

## Электронная температурная коррекция объема в приборах учета потребления природного газа

*А.О. Беляев, Д.Г. Ковтун*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос температурной коррекции объема потребления природного газа. Рассмотрен экономический эффект для конечного потребителя, на основании которого численно доказано, что использование прибора учета с температурной коррекцией имеет положительный эффект. Также описаны технические особенности измерения температуры газа, как составной части решения задачи термодатировки. Представлено аналитическое выражение для косвенного измерения температуры.

**Ключевые слова:** температурная коррекция, температурная компенсация, приведение газа к стандартным условиям, прибор учета расхода природного газа, косвенное измерение температуры газов.

В соответствии с п. 26 Постановления Правительства РФ «О порядке поставки газа для обеспечения коммунально-бытовых нужд граждан» №549 от 21.07.2008 г., при учете потребленного газа для счетчиков не имеющих температурной компенсации его объем должен определяться как разность показаний прибора учета газа на начало и конец отчетного периода, умноженная на температурный коэффициент (утверждаемый Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии).

Коэффициенты устанавливаются Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии каждое полугодие, и действительны только для приборов учета без температурной компенсации, устанавливаемых вне помещений. При этом, согласно ГОСТ Р 50818-95, приведение к стандартным условиям производится по выражению:

$$Q = Q_0 \cdot E \cdot D , \quad (1)$$

где  $Q$  - расход приведенный к стандартным условиям,  $Q_0$  - исходное значение расхода,  $E$  - фактор места расположения,  $D$  - температурный коэффициент.

При этом фактор места расположения  $E$  и температурный коэффициент  $D$  определяются выражениями (2) и (3) соответственно:

$$E = \sqrt{\frac{B}{760}}; \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{293}{T_B + 273}}. \quad (3)$$

За 2015 год в г. Таганроге (Ростовская область) были установлены температурные коэффициенты [1], как показано на рис. 1. При этом линия С.У. соответствует стандартным условиям (температура 20 °С, давление 760 мм.рт.с., влажность 0% - по ГОСТ 2939-63).

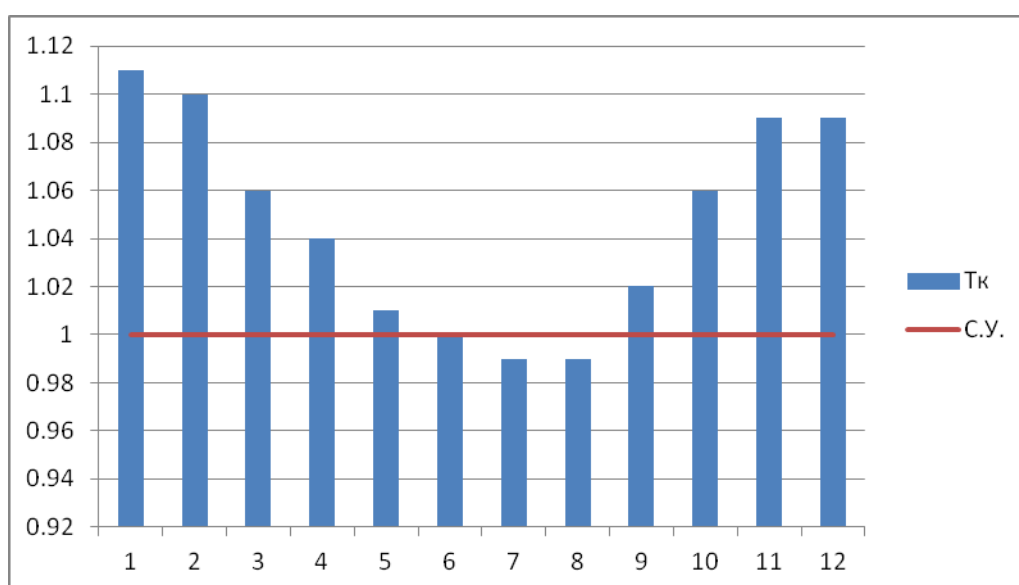


Рис. 1 - Температурные коэффициенты за 2015 г. (г. Таганрог)

Температурные коэффициенты устанавливаются на последующее полугодие, иными словами они отражают прогноз климатических параметров, а не их действительные значения. Так за 2015 год в г. Таганроге среднемесячные температуры (по данным [2]) показаны на рис. 2.

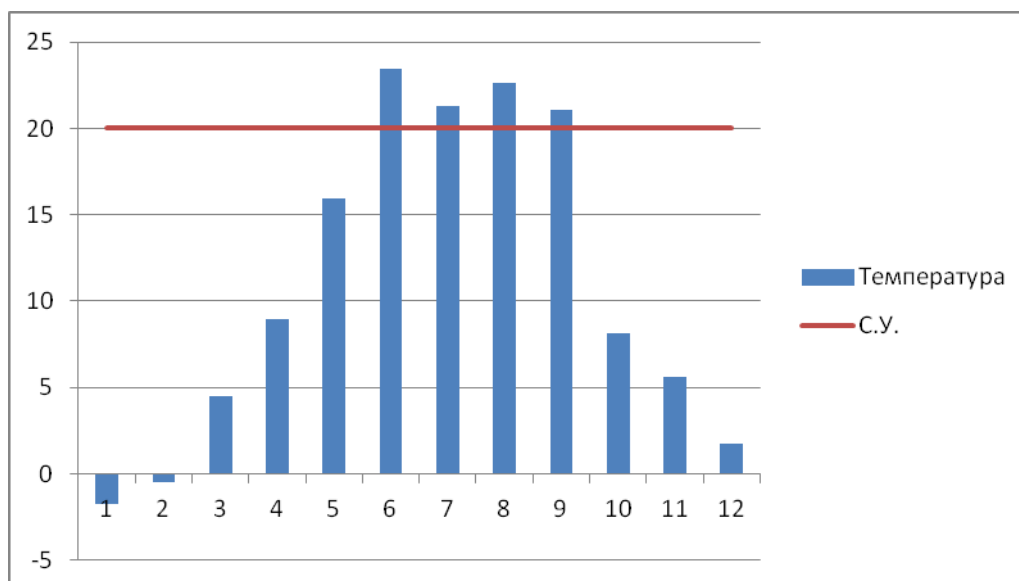


Рис. 2 - Среднемесячные температуры за 2015 г. (г. Таганрог)

Как видно из рисунка в 4 из 12 месяцев среднемесячная температура была выше температуры, соответствующей стандартным условиям. При этом, согласно температурным коэффициентам установленным Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии за этот же период (рис. 1), температурные коэффициенты ниже либо равные 1 (соответствует температуре равной, либо выше 20 °C) установлены только для 3-х месяцев (июнь, июль, август). Таким образом, для потребителя не выгоден сам механизм установки коэффициентов, т.к. они устанавливаются не методом прогнозирования и не всегда в пользу потребителя. Так, для сравнения, на рис. 3 представлены коэффициенты (величина температурного коэффициента  $T_k$  уже учитывает фактор места расположения) за 2015 г. для г. Таганрога установленные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии и рассчитанные по данным действительных климатических условий за этот же период (при этом величина фактора места расположения  $E$  принята равной 0,999342 исходя из среднегодового барометрического давления 759 мм.рт.ст.).

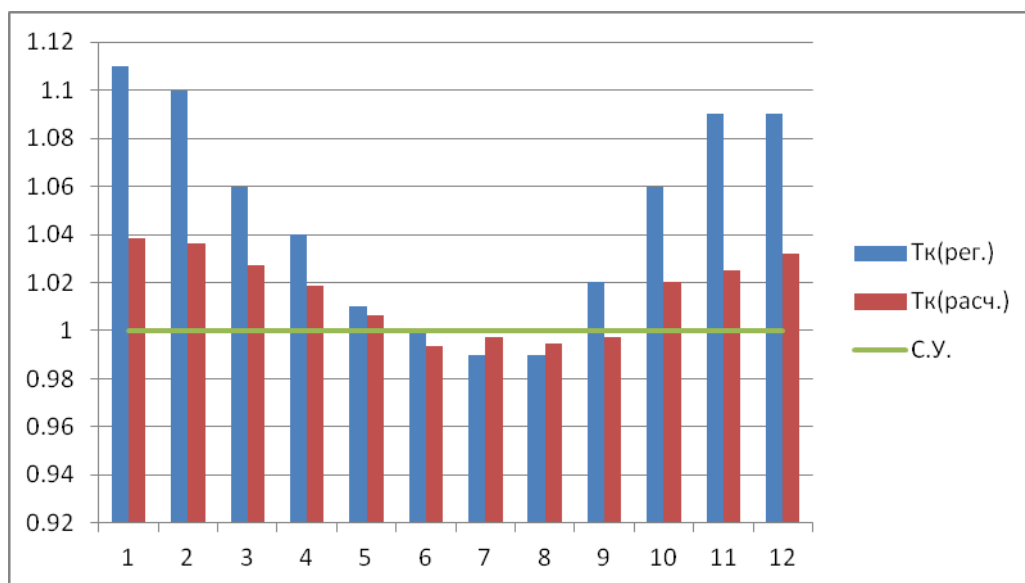


Рис. 3 - Сравнительный анализ температурных коэффициентов за 2015 г. (г. Таганрог): столбец слева - регламентированные Tк, столбец справа - рассчитанные Tк.

График на рис.3 наглядно показывает, что для потребителя выгоднее установка счетчика с температурной коррекцией, поскольку он учитывает действительные изменения температуры. Для оценки выгоды в финансовом эквиваленте рассмотрим частное жилое строение площадью 70 кв.м., в котором проживает 1 человек и имеется следующее газовое оборудование: плита газовая, газовый водонагреватель для подогрева воды, газовый котел для отопления. Предположим, что отопление работает при среднемесячной температуре ниже 15 °С. Тогда, согласно [3] нормы потребления составят 29,52 м<sup>3</sup>/мес. без отопления и 897,52 м<sup>3</sup>/мес. с отоплением. Разница в объеме потребленного газа рассчитанного с использованием температурного коэффициента и с помощью прибора учета с температурным компенсатором показана на рис. 4.

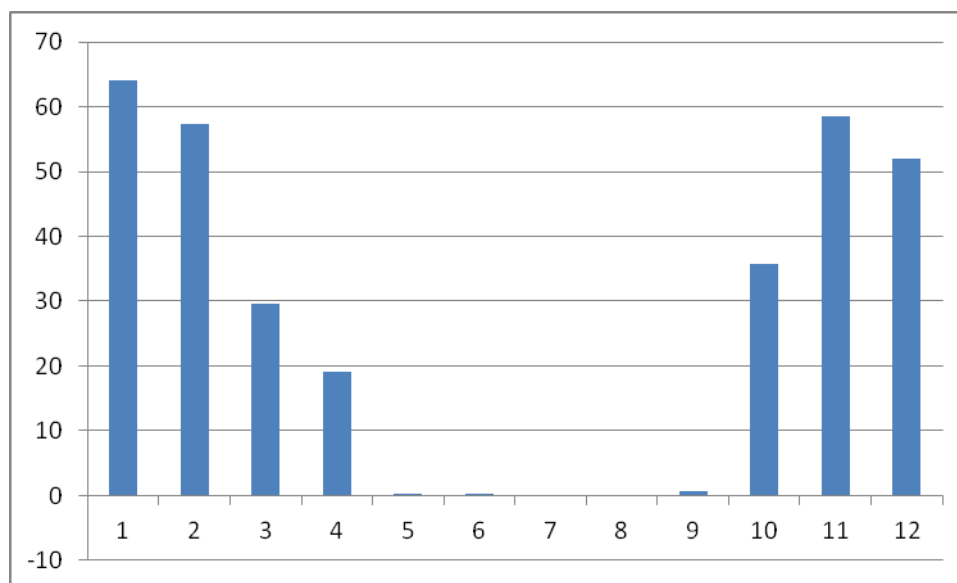


Рис. 4 - Разница между расчетным (с использованием температурного коэффициента) и действительным потреблением за 2015 г. (для заданных условий), м<sup>3</sup>/мес.

При цене за кубометр газа равной 5,6 р. [2] разница в оплате за потребленный газ будет иметь значения, как показано на рисунке 5.

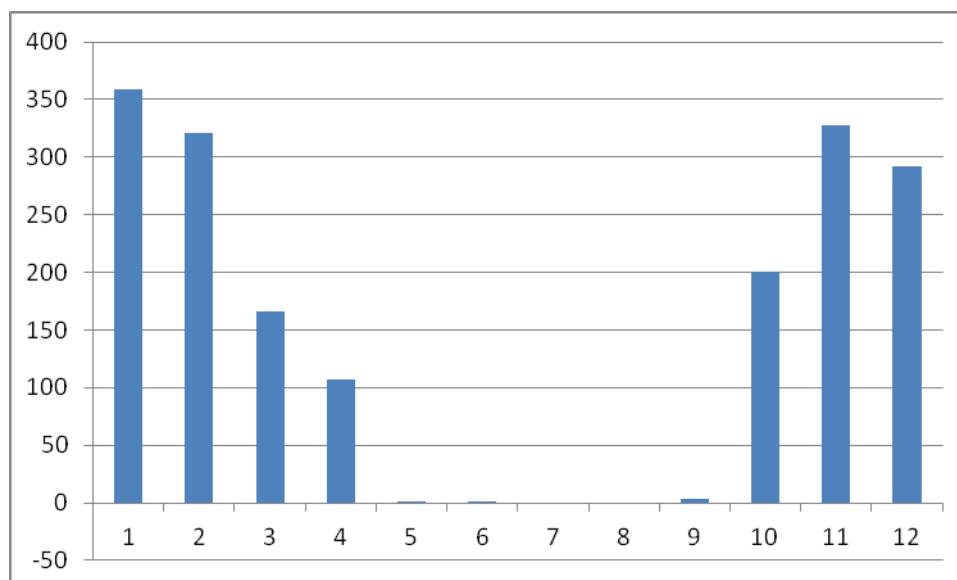


Рис. 5 - Разница в оплате за потребленный газ за 2015 г. (для заданных условий), руб.

Таким образом за весь год экономия при использовании прибора учета с температурной компенсацией составит 1776 рублей. Учитывая, что средняя

разница в стоимости между приборами учета с термодатчиком и без составляет порядка 3000 рублей, то данные затраты окупятся в первые два года использования, при этом срок службы прибора учета составляет 10 лет.

На основании приведенного выше анализа можно утверждать, что использование прибора учета расхода природного газа с термодатчиком выгодно для конечного потребителя. Косвенно, более детализированный учет потребления природного газа, как энергоресурса влияет на показатели энергоэффективности региональной [4,5] и федеральной экономик.

Температурная компенсация в газовых счетчиках возможна механическим и электрическим путем. В случае когда она производится механически, то в измерительный механизм монтируется пружина, коэффициент упругости которой зависит от температуры окружающего газа. В случае электронной компенсации в рабочий объем монтируется температурный датчик, который измеряет температуру газа, а затем компенсация происходит в цифровом виде. В данной работе рассматривается возможность температурной компенсации за счет косвенного измерения температуры газа.

При выполнении совместного проекта Научно-производственного предприятия космического приборостроения «Квант» и Южного федерального университета, при реализации функции температурной коррекции приборов учета потребления природного газа встал вопрос об аналитической оценке погрешности измерений температуры газа. Основная сложность заключается в том, что при любых вариантах расположения чувствительного элемента (датчика температуры), при условии что соединительные проводники не находятся внутри рабочего объема счетчика - измерения являются косвенными. Иными словами измеряется температура корпуса или гильзы датчика температуры, а не самого газа. При этом через корпус или гильзу осуществляется отвод тепла, таким образом, результат

---

измерения температуры будет иметь некоторое среднее значение между температурой газа и температурой корпуса, которая в свою очередь зависит от температура газа, скорости потока газа внутри счетчика и температуры внешней среды. Ввиду указанных особенностей было принято решение упростить конструкцию корпуса прибора учета, а измерение температура производить косвенным методом [6], на основании измерения температуры корпуса прибора учета и температуры окружающей среды.

Для косвенного измерения температуры используются два датчика температуры, один из которых монтируется на поверхности корпуса счетчика, в объеме которого протекает газ. Второй счетчик монтируется на некотором удалении от корпуса для измерения температуры окружающей прибор среды. Схема приведена на рисунке 1. Датчик 1 (Д1) измеряет окружающую температуру  $t_1$ , датчик Д2 измеряет значения температуры внешней стенки корпуса счетчика  $t_{ст1}$ , искомая температура природного газа, протекающего через газовый счетчик обозначена как  $t_2$ ,  $t_{ст2}$  обозначает температуру внутренней стороны стенки прибора.

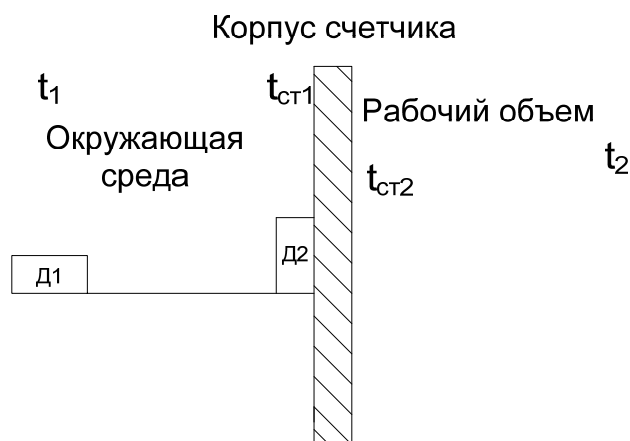


Рис. 6 - Схема косвенного измерения температуры газа внутри счетчика. Д1 – датчик для измерения температуры окружающей среды, Д2 – датчик для измерения температуры стенки корпуса прибора

Для расчетов передачи тепла от газа к стенке или от газа к газу используют закон Ньютона-Рихмана [7,8]. Тепловой поток пропорционален разности

температур рассматриваемых объектов, площади обмена и коэффициенту теплоотдачи. Передачу тепла в твердом теле можно описать через теплопроводность материала на основе закона Фурье. Тогда для полученной системы с учетом линейного закона изменения температуры в материале корпуса можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} Q &= \alpha_1 F(t_1 - t_{CT1}), \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} F(t_{CT1} - t_{CT2}), \\ Q &= \alpha_2 F(t_{CT2} - t_2). \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Q$  – тепловой поток,  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи воздух – металл,  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи металл – газ,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности корпуса,  $\delta$  – толщина корпуса,  $F$  – площадь корпуса.

На основе полученной системы уравнений (1) выразим искомую величину – температуру рабочего газа  $t_2$  через измеряемые величины  $t_1$  и  $t_{CT1}$ :

$$t_2 = \left[ \left( \frac{\alpha_1 \alpha_2 \delta}{\lambda} + \alpha_1 + 1 \right) t_{CT1} - \left( \frac{\alpha_1 \alpha_2 \delta}{\lambda} + \alpha_1 \right) t_1 \right] \cdot \frac{1}{\alpha_2}. \quad (5)$$

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  зависят от скорости потока газов, типа поверхности, через которую проходит конвекционный теплообмен, ее поверхностной обработки и других факторов. Газовый счетчик монтируется в помещении или на улице, где он окружен воздухом, коэффициент теплоотдачи воздух – металл можно принять постоянным равным 5,6 Вт/(м<sup>2</sup>К) [9]. В случае же для перехода от металла к газу, коэффициент теплоотдачи будет значительно зависеть от скорости потока [10]. Когда расход газа низкий, а следовательно и низкая скорость потока, то можно принять  $\alpha_1 = \alpha_2 = 5,6$  Вт/(м<sup>2</sup>К) [9], толщину корпуса  $\delta = 1$  мм, коэффициент теплопроводности корпуса 20 Вт/(мК) [9], тогда для выражения (5) получим:

$$t_2 = 1,1786 \times t_{CT1} - t_1. \quad (6)$$



В случае больших скоростей потока природного газа, коэффициент теплопроводности газа становится функцией от расхода  $\alpha_2(V)$ , тогда уравнение(5) можно записать:

$$t_2 = t_{CT1} \left( 2,8 \times 10^{-4} + \frac{5,6+1}{\alpha_2(V)} \right) - t_1 \left( 2,8 \times 10^{-4} + \frac{5,6}{\alpha_2(V)} \right). \quad (7)$$

В результате исследований определена аналитическая зависимость для косвенного измерения температуры газа внутри корпуса прибора учета по значениям температуры корпуса прибора учета и окружающей среды. Основной трудностью для реализации данного метода является необходимость экспериментального определения функции  $\alpha_2(V)$ . В настоящее время производится подготовка натурального эксперимента.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010г. Исследования проводились в ФГАОУ ВО ЮФУ.

### Литература

1. Цены и тарифы на газ // ООО «Газпром межрегионгаз Ростов-на-Дону» URL:rostovregiongaz.ru/abonenty/prices-gas/ (дата обращения: 23.09.2016).
2. WeatherArchive.ru - Прогноз и архив погоды // WeatherArchive.ru - История погоды URL: weatherarchive.ru/ (дата обращения: 23.09.2016).
3. Нормативы потребления коммунальных услуг, действующие на территории муниципального образования «Город Таганрог» // Официальный портал Администрации города Таганрога URL:



tagancity.ru/uploads/documents/admin/tarif\_ceni/ normativi\_potreblenia.pdf (дата обращения: 23.09.2016).

4. Гавриленко А.В., Кирсанов А.Л., Елисеева Т.П. Основные направления энергосбережения в региональной экономике // Инженерный вестник Дона, 2011, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/340.

5. Лебедько А.Г. Особенности экономической оценки ресурсов нефти и газа юга России // Инженерный вестник Дона, 2010, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/225.

6. Kostur K. Principles of indirect measurement temperature //Carpathian Control Conference (ICCC), 2012 13th International. – IEEE, 2012. – pp. 336-340.

7. Weili L., Yu Z., Yuhong C. Calculation and analysis of heat transfer coefficients and temperature fields of air-cooled large hydro-generator rotor excitation windings //IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2011. – V. 26. – №.3. – pp. 946-952.

8. Вэйлас С. Химическая кинетика и расчеты промышленных реакторов / Под редакцией проф. Л. А. Семенова. Изд-во М.: ХИМИЯ, 1964. - 432 с.

9. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие / А.Г. Коротких; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 97 с.

10. Касатки А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. - 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. - М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. - 753 с.

### References

1. Ceny i tarify na gaz. ООО «Gazprom mezhregiongaz Rostov-na-Donu» [Prices and tariffs for gas. LLC "Gazprom mezhregiongaz Rostov-on-Don"] URL:rostovregiongaz.ru/abonenty/prices-gas (data obrashhenija: 23.09.2016).

2. WeatherArchive.ru. Prognoz i arhiv pogody. WeatherArchive.ru. Istorija pogody URL: weatherarchive.ru (data obrashhenija: 23.09.2016).



3. Normativy potreblenija kommunal'nyh uslug, dejstvujushhie na territorii municipal'nogo obrazovanija «Gorod Taganrog». Oficial'nyj portal Administracii goroda Taganroga [Norms of consumption of public services, acting on the territory of the municipality "City of Taganrog"] URL: tagancity.ru/uploads/documents/admin/tarif\_ceni/normativi\_potreblenia.pdf (data obrashhenija: 23.09.2016).

4. Gavrilenko A.V., Kirsanov A.L., Eliseeva T.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/340.

5. Lebed'ko A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/225.

6. Kostur K. Carpathian Control Conference (ICCC), 2012 13th International. IEEE, 2012. pp. 336-340.

7. Weili L., Yu Z., Yuhong C. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2011. V. 26. №. 3. pp. 946-952.

8. Vjejlas S. Himicheskaja kinetika i raschety promyshlennyh reaktorov [Chemical kinetics calculations and industrial reactors]. Pod redakciej prof. L. A. Semenova. Izd-vo M.: HIMIJa, 1964. 432 p.

9. Korotkih A.G. Teploprovodnost' materialov: uchebnoe posobie [The thermal conductivity of the materials: a training manual]. Tomskij politehnicheskij universitet. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2011. 97 p.

10. Kasatki A.G. Osnovnye processy i apparaty himicheskoj tehnologii: Uchebnik dlja vuzov [Basic processes and apparatuses of chemical technology: A Textbook for high schools]. 10-e izd., stereotipnoe, dorabotannoe. Perepech. s izd. 1973 g. M.: OOO TID «Al'jans», 2004. 753 p.