

УДК 662.764.5

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИНИЛХЛОРИДА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Кудряшова И.А.¹, д.э.н., доцент, заместитель директора по научной
и инновационной работе (kudrina2007@mail.ru)*

*Харламповцев Е.И.¹, к.т.н., доцент, доцент кафедры торгового
дела (kotk123@yandex.ru)*

*Захарова Н.В.², д.э.н., профессор, профессор кафедры «Мировая
экономика» (nat_zakh@mail.ru)*

¹ Кемеровский институт (филиал) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова
(650992, Россия, Кемерово, пр. Кузнецкий, 39)

² Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
(117997, Россия, Москва, Стремянный пер., 36)

Аннотация. Рассмотрены эколого-экономические аспекты производства винилхлорида как базового ресурса при использовании побочных продуктов производства коксохимического предприятия, в том числе несортного кокса, а также коксового газа. Реализация этого проекта возможна на основе карбоновых технологий и технологии конверсии метана, содержащегося в коксовом газе, в ацетилен с использованием водородно-электродугового пиролиза. Предлагается включить в процесс подготовки сырья криогенное разделение коксового газа на метан и водород, необходимый для внедрения данной технологии и производства хлористого водорода как компонента для получения винилхлорида. Рациональное использование ресурсов предприятий г. Кемерово (ПАО «Кокс» и ПАО «Химпром») для выпуска данного продукта позволит сформировать оптимальные цепочки добавленной стоимости. В настоящее время у ПАО «Кокс» есть невостребованные объемы коксового газа, которые могут применяться в качестве сырья для производства винилхлорида. Карбоновые технологии производства поливинилхлорида, как показала международная практика, являются экономически выгодными, если стоимость угольного сырья и отходов коксохимического производства на 40 % ниже, чем стоимость нефти или природного газа. Анализ экономических затрат и стоимости производимого на основе цепочек добавленной стоимости винилхлорида позволил выявить требующие инновационных решений проблемные зоны по снижению затрат и повышению экологичности производства.

Ключевые слова: винилхлорид, поливинилхлорид, карбоновые технологии, метод водородно-электродугового пиролиза, криогенный способ разделения коксового газа, хлористый водород, цепочки добавленной стоимости, экологичность производства.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-11-914-919

Актуальной проблемой современных промышленных регионов России является создание производства продукции с высокой добавленной стоимостью на базе комплексной переработки сырья, что возможно при использовании экологически чистых технологий и кластеризации региональной экономики. Такой подход весьма уместен при формировании и реализации «вытягивающих проектов» в рамках национальной технологической инициативы, направленной на успешное позиционирование России на перспективных потребительских рынках вследствие развития новых технологий, а также совершенствования инфраструктуры и институтов их поддержки. При этом под термином «вытягивающий проект» понимаются не собственно инновационные технологии, а комплексные межотраслевые программы, включающие в себя взаимосвязанные проекты, цель реализации которых – модернизация базовых отраслей промышленности и формирование инновационных секторов экономики [1].

Для металлургической и химической отраслей Кузбасса таким «вытягивающим проектом» может стать производство поливинилхлорида (ПВХ), получаемого на основе формирования оптимальных цепочек добавленной стоимости с химическими предприятиями. Ядром такого производства может стать старейшее предприятие коксохимии города Кемерово – ПАО «Кокс». Базовым сырьем для получения винилхлорида как мономера для производства ПВХ выступают отходы коксохимического производства – несортной кокс, представляющий собой коксовую мелочь размерами 0 – 10 мм, и коксовый газ, являющийся побочным продуктом коксования каменного угля.

В основе технологии производства ацетилена, как сырья для получения винилхлорида, целесообразно с учетом имеющихся сырьевых ресурсов использовать карбоновую технологию, основанную на переработке углерода, входящего в уголь, и его производных или кокс (коксый газ) [2]. Для этого на коксохимическом

предприятию рационально создание двух линий по производству ацетилена:

– на основе плазменной технологии, которая представляет собой взаимодействие в реакторе угольного или коксового порошка с ядром плазменной струи, образующейся при пропускании водорода через электродуговую печь;

– водородно-электродуговым пиролизом на основе технологии HEAP (Hydrogen Electric Arc Pyrolysis) или технологии, разработанной фирмой «Хьюлс» (США) [3].

По данным разработчиков при первом способе превращение содержащегося в угле или коксе углерода в ацетилен достигает 72 %, выход ацетилена составляет 35 – 40 %, а при втором способе выход ацетилена из коксового газа достигает 65 % (объем.) [4]. При этом снижается экологическая нагрузка на окружающую среду, так как полностью утилизируются отходы коксохимического производства и активно используется коксовый газ как для производства продукта, так и в качестве энергоносителя, необходимого для реализации процесса.

Более подробно рассмотрим коксовый газ в качестве источника сырья. На ПАО «Кокс» ежегодный объем выработки коксового газа составляет 1,2 млрд м³. Из этого объема 65 % используется на собственные нужды: обогрев коксовых батарей; производство компонентов для химической промышленности; выработка тепловой энергии для решения технологических задач и других целей [5]. Около 380 млн м³ коксового газа ПАО «Кокс» поставляет другим предприятиям в качестве энергоносителя для котельных установок и газопоршневых двигателей для производства электроэнергии. Около 50 млн м³ коксового газа в настоящее время не востребовано потребителями [5], этот объем газа может быть использован для производства ацетилена. Коксовый газ, получаемый в ПАО «Кокс», содержит 20 – 30 % метана, 55 – 60 % водорода и другие компоненты.

Для использования метода получения ацетилена в водородной плазме в коксовом газе имеются все нужные компоненты, но при этом на предварительном технологическом этапе необходимо использовать криогенные методы разделения смеси. Разделение коксового газа основано на различии в температурах кипения его основных компонентов, которые составляют (при атмосферном давлении): 161,5 °С для метана; 191,5 °С для оксида углерода; 252,8 °С для водорода, а также на применении ступенчатой (фракционированной) конденсации. Разделение газа проходит по методам Линде–Бронна или на базе установки, разработанной компанией Air Liquide (Франция). Метан является высококипящим компонентом, переходящим в жидкую фазу при температурах 180 – 190 °С. Схема, разработанная компанией Air Liquide, проще в конструктивном отношении, более удобна в эксплуатации и имеет за счет использования детандера меньшие энергетичес-

кие затраты. Получаемая метановая фракция содержит 75 % метана [6]. В дальнейшем при криогенном разделении компонентов коксового газа получается водородно-азотная смесь, которая состоит из 75 % водорода и 25 % азота. Такой состав соответствует требуемому для проведения реакции получения ацетилена плазменным методом и использования водорода для получения хлористого водорода, необходимого для производства винилхлорида [7]. Водород частично может быть использован для получения второго компонента, необходимого для производства винилхлорида – хлористого водорода. Применение криогенных установок разделения коксового газа на фракции и технологии водородного электродугового пиролиза позволяет отказаться от использования кислорода для гомогенного пиролиза, что снижает экологическую нагрузку на окружающую среду.

Важным критерием выбора оптимального способа между технологиями производства ацетилена карбидным или карбоновым способом является показатель удельных экономических затрат на производство продукта. При плазмохимическом способе получения ацетилена из угля или кокса выход ацетилена в расчете на сырье равен 35 % [3]. Затраты по готовому продукту (ацетилену) на основное сырье составляют 17,9 %, а затраты на электроэнергию 49 %, при этом расход электроэнергии достигает 11 500 кВт/т, что свидетельствует о высокой энергозатратности данного производства. Таким образом, стоимость электроэнергии является основной статьей затрат и определяет уровень себестоимости.

Оставшаяся доля затрат приходится на зарплату персонала, амортизацию, технологический пар. Этот способ предполагает значительные капиталовложения в создание промышленной установки. Капиталовложения на сооружение плазменной установки производительностью 136 тыс. т/год ацетилена составляют 129,2 млн долл. Аналогичный проект, разработанный в Кузбасском технопарке, оценивается в 50 млн долл. [8]. С учетом стоимости электроэнергии для промышленных предприятий Кузбасса в 2018 г. (4,25 руб/кВт·ч) себестоимость производства ацетилена этим способом составит 3300 руб/т. Генерирующие мощности ПАО «Кокс» позволяют стабилизировать энергетические затраты и себестоимость производства ацетилена.

Достаточно перспективным и более экологически чистым является производство ацетилена из метана, выделяемого из коксового газа. Стоимость криогенной установки для разделения коксового газа на фракции оценивается порядка 1 млн долл. При этом удельные затраты на электроэнергию при криогенном разделении коксового газа с использованием установки с турбодетандером с выделением метана, идущего на производство ацетилена, составляют 0,093 кВт·ч/м³, затраты – 130 кВт·ч/т метана (552,5 руб/т) [9]. Затраты на электроэнергию составляют около 48 % затрат на производство метана методом низкотемпературного

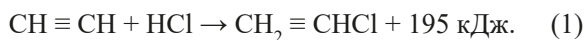
разделения коксового газа, следовательно стоимость получаемого метана – около 1150 руб/т. В сравнении с существующими ценами на рынке, стоимость метана, производимого на предприятии ПАО «Кокс», в 4,5 раза ниже отпускных цен добывающих компаний.

Полученный метан направляется в установку водородного электродугового пиролиза, в которой при взаимодействии с водородной плазмой, имеющей температуру порядка 3000 – 4000 °С, и получаемой пропуском водорода через электродуговую печь, производят ацетилен. Водород для получения плазмы получают из коксового газа методом его криогенного разделения. Затраты на производство водорода будут (при расходе электроэнергии 16 646 кВт·ч/т) 70 750 руб/т. Метан по технологии, разработанной компаниями Hüls или DuPont (США), в смеси с водородом подвергают пиролизу в электрической дуге постоянного тока, вращающейся под действием магнитного поля. Мольное соотношение водорода и метана составляет на входе 4:1. В газообразных продуктах, выходящих из установки, содержится 15,2 % (объем.) ацетилена и 3,0 % (объем.) этилена [10]. По данным компании DuPont, расход электроэнергии равен 6500 кВт·ч/т получаемого ацетилена, выход которого оценивается в 56 % в весовом количестве, степень конверсии метана за один проход 0,55, общая конверсия метана в ацетилен 80 %.

В других источниках, в которых анализируются основные показатели данного метода получения ацетилена, затраты на электроэнергию оценивают в пределах 12 500 – 13 300 кВт·ч/т [11]. Затраты на электроэнергию с учетом данных различных литературных источников получатся порядка 27 630 или 55 250 руб/т. В структуре себестоимости производства ацетилена методами, разработанными компаниями DuPont или Hüls (США), затраты на электроэнергию составляют 72 %, следовательно полная себестоимость получаемого ацетилена будет 38 400 или 76 740 руб/т соответственно.

Полученный ацетилен проходит очистку, которая представляет собой достаточно сложный технологический процесс, требующий аппаратного обеспечения, использования электроэнергии, увеличивающих себестоимость ацетилена на 3 %. Однако в то же самое время в процессе очистки получают побочные продукты (сажа, жидкие углеводороды, этилен и др.), которые могут являться сырьем для производства других видов продукции на коксохимическом предприятии. Комплексная переработка ресурсов – фактор снижения негативного влияния на окружающую среду и решения экологических проблем производства ПВХ, функционирующего на коксохимическом предприятии.

По данным исследований, более 80 % изготавливаемого ацетилена приходится на производство винилхлорида, получаемого гидрохлорированием ацетилена по формуле [12]



Хлористый водород, необходимый для производства винилхлорида, образуется в процессе химической реакции из водорода, получаемого из коксового газа в процессе его криогенного разделения и выделения водорода, и хлора, поступающего из ПАО «Химпром». При этом выход хлористого водорода может составлять от 6 до 25 т/сут. Себестоимость производства хлористого водорода в этом случае составит 51 350 руб/т. Гидрохлорирование ацетилена ведется при соотношении 1,0:1,1 (соответственно ацетилена и хлористого водорода), затраты по сырью на производство 1 т винилхлорида составят 45 200 руб/т, а полная себестоимость производства винилхлорида при использовании данного способа будет составлять 72 000 руб/т при условии сохранения доли стоимости сырья в себестоимости производства винилхлорида на уровне 62 %.

Для анализа и экономической оценки предложенных технологий производства ацетилена на основе технологической интеграции металлургических и химических предприятий, осуществляемой в результате выполнения определенного ряда технологических процессов, оценим эффективность предлагаемых решений через призму цепочек добавленной стоимости. Последние базируются на механизме начисления стоимости в процессе создания конечного продукта, включающего различные технологические стадии производства [13]. Это позволяет на основе формирования оптимальной последовательности этапов получения продукта оценить себестоимость производства и спрогнозировать стоимость конечного продукта. С помощью данного метода возможно определение добавленной стоимости на каждом из этапов получения ацетилена, что позволяет выявить факторы, влияющие на стоимость готового продукта, причины, оказывающие негативное воздействие на показатели эффективности бизнеса, а также разработать мероприятия по снижению затрат. В рассматриваемом случае оптимальная цепочка добавленной стоимости получаемого продукта (винилхлорида) будет выглядеть следующим образом:

- Коксовый газ (650 руб/1000 м³) →
- Очистка коксового газа (850 руб/1000 м³) →
- Разделение коксового газа криогенным методом с выделением метана (1672 руб/1000 м³) →
- Получение ацетилена методом водородного электродугового пиролиза (35 556 руб/1000 м³) →
- Очистка ацетилена от примесей (37 500 руб/1000 м³) →
- Получение винилхлорида (65 520 руб/1000 м³).

Наряду с основной цепочкой, в технологическом процессе формируется вторая цепочка добавленной стоимости, связанная с получением хлористого водо-

рода, необходимого для производства винилхлорида, которая представлена в следующем виде:

- Коксовый газ (650 руб/1000 м³) →
- Очистка коксового газа (850 руб/1000 м³) →
- Разделение коксового газа криогенным методом с получением водорода (6155 руб/1000 м³) →
- Получение хлористого водорода (84 163 руб/1000 м³).

Как видно, наибольшее увеличение стоимости продукции происходит на стадиях получения исходного сырья (ацетилена, хлористого водорода) или готового продукта (винилхлорида). Следовательно, удешевление продукта возможно, главным образом:

- на основе комплексного использования сырья и продуктов, получаемых в фазах очистки или криогенного разделения коксового газа;
- на базе совершенствования технологии получения готового продукта при использовании карбоновой технологии и технологии синтеза метана методом водородного электродугового пиролиза [14].

Применение анализа цепочек создания добавленной стоимости дает возможность определить адекватное участие и вклад каждого из партнеров в этом бизнесе с целью расширения дальнейших перспектив развития производственного комплекса, оценки конкурентных стратегий и повышения эффективности деятельности предприятий. Опыт подобных проектов, реализуемых на основе вертикальной и горизонтальной интеграции, диверсификации бизнеса, показывает, что функционирование замкнутых продуктовых цепочек по производству продукции высоких переделов, где ключевую роль играет звено научно-исследовательских организаций, формирование полного цикла (наука – производство сырьевых ресурсов – переработка сырья в готовую продукцию – инфраструктура сбыта) обеспечивает производителям высокотехнологичной продукции высокий уровень прибыли и дополнительные возможности ее сбыта [15].

Таким образом, представленный способ производства винилхлорида на базе использования сырьевых ресурсов коксохимического предприятия (несортového кокса и коксового газа), побочных продуктов основного производства, может использоваться для крупнотоннажного выпуска ПВХ. Реализация этого проекта возможна на базе карбоновых технологий и технологии конверсии метана, содержащегося в коксовом газе, в ацетилен путем плазмохимического пиролиза. В контексте появившихся в последнее время концепций «национальных вытягивающих проектов» и «национальной технологической инициативы» данный проект целесообразно рассматривать на региональном уровне как «вытягивающий», понимаемый не в узком смысле

как собственно технология, а в широком смысле как комплекс взаимосвязанных проектов, цель реализации которых – модернизация базовых отраслей экономики через технологическое обновление [16 – 18].

Подобные этому «вытягивающие проекты», представляющие новые «точки роста» муниципальной экономики и выступающие новыми драйверами развития, призваны стать своего рода точками притяжения бизнеса. Они разработаны с учетом имеющегося производственно-ресурсного потенциала территории, возможностей вертикальной и горизонтальной интеграции МСП с крупным бизнесом, а также кооперации с близлежащими агломерациями, базируются на использовании механизма цепочек добавленной стоимости и новых моделей пространственного развития экономики [19].

Актуальным вопросом остается решение экологических проблем, так как в традиционных технологиях производства винилхлорида используются катализаторы, негативно воздействующие на окружающую среду и человека [20]. Однако современные научные разработки позволили создать катализаторы, снижающие это воздействие, что способствует развитию более экологически чистых производств. Анализ технологий, используемых для производства продукции, сырьевых ресурсов предприятия, основным из которых является коксовый газ, а также анализ экономических затрат показал, что получаемая продукция может быть конкурентоспособной.

Выводы. Комплексное использование сырьевых ресурсов, инновационных технологий, обеспечивающих внедрение передовых исследований и разработок и направленных на модернизацию экономики предприятий черной металлургии, улучшение экологической обстановки, создает предпосылки для формирования «вытягивающих проектов», позволяющих прорывным образом «вытянуть» за собой развитие экономики региона. Таким проектом может стать создание производства винилхлорида на базе кооперационной цепочки, включающей коксохимическое предприятие ПАО «Кокс» и химические предприятия города Кемерово.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дежина И. Новые технологические приоритеты: переоценка возможностей // Экономическое развитие России. 2015. № 6. С. 58 – 60.
2. Ацетилен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hxc.mustr.ru/common/-16/Module_2/14_Acetylene/2015-14_Acetylene.pdf (Дата обращения 10.09.18 г.).
3. Мюллер Р. Применение электродуговых плазменных процессов в химической промышленности // Elektrowarme International. 1987. No. 45. В. 3/4 Juni/August.
4. Kudryashova I., Zakharova N., Kharlampenkov E. Innovative production of polyvinylchloride on the basis of vertical integration of business and cluster organisation // E3S Web of Conferences. 2017.
5. Хондрюков П.А., Сливной В.Н. Перспективы использования коксового газа на ОАО «Кемеровский механический завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/>

- wpcontent/Events/Conference/energ/2014/energ/pages/Articles/1/Hondrjukov.pdf (Дата обращения 10.09.18 г.).
6. Scott R.B., Denton W.H., Nicholls C.M. *Technology and uses of liquid hydrogen*. – New York, Macmillan Co. 1964. P. 285 – 358.
 7. Баррон Р.Ф. Криогенные системы / Пер. с англ. – 2-е изд. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 408 с.
 8. Yun Yang. Direct non-oxidative methane conversion by non-thermal plasma: experimental study // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2003. Vol. 23. No. 2. P. 283 – 296.
 9. Ануров С.А. Криогенные технологии разделения газов. – М.: ООО «АР-Консалт», 2017. – 233 с.
 10. Полак Л.С. Кинетика и термодинамика реакций в низкотемпературной плазме. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nglib.ru/annotation.jsp?book=010721> (Дата обращения 10.09.18 г.).
 11. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id183578p2.html> (Дата обращения 10.09.18 г.).
 12. Попов Ю.В., Корчагина Т.К., Панчехин В.А. Химические реакторы (теория химических процессов и расчет реакторов): Учебное пособие. – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2013. – 240 с.
 13. Sturgeon T.J. How do we define value chains and production networks? // *IDS Bulletin*. 2001. Vol. 32. No. 3. P. 9 – 18.
 14. Value Creation. Strategies for the Chemical Industry, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. / F. Budde, U.H. Felcht etc. KGaA, Weinheim, 2006. – 467 p.
 15. Kaplinsky R. The value of value chains: spreading the gains from globalization // *IDS Bulletin*. 2001. Vol. 32. No. 3. IDS July. P. 1 – 12.
 16. Национальная технологическая инициатива: «неудобные» вопросы и честные ответы: Материалы форсайт-флота, 12–16 мая 2015 г. АСИ, РВК, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/T9Craup8PsBQU6hdVA10SsDlu2XvCvYG.pdf> (Дата обращения 10.09.18 г.).
 17. Дежина И., Пономарев А. Перспективные производственные технологии: новые акценты в развитии промышленности // *Форсайт*. 2014. Т. 8. № 2. С. 16 – 29.
 18. Клещевский Ю.Н., Кудряшова И.А., Харлампенков Е.И., Захарова Н.В. Производство поливинилхлорида на основе вертикальной интеграции предприятий черной металлургии // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2017. № 12. С. 992 – 997.
 19. Kudryashova I., Kharlampenkov E., Kolevatova A., Zakharova N. Ecological-and-economic evaluation of vinyl chloride production in mineral resource clusters // *Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences*, 2018. [Electronic resource]. Available at URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/16/e3sconf_iims2018_02025/e3sconf_iims2018_02025.html/ (Accessed 10.09.18 г.).
 20. Kopein V., Filimonova E., Kudryashova I., Demidenko K. Energy factor of coal mining region sustainable development // *E3S Web of Conferences Electronic edition*. 2018. [Electronic resource]. Available at URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184104036> (Accessed 10.09.18 г.).

Поступила 18 сентября 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 11, pp. 914–919.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF VINYL CHLORIDE PRODUCTION BASED ON THE USE OF RAW MATERIALS OF COKING PLANT

I.A. Kudryashova¹, E.A. Kharlampenkov¹, N.V. Zakharova²

REFERENCES

¹ Kemerovo branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Kemerovo, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Abstract. Ecological and economic aspects of vinyl chloride production are considered as the main resource for production of polyvinyl chloride using by-products of coking enterprise, including low-grade coke, as well as coke gas. Implementation of this project is possible based on carbon technologies and technology of conversion of methane contained in coke gas into acetylene using hydrogen-arc pyrolysis. It is proposed to include cryogenic separation of coke gas into methane and hydrogen, needed for implementation of this technology and production of hydrogen chloride as a component for production of vinyl chloride in process of raw material preparation. Rational use of resources of two Kemerovo enterprises - “Cock” PJSC and “Khimprom” PJSC for this product manufacturing allows optimization of added value chain. Currently, “Coke” PJSC has inoperative volumes of coke gas, which can be used as a raw material for vinyl chloride production. Carbon technology of PVC production, as international practice has shown, is economically advantageous if cost of coal raw materials and waste coke production is 40% lower than cost of oil or natural gas. Analysis of economic expenditures and cost of vinyl chloride production based on added value chains have identified the most “narrow” elements of technological process, requiring innovative solutions to reduce costs and environmental impact of production.

Keywords: vinyl chloride, polyvinyl chloride, carbon technology, hydrogen-arc pyrolysis method, cryogenic method of separating coke gas, hydrogen chloride, value chain, environmental impact of production.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-11-914-919

1. Dezhina I. New priorities in technology: evaluation of opportunities. *Economicheskoe razvitie Rossii*. 2015, no. 6, pp. 58–60. (In Russ.).
2. *Atsetilen* [Atsetilene]. Available at URL: http://hxc.muctr.ru/common/-16/Module_2/14_Acetylene/2015-14_Acetylene.pdf. (Accessed 10.09.18). (In Russ.).
3. Müller R. Applications of electric arc plasma processes in the chemical industry. *Elektrowarme International*. 1987, 45, B 3/4 Juni/August. (In Germ.).
4. Kudryashova I., Zakharov, N., Kharlampenkov E. Innovative production of polyvinylchloride on the basis of vertical integration of business and cluster organisation. *E3S Web of Conferences*, 2017.
5. Khondryukov P.A., Slivnoi V.N. *Perspektivy ispol'zovaniya koksovogo gaza na OAO “Kemerovskii mekhanicheskii zavod”* [Prospects for use of coke gas at Kemerovo Mechanical Plant OJSC]. Available at URL <http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/energ/2014/energ/pages/Articles/1/Hondrjukov.pdf> (Accessed 10.09.18). (In Russ.).
6. Scott R.B., Denton W.H., Nicholls C.M. *Technology and uses of liquid hydrogen*. New York: Macmillan Co, 1964, pp. 285–358.
7. Barron R.F. *Cryogenic systems*. Oxford University Press, 2 edition, 1985, 528 p. (Russ.ed.: Barron R.F. *Kriogennyye sistemy*. Moscow: Energoatomizdat, 1989, 408 p.).
8. Yun Yang. Direct non-oxidative methane conversion by non-thermal plasma: experimental study. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2003, vol. 23, no. 2, pp. 283–296.
9. Anurov S.A. *Kriogennyye tekhnologii razdeleniya gazov* [Technologies of cryogenic gas separation]. Moscow: ООО: ArConsult, 2017, 233 p. (In Russ.).

10. Polak L.S. *Kinetika i termodinamika reaktsii v nizkotemperaturnoi plazme* [Kinetics and thermodynamics of reactions in low-temperature plasma]. Available at URL: <http://nglib.ru/annotation.jsp?book=010721>. (Accessed 10.09.18). (In Russ.).
11. *Bol'shaya Entsiklopediya nefi i Gaza* [Large encyclopedia of oil and gas] Available at URL: <http://www.ngpedia.ru/>. (Accessed 10.09.18). (In Russ.).
12. Popov Yu.V., Korchagina T.K., Panchekhin V.A. *Khimicheskie reaktory (teoriya khimicheskikh protsessov i raschet reaktorov): uchebnoe posobie* [Chemical reactors (theory of chemical processes and calculation of reactors) : Tutorial]. Volgograd: VolgGTU, 2013, 240 p. (In Russ.).
13. Sturgeon T.J. How do we define value chains and production networks? *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, pp. 9–18.
14. *Value creation. Strategies for the Chemical Industry*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Budde F., Felcht U.H., etc. eds. KGaA, Weinheim. 2006, 467 p.
15. Kaplinsky R. The value of value chains: spreading the gains from globalization. *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, IDS July.
16. National technological initiative: “uncomfortable” questions and honest answers: Materials of the foresight fleet, 12-16 may 2015. *ASI. RVK. The Foundation for Assistance to the Development of Small Enterprises in the Scientific and Technical Field*. Available at URL: <http://static.government.ru/media/files/T9Crayp8Ps-BQU6hdVA10SsDlu2XvCvYG.pdf>. (In Russ.).
17. Dezhina I., Ponomarev A. Advanced manufacturing: new emphasis in industrial development. *Foresight Russia*. 2014, vol. 8, no. 2, pp. 16–29. (In Russ.).
18. Kleshchevskii Y.N., Kudryashova I.A., Kharlampenkov E.I., Zakharova N.V. Production of polyvinylchloride within vertical integration of enterprises in ferrous metallurgy. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017, vol. 60, no. 12, pp. 992–997. (In Russ.).
19. Kudryashova I., Kharlampenkov E., Kolevatova A., Zakharova N. Ecological-and-economic evaluation of vinyl chloride production in mineral resource clusters. *Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences*, 2018. Available at URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/16/e3sconf_iims2018_02025/e3sconf_iims2018_02025.html/ (Accessed 10.09.18).
20. Kopein V., Filimonova E., Kudryashova I., Demidenko K. Energy factor of coal mining region sustainable development. In: *E3S Web of Conferences Electronic edition*. 2018. Available at URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184104036>. (Accessed 10.09.18).

Information about the authors:

I.A. Kudryashova, Dr. Sci. (Economics), Assist. Professor, Deputy Director for Research and Innovations (kudrina2007@mail.ru)

E.I. Kharlampenkov, Cand.Sci (Eng), Assist. Professor of the Chair of Trade (kotk123@yandex.ru)

N.V. Zakharova, Dr. Sci.(Economics), Professor of the Chair of World Economy (nat_zakh@mail.ru)

Received September 18, 2018