

DOI: 10.15593/2224-9400/2021.2.16

УДК 65.011.56

М.С. Орехов, П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Рассматривается возможность реализации функции резервирования в системах промышленной безопасности с использованием газоанализаторов. Состав системы промышленной безопасности на предприятиях химической и нефтегазоперерабатывающей направленности разнообразен и зависит от конкретных особенностей производства. Так, например, в состав таких систем могут входить подсистемы мониторинга загазованности рабочих зон, направленного на предупреждение возникновения и развития аварийных ситуаций, превышения предельно допустимых концентраций, контроля взрывоопасных концентраций.

Технические средства автоматизации, в частности газоанализаторы, обеспечивающие мониторинг загазованности рабочих зон, являются дорогостоящими и требуют сложного в организационном плане технического обслуживания. Этим обусловлено их небольшое количество на производстве, как правило, минимально необходимое для обеспечения технологического процесса в соответствии с нормативно-технической документацией. Для повышения надежности принятия решения по загазованности рабочих зон и сигнализации, достижения не только минимально опасной, но и других значений концентраций с целью повышения безопасности предлагается реализация функции взаимного резервирования газоанализаторов и расширение их функционала.

Наиболее часто газоанализаторы, установленные на производстве, имеют выходной сигнал в виде порогового значения, установленного заводом-изготовителем на определенное значение, и непрерывного аналогового сигнала. Первый предназначен для сигнализации порогового значения (предельно допустимого значения концентрации в рабочей зоне), а второй – только в качестве дополнительной информации ввиду сильной нелинейности статической характеристики газоанализатора и его существенной погрешностью.

Известен метод экспресс-градуировки газоанализаторов в динамическом режиме, позволяющий с высокой точностью определить реальную статическую характеристику газоанализатора. Это позволяет производить оценку загазованности рабочей зоны в широком диапазоне. Так, например, даже при достижении предельно допустимой концентрации в рабочей зоне можно сделать вывод о достижении иных пороговых значений, неопределяемых изначально.

Рассмотрен пример конкретной реализации предложенного решения.

Ключевые слова: *система промышленной безопасности, газоанализ, предельно допустимые значения, статическая характеристика, повышение надежности, резервирование.*

M.S. Orehov, P.U. Sokolchik, S.I. Stashkov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

IMPROVING THE RELIABILITY OF DECISION-MAKING IN INDUSTRIAL SAFETY SYSTEMS USING GAS ANALYZERS

The article considers the possibility of implementing the redundancy function in industrial safety systems using gas analyzers. The composition of the industrial safety system at chemical and oil and gas processing enterprises is diverse and depends on the specific features of production. For example, such systems may include subsystems for monitoring the gas content of working areas, aimed at preventing the occurrence and development of emergency situations, exceeding the maximum permissible concentrations, and monitoring explosive concentrations.

Technical automation tools, in particular gas analyzers that monitor the gas contamination of working areas, are expensive and require complex organizational maintenance. This is due to their small number in production – as a rule, the minimum necessary to ensure the technological process in accordance with the regulatory and technical documentation. To increase the reliability of making decisions on the gas contamination of working areas and signaling the achievement of not only the minimum dangerous, but also other values of concentrations in order to increase safety, the article proposes the implementation of the function of mutual redundancy of gas analyzers and the expansion of their functionality.

Most often, gas analyzers installed in production have an output signal in the form of a threshold value set by the manufacturer to a certain value, and a continuous analog signal. The first one is intended for signaling the threshold value (the maximum permissible concentration value in the working area), and the second one is only used as additional information due to the strong non – linearity of the static characteristic of the gas analyzer and its significant error.

A method of rapid calibration of gas analyzers in dynamic mode is known, which allows to determine the real static characteristic of the gas analyzer with high accuracy. This allows you to evaluate the gas content of the working area in a wide range. For example, even when the maximum permissible concentration in the working area is reached, it can be concluded that other thresholds are reached, which are initially undetectable.

An example of a concrete implementation of the proposed solution is considered.

Keywords: *industrial safety system, gas analysis, maximum permissible values, static characteristic, reliability improvement, redundancy.*

Введение. Химико-технологические производства являются производствами с высокой степенью опасности. В производствах могут использоваться пожаро- и взрывоопасные вещества, вредные и ядовитые вещества, которые в случае разгерметизации технологического оборудования и выброса их в атмосферу могут привести к катастрофическим последствиям с вредом для жизни и здоровья человека и окружающей среды.

Одной из важнейших задач систем управления является предотвращение аварий, связанных как с образованием парогазообразных взрывоопасных веществ, так и с отравлением персонала ядовитыми и вредными веществами.

Для предотвращений вышеуказанных ситуаций в таких технологических производствах используются развитые системы газоанализа и газосигнализации о достижении опасных пороговых значений. Газы и пары жидкости, как правило, представляют опасность с точки зрения их токсичности для человека и воспламеняемости в смеси с кислородом воздуха [1].

Так, для горючих газов введены понятия НКПР (нижний концентрированный предел распространения пламени) и ВКПР (верхний концентрированный предел распространения пламени), ограничивающие опасную область воспламенения (ГОСТ Р 51330.19–99 «Электрооборудование взрывозащищенное. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования», ГОСТ 12.1.044–89 (ИСО 4589–84) «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»). Для технологических процессов наиболее актуально знать о вероятном достижении НКПР, так как в любом случае, даже если концентрация превысила ВКПР, технологический процесс вести опасно [2, 3].

Для токсичных веществ в промышленности рассматривают предельно допустимые выбросы (ПДВ) или сброс (ПДС) и предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ [4, 5].

Очень часто на предприятиях для экономии используют газосигнализаторы не на все пределы, а только на нижние концентрационные пределы, после срабатывания которых уже предпринимаются какие-либо действия, например, выводится персонал из технологической зоны, включается приточно-вытяжная вентиляция и др. Однако в случае дальнейшего повышения по каким-либо причинам концентрации газа может возникнуть неоднозначность в действиях персонала, например, возникает вопрос, допустимо ли кратковременное пребывание человека в технологической зоне или уже нет.

Постановка задачи. Приборы, измеряющие концентрации газов, являются одними из самых дорогих из числа КИП и требуют дорогостоящего обслуживания: метрологической поверки и калибровки, а также периодической проверки корректности показаний и корректировки шка-

лы (градуировки). Поэтому зачастую руководством предприятия принимаются решения об установке газосигнализаторов только на те пределы, которые имеют меньшую концентрацию, что не противоречит существующим в настоящее время нормативным документам.

Для повышения надежности работы системы противоаварийной защиты и во избежание вышеуказанной ситуации предлагается использовать те же газосигнализаторы, которые с достаточной степенью вероятности могут сработать на тех пределах, на которые они изначально не были настроены. Так, например, предполагается использование промышленных газосигнализаторов в качестве газоанализатора. Это возможно вследствие того, что промышленные газосигнализаторы помимо выходного сигнала в виде порогового значения имеют также аналоговый выходной сигнал загазованности, который и предлагается использовать, как дублирующий сигнал газосигнализатора. Структурная схема такого решения представлена на рис. 1.

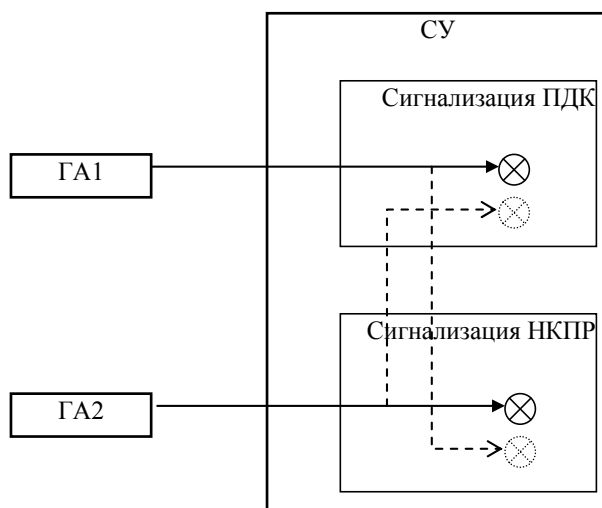


Рис. 1. Использование газовых сигнализаторов предельных концентраций, настроенных на разные пороговые значения для реализации системы с резервированием: ГА1 – газоанализатор 1, ГА2 – газоанализатор 2; СУ – система управления

Другим решением поставленной задачи является использование одного газосигнализатора, настроенного на пороговое значение по ПДК, в качестве сигнализатора максимально разовой предельно допустимой концентрации. Структурная схема данного решения представлена на рис. 2.

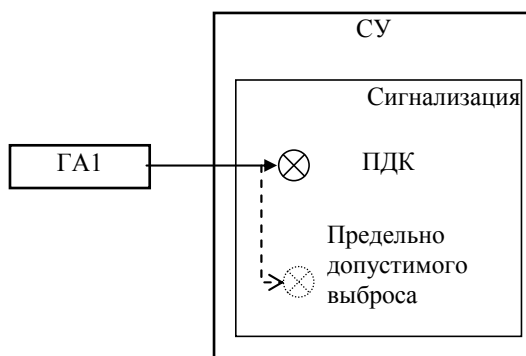


Рис. 2. Использование одного газового сигнализатора предельных концентраций для формирования сигнала по двум пороговым значениям

Для реализации вышеописанного решения необходима статическая характеристика газоанализатора. Как правило, номинальная статическая характеристика промышленных газоанализаторов должна быть линейной, так как они имеют унифицированный выходной сигнал. Однако методы измерения, реализуемые современными промышленными газоанализаторами, имеют нелинейные зависимости между выходным сигналом и фактическими значениями концентрации компонентов в воздушной смеси. Таким образом, фактическая статическая характеристика газоанализаторов является линеаризованной, что зачастую приводит к большим погрешностям измерения на некотором интервале показаний [6].

Линеаризованные статические характеристики газоанализаторов неприменимы для реализации предлагаемой функции взаимного резервирования газоанализаторов на промышленном производстве. Поэтому необходимо определять действительную статическую характеристику газоанализаторов [7, 8].

Общепринятая процедура определения действительной статической характеристики газоанализатора требует существенных временных затрат и предполагает использование большого количества различных поверочных газовых смесей [9].

Экспресс-метод. Известен метод экспресс-градуировки газоанализаторов в динамическом режиме [10]. Метод заключается в построении индивидуальной (действительной) статической характеристики для каждого конкретного газоанализатора. Такая характеристика в отличие от номинальной статической характеристики данного газоанализатора наилучшим образом описывает зависимость выходного сигнала газоанализатора от значений концентрации газовой смеси [11, 12].

Метод предполагает проведение градуировки газоанализатора с использованием одной поверочной газовой смеси с дальнейшей обработкой результатов.

Рассмотрим пример реализации предложенных решений. ПДК паров изопропилового спирта согласно ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» относится к III классу опасности и в виде паровоздушной смеси имеет ПДК 10 мг/м^3 . Одновременно с этим в соответствии с ГОСТ 9805–84 «Спирт изопропиловый. Технические условия» он является ЛВЖ и образует в сочетании с кислородом воздуха взрывоопасные смеси с областью воспламенения 2–12 %.

В указанном примере, если происходит разгерметизация оборудования, должен срабатывать датчик предупредительной сигнализации, настроенный на первый порог срабатывания нижнего концентрационного предела распространения пламени. Если выброс продолжается, то при повышении концентрации изопропилового спирта должен сработать сигнал второго порога, при котором должны производиться мероприятия по защите персонала (вывод за пределы технологической зоны), принудительно включаться приточно-вытяжная вентиляция и, как правило, остановится производство. Однако, если по каким-то причинам приточно-вытяжная вентиляция не работает (произошел отказ), то концентрация в воздухе будет повышаться и достигнет нижнего концентрационного предела взрываемости. Среда в технологической зоне станет взрывоопасной. Однако установить это в ряде производств не представляется возможным, так как газосигнализаторы закуплены и настроены только на ПДК. В этом случае если происходит отказ приточно-вытяжной вентиляции, могут образовываться взрывоопасные концентрации, потенциально приводящие к взрыву. Для предотвращения описанной ситуации необходимо реализовать систему управления, представленную на рис. 1.

Рассмотрим следующий пример. В качестве газоанализатора используется ГАНК-4С [13], измеряющий концентрацию паров изопропилового спирта в воздухе рабочей зоны. Газоанализатор имеет дискретный выходной сигнал, настроенный на заводе-изготовителе на ПДК 10 мг/м^3 , и аналоговый выходной сигнал 4–20 мА, показывающий текущее значение концентрации паров изопропилового спирта. Предел основной относительной погрешности данного газоанализатора составляет $\pm 20 \%$. Экспресс-методом градуировки газоанализатора [14–

16] получена действительная статическая характеристика, что позволяет применить решение, представленное на рис. 2.

Предложенные подходы по повышению надежности принятия решений в системах промышленной безопасности можно успешно применять на многих химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях.

Список литературы

1. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП. Проектирование и разработка: учеб. пособие: в 2 т. – 2-е изд., доп. и перераб. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – Т. 1. – 488 с.

2. Требования нормативных документов по применению сигнализаторов загазованности, газосигнализаторов и систем контроля загазованности, поверке и обслуживанию // Официальный сайт «Ростехнадзора». 2020. – URL: <http://tehss.org/stati/64-normativmat> (дата обращения: 25.04.2021).

3. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка: учеб.-практ. пособие: в 2 т. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – Т. 2. – 484 с.

4. Воронич С.С. Экспресс-методы контроля загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 6. – С. 30–33.

5. Коренной В.В. Методы контроля уровня загазованности на объектах нефтегазовой отрасли // Инженерные и информационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сб. науч. ст. / ООО «КОНВЕРТ». – Волгоград, 2020. – С. 238–239.

6. Новиков С.П., Свирипова М.С., Плуготаренко Н.К. Анализ данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах // ММГТ-32: сб. тр. междунар. науч. конф. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2019. – Т. 3. – С. 90–93.

7. Бояршинова А.С., Шумихин А.Г., Орехов М.С. Применение нейросетевых моделей при автоматизированном управлении сложными химико-технологическими системами // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3-2. – С. 9–12.

8. Шумихин А.Г., Бояршинова А.С., Орехов М.С. Исследование алгоритмов нейросетевого управления динамическими режимами технологических объектов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2012. – № 14. – С. 71–78.

9. Орехов М.С., Шумихин А.Г. Применение тестовых методов повышения точности измерений промышленных автоматических газоанализаторов сигнализаторов // Вестник Пермского государственного технического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2009. – № 10. – С. 109–116.

10. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Экспресс-метод градуировки газоанализаторов // Измерение, контроль, информатизация: материалы 13-й междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 45–48.

11. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Математическое моделирование при разработке экспресс-метода градуировки газоанализаторов // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XXV междунар. науч. конф.: в 10 т. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. – Т. 8. – С. 165–168.

12. Власов С.А., Орехов М.С. Применение математического моделирования при разработке алгоритмов управления автоматизированной лабораторной установки для калибровки газоанализаторов // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2018. – Т. 1. – С. 183–186.

13. Газоанализатор универсальный ГАНК-4С. Руководство по эксплуатации. КПКУ.413322.002 РЭ. – М., 2015.

14. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Метод экспресс-градуировки газоанализаторов в динамическом режиме // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 96–99.

15. Орехов М.С. Создание виртуального анализатора содержания серы в дизельном топливе на основе нейросетевых технологий // Химия. Экология. Урбанистика. – 2018. – Т. 8. – С. 749–752.

16. Новиков С.П., Плуготаренко Н.К. Алгоритмы обработки данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2020. – № 4 (133). – С. 153–164. DOI 10.18698/0236-3933-2020-4-153-164

References

1. Spravochnik inzhenera po ASUTP: Proektirovanie i razrabotka [Handbook of the engineer for the process control system: Design and development]. Yu.N. Fedorov Tom 1. Vologda, Infra-Inzheneriia, 2018, 488 p.

2. Trebovaniia normativnykh dokumentov po primeneniuu signalizatorov zagazovannosti, gazosignalizatorov i sistem kontroliia zagazovannosti, poverke i obsluzhivaniuu, available at: <http://tehss.org/stati/64-normativmat> (accessed 25 April 2021).

3. Spravochnik inzhenera po ASUTP: Proektirovanie i razrabotka [Handbook of the engineer for the process control system: Design and development]. Yu.N. Fedorov Tom 2. Vologda, Infra-Inzheneriia, 2018, 484 p.

4. Voronich S.S. Ekologicheskie Sistemy I Pribory Ekspress-metody kontroliia zagriazniaiushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh, vozdukh rabochei zony i promyshlennykh vybrosakh [Express methods of control of pollutants in the air, the air of working zones and industrial emissions]. *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2011, no. 6, pp. 30-33.

5. Korennoi V.V. Metody kontroliia urovnia zagazovannosti na ob"ektakh neftegazovoi otrasli [Metody kontrolya urovnya zagazovannosti na ob"yektakh

neftegazovoy otрасli]. *Inzhenernye i informatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti : Sbornik nauchnykh statei po itogam vtoroi mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Volgograd, Konvert LLC, 2020, pp. 238-239.

6. Novikov S.P., Svirepova M.C., Plugotarenko N.K. Analiz dannykh otklika chuvstvitel'nykh elementov sensorov gaza v khimicheski agressivnykh sredakh [Analysis of the results of response to sensitive elements of gas sensors in chemical aggressive environment]. *ММТТ-32*, 2019, vol. 3, pp. 90-93.

7. Boiarshinova A.S., Shumikhin A.G., Orekhov M.S. Primenenie neirosetevykh modelei pri avtomatizirovannom upravlenii slozhnymi khimiko-tekhnologicheskimi sistemami [Primeneniye neyrosetevykh modeley pri avtomatizirovannom upravlenii slozhnymi khimiko-tekhnologicheskimi sistemami]. *Polzunovskii vestnik*, 12, no. 3, pp. 9-12.

8. Shumikhin A.G., Boiarshinova A.S., Orekhov M.S. Issledovanie algoritmov neirosetevogo upravleniia dinamicheskimi rezhimami tekhnologicheskikh ob"ektov [Issledovaniye algoritmov neyrosetevogo upravleniia dinamicheskimi rezhimami tekhnologicheskikh ob"yektov]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2012, no. 14, pp. 71-78.

9. Shumikhin A.G., Orekhov M.S. Primenenie testovykh metodov povysheniia tochnosti izmerenii promyshlennykh avtomaticheskikh gazoanalizatorov signalizatorov [Primeneniye testovykh metodov povysheniia tochnosti izmereniy promyshlennykh avtomaticheskikh gazoanalizatorov signalizatorov]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2009, no. 10, pp. 109-116.

10. Shumikhin A.G., Orekhov M.S. Ekspress-metod graduirovki gazoanalizatorov [Express method of calibration of gas analyzers]. *Izmerenie, kontrol', informatizatsiia: materialy 13-i Mezhdunar. Nauch.-tekhn. Konf. «IKI-2012»*. Barnaul, Polzunov Altai state technical university, 2012, vol. 2, pp. 45-48.

11. Shumikhin A.G., Orekhov M.S. Matematicheskoe modelirovanie pri razrabotke ekspress-metoda graduirovki gazoanalizatorov [Matematicheskoye modelirovaniye pri razrabotke ekspress-metoda graduirovki gazoanalizatorov]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiakh – ММТТ-25: sb. Tr. XXV Mezhdunar. Nauch. Konf.*, Saratov, State Technical university of Saratov, 2012, pp. 55-59.

12. Vlasov S.A., Orekhov M.S. Primenenie matematicheskogo modelirovaniia pri razrabotke algoritmov upravleniia avtomatizirovannoi laboratornoi ustanovki dlia kalibrovki gazoanalizatorov [The use of mathematical modeling in the development of control algorithms automated laboratory installation for the calibration of gas analyzers]. *Innovatsionnye tekhnologii: teoriia, instrumenty, praktika*, 2018, vol. 1, pp. 183-186.

13. Gazoanalizator universal'nyy GANK-4S. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Gas analyzer universal GANK-4S. User Manual]. Moscow, 2015.

14. Shumikhin A.G., Orekhov M.S. Metod ekspress-graduirovki gazoanalizatorov v dinamicheskom rezhime [Method of express-graduation of gas analyzers in dynamic mode]. *Polzunovskii vestnik*, 2013, no. 2, pp. 96-99.

15. Orekhov M.S. Sozdanie virtual'nogo analizatora sodержaniia sery v dizel'nom toplive na osnove neirosetevykh tekhnologii [Creation of a virtual analyzer of sulfur content in diesel fuel based on neural network technologies]. *Khimiia. Ekologiya. Urbanistika. Perm'*, Perm National research polytechnic university, 2018, pp. 749-752.

16. Novikov S.P., Plugotarenko N.K. Algoritmy obrabotki dannykh otklika chuvstvitel'nykh elementov sensorov gaza v khimicheski aggressivnykh sredakh [Algorithms for processing the response data of sensitive elements of gas sensors in chemically aggressive environments]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroenie*, 2020, no. 4 (133), pp. 153-164.

Получено 30.04.2021

Об авторах

Орехов Михаил Сергеевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: msorehov@pstu.ru).

Сокольчик Павел Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: psokol@pstu.ru).

Сташков Сергей Игоревич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru).

About the authors

Mikhail S. Orekhov (Perm, Russian Federation) – Senior Teacher, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: msorehov@pstu.ru.)

Pavel Yu. Sokolchik (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: psokol@pstu.ru).

Sergey I. Stashkov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru).