

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.326.8

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-169-176

*А.С. КЛИМОВ, Р.Т. ЕМЕЛЬЯНОВ, А.Ф. АЛЕКСАНДРОВА,
В.А. ТАРАНОВ,
Сибирский федеральный университет*

МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОГО КОТЛА С ВОДЯНОЙ ОБДУВКОЙ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

Для поддержания на постоянном уровне выходной температуры топочных газов и очистки загрязнений топочных экранов отопительных котлов применяется водяная обдувка. Один цикл водяной обдувки на котле ПК-38 приводит к снижению среднего уровня падающих тепловых потоков на 25–30 %. Целью исследования является совершенствование метода измерения теплового потока торцевым термозонтом, снижающим систематическую составляющую погрешности измерений. Эффективным методом оценки тепловой эффективности отопительного котла с водяной обдувкой является метод на основе падающих тепловых потоков. Измерения выполняются с помощью торцевого термозонта. Однако при этом возникает большая погрешность при измерении теплового потока. Погрешность зависит от качества заделки спая термопары в наружную поверхность термозонта, а также от наличия полостей в узле заделки термопары и отличий в теплофизических свойствах материалов термопары и металла поверхности нагрева. На погрешность измеряемых параметров влияет реальная заделка термопар. Для оценки погрешности результатов измерения теплового потока проведены экспериментальные исследования. Рациональными температурными полями термопары при тепловом ударе определились при использовании термопар диаметром термоэлектродов 0,3–0,5 мм, глубине заделки спая 0,5 мм и диаметре спая 1,0–1,5 мм. Относительные отклонения параметров термошоков в зависимости от интенсивности и длительности термического воздействия, материалов термопары, основного металла и других факторов составили 10–30 %. На погрешность измеряемых параметров влияет реальная заделка термопар. Искажения температурных полей наиболее значимы на нижней границе спая термопары при часто применяемой заделке термопар.

Ключевые слова: топочные экраны; обдувочные аппараты; тепловая эффективность; водоохлаждаемые тепломеры; теплосъемный элемент.

Для цитирования: Климов А.С., Емельянов Р.Т., Александрова А.Ф., Таранов В.А. Метод оценки тепловой эффективности отопительного котла с водяной обдувкой топочных экранов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 169–176.

A.S. KLIMOV, R.T. EMELYANOV, A.F. ALEKSANDROV, V.A. TARANOV,
Siberian Federal University

MEASUREMENT OF THERMAL EFFICIENCY OF HEATING BOILER WITH FURNACE WALL WATERFLOW

This article deals with the improvement of thermal efficiency of heating boilers with furnace wall waterflow. During one cycle in a PK-38 boiler the average level of the heat flow decreases by 25–30 %. The incident heat flux is measured with a thermal probe which, however, gives a large error in the measurement results. Experiments show that the error depends on the penetration of the thermal probe into the outer surface of thermal zone as well as on cavities in sealing the thermal probe, and different thermophysical properties of the latter and metal material of the heating surface. The accuracy of the measured parameters is affected by the thermal probe sealing. It is found that the distortion of temperature fields is more significant at the lower boundary of the thermal probe junction at frequently used sealing. Studies show that the waterflow leads to the restoration of local coefficients of thermal efficiency to the previous values. The obtained results can be used in boiler design and allow improving the measurement methods for thermal efficiency of heating boilers with furnace wall waterflow.

Keywords: furnace wall; blowing device; thermal efficiency; water-cooled heat meters; heat element.

For citation: Klimov A.S., Emelyanov R.T., Aleksandrov A.F., Taranov V.A. Metod otsenki teplovoi effektivnosti otopitel'nogo kotla s vodyanoi obduvkoi topochnykh ekranov [Measurement of thermal efficiency of heating boiler with furnace wall waterflow]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 1. Pp. 169–176.

При производстве теплоносителя в системах теплоснабжения зданий применяется низкосортное твердое топливо: каменный уголь. Сжигание его связано с высокой склонностью отложения золы, что ведет к загрязнению поверхности нагрева котла [1]. Отложения золы существенно влияют на эффективность нагрева теплоносителя. Для снижения уровня загрязнения экрана котла от отложений золы применяется водяная обдувка.

При определении тепловой эффективности котлов используются различные методы измерения [2–4]. Большинство из них основано на измерении температуры. Применяемые методы достаточно трудоемкие, требуют выполнения монтажных операций при внедрении в контур циркуляции котла измерительных средств и оборудования. Более эффективным является метод определения тепловой мощности котла на основе падающих тепловых потоков [5, 6]. Для измерения воспринятого теплового потока применяются приборы: температурные вставки, калориметры, переносные термозонды и др. Наибольший интерес вызывает метод прямого измерения воспринятого теплового потока термозондом [7, 8]. Однако при этом методе возникает погрешность измерений из-за искажения температурных полей. Все это определило необходимость совершенствования метода измерения теплового потока торцевым термозондом.

Целью исследования является совершенствование метода измерения теплового потока торцевым термозондом, снижающим систематическую составляющую погрешности измерений.

Для этого использовался торцевой термозонд специальной конструкции [9]. Зонд состоит из тепловой трубы, имеющей наружное оребрение и теплоотъемный элемент (рис. 1). Две термопары, установленные в теплоотъемный элемент, дают разность температур, по которой определяется величина падающего теплового потока. Третья термопара, установленная в «хвосте» зонда, служит для контроля температуры внутренней среды. Для защиты теплоотъемного элемента от бокового излучения факела предусмотрены специальные двойные экраны.

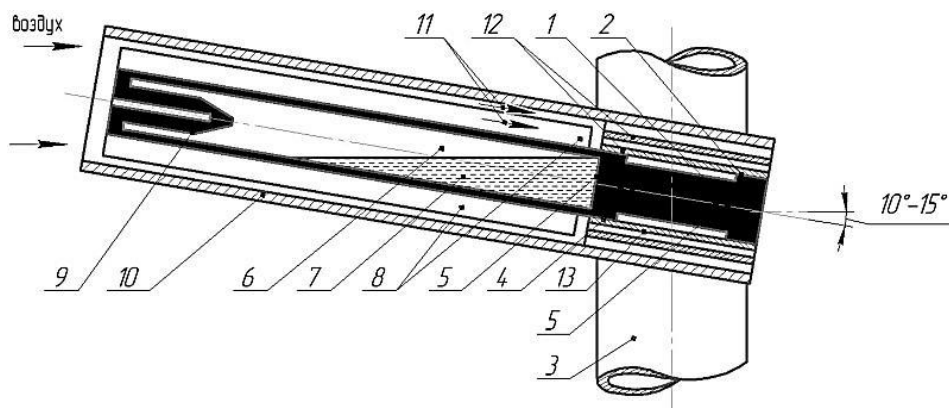


Рис. 1. Термозонд для измерения удельных падающих тепловых потоков:

1 – теплообменник (радиометр); 2 – лучевоспринимающая поверхность; 3 – экранная труба; 4 – тепловой сток; 5 – каналы для установки термопары; 6 – тепловая труба; 7 – вода; 8 – рёбра; 9 – контрольная термопара; 10 – корпус; 11 – воздушный канал; 12 – каналы охлаждения защитных экранов; 13 – защитные экраны теплового стока

Измерительный элемент термозонда толщиной 5,0 мм и шириной 19,6 мм выполнен из пластины марки стали 20 и 12Х1МФ. В центре пластины помещен спай термопары с образованием идеального контакта с металлом пластины. Ширина спаев равна 1,0–2,6 мм. Нижний конец термопары размещен от наружной поверхности пластины на расстоянии 0,25–1,25 мм. Термоэлектроды имеют толщину 0,2–1,0 мм. Материал термопар – хромель-алюмель (ХА), хромель-копель (ХК). Характеристика условий пластины: коэффициент теплоотдачи $\alpha = 20$ и 65 кВт/(м²·К), температура струи воды 40 °С.

Промежутки между телом пластины и термоэлектродами определялись в виде воздушных прослоек с передачей тепла за счет теплопроводности.

Теоретический анализ оценки погрешности результатов измерения термошоков показал, что погрешность зависит от качества заглабления спаев термопары в наружную поверхность, а также возникает из-за искажения локального температурного поля в узле заделки термопары из-за наличия полостей с высокими теплоизоляционными свойствами и отличий в теплофизических свойствах материалов термопары и металла поверхности нагрева [10]. Для оценки погрешности результатов измерения теплового потока проведены

экспериментальные исследования торцевым термозондом. Выполнена тарировочная характеристика в виде зависимости теплового потока (q) от напряжения (V), приведенная на рис. 2.

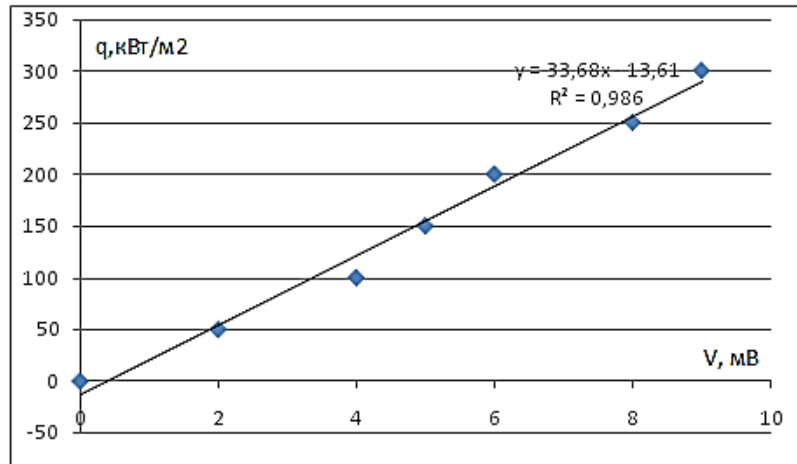


Рис. 2. Тарировочная характеристика тепломеров

Термозонд устанавливается под углом 10–15° теплосъемным элементом вниз в существующие лючки топочной камеры таким образом, чтобы теплосъемный элемент находился в плоскости экранов. В период испытаний в котельном агрегате сжигался назаровский бурый уголь. Опыт длился 62 ч при работе котла с постоянной нагрузкой 410–430 т/ч.

Результаты исследований температурных полей спая термопары ХА термозонда на внешней и внутренней границах приведены на рис. 3.

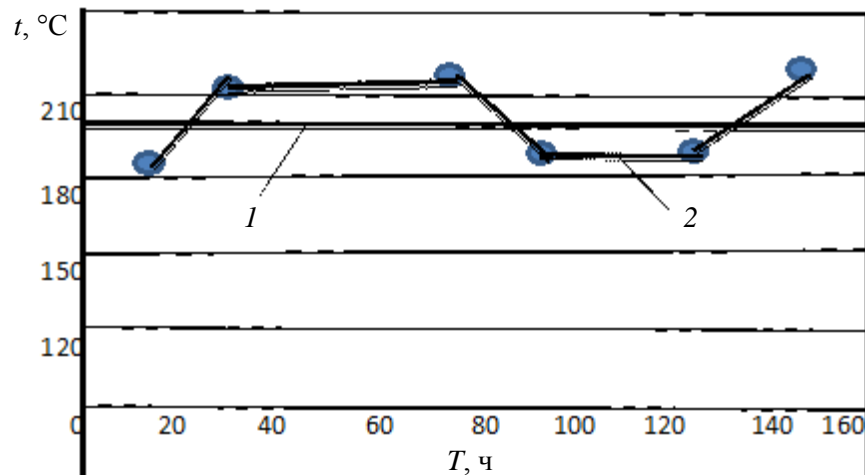


Рис. 3. Температурные поля на поверхностях спая термопары и пластины:
1 — сплошная пластина; 2 — спай термопары

Спай выполнен в сплошной пластине из стали 20, диаметром 2,6 мм, термоэлектродами 1,0 мм, глубиной заделки нижней границы спаия 1,25 мм. Коэффициент теплоотдачи от воды при температуре 40 °С к металлу равен 65 кВт/(м²·°С). Начальная температура пластины составила 500 °С. Длительность охлаждения составила 0,8 с. Температурные поля в сечениях сплошной пластины показаны на рис. 3.

Искажения температурных полей наиболее значимы на нижней границе спаия термопары (рис. 3) при часто применяемой заделке термопар.

Тепловая эффективность котла с системой обдувки определялась разработанным тепломером. Схема установки обдувочного аппарата и тепломера в зоне действия представлена на рис. 4.

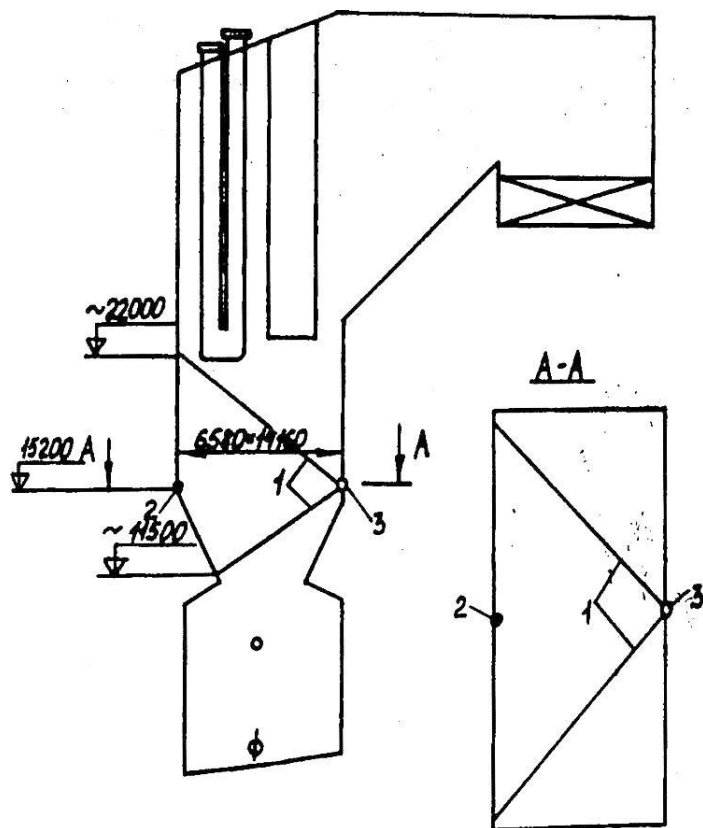


Рис. 4. Схема расположения обдувочного аппарата и тепломера:

1 – границы водяной струи; 2 – тепломер; 3 – аппарат водяной обдувки

Критерием тепловой эффективности отопительного котла с системой обдувки принят локальный коэффициент тепловой эффективности тепломера (ψ), определяемый как отношение величины воспринятого теплового оттока (q_B) к величине падающего теплового потока (q_n) в той же точке. График изменения локального коэффициента тепловой эффективности тепломера (ψ) во времени показан на рис. 5.

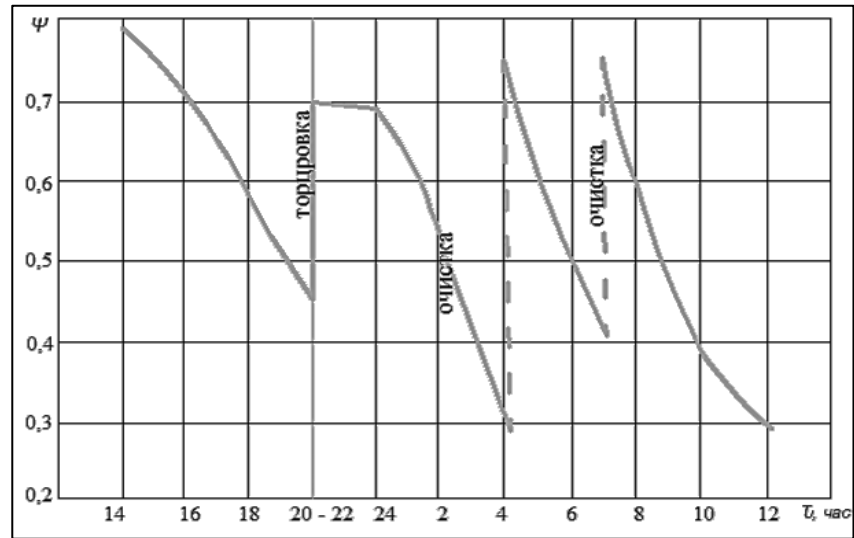


Рис. 5. Изменение локального коэффициента тепловой эффективности

Как видно из рисунка, максимальный темп падения значений ψ достигает $0,12 \text{ ч}^{-1}$. Водяная обдувка топочных экранов приводит к восстановлению ψ до прежних значений независимо от исходного уровня, что говорит о низкой прочности образующихся золовых отложений и эффективности очистки. Низкая прочность (и связь с трубой) отложений подтверждается наличием эффекта саморасшлаковки, зафиксированного на тепломере, а также визуальными наблюдениями.

Выводы

1. Рациональными температурными полями термопары при тепловом ударе определились при использовании термопар диаметром термоэлектродов 0,3–0,5 мм, глубине заделки спая 0,5 мм и диаметре спая 1,0–1,5 мм. Относительные отклонения параметров термошочков в зависимости от интенсивности и длительности термического воздействия, материалов термопары, основного металла и других факторов составили 10–30 %. На погрешность измеряемых параметров влияет реальная заделка термопар.

2. Темп роста вторичных отложений, удаляемых водяной обдувкой, незначителен. За один цикл работы водяных обдувочных аппаратов локальные значения ψ изменялись не более чем на 0,1. Показания жезловых термопар, расположенных вблизи нижнего обреза ширм, снижались на 10–15 °С при общем уровне колебаний температуры в стационарном режиме около 20 °С. Включение паровых обдувочных аппаратов практически не оказывало влияния на величину локальных значений тепловой эффективности тепломера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев В.В., Белов С.Ю., Майданик М.Н. Тепловая эффективность поверхностей нагрева котла П-67 блока 800 МВт Березовской ГРЭС-1 в условиях комплексной очистки // Электрические станции. 1993. № 10. С. 5–10.

2. Елисеев В.Н., Товстоног В.А. Теплообмен и тепловые испытания материалов и конструкций аэрокосмической техники при радиационном нагреве. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 400 с.
3. Елисеев В.Н., Товстоног В.А. Анализ технических возможностей создания высокоэффективных установок радиационного нагрева для тепловых испытаний объектов аэрокосмической техники // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2011. № 1. С. 57–70.
4. Полеишук И.З., Цирельман Н.М. Введение в теплоэнергетику. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2003.
5. Товстоног В.А., Соловов В.А., Щугарев С.Н., Селезнев В.А. Исследование поглощательной способности покрытий тепловоспринимающей поверхности датчика теплового потока // Промышленная теплотехника. 1983. Т. 5. № 1. С. 81–82.
6. Shepelenko T.S., Sarkisov U.S., Gorlenko N.P., Tsvetkov N.A., Zubkova O.A. Structure-forming processes of cement composites, modified by sucrose additions // Civil Engineering Journal. 2016. № 6 (66). P. 3–11. DOI: 5862/MCE.66.1.
7. Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R. Technical note: Airtightness of folder-generation energy-efficient houses in Saskatoon // Journal of Building Physics. 2013. V. 36. P. 294–307.
8. Dobrovinskaya E., Lytvynov L., Pishchik V. Sapphire. Material, Manufacturing, Applications. New York: Springer, 2009. P. 109–114.
9. Емельянов Р.Т., Сурнин Э.Г., Калинин И.В. Исследования систем водяной обдувки на котлах // Вестник КрасГАУ. 2013. С. 247–251.
10. Емельянов Р.Т., Сурнин Э.Г. Исследование теплофизических и прочностных свойств золовых отложений // Вестник КрасГАУ. 2012. С. 154–159.

REFERENCES

1. Vasiliev V.V., Belov S.Y., Maidanik M.N. Teplovaya effektivnost' poverkhnostei nagreva kotla P-67 bloka 800 MVt Berezovskoi GRES-1 v usloviyakh kompleksnoi ochistki [Thermal efficiency of heating surfaces of boiler P-67 in Berezovskaya GRES-1 in cleaning conditions]. *Elektricheskie stantsii*. 1993. No. 10. Pp. 5–10. (rus)
2. Eliseev V.N., Tovstonog V.A. Teploobmen i teplovye ispytaniya materialov ikonstruksii aerokosmicheskoi tekhniki pri radiatsionnom nagreve [Heat exchange and thermal tests of aerospace materials and structures under radiation heating]. Moscow: MG TU, 2014. 400 p. (rus)
3. Eliseev V.N., Tovstonog V.A. Analiz tekhnicheskikh vozmozhnostei sozdaniya vysokoeffektivnykh ustanovok radiatsionnogo nagreva dlya teplovykh ispytaniy ob"ektov aerokosmicheskoi tekhniki [Analysis of technical possibilities for creation of highly efficient radiant heating installations for thermal testing of aerospace engineering objects]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie*. 2011. No. 1. Pp. 57–70. (rus)
4. Poleishchuk I.Z., Tsirelman N.M. Vvedenie v teploenergetiku [Introduction to heat power engineering]. Ufa: USATU, 2003. (rus)
5. Tovstonog V.A., Solovov V.A., Shugarov S.N., Seleznev V.A. Issledovanie pogloshchatel'noi sposobnosti pokrytii teplovspriimayushchei poverkhnosti datchika teplovogo potoka [Absorption capacity of heat-absorbing coating of heat flux sensor]. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 1983. V. 5. No. 1. Pp. 81–82. (rus)
6. Shepelenko T.S., Sarkisov U.S., Gorlenko N.P., Tsvetkov N.A., Zubkova O.A. Structure-forming processes of cement composites modified by sucrose additions. *Civil Engineering Journal*. 2016. No. 6 (66). Pp. 3–11. DOI: 5862/MCE.66.1.
7. Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R. Technical note: Air tightness folder generation of energy-efficient houses in Saskatoon. *Journal of Building Physics*. 2013. V. 36. Pp. 294–307.
8. Dobrovinskaya E., Lytvynov L., Pishchik V. Sapphire: material, manufacturing, applications. New York, 2009. Pp. 109–114.
9. Emelyanov R.T., Surmin E.G., Kalinich I.V. Issledovaniya sistem vodyanoi obduvki na kotlakh [Water blowing systems for boilers]. *Vestnik KrasGAU*. 2013. Pp. 247–251. (rus)
10. Emelyanov R.T., Surmin E.G. Issledovanie teplofizicheskikh i prochnostnykh svoystv zolovykh otlozhenii [Thermophysical and strength properties of ash deposits]. *Vestnik KrasGAU*. 2012. Pp. 154–155. (rus)

Сведения об авторах

Климов Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, AKlimov@sfu-kras.ru

Емельянов Рюрик Тимофеевич, докт. техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, ert-44@yandex.ru

Александрова Анна Федоровна, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, aleksandrova_anya@mail.ru

Таранов Вячеслав Аркадьевич, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, taran432201@mail.ru

Authors Details

Aleksey S. Klimov, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, AKlimov@sfu-kras.ru

Rurik T. Emelyanov, DSc, Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, ert-44@yandex.ru

Anna F. Alexandrova, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, aleksandrova_anya@mail.ru

Vyacheslav A. Taranov, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, taran432201@mail.ru