

УДК 66.012-52

А.Г. Шумихин, Д.А. МусатовПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**С.С. Власов, А.М. Немтин, В.Г. Плехов**

ООО «Инфраструктура ТК», Пермь, Россия

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ
НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ КАЧЕСТВА**

Рассмотрены результаты разработки и внедрения ряда APC-систем управления технологическими процессами нефтепереработки в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез». APC (Advanced Process Control) – усовершенствованное управление процессом. На примере технологических установок гидрокрекинга, регенерации катализатора и гидродеароматизации дизельного топлива рассмотрен подход к созданию APC-системы, включающей в себя виртуальные многопараметрические контроллеры и виртуальные анализаторы качества продуктов переработки нефти на установках.

Виртуальный анализатор качества представляет собой математическую модель связи показателя качества нефтепродукта со значениями технологических переменных процесса. Виртуальный анализатор позволяет в темпе с технологическим процессом прогнозировать значения показателя качества. Параметры (например, коэффициенты полинома) виртуального анализатора определяются по значениям показателя качества в пробах продукта, отбираемого на технологической установке в известные моменты времени, с которыми синхронизируются измерения технологических переменных, входящих в модель. По мере поступления новой аналитической информации о значениях показателя качества параметры модели корректируются.

Алгоритмы усовершенствованного управления установками гидрокрекинга, регенерации катализатора и гидродеароматизации дизельного топлива предназначены для решения задач оптимизации технологических процессов по критериям выхода целевых продуктов и энергозатрат с целью их улучшения, а также снижения вариабельности процессов, т.е. уменьшения дисперсии значений показателей качества.

Опытно-промышленная эксплуатация систем усовершенствованного управления шести технологических установок ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», в том числе установок гидрокрекинга, регенерации катализатора и гидродеароматизации дизельного топлива, продемонстрировала их стабильную и адекватную работу в течение отчетного периода. Они дают также возможность снизить количество лабораторных анализов с отбором проб на технологических установках.

Ключевые слова: *нефтепереработка, технологические процессы, система усовершенствованного управления, оптимизация, виртуальные анализаторы качества продукции.*

A.G. Shumikhin, D.A. Musatov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

S.S. Vlasov, A.M. Nemtin, V.G. Plekhov

ООО «Инфраструктура ТК» Perm, Russian Federation

EXPERIENCE DEVELOPMENTS AND INTRODUCTION ADVANCED TECHNOLOGICALS PROCESSES CONTROL OIL REFINING BASED VIRTUAL QUALITY ANALYSERS

The article describes the development and implementation results a number of technological processes Refining APC-systems ООО "Lukoil-Permnefteorgsintez." APC (Advanced Process Control) – advanced process control. In the example technical plants hydrocracking catalyst regeneration and hydrodearomatization diesel fuel the approach to the creation of the APC system, includes virtual multi-parameter controllers and virtual analyzer quality products in petroleum processing plants.

Virtual Quality Analyzer is a mathematical model of the communications quality index of oil product with the values of technological variables process. Virtual Analyzer allows to pace with the technological process predict value of the quality index. The parameters (eg, the coefficients of the polynomial) virtual analyzer are determined by values of the quality index of the product samples from the process plant into known points in time, with which are synchronized measurements of process variables in the model. As new of analytic information about the values of the quality index, the model parameters are adjusted.

Algorithms advanced control settings hydrocracking catalyst regeneration and hydrodearomatization diesel fuel are meant for solving problems optimization of technological processes on criteria yields of

the desired products and energy with a view to their improvement, and also reducing the variability of processes, ie, reducing the dispersion values of quality indicators.

Pilot industrial advanced control system of six process units OOO "Lukoil-Permnefteorgsintez", including hydrocracking, catalyst regeneration and hydrodearomatization diesel fuel, showed them a stable and adequate job during the reporting period. Они также предоставляют возможность уменьшить количество лабораторного анализа с отбором проб на технологических установках.

Keywords: *oil refining, technological processes, advanced control system, optimization, virtual product quality analyzers.*

В нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической отраслях промышленности в настоящее время активно внедряются системы усовершенствованного управления технологическими процессами. Системы усовершенствованного управления называют также APC-системами. APC – англоязычная аббревиатура от Advanced Process Control. В табл. 1 представлены проекты систем усовершенствованного управления, реализованные в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» ООО «Инфраструктура ТК». Реализация проектов осуществляется при научно-технической поддержке кафедрой «Автоматизация технологических процессов» химико-технологического факультета ПНИПУ.

Таблица 1

Проекты систем усовершенствованного управления технологическими процессами, реализованные в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» специалистами ООО «Инфраструктура ТК»

Наименование технологического объекта	Год реализации	Количество многопараметрических контроллеров	Количество виртуальных анализаторов качества
Установка АВТ-5	2009	2	20
Установка АВТ-2	2011	2	19
Установка АВТ-4	2013	3	22
Установка АВТ-1	2014	2	18
Установка замедленного коксования 21-10/3М	2015	2	4
Установки гидрокрекинга, регенерации катализатора и гидродеароматизации дизельного топлива (титула 510 и ГДА)	2015	4	16

АРС-система состоит из многопараметрических контроллеров и виртуальных анализаторов качества продуктов технологических объектов.

Многопараметрические контроллеры представляют собой управляющие структуры со следующими наборами входных и выходных сигналов:

- вектор входных – контролируемые переменные CV (Controlled Variables),
- вектор входных внешних – возмущения DV (Disturbance Variable),
- вектор выходных – управляющие переменных MV (Manipulated Variables).

Многопараметрические контроллеры формируют управляющие воздействия по результатам решения задачи оптимизации на основе моделей, связывающих переменные MV-CV и DV-CV.

В данной статье рассматривается опыт внедрения и эксплуатации АРС-системы установки гидрокрекинга, регенерации катализатора и гидродеароматизации дизельного топлива (титула 510 и ГДА). Основным целевым продуктом установки является высококачественное деароматизированное дизельное топливо с низким содержанием общей серы. Работа технологического объекта управления осуществляется в условиях значительных возмущений со стороны химического состава сырья гидрокрекинга и снижения во времени активности используемых катализаторов. Кроме того, предусмотрено функционирование титула 510 и ГДА с получением дизельного топлива как зимнего, так и летнего.

В табл. 2 представлен перечень задач управления и оптимизации, выполняемых контроллерами системы усовершенствованного управления технологическими процессами гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива. Реализация оптимизационных задач на технологических объектах осуществляется в режиме реального времени с использованием технологий Honeywell. На рисунке приведена упрощенная функциональная схема производства, дающая представление о технологическом процессе и многопараметрических контроллерах, которые решают задачи управления и оптимизации соответствующих технологических блоков технологического объекта.

Таблица 2

Задачи управления и оптимизации, выполняемые контроллерами системы усовершенствованного управления технологическими процессами гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива

№ п/п	Наименование контроллера	Задачи управления и оптимизации для контроллера	Задача оптимизации контроллера
1	Контроллер блоков гидрокрекинга и фракционирования	<ul style="list-style-type: none"> • Управление показателями качества продуктов • Смена производственных заданий по качеству и количеству получаемых продуктов • Управление степенью конверсии гидрокрекинга • Управление потреблением водорода на гидрокрекинг и гидродеароматизацию • Управление потреблением газа в печах 10-BA-101 и 10-BA-201 • Управление температурой на выходе из печи 10-BA-201 • Управление соотношением водород-содержащего газа к сырью гидрокрекинга • Управление перепадами давления в секциях колонны 10-DA-201 • Управление расходом сырья в колонну стабилизации 10-DA-204 	$J_1 = \frac{F_{\text{ААА}}}{F_{\text{АБ}}} \rightarrow \max_{MV}$ $CV_i \in [CV_{i,\min}; CV_{i,\max}]; i = \overline{1, n}$ $MV_j \in [MV_{j,\min}; MV_{j,\max}]; j = \overline{1, m}$ <p>→ MV_{opt}</p> <p>где J_1 – результирующий показатель качества процесса; $F_{\text{ГДА}}$ – расход сырья (дизельных фракций) на гидродеароматизацию; $F_{\text{ГК}}$ – расход сырья (дизельных фракций) на гидродеароматизацию; n – количество контролируемых переменных объекта управления; m – количество управляющих переменных объекта управления</p>

Продолжение табл. 2

№ п/п	Наименование контроллера	Задачи управления и оптимизации для контроллера	Задача оптимизации контроллера
		<p>Задачи управления и оптимизации для контроллера</p> <ul style="list-style-type: none"> • Компенсация возмущений по химическому составу сырья гидрокрекинга и активности катализатора • Максимизация выхода дизельных фракций относительно свежего сырья при получении зимнего и летнего дизельного топлива за счет бензина и гидроочищенного газойля 	
2	Контроллер блока стабилизации бензина	<ul style="list-style-type: none"> • Управление показателями качества продуктов • Смена производственных заданий по качеству и количеству получаемых продуктов • Управление температурным режимом в реакторах 10-DA-501, 10-DA-502 • Управление температурным режимом в отпарной колонне 10-DA-501 • Максимизация выхода дизельного топлива относительно сырья ГДА за счет паров отпарной колонны 10-DA-501, идущих в колонну 10-DA-201 	$\left\{ \begin{array}{l} J_2 = \frac{F_{NA}}{F_{1A}} \rightarrow \max_{MV} \\ CV_i \in [CV_{i,\min}; CV_{i,\max}]; i = \overline{1, n} \\ MV_j \in [MV_{j,\min}; MV_{j,\max}]; j = \overline{1, m} \end{array} \right\} \rightarrow \overline{MV}^{opt}$ <p>где J_2 – результирующий показатель качества процесса; $F_{СБ}$ – расход нестабильного бензина; $F_{НБ}$ – расход нестабильного бензина; n – количество контролируемых переменных объекта управления; m – количество управляющих переменных объекта управления</p>

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование контроллера	Задачи управления и оптимизации для контроллера	Задача оптимизации контроллера
3	Контроллер блока гидродеароматизации дизельного топлива (ГДА)	<p>Задачи управления и оптимизации для контроллера</p> <ul style="list-style-type: none"> • Управление показателями качества продуктов • Смена производственных заданий по качеству и количеству получаемых продуктов • Управление температурным режимом в реакторах 10-DA-501, 10-DA-502 • Управление температурным режимом в отпарной колонне 10-DA-501 • Максимизация выхода дизельного топлива относительно сырья ГДА за счет паров отпарной колонны 10-DA-501, идущих в колонну 10-DA-201 	<p>Задача оптимизации контроллера</p> $J_3 = \begin{cases} F_{\text{П}} \\ F_{\text{С}} \end{cases} \rightarrow \max_{MV} \left\{ \begin{array}{l} CV_i \in [CV_{i,\min}; CV_{i,\max}]; i = \overline{1, n} \\ MV_j \in [MV_{j,\min}; MV_{j,\max}]; j = \overline{1, m} \end{array} \right\} \rightarrow \overline{MV}^{opt},$ <p>где J_3 – резульгтивный показатель качества процесса; $F_{\text{П}}$ – расход продукта процесса гидродеароматизации дизельного топлива; $F_{\text{С}}$ – расход сырья процесса гидродеароматизации дизельного топлива; n – количество контролируемых переменных объекта управления; m – количество управляющих переменных объекта управления</p>
4	Контроллер сырьевой печи гидрокрекинга 10-BA-101	<p>Задачи управления и оптимизации для контроллера</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выравнивание температур потоков в сырьевой печи 10-BA-101 для исключения режимов повышенного коксообразования на внутренних стенках печных труб • Минимизация потребления топливного газа сырьевой печи гидрокрекинга 10-BA-101 	<p>Задача оптимизации контроллера</p> $J_4 = F_{\text{ГТ}} \rightarrow \max_{MV} \left\{ \begin{array}{l} CV_i \in [CV_{i,\min}; CV_{i,\max}]; i = \overline{1, n} \\ MV_j \in [MV_{j,\min}; MV_{j,\max}]; j = \overline{1, m} \end{array} \right\} \rightarrow \overline{MV}^{opt},$ <p>где J_4 – резульгтивный показатель качества процесса; $F_{\text{ГТ}}$ – расход топливного газа на основные горелки сырьевой печи гидрокрекинга; n – количество контролируемых переменных объекта управления; m – количество управляющих переменных объекта управления</p>

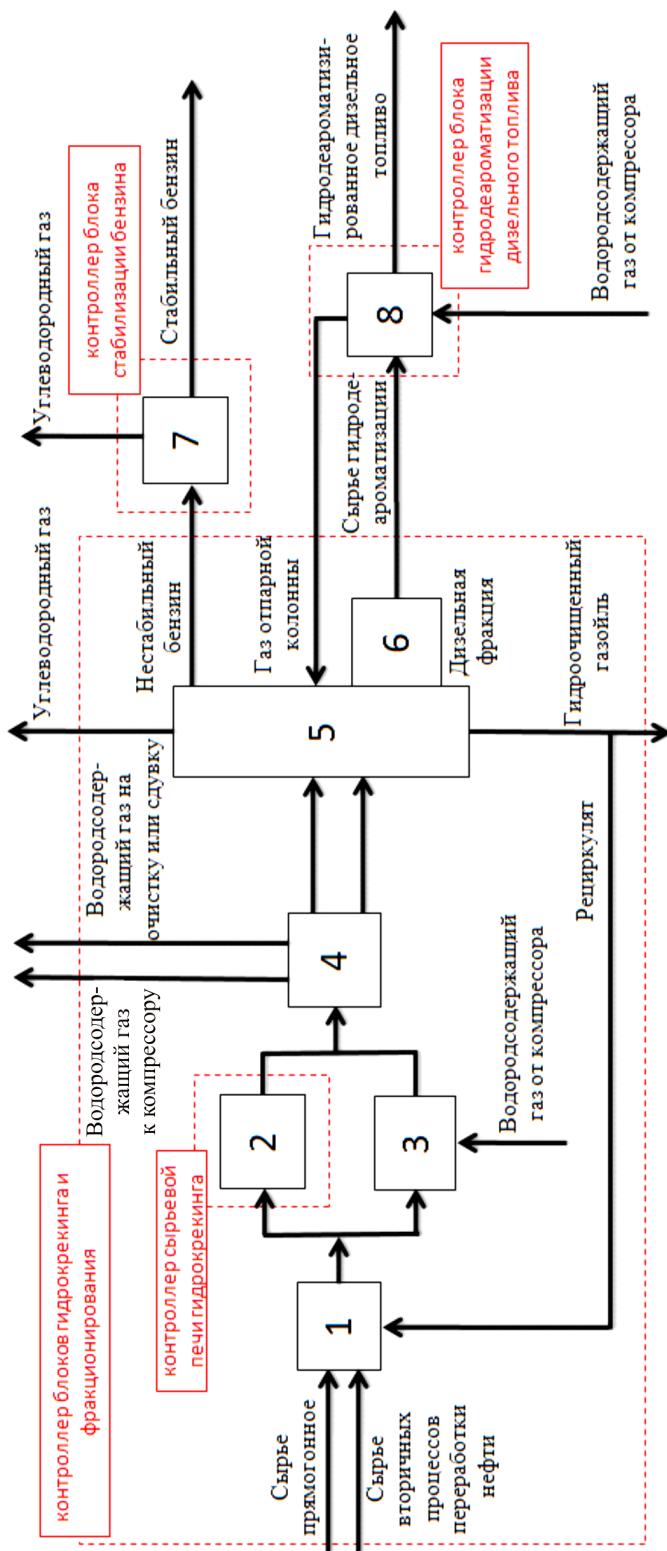


Рис. Функциональная схема установок гидрокрекинга и гидроароматизации дизельного топлива

В составе систем улучшенного управления используются виртуальные анализаторы качества продуктов [2–7]. В частности, в структуре рассматриваемых в статье систем усовершенствованного управления используются виртуальные анализаторы (ВА), представляющие собой уравнение связи вида

$$\hat{y} = f(a_0 \dots a_n, x_1 \dots x_r), \quad (1)$$

где \hat{y} – вычисленное значение показателя качества материального потока установки (используется в структуре контроллера в качестве контролируемой переменной); $a_0 \dots a_n$ – параметры уравнения связи; $x_1 \dots x_m$ – измеренные значения технологических параметров (входные координаты уравнения связи, в том числе и управляющие воздействия); n – количество параметров уравнения связи; r – количество технологических переменных в уравнении связи.

В технологическом процессе всегда присутствуют ненаблюдаемые случайные возмущения, не входящие в вектор, которые обуславливают необходимость адаптации в режиме реального времени уравнения связи вида (1) показателей качества материальных потоков и измеренных значений технологических параметров. В работе [5] представлены результаты исследования алгоритмов адаптации моделей вида (1) в режиме реального времени. По результатам этих исследований для ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» разработана программа VAcog, реализующая следующий алгоритм коррекции уравнения регрессии (1) [5]:

$$a_0[m] = a_0[m-1] + \alpha(y^{\hat{y}}[m] - \hat{y}[m]), \quad (2)$$

где $a_0[m]$ – свободный член уравнения связи; α – адаптируемая доля ошибки настройки параметрической модели; $y^{\hat{y}}[m]$ – экспериментальное (измеренное) значение показателя качества; $\hat{y}[m] = \hat{y}(\vec{a}[m-1], \vec{x}[m])$ – расчетное по модели значение показателя качества; m – номер шага коррекции модели.

Программа VAcog использует в качестве значений $y^{\hat{y}}$ результаты лабораторных анализов из реляционной базы данных Oracle, в качестве значений входных переменных и исходных данных – результаты из базы данных реального времени PI System компании OSIsoft, в которой хранится информация о технологическом режиме установок. Результат работы программы – поправка, вычисляемая с использованием выраже-

ния (2), которая передается на сервер АРС-системы. Значение поправки может корректироваться с учетом экспертного значения коэффициента доверия, который может находиться в пределах от 0 до 1. Если коэффициент доверия равен нулю, то поправка не вводится. Программа позволяет осуществлять также ручной режим подстройки.

Система виртуальных анализаторов показателей качества позволяет исключить использование дорогостоящих в приобретении и обслуживании поточных анализаторов.

Снижение вариабельности технологического процесса является тенденцией в развитии мировой промышленности [1]. Одно из направлений снижения вариабельности – совершенствование средств и систем автоматизации. Этому способствует внедрение систем улучшенного управления технологическим процессом. Решение задач оптимизации многопараметрическими контроллерами позволяет снизить вариабельность технологического процесса и тем самым исключить производство бракованной продукции, увеличить выход наиболее ценных продуктов технологической установки, а также увеличить сроки эксплуатации используемых катализаторов. В табл. 3 представлены результаты снижения среднеквадратичных отклонений (СКО) ряда ключевых показателей качества при опытно-промышленной эксплуатации системы усовершенствованного управления установок гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива. Использование системы улучшенного управления позволило существенно снизить дисперсии ряда ключевых (основных) показателей качества продуктов производства.

Таблица 3

Результаты опытно-промышленного пробегу установок гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива

Показатель качества	СКО базовое	СКО отчетное	Снижение СКО, %
Температура конца кипения бензина гидрокрекинга по ASTM D86, °С	3,14	3,11	0,90
95 % точка кипения дизельного топлива гидрокрекинга зимнего по ASTM D86, °С	8,06	2,88	64,27
Температура застывания дизельного топлива гидрокрекинга зимнего, °С	3,66	1,67	54,37
Содержание общей серы в дизельном топливе зимнем установки ГДА, мг/кг	0,76	0,15	80,52
Содержание общей серы в дизельном топливе летнем установки ГДА, мг/кг	1,02	0,93	8,45

В ходе опытно-промышленной эксплуатации системы усовершенствованного управления установок гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива была постоянно включена подсистема решения задачи оптимизации. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты оптимизации при опытно-промышленном пробеге установок гидрокрекинга и гидродеароматизации дизельного топлива

Наименование контроллера	Задача оптимизации	Результат
Контроллер сырьевой печи гидрокрекинга 10-ВА-101	Минимизация потребления топливного газа сырьевой печи гидрокрекинга 10-ВА-101	В ходе эксплуатации контроллера наблюдалось снижение потребления топливного газа на 0,063 т/ч (3,42 %), что позволило снизить удельную расходную норму потребления топливного газа титолом 510
Контроллер блока стабилизации бензина	Максимизация отбора стабильного бензина в колонне стабилизации бензина	Увеличения отбора стабильного бензина не наблюдалось ввиду жестких ограничений по MV для контроллера
Контроллер блоков гидрокрекинга и фракционирования	Максимизация выхода дизельных фракций относительно свежего сырья при получении зимнего и летнего дизельного топлива	Увеличения выхода дизельных фракций при работе установки с получением зимнего дизельного топлива не наблюдалось. Увеличение выхода дизельных фракций при работе установки с получением летнего дизельного топлива составило 0,1 %
Контроллер блока гидродеароматизации дизельного топлива	Максимизация выхода дизельного топлива относительно сырья ГДА	Увеличение выхода дизельного топлива относительно сырья ГДА при работе установки с получением зимнего дизельного топлива составило 0,1 %. Увеличение выхода дизельного топлива относительно сырья ГДА при работе установки с получением летнего дизельного топлива составило 0,05 %

Системы усовершенствованного управления продемонстрировали стабильную и адекватную работу в течение отчетного периода опытно-промышленной эксплуатации, что позволило принять их в промышлен-

ную эксплуатацию. Использование систем усовершенствованного управления дало возможность снизить количество «ходовых» лабораторных анализов (сокращение графика лабораторных анализов за счет использования виртуальных анализаторов и стабилизации технологического режима). Ожидаемый срок окупаемости затрат на внедрение систем улучшенного управления не превышает одного года.

Список литературы

1. Ефимов В.В. Улучшение качества продукции, процессов и ресурсов: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2007. – 223 с.
2. Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Models and algorithms for fuzzy control system of atmospheric block in atmospheric-and-vacuum distillation unit: design and analysis // Automation and Remote Control. – 2012. – Т. 73, № 5. – С. 923–935.
3. Власов С.С., Шумихин А.Г. Моделирование процесса отбензинивания нефти при прогнозировании показателей качества бензина // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 1, № 1 (63). – С. 90–94.
4. Власов С.С., Шумихин А.Г. Разработка и исследование моделей и алгоритмов для системы нечеткого управления атмосферным блоком установки атмосферно-вакуумной перегонки нефти // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 9. – С. 8–15.
5. Власов С.С., Шумихин А.Г. Управление технологическим режимом колонны к-1 установки атмосферно-вакуумной перегонки нефти на основе математической модели прогнозирования качества бензина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2010. – № 4. – С. 129–139.
6. Плехов В.Г., Кондрашов С.Н., Шумихин А.Г. Применение многоуровневой математической модели процесса каталитического риформинга бензиновых фракций в системе управления промышленными установками // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 7. – С. 37–42.
7. Плехов В.Г., Шумихин А.Г., Кондрашов С.Н. Разработка и исследования алгоритмов системы управления процессом каталитического риформинга бензиновых фракций // Автоматизация. Современные технологии. – 2008. – № 11. – С. 14–21.

References

1. Efimov V.V. Uluchshenie kachestva produktsii, protsessov i resursov [Improving the quality of products, processes and resource]. Moscow: KNORUS, 2007. 223 p.

2. Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Models and algorithms for fuzzy control system of atmospheric block in atmospheric-and-vacuum distillation unit: design and analysis. *Automation and Remote Control*, 2012, vol. 73, no. 5, pp. 923–935.

3. Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Modelirovanie protsessa otbenzinivaniya nefi pri prognozirovanii pokazatelej kachestva benzina [Modeling process in predicting of oil topping gasoline quality indicators]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*, 2012, vol. 1 (63), no. 1, pp. 90–94.

4. Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Razrabotka i issledovanie modelej i algoritmov dlya sistemy nechetkogo upravleniya atmosferym blokom ustanovki atmosferno-vakuumnoj peregonki nefi [Development and research of models and algorithms for system of fuzzy control unit installation atmospheric atmospheric-vacuum distillation of oil]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2010, no. 9, pp. 8–15.

5. Vlasov S.S., Shumikhin A.G. Upravlenie tekhnologicheskim rezhimom kolonny k-1 ustanovki atmosferno-vakuumnoj peregonki nefi na osnove matematicheskoy modeli prognozirovaniya kachestva benzina [Column process management regime to-1 installation of atmospheric and vacuum distillation of of oil on the basis of a mathematical model predicting the quality of gasoline]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya*, 2010, no. 4, pp. 129–139.

6. Plekhov V.G., Kondrashov S.N., Shumikhin A.G. Primenenie mnogourovnevoj matematicheskoy modeli protsessa kataliticheskogo riforminga benzinovykh fraktsij v sisteme upravleniya promyshlennymi ustanovkami [Application of multi-level mathematical model of process catalytic reforming of gasoline fractions in industrial installations management system]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2009, no. 7, pp. 37–42.

7. Plekhov V.G., Shumikhin A.G., Kondrashov S.N. Razrabotka i issledovaniya algoritmov sistemy upravleniya protsessom kataliticheskogo riforminga benzinovykh fraktsij [Development and research of algorithms of the process control system of catalytic reforming of gasoline fractions]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii*, 2008, no. 11, pp. 14–21.

Получено 4.05.2016

Об авторах

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: shumichin@gmail.com).

Мусатов Данил Александрович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б; e-mail: maiking@yandex.ru).

Власов Станислав Сергеевич (Пермь, Россия) – главный инженер, заместитель генерального директора, ООО «Инфраструктура ТК» (614016, г. Пермь, ул. Глеба Успенского, 15а; e-mail: stanislav.vlasov@infra.ru).

Немтин Артем Михайлович (Пермь, Россия) – руководитель группы оптимизации технологических процессов, отдела инновационных проектов, ООО «Инфраструктура ТК» (614016, г. Пермь, ул. Глеба Успенского, 15а; e-mail: Artem.Nemtin@infra.ru).

Плехов Владимир Геннадьевич (Пермь, Россия) – ведущий специалист группы оптимизации технологических процессов, отдела инновационных проектов, ООО «Инфраструктура ТК» (614016, г. Пермь, ул. Глеба Успенского, 15а; e-mail: Vladimir.Plekhov@infra.ru).

About the authors

Aleksandr G. Shumikhin (Perm, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: shumichin@gmail.com).

Danil A. Musatov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., Perm, 614013, Russian Federation; e-mail: maiking@yandex.ru).

Sergej C. Vlasov (Perm, Russian Federation) – Chief Engineer, Deputy Director General, ООО “Infrastructure LC” (15a, Gleb Uspenskij str., Perm, 614016, Russian Federation; e-mail: stanislav.vlasov@infra.ru).

Artem M. Nemtin (Perm, Russian Federation) – Head groups optimization of technological processes, innovative projects department, OOO “Infrastructure LC” (15a, Gleb Uspenskij str., Perm, 614016, Russian Federation; e-mail: Artem.Nemtin@infra.ru).

Vladimir G. Plekhov (Perm, Russian Federation) – Leading specialist groups optimization of technological processes, innovative projects department, OOO “Infrastructure LC” (15a, Gleb Uspenskij str., Perm, 614016, Russian Federation; e-mail: Vladimir.Plekhov@infra.ru).