

УДК 66.023.2

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ЗА СЧЕТ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ
В ТЕХНОЛОГИЮ ПРОИЗВОДСТВА**

**SAFETY INCREASE ON HYDROGEN PRODUCTION PLANT
DUE TO PRODUCTION TECHNOLOGY MODIFICATION**

**Н.Х. Абдрахманов, Э.Ю. Нигматуллин, Д.Ю. Валекжанин,
Р.А. Курылев**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Nail Kh. Abdrakhmanov, Eduard Yu. Nigmatullin,
Dmitriy Yu. Valekzhanin, Roman A. Kurylev**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

e-mail: anailx@mail.ru

Аннотация. К безопасности эксплуатации объектов нефтепереработки предъявляются высокие требования. Это связано с высокими рабочими давлениями и температурами, а также с обращением вредных и опасных химических веществ и наличием опасных факторов производства. Внесение изменений в технологию производства любой установки нефтеперерабатывающего комплекса является весьма сложной задачей, требующей подробного анализа существующего оборудования и процессов, наличия точных расчетов подтверждающих безопасность, эффективность и целесообразность вносимых изменений в технологический процесс.

В статье проведен анализ по модернизации реактора, в котором протекают процессы конверсии окиси углерода водяным паром, в

результате которого получается дополнительное количество водорода. Рассмотрены недостатки с точки зрения безопасной эксплуатации применяемого на данный момент оборудования.

В результате проведенного исследования предложена новая технологическая схема, благодаря внедрению которой будут отсутствовать потери в производстве водорода данным реактором по причине пропуска теплообменного аппарата и последующего отравления дорогостоящего катализатора конверсии окиси углерода. По причине изменения технологии производства предлагается заменить катализатор низкотемпературной конверсии на катализатор среднетемпературной конверсии ввиду увеличения температурных показателей при протекании реакций в данном реакторе. Также предлагается установка дополнительного теплообменного аппарата после реактора по той же причине, что описана в предыдущем случае. Переобвязка технологической линии незначительна.

Данная технология позволяет избежать непредвиденных остановок реактора на ремонт по причине пропуска теплообменного аппарата, а также позволяет избежать значительных потерь в производстве водорода.

Abstract. To safety of oil processing objects exploitation made great requirements. It is related to the high workers by pressures and temperatures, and also with the handling of harmful and dangerous chemicals and production dangerous factors. Making modifications in production technology of oil-processing complex any plant is a very difficult problem requiring the detailed analysis of existent equipment and processes, availability of accurate calculations confirming safety, efficiency and making modifications expediency in a technological process.

In the article an analysis is conducted on reactor modernization, in that the carbon oxide conversion processes flow aquatic steam that the additional hydrogen ensues. Defects are described from the view point of equipment safe exploitation applied now.

As a research result offers a new flow sheet, due to introduction of that losses will be missing in the hydrogen production in this reactor by skipping reason of heat exchanger and subsequent poisoning of expensive carbon oxide conversion catalyst. By reason of production technology change it is suggested to replace the catalyst of low temperature conversion by the catalyst of middle temperature conversion by reason of the temperature increasing, taking place to be at flowing of reactions in this reactor. Installation of additional heat exchanger is also offered after a reactor on the same reason, that described in the previous case. Modifications of technological line is minor.

This technology allows to avoid the unexpected stopping of reactor for repair by reason of heat exchanger skipping, and also allows to avoid significant losses in the hydrogen production.

Ключевые слова: реактор, конверсия, катализатор, теплообменный аппарат, пропуск, водород, авария, опасный производственный объект

Keywords: reactor, conversion, catalyst, heat exchanger, skip of heating water, hydrogen, accident, hazardous production facility

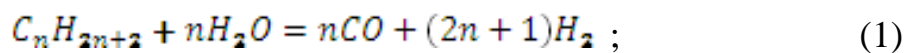
На современном этапе развития нефтехимической промышленности повышение безопасной эксплуатации установок, а также снижение инцидентов, аварий и несчастных случаев на производстве играют одну из важных ролей в решении данной проблемы [1, 2].

Установка производства водорода является опасным производственным объектом и предназначена для получения водородсодержащего газа, используемого в качестве сырья для дальнейших технологических нужд. В качестве сырья для получения водородсодержащего газа используются сухие нефтезаводские газы или природный газ [3, 4].

Установки производства водорода являются уникальными, т.к. проектируются индивидуально в зависимости от требуемых

производственных мощностей, поэтому внесение каких-либо изменений в технологию производства требует тщательного анализа технологических процессов и применяемого оборудования, а также наличия точных расчетов. Любое отклонение от нормального технологического режима может привести к инциденту, а в худшем случае – к аварии с невозвратимыми человеческими потерями [5, 6].

Производство водорода методом паровой конверсии углеводородов включает стадии: подготовка сырья к конверсии и собственно конверсия. На стадии подготовки сырье очищают от органических соединений серы и сероводорода и гидрируют непредельные углеводороды. Кроме этого, конвертированный газ подвергают дополнительной конверсии при средних температурах с целью получения дополнительного водорода из окиси углерода, содержащегося в конвертированном газе. При этом протекают следующие реакции:



В результате конверсии окиси углерода водяным паром получается дополнительное количество водорода, эквивалентное содержанию в газе СО. Реакция протекает без изменения общего объема газа, сопровождается выделением тепла и не зависит от давления. С понижением температуры равновесие смещается в сторону образования водорода и двуокиси углерода. Конверсия окиси углерода проводится при больших температурах [7–9].

Как видно, последняя реакция позволяет получить дополнительное количество водорода (примерно 25 % от общего количества получаемого водорода). В ходе реакции температура внутри реактора повышается, что предъявляет жесткие требования к выбору материального исполнения реактора и его конструкции в целях обеспечения безопасной эксплуатации аппарата. Для борьбы с этим явлением внутри реактора расположен

теплообменник в виде панелей, погруженных в массу катализатора, по которым протекает водяной пар.

Конструкция реактора не безопасна с точки зрения технологии. Из опыта эксплуатации на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса известно, что часто возникают внутренние пропуски воды в панелях теплообменника, от чего водяной пар начинает взаимодействовать с катализатором. Стоит отметить, что для применяемых катализаторов водяной пар является дезактиватором, происходит отравление катализатора, после чего они теряют свои химические свойства. Это, в свою очередь, несет опасность, приводящую к потере технологического газа. В конечном итоге мы не получаем сырье в виде водорода. На выходе у нас будет оксид углерода согласно (2). Данное соединение является пожаро-взрывоопасным и может поступить на дальнейшие установки, что также несет опасность возникновения аварийной ситуации. Во избежание всего вышеперечисленного реактор останавливают. В этом случае газ пропускают по байпасу, реактор останавливают, после чего необходимо выгрузить старый катализатор, заменить панели, а затем засыпать новый слой катализатора. Данная процедура может длиться длительное время, вплоть до месяца и более, и это при условии, что на складе есть резервный катализатор, а также будут произведены процессы по пуску реактора и активации катализатора. Процесс пуска и активации катализатора очень ответственный и сложный процесс, т.к. требуется вывести на рабочий режим реактор после ремонта. При этом на всем протяжении ремонта существует время простоя реактора, в ходе которого мы теряем значительную часть производимой продукции.

Данная проблема является актуальной ввиду частых затрат на ремонт реактора и покупку новой партии катализатора, значительных потерь производимой продукции вследствие пропуска теплообменника с последующим отравлением катализатора и выводом реактора из

эксплуатации, а также пожаро-взрывоопасности образуемых соединений [10–12].

Катализатор, применяемый в данном процессе, является низкотемпературным (НТК), содержащим медь, цинк и оксид алюминия. Реакция конверсии водяного газа играет важную роль в схеме и работе установок по производству аммиака и водорода. Хорошие показатели работы катализаторов конверсии и достижение близкого приближения к равновесию, и, следовательно, минимизация проскока газа СО из катализаторной системы являются критическими условиями для эффективной и экономичной работы установки, для обеспечения максимального выхода водорода из углеводородного сырья. Рабочие температуры для низкотемпературной конверсии составляют 180–270 °С [13–15].

Для повышения безопасности в эксплуатации установки производства водорода предлагается изменить существующую технологическую схему. С этой целью предлагается демонтировать все внутренние элементы теплообменника в реакторе, где протекает реакция паровой конверсии СО, затем засыпать его внутреннюю полость катализатором. Реактор будет переводиться с радиального типа в аксиальный. При этом в виду отсутствия внутреннего теплообменника внутри реактора температура реакции значительно изменится. Для обеспечения безопасной эксплуатации в заданном температурном интервале для трубопроводов и оборудования далее по технологической линии предлагается после данного реактора установить дополнительный теплообменник. Теплоносителем для теплообменника также будет выступать водяной пар. Таким образом, на входе в реактор температура не изменится, а на выходе температура неочищенного водорода будет сниматься далее по схеме в специально сконструированном теплообменнике [16–18].

Для достижения расчетной температуры водородсодержащего газа (ВСГ) на входе в реактор равной 190 °С понадобится переобвязка линии питательной воды из деаэратора.

Ввиду того, что рабочая температура внутри реактора повышается (вплоть до 300 °С), старые катализаторы необходимо заменить на другие, способные выдержать повышенные температуры. Для этого предлагается засыпать полость реактора катализаторами среднетемпературной конверсии СО, которые изготавливаются из оксида меди на стабилизирующем носителе из оксидов цинка и алюминия. Их рецептура оптимизирована в расчете на стабильную работу при более высоких температурах, чем для обычных катализаторов низкотемпературной конверсии. К тому же, данные катализаторы будут обладать такими же химическими свойствами, что и предыдущие, за исключением того, что рабочая температура их гораздо выше. Входная концентрация СО для реакторов среднетемпературной конверсии выше, чем для НТК, соответственно, выходная температура обычно составляет порядка 300 °С. Оптимальная входная температура определяется в процессе эксплуатации. С целью поддержания минимального уровня СО на выходе и обеспечения взрыво-пожаробезопасности эксплуатации установки необходимо корректировать температуру на протяжении всего срока службы катализатора. При этом, однако, недопустимо превышение уровня в 360 °С, в противном случае возникает опасность деактивации катализатора вследствие спекания.

Что нам это даст? Данные мероприятия повысят безопасность в эксплуатации не только реактора, но и установки в целом. С помощью внедряемых нововведений обеспечится безаварийная работа реактора, а также время по замене катализатора вследствие его дезактивации сведется к нулю. Благодаря новой конструкции реактора и последующего охлаждения ВСГ в отдельно сконструированном теплообменнике решается проблема пропуска теплообменника и отравления дорогостоящего

катализатора. При этом будут отсутствовать технологические потери газа и поступления оксида углерода в аппараты далее по технологической схеме, что исключит вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Даже если новый теплообменник будет пропускать – нам всего лишь потребуется его остановить, отглушить, отремонтировать и снова запустить. Время ремонта теплообменника в новом проекте будет составлять порядка нескольких дней (около 5–6 сут), что в разы меньше по времени, чем в старом проекте, где время ремонта может составлять месяц и более. При всем этом незапланированных остановок реактора не предвидится [19, 20].

Выводы

Из всех возможных вариантов решения проблемы данный метод является наиболее эффективным и целесообразным. Предположим, что мы захотели заменить теплоноситель в теплообменнике реактора. Тогда нам дополнительно пришлось бы сооружать отдельный контур и для нового теплоносителя. Также нет гарантии, что и этот теплоноситель не будет пропускать. Даже если мы подберем его таким, который не будет отравлять дорогостоящий катализатор, все равно придется останавливать реактор как минимум для замены панелей, что также экономически не эффективно и не целесообразно.

Данный проект направлен на повышение операционной готовности, исключаются отказы оборудования, сокращается время на ремонт и на иные остановки, а также повышается общий уровень безопасности эксплуатации установки.

Список используемых источников

1. Абдрахманов Н.Х. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2015. № 5. С. 162-164.
2. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А. Анализ системных рисков при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов // Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: матер. VIII науч.-практ. конф. Уфа: УГНТУ, 2014. С. 28-31.
3. Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Необходимые меры по обеспечению безопасной эксплуатации установки производства водорода // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. Т. 7. № 1. С. 147-149.
4. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V., Abdrakhmanova L., Basyirova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. No. 12. pp. 7880-7888.
5. Абдрахманова К.Н., Шутов Н.В. Обеспечение безопасной эксплуатации блока подготовки питательной воды котлов и водяного пара установки производства водорода // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. Т. 7. № 1. С. 166-171.

6. Huang Y., Chen B., Pienkowski E., Chen G., Xiao H. Simultaneous Detection of Liquid Level and Refractive Index Change by Using Long Period Fiber Grating Sensor // Sensor and Accurator A: Physical, Submitted. 2011. 34 p.
7. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. М.: Химия, 1981. 632 с.
8. Матрос Ю.Ш. Каталитические процессы в нестационарных условиях. Новосибирск: Наука, 1987. 229 с.
9. Мухленов И.П., Авербух А.Я., Кузнецов Д.А. Общая химическая технология. Важнейшие химические производства. М.: Высшая школа, 1984. Т. 2. 263 с.
10. Кускильдин Р.А., Абдрахманов Н.Х., Закирова З.А., Ялалова Э.Ф., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 111-120.
11. Kunelbayev M.M., Gaisin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption By Heat-Transfer Agent In A Flat Plate Solar Collector // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2017. Vol. 115. No. 3. pp. 561-575.
12. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks // Man in India. 2017. Vol. 97. No. 20. pp. 495-511.
13. Амирханов К.Ш. Влияние термической обработки микросферического катализатора крекинга на его структуру и каталитические свойства // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2018. № 2. С. 27-42.

14. Gaisina L.M., Maier V.V., Abdrakhmanov N.K., Sultanova E.A., Belonozhko M.L. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the Period of Changes in Economics // *Espacios*. 2017. Vol. 38. No. 48. P. 12.

15. Абдрахманов Н.Х., Турдыматов А.А., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Обеспечение безопасности технологических трубопроводных систем на предприятиях нефтегазового комплекса // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2015. Т. 13. №. 4. С. 254-260.

16. Катализаторы конверсии. Руководство по эксплуатации (общие положения). Johnson Matthey Group, 2014. 56 с.

17. Ivan I., Bradbeer A., McKenzie-Kerr. Human Factors Management at Oil and Gas Assets: Increasing Personnel Risk Awareness through Implementation of Safety Leadership Training Programs // MS, Society of Petroleum Engineers, SPE-182573-MS, 2016. DOI: 10.2118/182573.

18. James Khaliq S.W., Tatam R.P. Fiber-Optic Liquid Level Sensor Using a Long-Period Grating // *Opt. Lett.* 2001. Vol. 26. P. 1224–1226.

19. Проскура В.С., Галлямов М.А., Абдрахманова К.Н., Басырова А.Р. Анализ и актуальные проблемы обеспечения безопасности эксплуатации опасного производственного объекта на примере установки гидроочистки бензиновых фракций НПЗ // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2018. Вып. 5 (115). С. 124-133.

20. Кузеев И.Р., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А., Байбуурин Р.А. Влияние теплового излучения пожара пролива на трубопроводную обвязку технологических аппаратов // *Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: матер. Науч.-практ. конф.* Уфа, 2015. С. 116-120.

References

1. Abdrakhmanov N.Kh. Analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta issledovaniy v oblasti bezopasnogo proektirovaniya i ekspluatatsii tekhnologicheskikh ob"ektov neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv [Analysis of Domestic and Foreign Research Experience in The Field of Safe Design and Operation of Technological Facilities of Oil Refining and Petrochemical Industries]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»* [Materials of The International Scientific and Practical Conference «Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities»]. Ufa, 2015, No. 5, pp. 162-164. [in Russian].
2. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Shaibakov R.A. Analiz sistemnykh riskov pri proektirovanii i ekspluatatsii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov [Analysis of System Risks in The Design and Operation of Hazardous Production Facilities]. *Materialy VIII nauchno-prakticheskoi konferentsii Promyshlennaya bezopasnost' na vzryvopozharoopasnykh i khimicheskii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh* [Materials of The VIII Scientific and Practical Conference Industrial Safety at Explosive and Chemically Hazardous Production Facilities]. Ufa, USPTU Publ., 2014. pp. 28-31. [in Russian].
3. Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Neobkhodimye mery po obespecheniyu bezopasnoi ekspluatatsii ustanovki proizvodstva vodoroda [The Necessary Measures to Ensure the Safe Operation of the Installation of Hydrogen Production]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»* [Materials of The International Scientific and Practical Conference «Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities»]. Ufa, 2016. Vol. 7. No. 1. pp. 147-149. [in Russian].

4. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V., Abdrakhmanova L., Basyirova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, No. 12, pp. 7880-7888.

5. Abdrakhmanova K.N., Shutov N.V. Obespechenie bezopasnoi ekspluatatsii bloka podgotovki pitatel'noi vody kotlov i vodyanogo para ustanovki proizvodstva vodoroda [Ensuring Safe Operation of Feed Water of Boilers and Water Vapor Block of Hydrogen Production Installation]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»* [Materials of The International Scientific and Practical Conference «Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities»]. Ufa, 2016. Vol. 7. No. 1. pp. 166-171. [in Russian].

6. Huang Y., Chen B., Pienkowski E., Chen G., Xiao H. Simultaneous Detection of Liquid Level and Refractive Index Change by Using Long Period Fiber Grating Sensor. *Sensor and Accurator A: Physical, Submitted*, 2011, 34 p.

7. Karapet'yants M.Kh., Drakin S.I. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya* [General and Inorganic Chemistry]. Moscow, Chemistry Publ., 1981. 632 p. [in Russian].

8. Matros Yu.Sh. *Kataliticheskie protsessy v nestatsionarnykh usloviyakh* [Catalytic Processes in Non-Stationary Conditions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 229 p. [in Russian].

9. Mukhlenov I.P., Averbukh A.Ya., Kuznetsov D.A. *Obshchaya khimicheskaya tekhnologiya. Tom 2. Vazhneishie khimicheskie proizvodstva* [General Chemical Technology. Vol. 2. The Most Important Chemical Production]. Moscow, Higher School, 1984. 263 p. [in Russian].

10. Kuskil'din R.A., Abdrakhmanov N.Kh., Zakirova Z.A., Yalalova E.F., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Sovremennye tekhnologii dlya provedeniya proizvodstvennogo kontrolya, povyshayushchie uroven' promyshlennoi bezopasnosti na ob'ektakh neftegazovoi otrasli [Modern Technologies for Operation Control Monitoring Increasing Industrial Safety Level on Oil and Gas Industry Objects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 111-120. [in Russian].

11. Kunelbayev M.M., Gaisin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption by Heat-Transfer Agent in a Flat Plate Solar Collector. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2017, Vol. 115, No. 3, pp. 561-575.

12. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks. *Man in India*, 2017, Vol. 97, No. 20, pp. 495-511.

13. Amirkhanov K.Sh. Vliyanie termicheskoi obrabotki mikrosfericheskogo katalizatora krekinga na ego strukturu i kataliticheskie svoistva [Effect of Heat Treatment of Microspherical Cracking Catalyst on Its Structure and Catalytic Properties]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2018, No. 2, pp. 27-42. [in Russian].

14. Gaisina L.M., Maier V.V., Abdrakhmanov N.K., Sultanova E.A., Belonozhko M.L. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the Period of Changes in Economics. *Espacios*, 2017, Vol. 38, No. 48, 12 p.

15. Abdrakhmanov N.Kh., Turdymatov A.A., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Obespechenie bezopasnosti tekhnologicheskikh truboprovodnykh sistem na predpriyatiyakh neftegazovogo kompleksa [Safety of Technological Pipeline Systems at The Enterprises of The Oil and Gas

Complex]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Online Edition «Oil and Gas Business»*, 2015. Vol. 13. No. 4. pp. 254-260. [in Russian].

16. *Katalizatory konversii. Rukovodstvo po ekspluatatsii (obshchie polozheniya)* [Conversion Catalysts. Operating Manual (General)]. Johnson Matthey Group, 2014. 56 p. [in Russian].

17. Ivan I., Bradbeer A., McKenzie-Kerr. Human Factors Management at Oil and Gas Assets: Increasing Personnel Risk Awareness through Implementation of Safety Leadership Training Programs. *MS, Society of Petroleum Engineers*, SPE-182573-MS, 2016. DOI: 10.2118/182573.

18. James Khaliq S.W., Tatam R.P. Fiber-Optic Liquid Level Sensor Using a Long-Period Grating. *Opt. Lett*, 2001, Vol. 26, pp. 1224–1226.

19. Proskura V.S., Gallyamov M.A., Abdrakhmanova K.N., Basyrova A.R. Analiz i aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti ekspluatatsii opasnogo proizvodstvennogo ob"ekta na primere ustanovki gidroochistki benzinovykh fraktsii NPZ [The Analysis and Current Problems of Ensuring the Hazardous Production Facility Safe Operation on the Example of Gasoline Fractions Hydrotreater of Oil Refinery]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2018, No. 5 (115). pp. 124-133. [in Russian].

20. Kuzeev I.R., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Shaibakov R.A., Baiburin R.A. Vliyanie teplovogo izlucheniya pozhara proлива na truboprovodnuyu obvyazku tekhnologicheskikh apparatov [Influence of Thermal Radiation of the Strait Fire on the Piping of Technological Devices]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»* [Materials of The International Scientific and Practical Conference «Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities»]. Ufa, 2015. pp. 116-120. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Абдрахманов Наиль Хадитович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Nail Kh. Abdrakhmanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: anailx@mail.ru

Нигматуллин Эдуард Юлаевич, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Eduard Yu. Nigmatullin, Undergraduate Student of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: nigmat.23@gmail.com

Валекжанин Дмитрий Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Dmitriy Yu. Valekzhanin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: pbot@mail.ru

Курылев Роман Александрович, студент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Roman A. Kurylev, Student of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: romkury@yandex.ru