

ЭКОЛОГИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

DOI: 10.15593/2409-5125/2015.03.03

УДК 620.9:547.2

А.В. Гришкова, А.С. Иванов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАЛЬНЕГО ТРАНСПОРТА ТЕПЛОТЫ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Проведен анализ технологии дальнего транспорта тепловой энергии применительно к использованию тепловых отходов крупных промышленных объектов. Основной технологией передачи тепловой энергии является транспорт энергии в химически связанном состоянии. Вторичные тепловые ресурсы промышленного предприятия позволяют обеспечить подвод теплоты для проведения реакции конверсии природного газа. Полученная в результате конверсии смесь водорода, водяного пара и оксидов углерода используется в качестве источника тепловой энергии в месте расположения потребителей теплоты. Произведена оценка наличия и возможности использования современного оборудования для процессов конверсии газа. Объектом теплоснабжения служит система централизованного теплоснабжения населенного пункта в климатических условиях Пермского края, удаленного от промышленного объекта, имеющего значительное количество тепловых отходов. Разработана схема системы теплоснабжения жилого микрорайона, определены тепловые нагрузки потребителей, подобрано основное оборудование и произведена ориентировочная оценка стоимости централизованной системы теплоснабжения с дальним источником энергии. Сделан вывод о необходимости проведения дальнейших расчетов подобных систем для реальных условий и режимов их работы с учетом экологической эффективности разрабатываемых вариантов систем.

Ключевые слова: дальний транспорт тепловой энергии, конверсия газа, централизованное теплоснабжение, вторичные тепловые отходы.

Старение оборудования источников тепловой энергии и существующих централизованных систем теплоснабжения, а также увеличение тепловых потерь магистральными трубопроводами тепловых сетей привело к резкому росту децентрализации теплоснабжения в крупных городах РФ. Однако общеизвестно, что наиболее эффективное использование углеводородного топлива осуществляется при использовании когенерации на источниках, а следовательно, интерес к решению основных проблем централизованного теплоснабжения становится все более и более актуальным. В настоящее время только около 30 % потребления тепловой энергии в промышленности и ЖКХ обеспечивается от ТЭЦ, остальное – за счет выработки теплоты на котельных. Для повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в системах централизованного теплоснабжения используется современная тепловая изоляция, вводится регулируемый электропривод, современное тепловое оборудование и т.п. Но к значительному эффекту все эти мероприятия не приводят. На сегодняшний день требуется новый подход к созданию схем теплоснабжения, позволяющий учитывать особенности региона, наличие крупных промышленных объектов с тепловыми отходами производства, характеристики потребителей ресурсов и режимы отпуска тепловой энергии [14, 15].

Одним из путей повышения эффективности теплоснабжения является возможность использования энергии от источников, находящихся на большом расстоянии от основных потребителей тепловой энергии. Такими источниками могут быть ГРЭС и АЭС. Московским институтом ВНИПИэнергопром под руководством Е.Я. Соколова в 1980-х гг. исследовались различные схемы и температурные графики передачи теплоты на расстояние до 100 км [1, 2, 12, 13]. Экономическая эффективность транспорта тепловой энергии в виде горячей воды при двухтрубной системе с учетом возможности повышения температуры воды до 180–200 °С составила 50 км, при однотрубной системе – до 70 км.

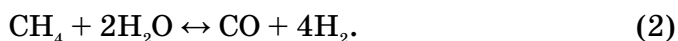
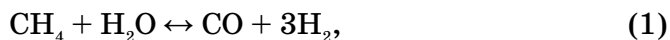
В последние годы в области дальнего транспорта теплоты произошли большие изменения, однако оценка целесообразности внедрения таких схем осталась на прежнем уровне. Кроме того, до сих пор открытым остается вопрос утилизационного использо-

вания тепловых отходов и попутного газа на крупных промышленных объектах, таких, например, как предприятия по переработке нефтепродуктов [3, 14]. Поэтому возникает необходимость рассмотрения варианта схемы централизованного теплоснабжения населенного пункта с использованием дальнего транспорта теплоты. Из основных схем дальнего транспорта особый интерес представляют технологии передачи тепловой энергии в химически связанном состоянии, в частности схема с использованием процесса конверсии метана. Такая схема позволяет избежать потерь теплоты трубопроводами при транспортировке энергии на расстояние более 100 км. В связи с этим было принято решение о проведении оценки возможного применения схемы конверсии газа в реальных климатических условиях Пермского края.

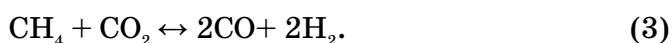
Технология конверсии [4, 5] газа разделяется на 2 стадии: теплоаккумулирующую и теплоиспользующую.

На первой стадии основным процессом является риформинг (рис. 1). В ходе парового риформинга углеводороды реагируют с паром с образованием смеси водорода и окисей углерода. Эта реакция происходит в печи парового риформинга в литых реакционных трубах, которые наполнены катализатором (рис. 2). Для конверсии метана лучшим катализатором считается никелевый. Материалом катализатора являются окислы никеля. Собственно же ускорителем реакции является металлический никель. Поэтому перед началом конверсии катализатор восстанавливается газом, содержащим водород при температуре 300–400 °С в течение 2–4 ч. Если водород отсутствует, катализатор восстанавливается рабочей смесью метана и водяного пара в присутствии кислорода при 750–850 °С.

Протекающие в реакционных трубах реакции имеют выраженный эндотермический характер и требуют подачи тепловой энергии [3, 4]:



Полученный диоксид углерода взаимодействует с метаном:



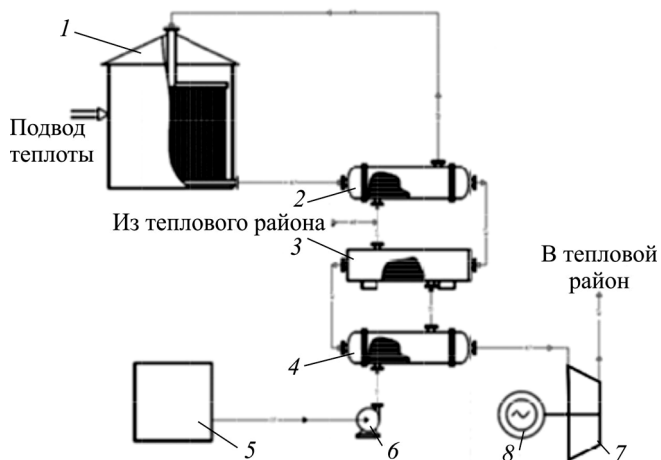


Рис. 1. Схема риформинга: 1 – реактор конверсионный; 2 – рекуперативный газо-газовый теплообменник; 3 – котел низкого давления; 4 – газовойодной рекуперативный подогреватель питательной воды; 5 – химводоочистка; 6 – питательный насос; 7 – газовый компрессор; 8 – электропривод компрессора

Для этой эндотермической реакции и для подогрева смеси сырья и пара используются два ряда горелок, которые располагаются в потолке печи парового риформинга коробчатой формы. Это обеспечивает оптимальный, равномерный профиль температур по всей длине стенок труб.

Теплоаккумулирующая стадия проводится при температуре 800–900 °С в присутствии катализатора. Эффективность использования процесса конверсии метана повышается при увеличении давления до 20 атм и использовании соотношения пар/газ 4:1. После реакции парового риформинга происходит охлаждение смеси полученных газов (H_2 , CO , CO_2 , H_2O) [6] до температуры окружающей среды. Процесс происходит в теплообменни-

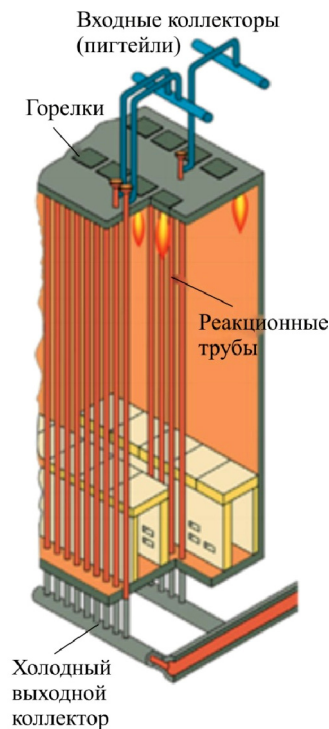


Рис. 2. Печь парового риформинга

тируется по газопроводу к потребителям газа. На теплоиспользующей стадии выделяется тепло высокого потенциала (более 500°C), которое позволит отказаться от районных котельных и заменить энергетические котлы на ТЭЦ [9]. Следовательно, будут сокращены выбросы оксидов азота в атмосферу городской застройки, уменьшится тепловое загрязнение города. При этом город получает тепловую энергию, природный газ и чистую воду.

При объеме обратного метана на входе в установку $800 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ (н.м^3 – нормальный метр кубический) объем конвертированного газа на выходе из установки составляет $3500 \text{ н.м}^3/\text{ч}$; теплотворная способность конвертированного газа – $0,592 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{н.м}^3$. Теплотворная способность конвертированного газа ниже аналогичного показателя исходного метана, однако количество получаемого газа больше количества метана более чем в 3 раза [8].

Для детальной разработки проекта дальнего транспорта теплоты был выбран поселок городского типа Звездный, расположенный на территории Пермского края [12]. В поселке преимущественно располагаются жилые дома высотой два, три и пять этажей, имеется комплекс административно-бытовых, общественных сооружений: детские сады, больница, школы. Всего 84 потребителя (рис. 4). Общая тепловая нагрузка поселка составила $19\,012,7 \text{ кВт}$. Источником энергии является удаленный уникальный промышленный объект нефтепереработки с большим количеством тепловых отходов, выделяющихся в технологическом процессе, включая попутный газ.

Теплоаккумулирующая часть источника тепловой энергии находится в 40 км, а теплоиспользующая – в 1,5 км от поселка Звездный. Для источника подобрано основное генерирующее оборудование. Для теплоаккумулирующей части – печь парового риформинга коробчатой формы с реакционными трубами в количестве 500 штук производства компании Uhde. Масса никелевого катализатора 28,5 т. Подогрев осуществляется до 850°C . Компрессор газовый мощностью 8 МВт серии ГКС произведен Челябинским заводом промышленного оборудования. Кроме того, теплоаккумулирующая часть источника включает в себя рекуперативный газовый теплообменник-охладитель технологического газа фирмы Uhde, котел низкого давления с тонкостенными

трубками, насос питательной воды производительностью $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ типа ПЭ. Общая стоимость оборудования составила около 125 млн руб.

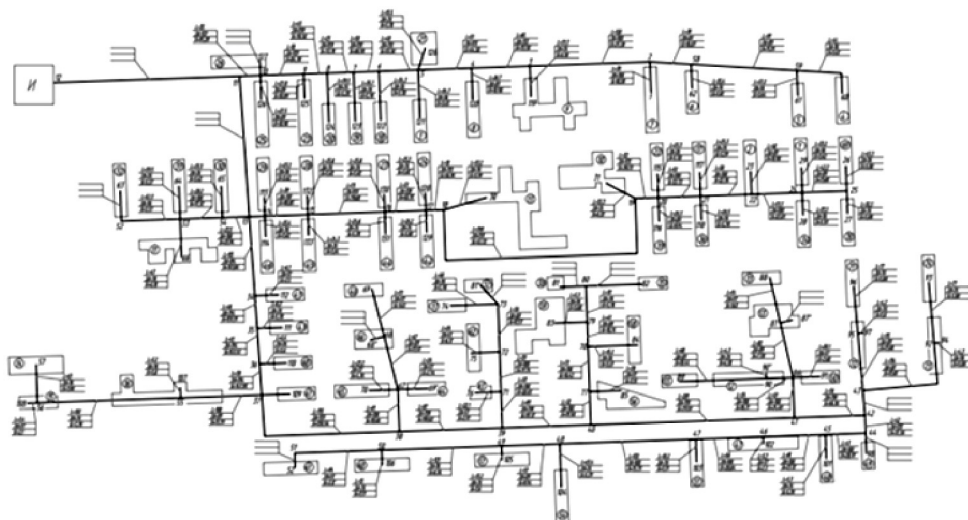


Рис. 4. Схема тепловой сети поселка

Оборудование для теплоиспользующей части источника включает в себя: цилиндрический метанатор фирмы KONIK-TECH с никель-алюминиевым катализатором (количество катализатора 45 т) [11], котел повышенного давления, теплофикационную паровую турбину; электрогенератор, теплофикационный подогреватель, газовый подогреватель сетевой воды; водоотделитель; питательный насос. Все вспомогательное оборудование отечественного производства. Ориентировочная стоимость – 150 млн руб.

Для получения необходимой для оценки технического решения проектной информации на основании плана застройки были предварительно выполнены гидравлические расчеты тепловой сети и разработаны гидравлические режимы ее работы. Прокладка трубопроводов тепловой сети принята подземной бесканальной с предварительно нанесенной промышленной тепловой изоляцией. Потребители тепловой энергии присоединяются к тепловым сетям через индивидуальные тепловые пункты (ИТП), где осуществляется приготовление воды на бытовые нужды и дальнейшее распределение сетевой воды по магистральным трубопроводам систем отопления к стоякам. Стоимость

автоматизированных ИТП в стоимости системы теплоснабжения не учитывалась, так же как не производился расчет альтернативного варианта стоимости децентрализованных систем с автономным генерирующим оборудованием. В первом приближении стоимость ИТП и автономной системы теплоснабжения можно считать близкими по стоимости. При дальнейших разработках подобных систем это допущение необходимо подробно оценить.

В тепловой сети применяется центральное качественное регулирование отпуска теплоты путем изменения температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха по графику 130–70 °С. Центральное регулирование дополняется местным в автоматизированных ИТП, установленных для каждого абонента сети. Расчетный расход теплоносителя составил 424,20 т/ч.

Для оценки прокладки сети централизованного теплоснабжения и газовых сетей от источника конверсионного газа выполнен расчет сметной стоимости прокладки трубопроводов, результаты которого приведены в таблице.

Расчет стоимостной прокладки трубопроводов

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Количество	Стоимость единицы, руб.	Общая стоимость, млн руб.
<i>Раздел 1. Сооружение тепловой сети</i>					
1	Надземная прокладка трубопроводов в ППУ изоляции 1,6 МПа, температуре 150 °С	1 км	52,5	1 109 313,6	58,239
2	Установка П-образных компенсаторов	1 шт.	312	6067,85	1,893
3	Прямые затраты по смете в ценах 2001 г.				60,132
4	Прямые затраты по смете с учетом коэффициентов				319,248
5	Накладные расходы				15,063
6	Сметная прибыль				9,167
7	Итого по разделу 1				343,477
<i>Раздел 2. Газопровод из полиэтиленовых трубопроводов</i>					
1	Укладка газопроводов из одностенных полиэтиленовых труб в траншею, диаметр газопровода до 280 мм	100 м	400	153,94	0,062

Окончание таблицы

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Количество	Стоимость единицы, руб.	Общая стоимость, млн руб.
2	Трубы напорные из полиэтилена низкого давления среднего типа, наружный диаметр 280 мм	10 м	4080	4445	18,136
3	Укладка газопроводов из одностенных полиэтиленовых труб в траншею, диаметр газопровода до 225 мм	100 м	400	28 861,82	11,545
4	Трубы напорные из полиэтилена низкого давления среднего типа, наружный диаметр 225 мм	10 м	4080	2816	11,489
5	Трубы напорные из полиэтилена низкого давления среднего типа, наружный диаметр 160 мм	10 м	4080	1317	5,373
6	Прямые затраты по смете в ценах 2001 г.				23,626
7	Прямые затраты по смете с учетом коэффициентов				121,537
8	Накладные расходы				0,413
9	Сметная прибыль				0,251
10	Всего по смете с НДС по разд. 2				144,197
11	Всего по разделам 1,2				487,675

Ориентировочная стоимость новой централизованной системы теплоснабжения составит в ценах 2015 г. около 770 млн руб.

Таким образом, говорить об экономической эффективности рассматриваемого варианта теплоснабжения не приходится, и дальний транспорт тепловой энергии пока нельзя сопоставлять с традиционной схемой теплоснабжения от ТЭЦ и котельных. Но также нельзя отрицать необходимость проведения тщательно проработанных проектных работ в каждом конкретном случае при наличии в регионе потенциальных источников с большим количеством вторичных энергоресурсов. Особенно важна детальная проработка вопросов качества и состава тепловых отходов промышленных объектов. В современных условиях нельзя не

учитывать вопрос экологической эффективности принимаемых технических решений, при этом дальний транспорт энергии от крупных источников тепловых отходов в скором времени может оказаться востребованным.

Библиографический список

1. Шлапаков В.И. Транспорт тепла от АЭС – требование времени, но сегодня это дитя без няни [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. – 2011. – № 2 (126). – URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2834.
2. Пат. 1599624 РФ. Способ дальнего транспорта теплоты / Б.Н. Громов, Я.А. Ковыпянский, С.А. Михайлова, И.А. Смирнов, В.И. Старостенко, Н.Н. Старостенко [и др.]; заявл. 08.09.87; опубл. 15.10.90. Бюл. № 38(71).
3. Коржубаев А.Г., Ламерт Д.А., Эдер Л.В. Проблемы и перспективы эффективного использования попутного нефтяного газа в России // Бурение и нефть. – 2012. – № 4. – С. 5–10.
4. Термодинамика паровой конверсии метана / Р.А. Махмутов, Р.Г. Хасанов, Б.С. Жирнов, Ф.Р. Муртазин // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17, № 4. – С. 137–139.
5. Крылов О.В. Углекислотная конверсия метана в синтез-газ // Российский химический журнал. – 2000. – Т. 2. – С. 19–33.
6. Сосна М.Х., Энтин Б.М., Лейтес И.Л. Номограммы для определения состава газа конверсии метана // Химическая промышленность. – 1989. – № 7. – С. 59–63.
7. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: справ. / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Л.Н. Смирнова; под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. – М.: Химия, 1989. – 671 с.
8. Арутюнов В.С., Крылов О.В. Окислительные превращения метана. – М.: Наука, 1998. – 350 с.
9. Голомолзин А.Н. Многофакторное исследование перспектив развития систем дальнего теплоснабжения на базе транспорта теплоты в химически связанном состоянии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.0. – Иркутск, 1992. – 18 с.
10. Корякин Ю.И. Дальнее атомное теплоснабжение – вторая главная задача ядерной энергетики России XXI века? [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 7(23). – URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1870.
11. Голосман Е.З., Ефремов В.Н. Промышленные катализаторы гидрирования оксидов углерода // Катализ в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 36–55.
12. Егоров А.Ю. Схемы теплоснабжения городов: новый технологический уровень разработки [Электронный ресурс] // Экологические системы. – 2010. – № 2. – URL: http://esco.co.ua/journal/2010_2/art026.htm.
13. Матченко С.А. Схемы теплоснабжения поселений: новая стратегия развития теплоснабжения или очередная бессмысленная компания? // Энергосовет. – 2013. – № 4(29). – С. 28–35.

14. Как потушить факелы на российских нефтепромыслах: институциональный анализ условий комплексного использования углеводородов (на примере попутного нефтяного газа) / В.А. Крюков, В.Ю. Силкин, А.Н. Токарев, В.В. Шмат; Ин-т ИЭиОПП СО РАН. – Новосибирск, 2008. – 340 с.

15. Сухарев О.С., Стрижакова Е.Н. Индустриальная политика и развитие промышленных систем // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2014. – № 15(252). – С. 2–21.

References

1. Shlapakov V.I. Transport tepla ot AES – trebovanie vremeni, no segodnya eto ditya bez nyani [Heat transport from nuclear power plants is time requirement, but today it is child without a nanny]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2011, no. 2(126), available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2834.

2. Gromov B.N., Kovilyanskii Y.A., Mihailova S.A., Smirnov I.A., Starostenko V.I., Starostenko N.N. [et al.]. Sposob dalnego transporta teploty [Method of long-distance heat transportation]. Patent No. 1599624 RU. 1990.

3. Korzhubaev A.G., Lamert D.A., Eder L.V. Problemi i perspektivy effektivnogo ispolzovaniya poputnogo neftyanogo gaza v Rossii [Problems and prospects of effective associated petroleum gas using in Russia]. *Burenie i nef't*, 2012, no. 4, pp. 5–10.

4. Makhmutov R.A., Khasanov R.G., Zhirnov B.S., Murtazin F.R. Termodinamika parovoj konversii metana [Thermodynamics of steam methane reforming]. *Bashkirskij khimicheskij zhurnal*, 2010, vol. 17, no. 4, pp. 137–139.

5. Krylov O.V. Uglekislotnaya konversiya metana v sintez-gaz [Carbon dioxide conversion of methane to synthesis gas]. *Rossiiskij khimicheskij zhurnal*, 2000, vol. 2, pp. 19–33.

6. Sosna M.H., Entin B.M., Leites I.L. Nomogrammy dlya opredeleniya sostava gaza konversii metana [Nonograms for determination of methane conversion gas composition]. *Khimicheskaya promishlennost*, 1989, no. 7, p. 59–63.

7. Gamburg D.Uy., Semenov V.P., Smirnova L.N. Vodorod. Svoystva, poluchenie, hranenie, transportirovanie, primenenie [Hydrogen. Properties, production, storage, transportation, application]. Moscow: Khimiya, 1989. 671 p.

8. Arutyunov V.S., Krylov O.V. Okislitelnye prevrashcheniya metana [Oxidative conversion of methane]. Moscow: Nauka, 1998. 350 p.

9. Golomolzin A.N. Mnogofaktornoe issledovanie perspektiv razvitiya system dalnego teplosnabzheniya na baze transporta teploty v khimicheskii svyazannom sostoyanii [A multifactorial study of long heat supply systems prospects development on the basis of heat transport in a chemically bound state]. Irkutsk, 1992. 18 p.

10. Koryakin Yu.I. Dalnee atomnoe teplosnabzhenie – vtoraya glavnaya zadacha yadernoj energetiki Rossii XXI veka? [Far nuclear heating is the second main task of nuclear energy of Russia in XXI century?]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2002, no. 07 (23), available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1870.

11. Golosman E.Z., Efremov V.N. Promyshlennye katalizatory gidrirovaniya oksidov ugleroda [Industrial catalysts for carbon oxides hydrogenation]. *Kataliz v promyshlennosti*, 2012, no. 5, pp. 36–55.

12. Egorov A.Uy. Skhemy teplosnabzheniya gorodov: novyj tekhnologicheskij uroven razrabotki [Scheme of cities heat supply: a new technological level of development]. *Ekologicheskie sistemy*, 2010, no. 2, available at: http://esco.co.ua/journal/2010_2/art026.htm.

13. Matchenko S.A. Skhemy teplosnabzheniya poselenii: novaya strategiya razvitiya teplosnabzheniya ili ocherednaya bessmyslennaya kompaniya? [District heating settlements schemes: a new strategy of heat supply development or another useless campaign?]. *Energosovet*, 2013, no. 4 (29), pp. 28–35.

14. Kryukov V.A., Silkin V.Yu., Tokarev A.N., Shmat V.V. Kak potushit fakely na rossiiskikh neftepromyslakh: institutsionalnyj analiz uslovij kompleksnogo ispolzovaniya uglevodorodov (na primere poputnogo neftyanogo gaza) [How to extinguish the torches in the Russian oil industry: an institutional analysis of the conditions of the integrated hydrocarbons use (for example, associated gas)]. Novosibirsk, 2008. 340 p.

15. Sukharev O.S., Strizhakova E.N. Industrialnaya politika i razvitie promyshlennykh system [Industrial policy and development of industrial systems]. *Natsionalnye interesy: priority i bezopasnost*, 2014, no. 15(252), pp. 2–21.

Получено 10.09.2015

A. Grishkova, A. Ivanov

THE ASSESSMENT OF THE LONG-DISTANCE HEAT TRANSPORTATION FEASIBILITY FOR THE DISTRICT HEATING SYSTEMS MODERNIZATION

The article presents the analysis of thermal energy long-distance transportation technology from industrial facilities having the large waste heat. The main technology of thermal energy transfer is the energy transport in a chemically bound state. Secondary thermal resources of industrial enterprises secures heat supply for the reaction of the natural gas reforming. Resulting from the conversion of hydrogen, water vapor and carbon oxides mixture is used as the source of thermal energy for heat consumers. The availability and feasibility of the modern equipment using for gas conversion processes was assess. District heating system location in the Perm region climatic conditions was proposed as the object of consumption. The object remote far from the industrial facility with significant heat waste amount. The scheme of the district heating system was developed, heat load of consumers were defined, major equipment was selected and the estimated cost of heat supply system from long-range energy source was produced. The conclusion about necessity of carrying out further calculations of such systems for real conditions and their work modes with environmental effectiveness system variants was done.

Keywords: long-distance transportation of thermal energy, conversion gas, district heating, secondary waste heat.

Гришкова Алла Викторовна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alla-grishkova@yandex.ru).

Иванов Андрей Сергеевич (Пермь, Россия) – студент группы ТВ-10з, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: andrei_ivanov2187@mail.ru).

Grishkova Alla (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat and gas supply, ventilation and water supply and sewerage, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: alla-grishkova@yandex.ru).

Ivanov Andrej (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: andrei_ivanov2187@mail.ru).