труб от 150 до 300 мм. Различные водородопроводы эксплуатируются в ЮАР, Англии, США.

В США на стендах НАСА для испытаний водородных систем различного назначения, для хранения и распределения водорода применяются сосуды высокого давления и трубопроводы из высокопрочной легированной стали длиной несколько километров, по которым транспортируется водород при давлении до 105 МПа. Относительно короткие трубопроводы для транспорта водорода и смесей водорода с другими газами (длиной в несколько километров) эксплуатируются и во многих других странах [2].

Т.о., актуальные проблемы водородной энергетики могли бы успешно решаться в каждом угольном регионе, а водород транспортировался бы в энергодефицитные районы страны трубопроводами.

Постановка задачи и ее решение. Трубопроводный транспорт газообразного водорода при давлениях до 7–10 МПа может осуществляться с помощью тех же технических средств, что и транспорт природного газа. Естественно, что оптимальное давление, диаметр трубопровода, шаг компрессии, оборудование (компрессоры и др.) для водорода будут иными, чем для природного газа, в некоторых случаях может потребоваться и применение иных материалов. Существующие системы трубопроводного транспорта природного газа также могут быть использованы для транспортировки водорода при относительно невысоком давлении, однако при этом параметры системы не будут оптимальными. При более высоких давлениях, в особенности при транспорте особо чистого водорода, иногда может наблюдаться водородное охрупчивание обычно применяемых материалов, и необходимо применение специальных легированных сталей. Наличие в водороде примесей других газов – кислорода, углеводородов, CO_2 , CO , NO_2 , SO_2 – обычно приводит к ингибированию взаимодействия водород –

металл и защищает материал от охрупчивания [5].

Оценки, исходящие из физико-химических свойств газообразного водорода (плотности, вязкости, теплоты сгорания) показали, что оптимальное давление для его трубопроводного транспорта составляет 14 МПа. Однако в связи с отмеченными выше особенностями взаимодействия водорода с материалом трубопровода представляется более рациональным создание систем крупномасштабного трубопроводного транспорта водорода под давлением не выше 7–7,5 МПа.

Водород не токсичен и не является загрязняющим веществом, то есть экологически безопасен, а основная опасность при обращении с водородом – склонность его к возгоранию и взрыву. Поэтому большое значение приобретает проблема создания системы водородной безопасности. Для транспортировки водорода лучше использовать специально сконструированное оборудование. Поскольку водород является довольно пожаро- и взрывоопасным газом с широкими концентрационными пределами воспламенения и взрываемости, необходимо уделять большое внимание размещению на местности технологического оборудования. Основной задачей при размещении систем является ограничение взаимовлияния оборудования при образовании и воспламенении горючих смесей.

Обычные утечки газа при его распределении вызываются в основном неплотностями в соединениях труб и их незащищенностью. Необходимо также повышенное внимание к герметичности трубопроводов. Возможно применение водорода в смеси с природным газом. Если добавки водорода не превышают одной трети, то существенной переделки распределительной сети не потребуется. Разбавление водорода другими газами является одним из реальных путей снижения его взрывоопасности в системе распределения.

В случае разрыва участка трубопровода, по которому транспортируется водород (1–600 кг/с), выброшенный в окружающую атмосферу водород может детонировать в смеси с воздухом. Вследствие этого на случай аварийного разрыва трубопровода в системе должна быть предусмотрена аппаратура для отсечки подачи водорода с возможно меньшим временем срабатывания.

Помимо взрыва при выбросе водорода опасная ситуация может возникнуть из-за пожара. Инициатором может быть электрическая искра, излучение и другие внешние воздействия. Для того чтобы исключить непосредственное воздействие пламени на окружающие объекты, они должны быть удалены от взрывопожароопасных объектов [6,7].

При размещении оборудования необходимо выдерживать определенные расстояния между отдельными его узлами. При расположении оборудования на местности следует учитывать и основное направление ветра. Несмотря на то, что благодаря низкой излучающей способности водородного пламени близко расположенное оборудование не будет подвергаться серьезной опасности, при неблаго-

приятном ветре пламя может быть отнесено на некоторое расстояние. Поэтому места возможного выброса больших количеств газа должны располагаться на достаточном расстоянии от другого оборудования.

На стадии проектирования пожаровзрывобезопасного технологического и транспортного оборудования для водорода важную роль играет расчет диаметра трубопроводов, объемов для хранения и распределения, гидродинамических характеристик, запорной арматуры, определение оптимального давления. Для корректного выполнения этих расчетов необходима информация о теплофизических свойствах газообразного водорода и его смесей с другими газами.

Расчеты изобарной теплоемкости водорода и водородо-воздушных смесей выполнены с использованием методики определения термодинамических свойств индивидуальных веществ и многокомпонентных смесей в газообразном, жидком и парожидкостном равновесии в широких диапазонах температур и давлений. Методика разработана в ИПМаш НАН Украины и апробирована на решении задач аналогичного типа, что отражено в [8,9]. Она основана на оригинальной статистико-механической схеме – модифицированной термодинамической теории возмущений.

На рис. 1, 2 изображены температурные зависимости изобарной теплоемкости чистого водорода и водородо-воздушной смеси состава 40% H_2 + 60% воздуха (состав воздуха: H_2 =40 мол.%, O_2 =12,6 мол.%, N_2 =47,4мол.%) по трем изобарам 1 – $p=0,1$ МПа; 2 – $p=5$ МПа; 3 – $p=10$ МПа вплоть до температур начала диссоциации H_2 (1700 К). Приведенные результаты расчетов получены с помощью указанной методики.

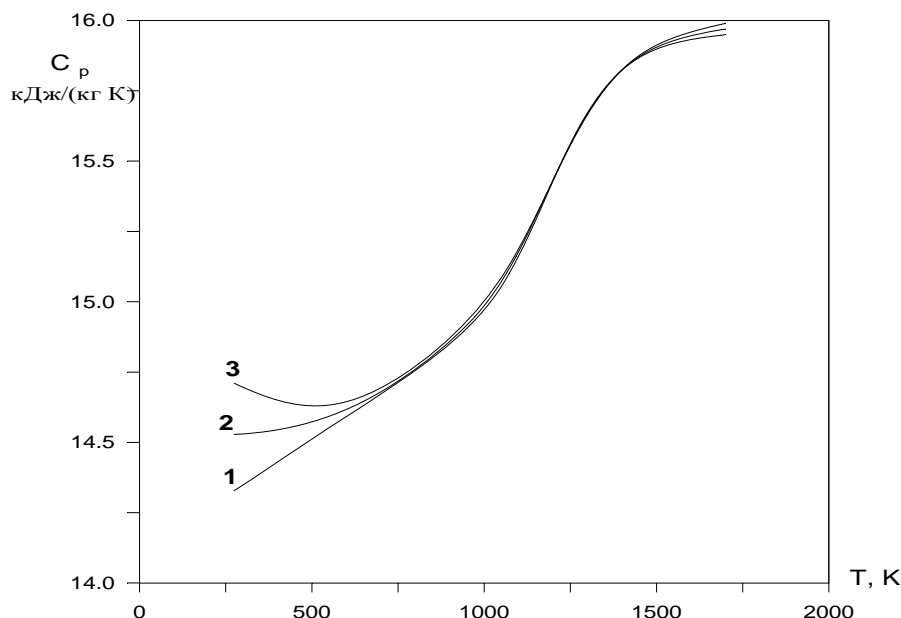


Рис. 1 – Изобарная теплоемкость водорода в зависимости от температуры и давления

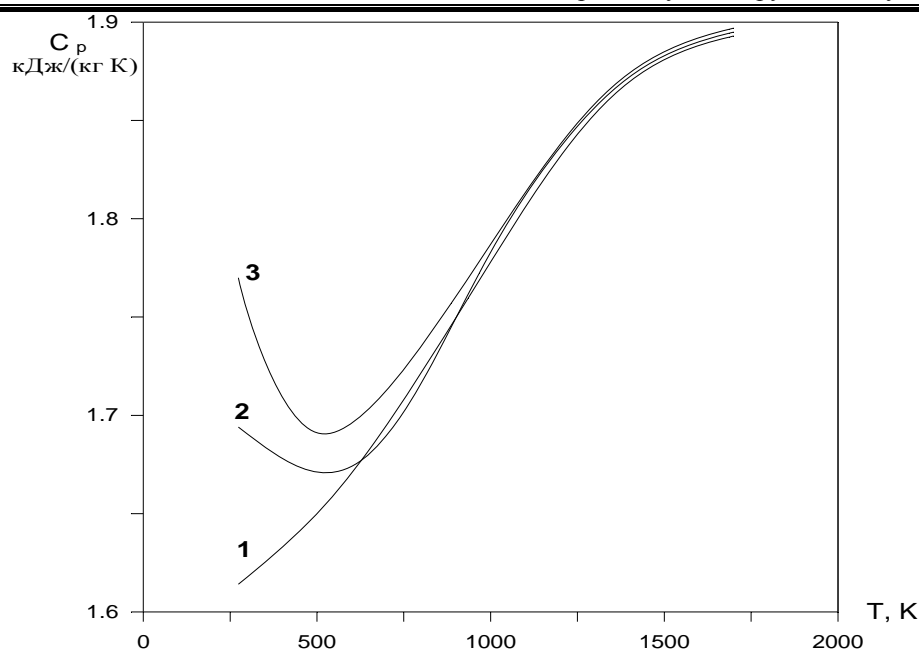


Рис. 2 – Изобарная теплоемкость водородо-воздушной смеси в зависимости от температуры и давления

Выводы. Перспективным направлением развития энергетики в ближайшем будущем является производство и использование универсального энергоносителя – водорода. Отечественными источниками сырья для производства водорода являются значительные ресурсы каменного и бурого углей, запасы которых имеют региональный характер. При переработке углей в районах добычи получаемый водород можно транспортировать к местам потребления трубопроводным транспортом.

Методы обеспечения безопасности работ с водородом направлены на предупреждение образования пожаровзрывоопасных смесей, исключение воспламенения образовавшейся горючей смеси и обеспечение локализации и подавления воспламенившейся смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповалов В.И. Роль водорода в современных и будущих технологиях. // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2009. XI International Conference. Yalta – Crimea – UKRAINE, August 25-31. – 2009. – С. 924-927.

2. Степанов А.В. Экологически чистое производство водорода из угля / А.В. Степанов, Е.В. Полункин, Г.Г. Матусевич // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2009. XI International

Conference. Yalta – Crimea – UKRAINE. August 25-31. – 2009. – С. 1066-1069.

3. Мухачев А.П. Экологические и технические аспекты водородной энергетики // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2007. X International Conference. Sudak – Crimea – UKRAINE. September 22-28. – 2007. – С. 978-981.

4. Смольский Б.М. / Б.М. Смольский, Н.М. Пашина. Водород: основные свойства, производство и хранение. – Минск : Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова АН БССР, 1981. (Препринт №11).

5. Нечаев Ю.С. Актуальные проблемы старения, водородного охрупчивания и стресс-коррозионного поражения сталей и эффективные пути их решения. // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 11 (55). – С.68-77.

6. Коробцов С.В. Безопасность водородной энергетики / С.В. Коробцов, В.Н. Фатеев, Р.О. Самсонов, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 5 (5). – С.47-52.

7. Алексеев О.К. Системы хранения водорода / О.К. Алексеев, В.Н. Фатеев, Р.О. Самсонов, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 5 (11). – С.54-57.

8. Маринин В.С., Умеренкова К.Р. Определение термодинамических характеристик газовых и газоконденсатных смесей /В.С. Маринин, К.Р. Умеренкова // Проблемы чрезвычайных ситуаций.– Харьков: УГЗУ, 2007. – Выпуск 5. – С. 132-139.

9. Маринин В.С. Экологичные двигатели – путь повышения техногенной безопасности окружающей среды /В.С. Маринин, К.Р. Умеренкова // Проблемы чрезвычайных ситуаций.– Харьков: УГЗУ, 2008. – Выпуск 8. – С. 130-135.

nuczu.edu.ua

V.G. Borisenko, Yu.F. Derkach., K.R. Umerenkova

Ризик виникнення пожежевибухонебезпечних ситуацій на об'єктах водневої енергетики

Розглянуто можливість одержання екологічно чистого енергоносія – водню з вугілля (у місцях видобутку). Зазначено міри пожежевибухонебезпечного транспортування водню по трубопроводах до районів його використання.

Ключові слова: вугілля, водень, воднева енергетика, трубопровідний транспорт, пожежевибухонебезпечність.

V.G. Borisenko, Yu.F. Derkach., K.R. Umerenkova

Hazard of occurrence fire-explosion danger of situations on objects of hydrogen energetic

The opportunity of reception of the non-polluting energy carrier - hydrogen from coal (in places of extraction) surveyed. Measures of fire-explosion danger transportation of hydrogen on pipelines to regions of its use are specified.

Key words: coal, hydrogen, hydrogen energetic, pipeline transport, fire-explosion danger.