

УДК 620.193

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.28.1.008](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.28.1.008)

Система поддержки принятия решений при подготовке нефти с использованием цифрового двойника технологической установки

Д.В. Коноваленко

*Самарский государственный технический университет
Самара, Российская Федерация*

Резюме: Настоящая статья посвящена использованию цифровых двойников на установках подготовки нефти. Актуальность темы обусловлена необходимостью непрерывного мониторинга качества подготовки нефти. Указанная проблема часто возникает при поступлении на установку смеси нефтей, добываемых из пластов с высоким и низким содержанием сероводорода. Основной идеей является теоретическое прогнозирование качества в промежутках между анализами нефти в лабораторных условиях. Эта задача решается с помощью математического моделирования установки подготовки нефти. В основу математической модели установки подготовки нефти положено кубическое уравнение состояния Пенга-Робинсона. Реализация предлагаемого цифрового двойника выполнена на основе отечественного программного продукта «МиРПиА Процесс». В статье рассмотрен случай динамически изменяющегося состава сырой нефти, поступающей на технологическую установку. Математическая модель прогнозирует расходы и составы стабильной нефти и газового конденсата. В результате цифровой двойник дает возможность выбирать технологический режим для поддержания стабильности качества подготовленной нефти: температуру конечной ступени сепарации и расход химического реагента для нейтрализации сероводорода. Материалы, представленные в статье, представляют практическую ценность для специалистов, занимающихся подготовкой нефти на промысле.

Ключевые слова: цифровой двойник, установка подготовки нефти, математическая модель, давление насыщенного пара, очистка нефти от сероводорода

Для цитирования: Коноваленко Д.В. Система поддержки принятия решений при подготовке нефти с использованием цифрового двойника технологической установки. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(1). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/Konovalenko_1_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.008

The system of decision-making support for oil conditioning using by digital twin of technological plant

D.V. Konovalenko

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

Abstract: This paper is about using of the digital twins for oil conditioning plants. A relevance of this theme is due to continuous monitoring of conditional oil quality. This problem arises when conditioning oil is the mix of low- and high H₂S content streams. The main idea of this paper is theoretical calculation of the oil quality in between laboratory analyses. This task is solving using by mathematical modeling of the oil conditioning plant. A foundation of model is the Peng-Robinson cubic equation of state. The proposed digital twin is realized by Russian program «MiRPiA Process». In the considered case a composition of source oil changes dynamically. The mathematical model predicts rates and compositions of the conditioned oil and a gas condensate. Therefore digital twin allows to determine

parameters of an exploitation mode: last separation temperature and rate of H₂S neutralizer. This paper may be interesting for oil conditioning specialists.

Keywords: digital twin, oil conditioning plant, mathematical model, saturated vapor pressure, removing H₂S from oil.

For citation: Konovalenko D.V. The system of decision-making support for oil conditioning using by digital twin of technological plant. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(1). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/Konovalenko_1_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.008 (In Russ).

Введение

В современной промышленности все большее распространение получают математические модели технологических установок – цифровые двойники (ЦД) [1-3]. Актуальность их внедрения обуславливается возможностью значительного повышения эффективности и экономических показателей производства.

Значительный интерес к цифровым двойникам проявляет и нефтяная промышленность, которая с их помощью стремится решить ряд производственных проблем. В частности, подготовка нефти на нефтедобывающих предприятиях сталкивается с проблемой обеспечения давления насыщенных паров (ДНП) и содержание H₂S в товарной нефти, отправляемой на транспорт. Это обусловлено тем, что каждая установка подготовки нефти (УПН) принимает смесь нефтей, поступающих с большого количества скважин. Объем добычи каждой скважины постоянно меняется во времени из-за нестабильности нефтеотдачи пласта и периодического выхода из строя добывающего оборудования. С учетом того, что химические составы разрабатываемых пластов различны, суммарная нефть, поступающая на подготовку, также постоянно меняется. Поэтому параметры технологического режима работы УПН должны постоянно адаптироваться к текущему составу нефти.

Однако в настоящее время эта задача не является решенной в силу следующих причин:

- 1) анализ нефти производится специализированными лабораториями, создание которых в промысловых условиях затруднено или невозможно;
- 2) проведение анализа нефти требует значительных временных затрат, что исключает возможность оперативного управления технологическим процессом;
- 3) вопрос о выборе параметров технологического режима на основании химического состава нефти решается на уровне проектных институтов, что также исключает возможность оперативного управления технологическим процессом.

Нерешенность данной задачи приводит к двум основным производственным проблемам:

- 1) в случае, когда ДНП нефти и/или содержание H₂S выше нормативных значений, в систему транспорта поступает нефть, не соответствующая стандарту;
- 2) в обратном случае происходят существенные потери углеводородов с попутным нефтяным газом или перерасход химического реагента для нейтрализации сероводорода.

Материалы и методы

В рамках настоящей работы для решения указанной задачи предлагается использовать адаптивный цифровой двойник установки подготовки нефти. Он представляет собой математическую модель технологического процесса, протекающего на действующей установке, способную в реальном времени адаптироваться к текущему

режиму работы по данным системы КИПиА. Внедрение такого ЦД позволит непрерывно прогнозировать качество подготавливаемой нефти и оптимизировать режим работы технологической установки.

Все вышесказанное говорит об актуальности разработки и внедрения ЦД на предприятиях нефтегазового комплекса.

Структурная схема предлагаемой системы мониторинга качества подготовки нефти представлена на Рисунке 1.

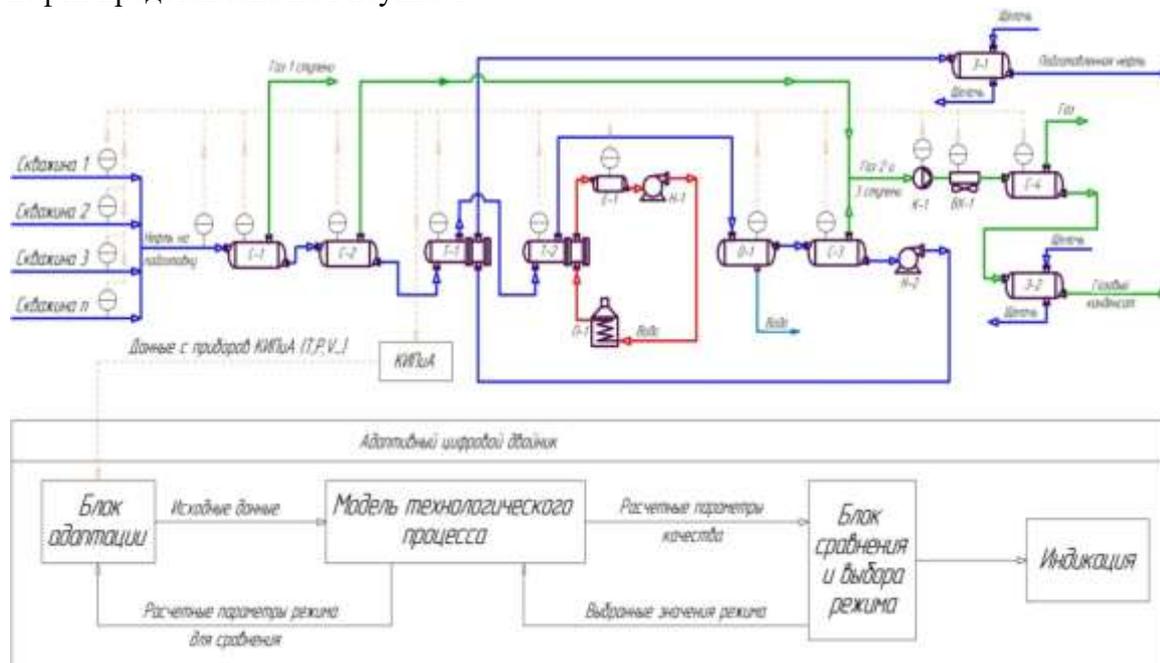


Рисунок 1 – Структурная схема системы мониторинга качества подготовки нефти.

Figure 1 - Block diagram of a system for monitoring the quality of oil treatment

Она представляет собой программный продукт – ЦД, сопряженный с существующими системами учета добываемой нефти и КИПиА установки подготовки нефти. ЦД в реальном масштабе времени собирает данные по расходам добываемой нефти, режиму работы УПН и на их основании адаптирует математическую модель [4, 5] технологического процесса к текущему состоянию. В результате он получает прогнозируемое значение ДНП и содержания сероводорода в товарной нефти. В случае отклонения качества от нормативных значений ЦД выдает рекомендации по корректировке температуры нагрева нефти и расходу химического реагента для нейтрализации сероводорода.

Математическая модель УПН представляет собой зависимость показателей качества подготовленной нефти от состава сырья и параметров технологического режима

$$P_{НП} = f(z_i, T_i, P_i). \quad (1)$$

$$x_{H_2S} = f(z_i, T_i, P_i). \quad (2)$$

где: z_i – состав исходной нефти,
 T_i, P_i – температура и давление в аппаратах.

В силу сложности технологического процесса и многокомпонентности технологических сред составление уравнений (1) – (2) в аналитическом виде не

представляется возможным. Указанная задача решается с помощью численного решения уравнений материального и теплового балансов, а так же фазовых равновесий. В их основу положено уравнение состояния Пенга-Робинсона.

Для решения данных уравнений был использован программный продукт «МиРПиА Процесс» [6-9]. Данный продукт позволяет решать проектные и производственные задачи, связанные с моделированием технологических процессов и аппаратов в различных отраслях промышленности. Он создан на базе общепринятых методов математического моделирования оборудования и технологических установок и включает следующие модули:

- расчёта теплофизических свойств индивидуальных компонентов, углеводородных фракций и их смесей;
- расчёта фазовых равновесий многокомпонентных систем при различных условиях;
- моделирования различных теплообменных и гидромеханических аппаратов;
- объединения совокупности аппаратов в комплексную модель технологической установки для прогнозирования параметров работы оборудования и свойств технологических потоков;
- обработки результатов моделирования и генерации отчётов.

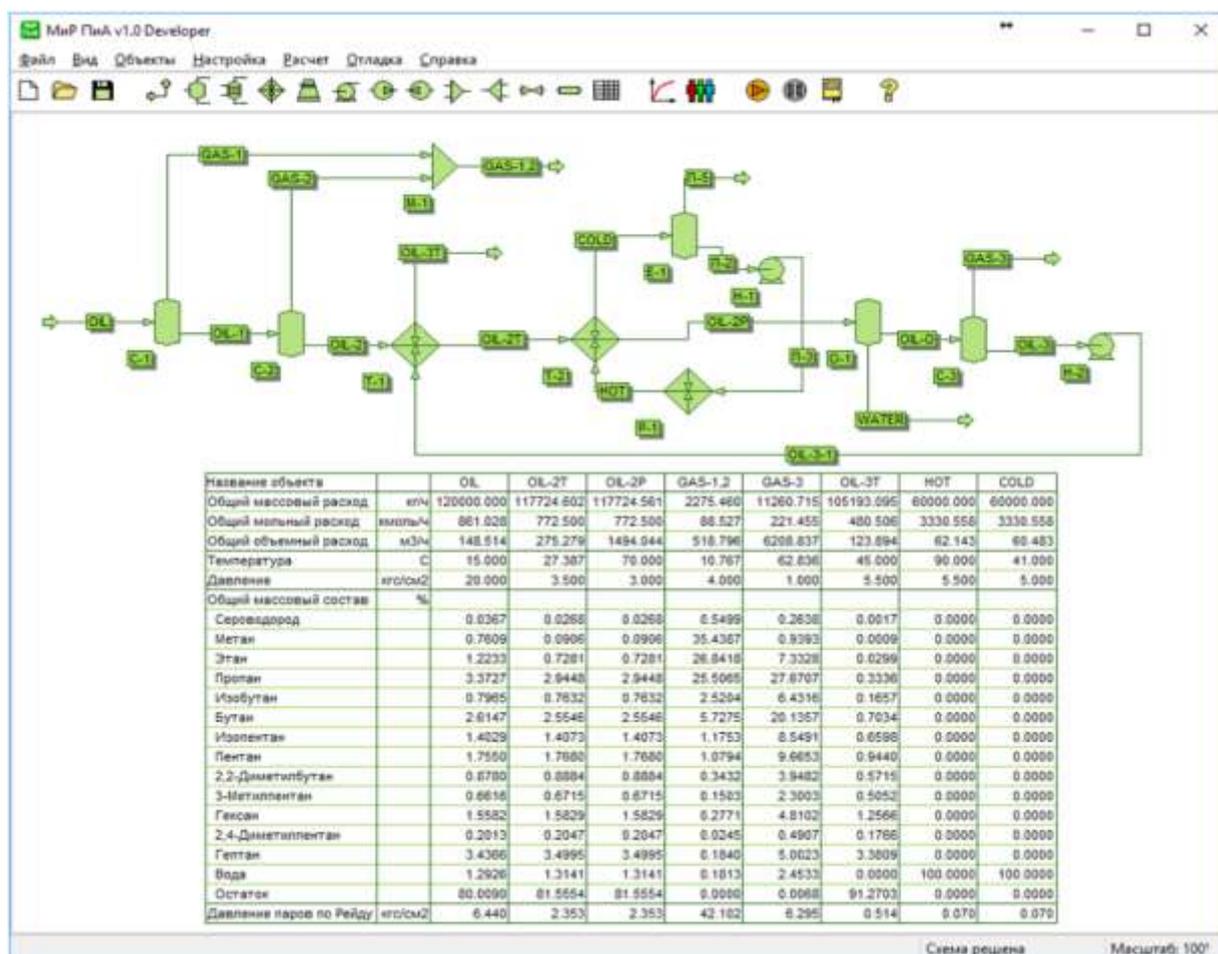


Рисунок 2 – Модель установки подготовки нефти построенная с помощью программного продукта «МиРПиА Процесс».

Figure 2 - Oil treatment plant model built using the «MiRPIA Process» software product.

Основной проблемой работы данной установки является изменение состава поступающей нефти в следствии нестабильности расходов нефтей из разных пластов. На Рисунке 3 представлена ситуация, когда добыча одного из пластов (наиболее сернистого) временно прекращается из-за остановки скважины на ремонт.

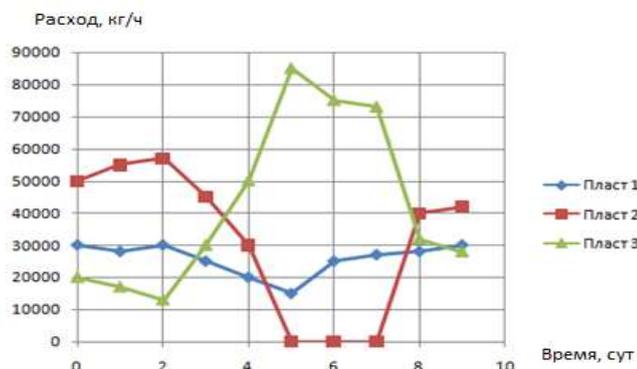


Рисунок 3 – Зависимость расходов нефти с различных пластов, поступающих на УПН.
 Figure 3 - Dependence of oil consumption from various reservoirs entering the oil treatment plant

Результаты

Созданная с помощью программной платформы «МиРПиА Процесс» модель УПН позволила определить показатели качества подготовленной нефти в условиях динамически меняющегося состава сырья.

В результате моделирования установлено, что данная схема подготовки нефти обеспечивает поддержание ДНП на достаточно стабильном уровне даже при постоянном температурном режиме на конечной ступени сепарации. Таким образом, корректировка по температуре не требуется.

Существенно более сложной является ситуация с очисткой от сероводорода. Его количество в исходной смеси постоянно меняется вследствие смешения высокосернистых и малосернистых нефтей. Как следствие непрерывно меняется его остаточное содержание в разгазированной нефти и газовом конденсате. Динамика изменения содержания сероводорода представлена на Рисунке 4.

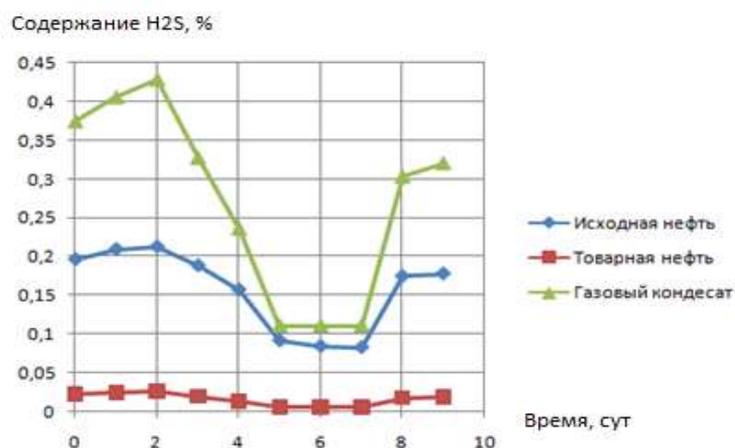


Рисунок 4 – Зависимость содержания сероводорода в потоках УПН от времени.
 Figure 4 - The dependence of the content of hydrogen sulfide in the flows of oil treatment plant from to time

Однако расход реагента на нейтрализацию сероводорода постоянен и принимается по средним значениям. Это связано с тем, что определение количества сероводорода в нефти проводится в лабораторных условиях и занимает длительное время, что приводит к двум проблемам:

1. Проскок сероводорода в случае, когда реагента не хватает.
2. Перерасход реагента в случае пониженного содержания сероводорода.

Поэтому количество реагента, подаваемого на нейтрализацию сероводорода, должно выбираться в зависимости от его остаточного содержания. С использованием созданной модели открывается возможность определения необходимого количества химического реагента для нейтрализации сероводорода. Для рассмотренной УПН зависимость расхода реагента от времени представлена на Рисунке. В начальный момент времени на установку поступает более сернистая нефть, что требует увеличения расхода щелочи на нейтрализацию. В дальнейшем количество сероводорода в исходной нефти падает, что влечет за собой снижение потребности в щелочи.

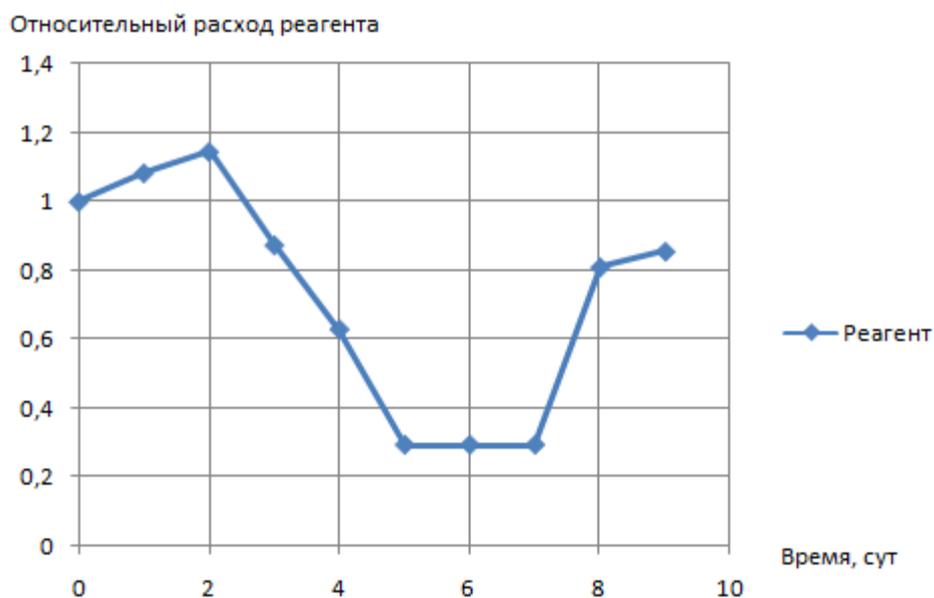


Рисунок 5 – Зависимость расхода щелочи, подаваемой для нейтрализации сероводорода, полученная с помощью ЦД.

Figure 5 - The dependence of the flow of alkali supplied to neutralize hydrogen sulfide obtained using DC

Заключение

Таким образом, наличие цифровых двойников на установках подготовки нефти позволяет производственному персоналу прогнозировать качество продукции и принимать более взвешенные решения по выбору параметров технологического режима. Применение таких технологий способно повысить стабильность качества подготовки нефти и в значительной мере снизить вероятность проскока не кондиционной нефти в товарную сеть, тем самым вывести производство на новый, более высокий экономический уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С. Цифровые двойники в промышленности: сегодня и завтра //ИКС, 2019;(2):81-83.
2. Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников, как одно из ключевых направлений цифровизации производства. *International Journal of Open Information Technologies*, 2019;7(5):105-115.
3. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. *Colloquium-Journal*, 2019;34(10):31-35.
4. Щербинин И.А., Уржумова А.М., Суллагаев А.В. Моделирование процессов подготовки конденсата в среде HYSYS. *Нефтяное хозяйство*, 2004;(3).
5. Чернышев С.В., Фахретдинов И.З., Тарасов М.Ю., Иванов С.С. Особенности расчетов материально-тепловых балансов процессов сбора, подготовки и транспорта нефти и газа в среде HYSYS. *Нефтяное хозяйство*, 2014;(10):118-120.
6. Коныгин С.Б., Крючков Д.А. Моделирование и расчет процессов и аппаратов (МиРПиА). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015613176.
7. Иवानяков С.В., Игнатенков Ю.И., Коноваленко Д.В. Моделирование работы пластинчатых теплообменников в системе двухконтурного водоснабжения. *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки, 2017;54(2):196-199.
8. Иवानяков С.В., Крючков Д.А. Применение программного продукта «МиРПиА» для компьютерного моделирования систем сепарации нефти. *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки, 2018;57(1):168-172.
9. Коныгин С.Б. Моделирование регулирующих клапанов в программном продукте «МиРПиА». *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки, 2018;58(2):166-170.

REFERENCES

1. Soloviev S. Cifroviedvoyniki v promishlennosti: segodniaizavtra. *IKS*, 2019;(2):81-83.
2. Kurganova N.V., Filin M.A., Cherniaev D.S., Shaklein A.G., Namiot D.E. Vnedrenie cifrovih dvoynikov kak odno iz kluchevich napravlenii cifrovizacii proizvodstva. *International Journal of Open Information Technologies*, 2019;7(5):105-115.
3. Kokorev D.S., Iyrin A.A. Cifroviedvoyniki: ponyatiya tipy i preimushestva dlya biznesa. *Colloquium-Journal*, 2019;34(10):31-35.
4. Sherbinin I.A., Urgumova A.M., Sullagaev A.V. Modelirovanie procesov podgotovki kondensata v srede HYSYS. *Neftyanoe hozyaistvo*, 2004;(3).
5. Chernichov S.V., Fahretdinov I.Z., Tarasov M.Y., Ivanov S.S. Osobennosti raschetov materialno-teplovach balansov processov sbora, podgotovki I transportanefti I gazasrede HYSYS. *Neftyanoe hozyaistvo*, 2014;(10):118-120.
6. Konygin S.B., Kryuchkov D.A., Modelirovanie I raschetprocessov I apparatov (MiRPiA) Svidetelstvo o gosudarstvennoy registracii programmi dlya EVM №2015613176.
7. Ivanyakov S.V., Ignatenkov Y.I., Konovalenko D.V. Modelirovanie raboti plastinchatih teploobmennikov v systeme dvuhkonturnogo vodosnabgenya. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. Seriya: Tehnicheskie nauki, 2017;54(2):196-199.

8. Ivanyakov S.V., Kryuchkov D.A., Primenenie programnogo produkta «MiRPiA» dlya kompyuternogo modelirovaniya system separacii nefti. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*. Seriya: Tehniceskieniuki, 2018;57(1):168-172.
9. Konigin S.B., Modelirovanie reguliruychich klapanov v programnom produkte «MiRPiA». *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*. Seriya: Tehniceskieniuki, 2018;58(2):166-170.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Коноваленко Денис Владимирович, старший преподаватель, кафедра машины и оборудование нефтегазовых и химических производств Самарского государственного технического университета, Самара, Российская Федерация.
Denis V. Konovalenko, Senior Teacher, Department Of Machines And Devices Of Oil And Chemical Plants. Samara State Technical University, Samara, Russian Federation.
e-mail: mahp@inbox.ru