

УДК 66.012-52

М.А. Работников¹, И.А. Вялых¹, А.М. Немтин²¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия²ООО «Инфраструктура ТК», Пермь, Россия

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИМ РИФОРМИНГОМ

В нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической отраслях промышленности в настоящее время активно внедряются системы усовершенствованного управления технологическими процессами. Данные системы обеспечивают оптимальное ведение технологического процесса в соответствии с выбранными критериями, а также позволяют формализовать и использовать экспертные знания операторов, снизив влияние человеческого фактора. Внедрение подобных систем управления особенно актуально для технологических процессов, на выходе из которых получают товарные продукты, ввиду прямой зависимости между показателями качества выпускаемой товарной продукции и экономическими показателями работы всего предприятия. В статье представлены результаты проектирования системы усовершенствованного управления для установки каталитического риформинга на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», занимающей конечное положение в производства ароматических углеводородов. На основании особенностей технологического процесса и задач по управлению и оптимизации в состав системы усовершенствованного управления включены три контроллера для каждого из производственных блоков соответственно. Для демонстрации работы многопараметрического контроллера рассмотрена оптимизационная задача максимизации целевой функции прибыли, решаемая контроллером блока экстрактивной дистилляции и вторичной ректификации. Решение оптимизационной задачи осуществляется на основе технологических переменных и расчетов показателей качества продуктов, прогнозируемых виртуальными анализаторами. Для данного производства построены математические модели 39 виртуальных анализаторов в виде многопараметрических регрессионных уравнений. Для каждой модели проведена её структурная и параметрическая идентификация. На основании рассчитываемых виртуальным анализатором значений показателя качества и соответствующих реальных значений произведена проверка построенных моделей. Рассмотрен пример построения виртуального анализатора содержания основного вещества в толуоле.

Ключевые слова: система усовершенствованного управления технологическим процессом, многопараметрический контроллер, управление на основе прогнозирующей модели, виртуальный анализатор.

M.A. Rabotnikov¹, I.A. Vialykh¹, A.M. Nemtin²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²LLC "Infrastructure TK", Perm, Russian Federation

TECHNICAL DESIGN ADVANCED CONTROL SYSTEM OF THE CATALYTIC REFORMING UNIT

Advanced process control systems are being actively implemented in the refining, petrochemical and chemical industries. These systems provide optimal process control and allow to formalize and use the expert data of operators, reducing the influence of the human factor. These systems provide optimal process control and allow to formalize and use the expert data of operators reducing the influence of the human factor. Integration of such control systems is important for technological processes supplying finished products, because there is a correlation between the quality of products and economic performance of the entire enterprise. This article contains the results of designing an advanced control system for a catalytic reforming unit occupying a final position in the production of aromatic hydrocarbons at the enterprise LLC "Lukoil-Permnefteorgsintez". The advanced process control system takes on the peculiarities of the technological process and the tasks of management and optimization and contains three controllers for each of the production units. For this production, mathematical models of 39 virtual analyzers in the form of multiparameter regression equations were constructed. For each model, its structural and parametric identification was made. The constructed models were checked based on the values given by the virtual analyzer and corresponding real values. A virtual analyzer for the content of the main substance in toluene is considered as an example.

Keywords: Advanced Process Control, multiparameter controller, control based on predictive model, virtual analyzer.

Установка каталитического риформинга с предварительной гидроочисткой исходного сырья 35-8/300Б ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» предназначена для производства ароматических углеводородов методом каталитического риформинга с предварительной гидроочисткой бензиновых фракций.

Каталитический риформинг занимает конечное положение в процессе производства ароматических углеводородов [1]. Товарными продуктами установки являются бензол, толуол и сольвент, от качества которых напрямую зависят экономические показатели работы всего предприятия, в том числе технические и экономические показатели работы смежных процессов производства нефтепродуктов (рис. 1).

В нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической отраслях промышленности в настоящее время активно внедряются системы усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП), в том числе и на установках риформинга [2–9]. Для непрерывной оптимизации технологического режима работы установки 35-8/300Б в соответствии с заданными критериями оптимального управления принято решение о внедрении СУУТП.

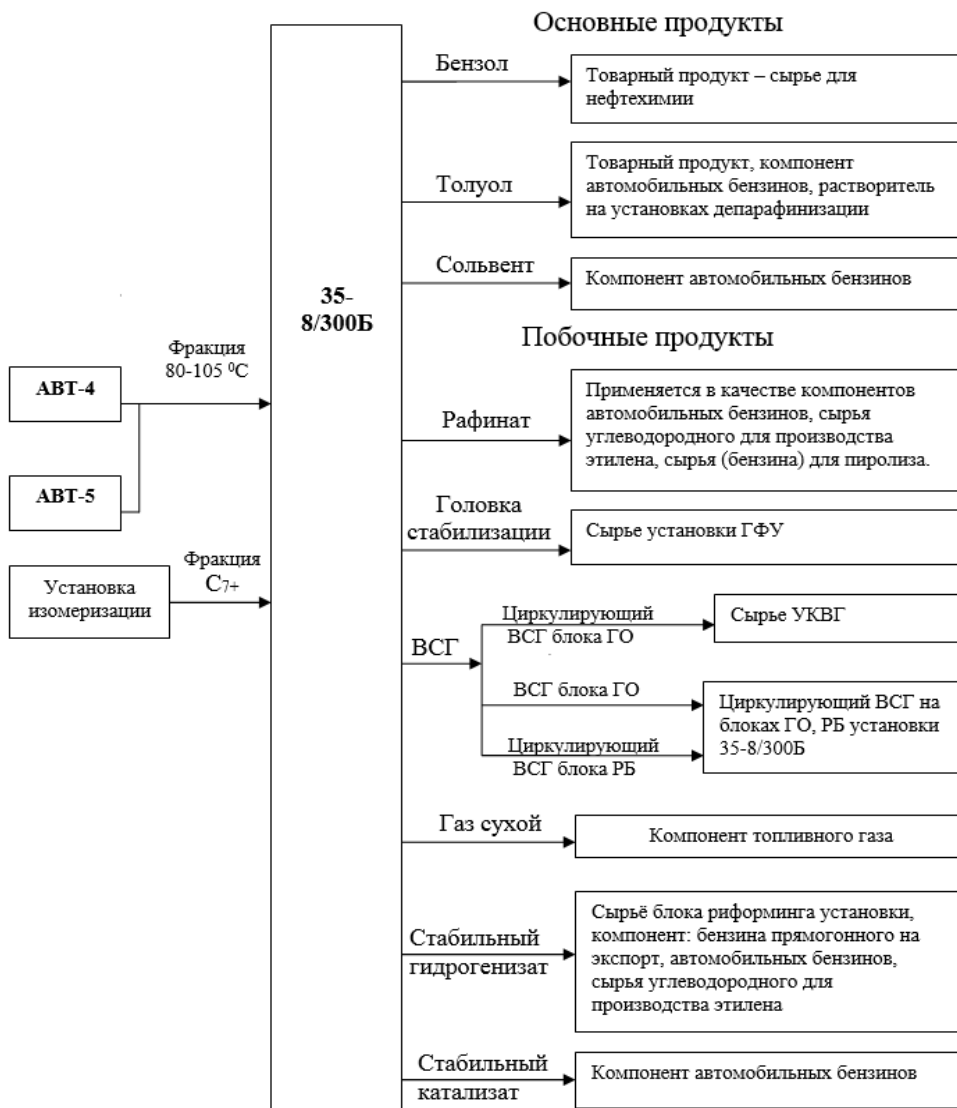


Рис. 1. Схема производственных связей

Данная система обеспечит оптимальное ведение технологического процесса, а также позволит формализовать и использовать экспертные знания операторов, снизив влияние человеческого фактора на процесс управления, уменьшив тем самым возможность ошибки и повысив точность поддержания показателей качества продуктов установки [10, 11]. Сырье и продукты нефтеперерабатывающих установок – это смесь углеводородов различной структуры и состава. В зависимости от

исходной нефти, процесса ее переработки на предыдущих стадиях, состав сырья установки может значительно меняться, являясь неконтролируемым возмущением при управлении технологическим процессом. В связи с этим СУУТП должна решать следующие задачи:

1) стабилизация ключевых показателей качества продуктов установки при внешних возмущениях (изменение загрузки, свойств сырья или внешних условий, вмешательство операторов);

2) оптимизация работы установки по технико-экономическим критериям (увеличение выхода более ценных продуктов за счет менее ценных, энергосбережение);

3) сокращение времени переходных процессов и потерь нефтепродуктов при сменах производственных заданий по количеству и качеству выпускаемой продукции.

Решение поставленных задач возможно следующими методами:

1) расчет текущих значений показателей качества по эмпирическим зависимостям в виде уравнений множественной регрессии на основе известной измерительной информации;

2) разработка и идентификация многопараметрической математической модели технологической установки (рис. 2) в виде матриц, отражающей связь между управляемыми переменными (MV), регистрируемыми возмущениями (DV) и управляемыми переменными (CV), где каждый элемент матрицы описывает функциональную связь переменных в виде динамических моделей. На основании построенной ММ ОУ осуществляется;

3) решение оптимизационной задачи с использованием разработанной матричной модели объекта управления.

С учетом экономических требований в СУУТП предусмотрено решение следующих оптимизационных задач:

– максимизация отбора стабильного гидрогенизата за счет снижения запаса по показателю качества «массовая доля общей серы в стабильном гидрогенизате»;

– максимизация отбора стабильного катализата за счет снижения запаса по качественным показателям «октановое число стабильного катализата»;

– максимизация степени извлечения бензола и толуола / максимизация общей стоимости продуктов блока ЭДВР (экстрактивной дистилляции и вторичной ректификации).

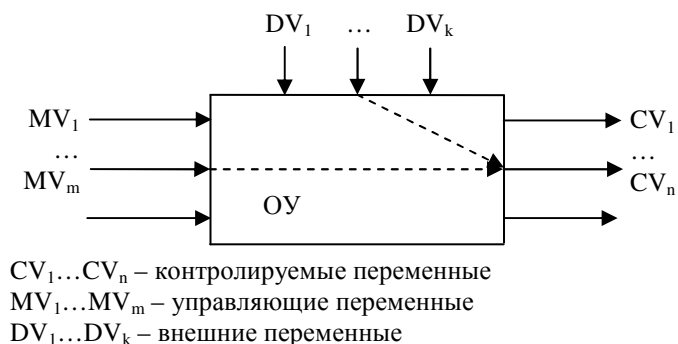


Рис. 2. Модель многоканального ОУ

С учетом особенностей технологического процесса и реализации управляющих алгоритмов в СУУТП разработано три многопараметрических управляющих контроллера, каждый из которых решает оптимизационную задачу и имеет в своем составе одну многопараметрическую математическую модель блока технологической установки: контроллер блока гидроочистки, контроллер блока риформинга и контроллер блока ЭДВР.

Для управления установкой необходима информация по 39 показателям качества продуктов. 39 математических моделей расчета показателей качества в режиме реального времени, так называемые виртуальные анализаторы (ВА), в рамках СУУТП реализованы по структуре, представленной на рис. 3.

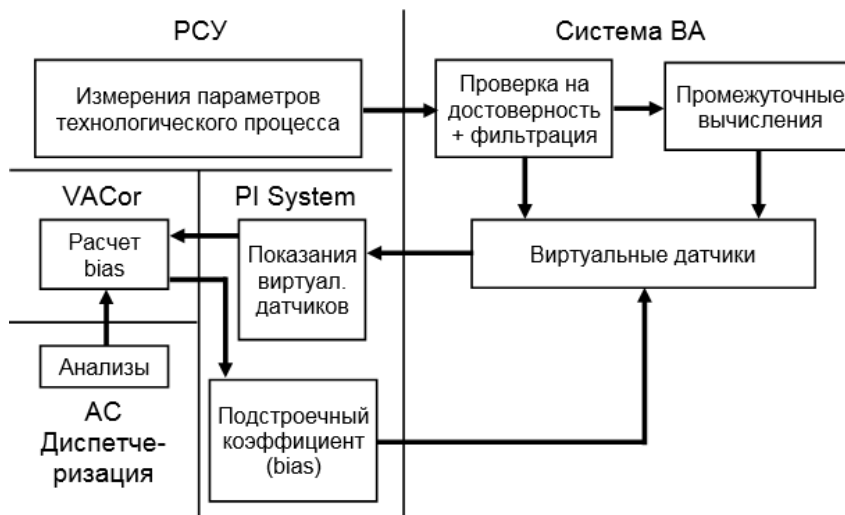


Рис. 3. Схема передачи данных между серверами PCУ и СУУТП

Сигналы полевых датчиков из распределенной системы управления (PCY) передаются в систему валидации входных сигналов, которая объединяет в себе функции проверки входных сигналов на достоверность и их фильтрацию. Подготовленные данные поступают на входы виртуальных анализаторов.

Математические модели, реализованные в ВА, со временем устаревают, для их адаптации использована автоматическая подстройка ВА в ПО VASor путем корректировки свободных членов уравнений регрессии ВА с учетом вновь поступающих данных аналитического контроля из LIMS AC «Диспетчеризация» [12, 13]. При адаптации моделей ВА контролируется сходимость модели и эмпирических данных. Передача рассчитанных коэффициентов осуществляется через базу данных реального времени, функционирующую на предприятии, PI System в платформу СУУТП с ВА. Для каждого ВА произведена структурная и параметрическая идентификация математической модели в виде многопараметрического регрессионного уравнения [14]. В качестве примера приведена модель ВА содержания основного вещества в толуоле.

$$\begin{aligned}
 Q = & -0,07261541486 \cdot SF + 0,0006864133757 \cdot VF + 0,015855293375 \times \\
 & \times SF^2 + 0,1056628376 \cdot PIRCA2015 + 0,001605214318 \cdot TIRCA102 + \\
 & + 0,01272044331 \cdot TIR1155 - 0,01395688951 \cdot TIRCA1160 - \\
 & -4,714203533 \times 10^5 (FRSA3 - 02 / FIR3 - 06) + 99,81570435.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В таблице приведено описание используемых переменных и промежуточных вычислений.

Виртуальный анализатор содержания основного вещества в толуоле

Переменная	Дескриптор
FIRCA3002	Расход растворителя в К-201
FIRC3019A	Расход пара в рибойлер Т-102 колонны К-201
FIRC3019B	Расход пара в рибойлер Т-102А колонны К-201
FIRC3018	Расход орошения в К-201
FIRCA3015	Расход сырья на ЭДВР
FIRCA3021	Расход насыщенного растворителя из К-201
PIRCA2015	Давление верха К-201
TIRCA1023	Температура куба К-201
TIR1155	Температура верха К-104М
TIRCA1160	Температура в К-104М
FRSA3-02	Расход циркулирующего ВСГ
FIR3-06	Расход сырья на РБ
Промежуточные вычисления	
SF = FIRCA3002 / FIRCA3015	
VF = (FIRC3019A + FIRC3019B) / FIRCA3015	
SF2 = FIRC3021 / FIRCA3015	

На рис. 4 представлен график содержания основного вещества в толуоле: реальные значения и значения, рассчитанные по модели ВА.

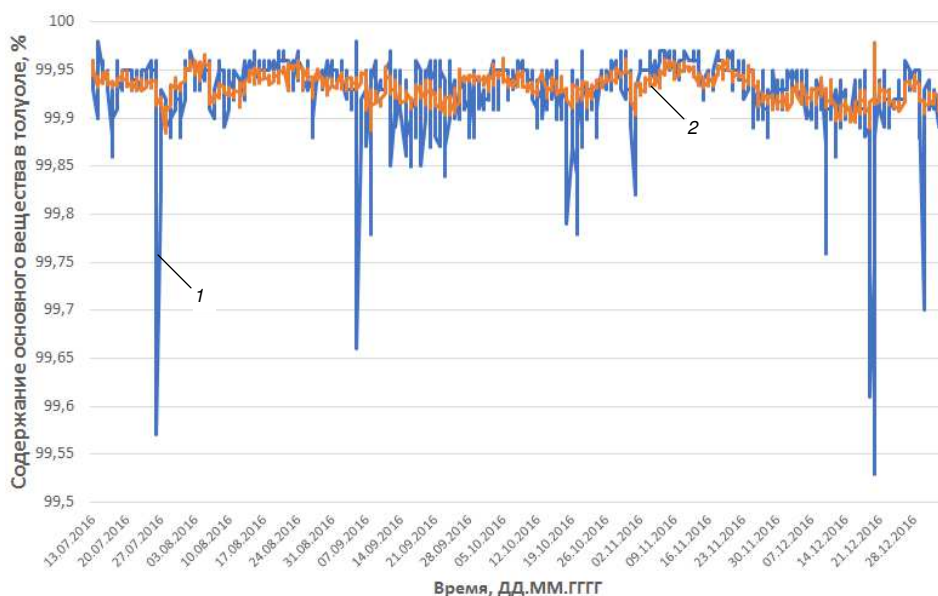


Рис. 4. Содержание основного вещества в толуоле: 1 – лабораторные данные; 2 – данные прогнозируемые ВА

Для оценки адекватности математических моделей ВА рассчитаны коэффициент детерминации (2) и средняя ошибка (3) [15–17].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где y_i – значения результатов лабораторного контроля качества продуктов установки; \hat{y}_i – оценка качественных характеристик продуктов установки, рассчитанная по модели ВА; \bar{y} – среднее арифметическое значение результатов лабораторного контроля;

$$aveE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где y_i – результат лабораторного контроля; \hat{y}_i – соответствующие им значения, рассчитанные по модели.

Коэффициент детерминации для приведенного в примере ВА составил 0,2919, средняя ошибка – 0,01667, что позволяет использовать анализатор при прогнозировании содержания основного вещества в толуоле [18].

Для управления процессом разработана многопараметрическая динамическая модель, для примера представлена модель блока ЭДВР состоящая из 34 управляемых переменных (CV), 12 управляющих переменных (MV) и 12 переменных контролируемых внешних возмущений (DV). Фрагмент матрицы коэффициентов усиления построенной модели блока ЭДВР представлен на рис. 5.

Модельная матрица контроллера блока ЭДВР (MV9-DV4)

МАТРИЦА КОНТРОЛЛЕРА 58_EDVR 24.10.2018 13:55:21			MV9	MV10	MV11	MV12	DV1	DV2	DV3	DV4
			Передача Т в К-103М 58_TDIRCA1132.SP	Т в 17-й передаче К-103М 58_TIRCA1135.SP	Ф орошения в К-104М 58_FIRC3140.SP	Ф пара в К-104М 58_FIRC3141.SP	Ф пара в К-201 58_FIRCA3015.PV	Т после ВХК-102 58_TIRCA1036.PV	Р верхя К-201 58_FIRCA2015.PV	Р верхя К-202 58_PIR2070.PV
CV1	RAF_AROM.PV	Содержание ароматики в рафинате					-1,54	0,0575	-6,07	
CV2	RAF_BENZENE.PV	Содержание бензола в рафинате					-1,5	0,0522	-5,65	
CV3	RAF_REFR.PV	Коэффициент рефракции рафината					-0,0004	0,0000151	0,00454	
CV4	EXTR_PARAF.PV	Содержание парафиновых в экстракте					0,0655	-0,00114	0,364	0,0876
CV5	EXTR_REFR.PV	Коэффициент рефракции экстракта					-0,000229	0,00006	0,005	-0,00528
CV6	EXTR_TOLU.PV	Содержание толуола в экстракте					-8,6	0,834	45	-16,7
CV7	EXTR_BENZ.PV	Содержание бензола в экстракте					9,42	-0,8	-55	18,3
CV8	BENZ_BENZ.PV	Содержание бензола в бензоле	-0,026 _N	0,0311 _N			-0,119	0,0045	-0,6	0,107
CV9	BENZ_RO.PV	Плотность бензола	0,00000142 _N	-0,0000247 _N			-0,00013	0,00000822	-0,00211	-0,000466
CV10	BENZ_BOIL.PV	Пределы кипения бензола	0,0321 _N	0,01 _N			-0,0455	-0,0025	0,3	-0,128
CV11	TOLU_TOLU.PV	Содержание толуола в толуоле		0,000324	0,001 _N					

Расшифровка обозначений

-9	- прогноз
0.5 _N	- управление с нормальным приоритетом и прогноз
-0.15 _L	- управление с пониженным приоритетом и прогноз
0.25 _{LL}	- управление с минимальным приоритетом и прогноз

Рис. 5. Фрагмент матрицы контроллера блока ЭДВР

Для демонстрации работы СУУТП рассмотрена оптимизационная задача контроллера блока ЭДВР максимизации целевой функции:

$$F = \sum_{i=1}^N W_i \cdot C_i - S \sum_{j=1}^M V_j, \quad (4)$$

где W_i – расход i -го продукта с установки, т/ч; C_i – стоимость i -го продукта с установки, руб/т; S – стоимость пара, руб/т; V_j – расход водяного

пара в j -й теплообменный аппарат, т/ч; N – число продуктов на выходе с блока ЭДВР; M – количество ребойлеров колонн блока ЭДВР.

Решение оптимизационной задачи (4) осуществляется на основе технологических переменных и расчетов показателей качества продуктов, прогнозируемых ВА.

СУУТП, реализованная в виде надстройки над действующей РСУ, собирает из нее необходимые данные о ходе технологического процесса и передает в РСУ задания регуляторам управляемых переменных. Прогнозные значения от ВА используются в качестве управляемых переменных для многопараметрического контроллера, решающего задачу оптимизации технологического режима в рамках ограничений на технологические переменные и показатели качества продукции установки, в соответствии с заданной целевой функцией. Такая реализация позволяет максимизировать выход одного продукта за счет других в рамках накладываемых ограничений с минимальными затратами [19, 20].

Выводы. Результатом работы являются 39 математических моделей расчета показателей качества выпускаемой продукции установки риформинга.

Определены структура и параметры трех многопараметрических контроллеров для каждого блока установки: гидроочистки, риформинга и ЭДВР.

Спроектированная система позволяет автоматизировать управление технологическим процессом по технико-экономическим показателям в соответствии с выбранным оператором критерием.

Описанный подход построения СУУТП является типовым, однако для каждого объекта управления (производственного блока) проектируется уникальная многопараметрическая модель с учетом технологии и связей показателей качества с параметрами технологического процесса. Математические модели виртуальных анализаторов также являются уникальными для каждого производственного блока с учетом особенностей технологического процесса и агрегирования опыта оперативного персонала, проведения статистического анализа.

Библиографический список

1. Владимиров А.И. Установки каталитического риформинга. – М.: Нефть и газ, 1993. – 60 с.

2. Практические аспекты четвертой промышленной революции / Р.А. Владов, В.М. Дозорцев, Р.А. Шайдуллин, М.М. Шундерюк // Автоматизация в промышленности. – 2017. - № 7. – С. 7–13.

3. Глазков И.В., Шураев М.В, Сетин С.П. Применение системы усовершенствованного управления (АРС-системы) на установках первичной обработки нефти АВТ // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2013. – № 1. – С. 44–47.

4. Системы усовершенствованного управления установкой первичной переработки нефти: создание, внедрение, сопровождение / Д.Х. Файрузов, Ю.Н. Бельков, Д.В. Кнеллер, А.Ю. Торгашов // Автоматизация в промышленности. – 2013. - № 8. – С. 3–10.

5. Камалиева К.В., Камалиев Т.С., Долганов А.В. Система усовершенствованного управления центральной газофракционирующей установкой // Вестник Технологич. ун-та. – 2016. – Т. 19, № 24. – С. 106-108.

6. Хромов Д.А., Камалиев Т.С., Долганов А.В. Система усовершенствованного управления блока фракционирования установки гидрокрекинга // Вестник Технологич. ун-та. – 2018. – Т. 21, № 5. – С. 174-177.

7. Lehman Keight A. Implement Advanced Process Control // Chemical engineering progress. – 2018. – Vol. 114. – № 1. – P. 60–66.

8. Advanced process control and monitoring of a continuous flow micro-reactor / Tahir Furqan, Ewan Mercer, Ivan Lowdon, David Lovett // Control engineering practice. – 2018. – Vol. 77. – P. 225–234. DOI: 10.1016/j.conengprac.2018.06.003

9. Chew Chun Ming, Aroua Mohamed Kheireddine, Hussain Mohd Azlan. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system // Journal of cleaner production. – 2018. – Vol. 179. – P. 63–80. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075

10. Усовершенствованное управление ТП: от контура регулирования до общезаводской оптимизации / П.Л. Логунов, М.В. Шаманин, Д.В. Кнеллер, С.П. Сетин, М.М. Шундерюк // Автоматизация в промышленности. – 2015. - № 4. – С. 4–14.

11. Сокирка Д.Я. Современные подходы к организации производственных процессов // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы IX Междунар. конф. / Красноярск. гос. аграрный ун-т. – Красноярск, 2016. – С. 293–296.

12. Опыт разработки системы виртуального анализа показателей качества продуктов установок каталитического риформинга бензиновых фракций и системы их подстройки в режиме реального времени / А.Г. Шумихин, М.П. Зорин, А.М. Немтин, В.Г. Плехов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 45–62.

13. Опыт разработки и внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами нефтепереработки на базе виртуальных анализаторов качества / А.Г. Шумихин, Д.А. Мусатов, С.С. Власов, А.М. Немтин, В.Г. Плехов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 2. – С. 39–53.

14. Гурьева Е.М., Кольцов А.Г. Применение виртуальных анализаторов для определения качества нефтепродуктов // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – № 1. – С. 296–301.

15. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

16. Петухов О.А., Морозов А.В., Петухова Е.О. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 288 с.

17. Носко В.П. Введение в регрессионный анализ рядов. – М.: Эконометрика, 2002. – 252 с.

18. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2003. – 363 с.

19. Бахтандзе Н.Н., Потоцкий В.А. Современные методы управления производственными процессами // Проблемы управления. – 2009. – № 3. – С. 56–63.

20. Тугашова Л.Г., Горшкова К.Л. Управление объектами переработки нефти по модели // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 2. – С. 78–82.

References

1. Vladimirov A.I. Ustanovki kataliticheskogo riforminga [Units of catalytic reformer]. Moscow: Neft' i gaz, 1993. 60 p.

2. Vladov R.A., Dozortsev V.M., Shaidullin R.A., Shunderiuk M.M. Prakticheskie aspekty chetvertoi promyshlennoi revoliutsii [Practical aspects of the fourth industrial revolution]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2017, no. 7, pp. 7-13.

3. Glazkov I.V., Shuraev M.V., Setin S.P. Primenenie sistemy usovershenstvovannogo upravleniia (APC-sistemy) na ustanovkakh pervichnoi obrabotki nefi AVT [Application of advanced process control systems (APC-system) at crude oil distillation unit ADU/VDU]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO "NK "Rosneft"*, 2013, no. 1, pp. 44-47.

4. Fairuzov D.Kh., Bel'kov Iu.N., Kneller D.V., Torgashov A.Iu. Sistemy usovershenstvovannogo upravleniia ustanovkoi pervichnoi pererabotki nefi: sozdanie, vnedrenie, soprovozhdenie [Systems of advanced control of the unit of primary oil refining: the creation, implementation, maintenance]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2013, no. 8, pp. 3-10.

5. Kamaliev K.V., Kamaliev T.S., Dolganov A.V. Sistema usovershenstvovannogo upravleniia tsentral'noi gazofraktsioniruiushchei ustanovkoi [System of advanced control of central gas fractionation unit]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 24, pp. 106-108.

6. Khromov D.A., Kamaliev T.S., Dolganov A.V. Sistema usovershenstvovannogo upravleniia bloka fraktsionirovaniia ustanovki gidrokrekinga [Improved control system of hydrocracker fractionation unit]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2018, vol. 21, no. 5, pp. 174-177.

7. Lehman Keight A. Implement Advanced Process Control. *Chemical engineering progress*, 2018, vol. 114, no. 1, pp. 60-66.

8. Tahir Furqan; Mercer Ewan; Lowdon Ivan; Lovett David. Advanced process control and monitoring of a continuous flow micro-reactor. *Control engineering practice*, 2018, vol. 77, pp. 225-234. DOI: 10.1016/j.conengprac.2018.06.003

9. Chew Chun Ming, Aroua Mohamed Kheireddine, Hussain Mohd Azlan. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system. *Journal of cleaner production*, 2018, vol. 179, pp. 63-80. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075

10. Logunov P.L., Shamanin M.V., Kneller D.V., Setin S.P., Shunderiuk M.M. Usovershenstvovannoe upravlenie TP: ot kontura regulirovaniia do obshchezavodskoi optimizatsii [Improved process control: from the control loop to plant wide optimization]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2015, no. 4, pp. 4-14.

11. Sokirka D.Ia. Sovremennye podkhody k organizatsii proizvodstvennykh protsessov [Modern approaches to production processes organization]. *Innovatsionnye tendentsii razvitiia Rossiiskoi nauki. Materialy IX Mezhdunarodnoi konferentsii*. Krasnoiarsk: Krasnoiarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2016, pp. 293-296.

12. Shumikhin A.G., Zorin M.P., Nemtin A.M., Plekhov V.G. Opyt razrabotki sistemy virtual'nogo analiza pokazatelei kachestva produktov ustanovok kataliticheskogo riforminga benzinovykh fraktsii i sistemy ikh podstroiki v rezhime real'nogo vremeni [Experience development of product quality virtual analysis for catalytic reforming of gasoline fractions and system of their adjustment real-time]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2017, no. 2, pp. 45-62.

13. Shumikhin A.G., Musatov D.A., Vlasov S.S., Nemtin A.M., Plekhov V.G. Opyt razrabotki i vnedreniia sistem usovershenstvovannogo upravleniia tekhnologicheskimi protsessami neftepererabotki na baze virtual'nykh analizatorov kachestva [Experience developments and introduction advanced technological processes control oil refining based virtual quality analysers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2016, no. 2, pp. 39-53.

14. Gur'eva E.M., Kol'tsov A.G. Primenenie virtual'nykh analizatorov dlia opredeleniia kachestva nefteproduktov [The use of virtual analyzers to determine the quality of petroleum products]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*, 2016, no. 1, pp. 296-301.

15. Kobzar' A.I. Prikladnaia matematicheskaiia statistika. Dlia inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. Moscow: Fizmatlit, 2006. 816 p.

16. Petukhov O.A., Morozov A.V., Petukhova E.O. Modelirovanie: sistemnoe, imitatsionnoe, analiticheskoe [Modeling: system, simulation, analytical]. Saint Petersburg: Severo-Zapadnyi tekhnicheskii universitet, 2008. 288 p.

17. Nosko V.P. Vvedenie v regressionnyi analiz riadov [Introduction to regression analysis of series]. Moscow: Ekonometrika, 2002. 252 p.

18. Shashkov V.B. Prikladnoi regressionnyi analiz. Mnogofaktornaia regressiia [Applied regression analysis. Multivariate regression]. Orenburg: Orenburgskii gosudarstvennyi universitet, 2003. 363 p.

19. Bakhtandze N.N., Pototskii V.A. Sovremennye metody upravleniia proizvodstvennymi protsessami [Contemporary methods of production process control]. *Problemy upravleniia*, 2009, no. 3, pp. 56-63.

20. Tugashova L.G., Gorshkova K.L. Upravlenie ob"ektami pererabotki nefiti po modeli [Control of oil refining facilities by model]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz*, 2017, no. 2, pp. 78-82.

Сведения об авторах

Работников Михаил Алексеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: rabotnikov@pstu.ru).

Вялых Илья Анатольевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ilya.vyalyh@pstu.ru).

Немтин Артем Михайлович (Пермь, Россия) – начальник отдела оптимизации технологических процессов ООО «Инфраструктура ТК» (614016, Пермь, ул. Глеба Успенского, 15а, e-mail: artem.nemtin@infra.ru).

About the authors

Rabotnikov Mikhail Alexeyevich (Perm, Russian Federation) is a Master Student department of equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: rabotnikov@pstu.ru).

Vialykh Ilya Anatolyevich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor department of equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: ilya.vyalyh@pstu.ru).

Nemtin Artem Mihaylovich (Perm, Russian Federation) is a Head of department Optimization of Technological Process LLC "Infrastructure TK" (614016, Perm, 15a, Gleb Uspenskij str., e-mail: artem.nemtin@infra.ru).

Получено 15.04.2019