

## Математическое моделирование процесса ацетоксилирования этилена на отечественном катализаторе

Денис В. Арапов	<sup>1</sup>	arapovdv@gmail.com
Алексей В. Скрыпников	<sup>1</sup>	skrypnikovvsafe@mail.ru
Владимир В. Денисенко	<sup>1</sup>	denisenkovv@mail.ru
Елена В. Чернышова	<sup>1</sup>	elenabok@mail.ru

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Реферат.** Виниловый мономер винилацетат (ВА) служит для производства поливинилового спирта, поливинилацетата, поливинилбутирала, сополимеров с этиленом и пропиленом. Мировой объем выпуска винилацетата составляет более 4 млн. т. в год. На современном этапе промышленного развития винилацетата получают в основном каталитическим синтезом этилена, уксусной кислоты (УК) и кислорода, в соотношении приблизительно равном 8:4:1. Степень конверсии за один проход – 8 %; 18 %; 45 %. Селективность по винилацетату составляет 91-92%. Основным побочным продуктом является диоксид углерода (ДУ), этилацетат, этилидендиацетат – все не более 1%. Из-за своей чрезвычайной пожаро- и взрывоопасности процесс распространен относительно мало. Всего в мире насчитывается примерно 30 таких установок. В Российской Федерации имеется только одно такое производство с производительностью по винилацетату 50 тыс. т в год (компания «Лукойл», ООО «Ставролен»), которое было закуплено в 1975 г. по лицензии фирмы «Байер» ФРГ. Для исключения зависимости от дорогостоящих импортных поставок, актуальным является переход данного производства на отечественный катализатор или производимый в странах СНГ. В этой связи авторами проведена структурная и параметрическая идентификация и получены экспериментальные данные. В данной работе приводится результат проведенных экспериментов, а именно динамическая математическая модель скорости образования целевого винилацетата (активности) и побочного – ДУ продуктов, имеющая существенно нелинейную структуру. Было принято, что реакция получения винилацетата протекает по первому порядку, а образования ДУ – по полуторному. Для использования модели при управлении реальным производственным процессом необходима параметрическая идентификация наиболее значимых коэффициентов регрессии.

**Ключевые слова:** ацетоксилирование, моделирование, винилацетат, виниловый мономер, катализатор

## Mathematical modeling of processes of acetoxysilane of ethylene in the domestic catalyst

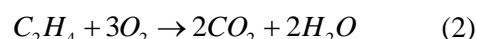
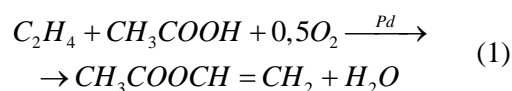
Denis V. Arapov	<sup>1</sup>	arapovdv@gmail.com
Aleksei V. Skrypnikov	<sup>1</sup>	skrypnikovvsafe@mail.ru
Vladimir V. Denisenko	<sup>1</sup>	denisenkovv@mail.ru
Elena V. Chernyshova	<sup>1</sup>	elenabok@mail.ru

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Summary.** Vinyl acetate monomer (VA) serves for the production of polyvinyl alcohol, polyvinyl acetate, polyvinyl butyral, copolymers with ethylene and propylene. The world production of vinyl acetate is more than 4 million tons per year. At the present stage of industrial development, vinyl acetate is mainly produced by the catalytic synthesis of ethylene, acetic acid (OC) and oxygen in a ratio of approximately 8:4:1. The conversion rate for one pass is 8 %; 18 %; 45 %. The selectivity for vinyl acetate is 91-92%. The main by-product is carbon dioxide, ethyl acetate, ethylidene diacetate – all not more than 1%. Because of its extreme fire and explosiveness, the process is relatively small. There are approximately 30 such installations in the world. In the Russian Federation, there is only one such production with a capacity of 50,000 tons per year for vinyl acetate (Lukoil, Stavrolen), which was purchased in 1975 under the license of Bayer FRG. To exclude dependence on expensive import supplies, it is important to switch this production to a domestic catalyst or produced in the CIS countries. In this connection, the authors carried out structural and parametric identification and obtained experimental data. In this paper, we present the results of the experiments performed, namely, a dynamic mathematical model for the rate of formation of the target vinylacetate (activity) and the secondary-carbon dioxide (DU) of products, which has a fractional-nonlinear structure. It was assumed that the reaction of obtaining the VA proceeds according to the first order, and the formation of the DM is one-and-a-half. To use the model in managing a real production process, parametric identification of the most significant regression coefficients is required.

**Keywords:** acetoxylation, modeling, vinyl acetate, vinyl monomer, catalyst

Синтез винилацетата на основе этилена, уксусной кислоты и кислорода реализуется путем пропускания парогазовой смеси исходных реагентов через слой катализатора при температуре 140–200 °С и давлении 0,8 МПа. Химизм процесса аппроксимируется брутто-реакциями образования целевого и побочного продуктов [1]:



Процесс в значительной мере зависит от поставок импортного катализатора, который представляет собой пористые алюмосиликатные

Для цитирования

Арапов Д.В., Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Чернышова Е.В. Математическое моделирование процесса ацетоксилирования этилена на отечественном катализаторе // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 124–128. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-124-128

For citation

Arapov D.V., Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Chernyshova E.V. Mathematical modeling of processes of acetoxysilane of ethylene in the domestic catalyst. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 124–128. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-124-128

шарики диаметром 5–6 мм, на развитую поверхность которых осаждены в мелкодисперсном состоянии металлический палладий (3,3 г/л), золото (1,5 г/л) и ацетатом калия (30 г/л).

С течением времени каталитический комплекс стареет и его активность падает. Для поддержания постоянной активности катализатора процесс синтеза винилацетата проводится с медленным подъемом температуры в течение одного года от 140 до 200 С. Срок службы импортного катализатора 1 год.

Моделированию и управлению синтезом винилацетата на основе этилена, уксусной кислоты и кислорода посвящено относительно небольшое количество публикаций [2–8]. Математическая модель синтеза винилацетата на катализаторе фирмы «Байер» используется для управления этим процессом [10] на действующем производстве.

Для исключения зависимости от дорогостоящих импортных поставок, актуальным является переход данного производства на отечественный катализатор или производимый в странах СНГ [4, 5]. В [6–7] разработана математическая модель синтеза ВА на отечественном катализаторе, позволяющая определить оптимальную структуру и состав каталитического комплекса. ВЗАО «Ереванский НИИ «Пластполимер» (Республика Армения) и в РГТУ им. Д.И. Менделеева накоплен обширный экспериментальный материал по исследованию процесса ацетоксилирования этилена [3–5] на отечественном катализаторе, изготовленном на основе силикагеля КСС3. Однако полученная авторами математическая модель синтеза ВА [3, 9] обладает значительной погрешностью (15–20% отн.) относительно экспериментальных данных и нуждается в существенной доработке. Её структура и параметры могут быть использованы только в виде начальных приближений при создании адекватной модели. В этой связи была проведена структурная и параметрическая идентификация опубликованных экспериментальных данных и получена [8] динамическая математическая модель скорости образования целевого ВА (активности) и побочного – диоксида углерода (ДУ) продуктов, имеющая существенно нелинейную структуру. Было принято, что реакция получения ВА протекает по первому порядку, а образования ДУ – по полуторному:

$$K_{BA} = \frac{dG_{BA}}{V \cdot dt} = \alpha_1 \exp(\alpha_2 - 4084,0 / X_3) X_1 X_2 X_4 \times \\ \times (\alpha_3 + \alpha_4 X_5^{\alpha_5} + \alpha_6 \cdot (0,001 X_5 + \alpha_7)^{-2}) \cdot \exp(-\alpha_8 t) / \\ \left[ \alpha_9 \cdot (1 + X_1 X_2 + X_2)^2 + (\alpha_{10} + \alpha_{11} X_2) \times \right. \\ \left. \times (1 + X_1 X_2 + X_2) X_4 + (\alpha_{12} + \alpha_{13} X_1^2) X_4^2 + (\alpha_{14} + \alpha_{15} X_2) \right]; \quad (3)$$

$$K_{CO_2} = \frac{dG_{CO_2}}{V dt} = \beta_1 \exp(\beta_2 - 9607,0 / X_3) X_1^{\beta_3} (X_2 X_4)^{\beta_4} \times \\ \times (\beta_5 + \beta_6 X_5^{\beta_7} + \beta_8 (0,001 X_5 + \beta_9)^{-2}) \exp(-\beta_{10} t) / \\ \left[ \beta_{11} (1 + X_1 X_2 + X_2)^2 + (\beta_{12} + \beta_{13} X_2) (1 + X_1 X_2 + X_2) X_4 + \right. \\ \left. + (\beta_{14} + \beta_{15} X_1^2) X_4^2 + (\beta_{17} + \beta_{18} X_2) \right],$$

где  $K_{BA}$ ,  $K_{CO_2}$  – соответственно удельные скорости образования ВА и ДУ, моль / (л катал. · ч);  $V$  – объем катализатора, л;  $G$  – количество образовавшегося продукта, моль;  $X_1$  – соотношение этилена к УК в парогазовой сырьевой смеси;  $X_2$  – мольная доля кислорода в смеси;  $X_3$  – температура реакции, ° К;  $X_4$  – абсолютное давление в реакционной зоне, ата;  $X_5$  – объемная скорость подачи парогазовой смеси, ч<sup>-1</sup>;  $t$  – время работы катализатора, ч;  $\alpha_i$ ,  $i = 1 \div 15$ ,  $\beta_j$ ,  $j = 1 \div 18$  – регрессионные коэффициенты.

Диапазон действия модели:  $2 \leq X_1 \leq 8$ ;  $0,01 \leq X_2 \leq 0,07$ ;  $413 \leq X_3 \leq 473$ ;  $2 \leq X_4 \leq 10$ ;  $2000 \leq X_5 \leq 10000$ . Средняя относительная погрешность модели составляет: по винилацетату (1)  $\pm 4,9\%$ , по диоксиду углерода (2)  $\pm 5,7\%$ .

Параметрическая идентификация математического описания проведена генетическим алгоритмом [9, 11], искомыми константами служат коэффициенты  $\bar{\alpha}$  и  $\bar{\beta}$ . В качестве функции цели используется квадратичный критерий отклонения расчетных значений выходов скоростей образования продуктов от экспериментальных:

$$\sum_{n=1}^{N_k} \left( \sum_{k=1}^2 \left( 1 - \frac{K_{kn}(\bar{\alpha}, \bar{\beta})}{K_{kn}^{ex}} \right)^2 \right) \longrightarrow \min_{\bar{\alpha}, \bar{\beta}}, \quad (5)$$

где  $K_{kn}(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ ,  $K_{kn}^{ex}$  – соответственно расчетное и измеренное значение удельной скорости образования  $k$  продукта синтеза в  $n$  эксперименте;  $N_k$  – количество опытов для  $k$  – продукта; 2 – число основных продуктов (ВА и ДУ) процесса синтеза, используемых для идентификации.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , рассчитанные на основании формулы (3).

Значения параметров математической модели (1), (2)

Table 1.

The values of the parameters of the mathematical model (1), (2)

$\alpha_1 = 10,0$	$\alpha_2 = -0,18487479$	$\alpha_3 = 6,2335735 \times 10^{-7}$	$\alpha_4 = 130,63863$	$\alpha_5 = 1,4222931$
$\alpha_6 = 1795,3167$	$\alpha_7 = 14,100476$	$\alpha_8 = 5,3596838 \times 10^{-5}$	$\alpha_9 = 0,63049767 \times 10^{-2}$	$\alpha_{10} = -0,16218276 \times 10^{-2}$
$\alpha_{11} = -0,31882 \times 10^{-2}$	$\alpha_{12} = 0,172464 \times 10^{-3}$	$\alpha_{13} = 0,89261043 \times 10^{-6}$	$\alpha_{14} = -0,24707023 \times 10^{-2}$	$\alpha_{15} = 0,42068918 \times 10^{-1}$
$\beta_1 = 10,0$	$\beta_2 = 8,6500656$	$\beta_3 = 1,2083872$	$\beta_4 = 1,5499401$	$\beta_5 = -1,3618666 \times 10^4$
$\beta_6 = 563,375184$	$\beta_7 = 0,30930987$	$\beta_8 = 3,2579163 \times 10^6$	$\beta_9 = 18,370189$	$\beta_{10} = 2,7646105$
$\beta_{11} = -0,219608 \times 10^{-2}$	$\beta_{12} = 0,3721551 \times 10^{-2}$	$\beta_{13} = -0,0148895$	$\beta_{14} = 0,45137469 \times 10^{-2}$	$\beta_{15} = 0,29683677 \times 10^{-4}$
$\beta_{16} = 1,1490892$		$\beta_{17} = -0,025611384$		$\beta_{18} = 0,45726603$

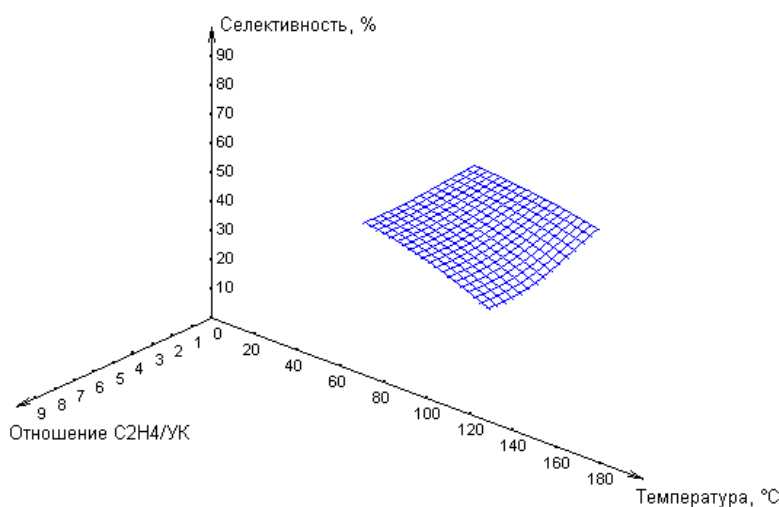


Рисунок 1. Зависимость селективности от температуры и отношения этилен/УК при концентрации кислорода 7%, давлении 9 ата, объемной скорости подачи ПГС 8000 л/ч, времени работы катализатора 3010 ч

Figure 1. The dependence of selectivity on temperature and the relationship of ethylene/UK when the oxygen concentration of 7 %, a pressure of 9 ата flow rate of the calibration gas from the Eclipse 8000 л/ч, working time of catalyst 3010 h

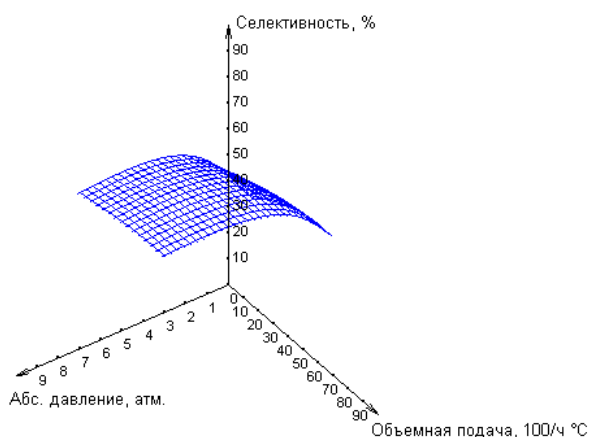


Рисунок 2. Зависимость селективности от давления и объемной подачи ПГС при концентрации кислорода 7%, температуре 155 °C, отношении этилен/УК 4, времени работы 3010 ч

Figure 2. The dependence of selectivity on pressure and volumetric flow of GHS at an oxygen concentration of 7%, a temperature of 155 °C, ethylene ratio 4, operating time 3010 h

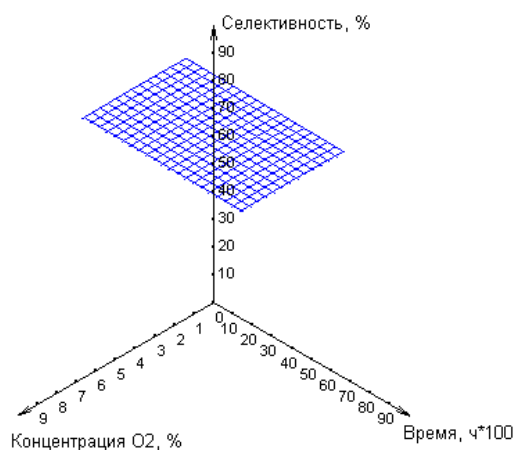


Рисунок 3. Зависимость селективности от концентрации кислорода и времени работы, при давлении 9 ата, объемной подаче ПГС 8000 л/ч, температуре 155 °C, отношении этилен/УК 4

Figure 3. Dependence of selectivity on oxygen concentration and operating time, at a pressure of 9 ата, volumetric flow of PSS 8000 л/ч, temperature 155 °C, ethylene/UK 4 ratio

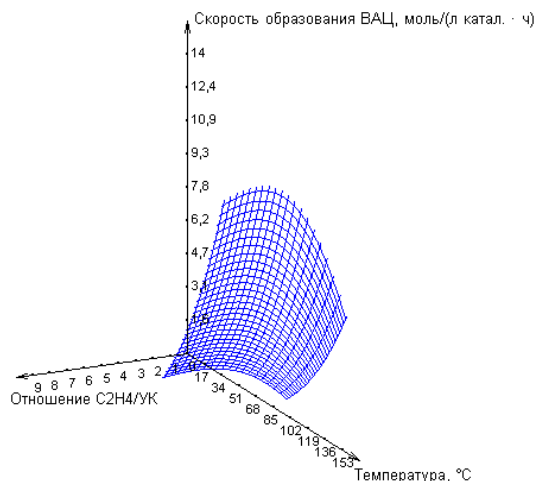


Рисунок 4. Зависимость удельной скорости образования винилацетата от отношения этилен/УК и температуры при концентрации кислорода 7%, давлении 9 ата, объемной подаче ПГС 8000 л/ч, времени работы 3010 ч

Figure 4. Dependence of the specific rate of formation of acetate on the ratio of ethylene / UK and temperature at an oxygen concentration of 7%, pressure of 9 ата, volumetric flow PGS 8000 л/ч, operating time 3010 h

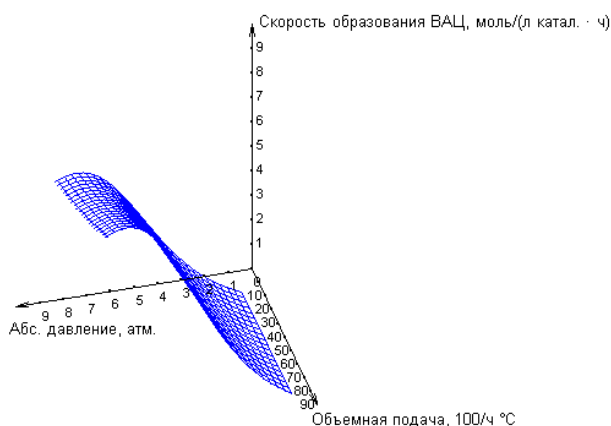


Рисунок 5. Зависимость удельной скорости образования винилацетата от давления и объемной подачи ПГС при концентрации кислорода 7%, температуре 155 °C, отношении этилен/УК 4, времени работы 3010 ч

Figure 5. The dependence of the rate of formation of vinyl acetate from the pressure and volumetric flow calibration gas when the oxygen concentration of 7 %, a temperature of 155 °C, with respect to the ethylene/UK 4

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Битюков В.К., Тихомиров С.Г., Арапов Д.В., Саввин С.С. Моделирование процесса пиролиза прямогонного бензина с использованием генетического алгоритма // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 3 (65). С. 79–84
- 2 Бояджян В.К., Ериця В.К. и др. Производство винилацетата на основе этилена. М.: НИИТЭХИМ, 1987. 75 с.
- 3 Варданян Д.В., Литвинцев И.Ю. и др. Математическая модель процесса получения винилацетата паровым ацетоксилированием этилена // Химическая промышленность сегодня. 2003. № 3. С. 50–54.
- 4 Бурмистров Д.В., Козлов В.Г. и др. Математическое моделирование оптимизации и управления транспортным потоком посредством применения датчиков регистрации

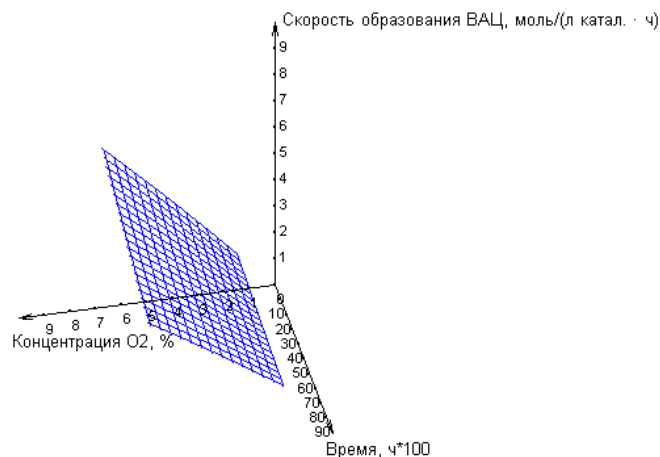


Рисунок 6. Зависимость удельной скорости образования винилацетата от концентрации кислорода и времени работы при давлении 9 ата, объемной подаче ПГС 8000 л/ч, температуре 155 °C, отношении этилен/УК 4

Figure 6. The dependence of the rate of formation of vinyl acetate from oxygen concentration and time operation at a pressure of 9 ата, volumetric flow PGS 8000 л/ч, a temperature of 155 °C, with respect to the ethylene/UK 4

На рисунках 1–3 приведены 3D графики зависимости селективности образования продуктов от технологических параметров процесса синтеза, а на рисунках 4–6 3D графики зависимости удельной скорости образования ВА (активности катализатора) от технологических параметров. Скорость образования ВА имеет экстремумы по давлению и по отношению этилена к УК, селективность имеет экстремум только по давлению.

Модель (3), (4) предназначена для оптимизации и управления процессом синтеза ВА на отечественном катализаторе.

проходящих автомобилей и информационных устройств // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2. С. 102-109

5 Патент РФ 2184725 Способ автоматического контроля и управления процессом получения винилацетата на основе этилена. Заявл. 26.10.2001; Опубл. 10.07.2002, Бюл. № 19. 14 с.

6 Puitsyn P.S., Radko D.V. Analysis of security identity and access management systems // International Journal of Control Theory and Applications. № 9 (1). P. 0974-5572

7 Arapov D.V., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. 2017.P. 587–594.

8 Arapov D.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Mathematical software for the synthesis of domestic-catalyst of ethylene acetoxylation process. // ИТНТ-2017. 2017. С. 1169–1172.

9 Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12 №. 2. P. 511-515

10 Zemlyanukhin M.Yu. Firewall as a tool of implementation of security policy // Science and education : materials of the VIII international research and practice. Conference, Munich, March 19th–20th, 2015 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg. Munich, 2015. P. 345-350.

11 Фирсова А.В., Карманова О.В., Ситникова В.В., Блинов Е.В. Бутадиен- $\alpha$ -метилстирольный термоэластопласт, синтез и свойства // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С. 218-222. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-218-222

## REFERENCES

1 Bitukov V.K., Tikhomirov S.G., Arapov D.V., Savvin S.S. Modeling the process of pyrolysis of straight-run gasoline using a genetic algorithm. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] 2015. no 3 (65). pp. 79-84 (In Russian)

2 Boyadzhan V.K., Yeritsyan V.K. et al. Proizvodstvo vinilatseta [Production of vinyl acetate based on ethylene] Moscow, NIITEKHIM, 1987. 75 p. (in Russian)

3 Vardanyan D.V., Litvinsev I.Yu. et al. Mathematical model of the process of vinyl acetate production by vapor-phase acetoxylation of ethylene. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry] today. 2003. no. 3. pp. 50-54. (in Russian)

4 Burmistrov D.V., Kozlov V.G. et al. Mathematical modeling of optimization and traffic flow control by means of sensors of registration of passing cars and information devices. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies] 2016. no. 2. pp. 102-109 (in Russian)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Денис В. Арапов** к.т.н., доцент, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, arapovdv@gmail.com

**Алексей В. Скрыпников** д.т.н., профессор, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Владимир В. Денисенко** старший преподаватель, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, denisenkovv@mail.ru

**Елена В. Чернышова** к.т.н., старший преподаватель, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elenabok@mail.ru

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Денис В. Арапов** провел эксперимент, выполнил расчеты

**Алексей В. Скрыпников** консультации в ходе исследования, предложил модель и методы расчетов

**Владимир В. Денисенко** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента

**Елена В. Чернышова** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 06.12.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 12.02.2018

5 Sposob avtomaticheskogo kontrolya i upravleniya [A method for automatically monitoring and controlling the ethylene-based vinyl acetate production process] Patent RF, no. 2184725, 2002, 14 p. (in Russian)

6 Pitsyn P.S., Radko D.V. Analysis of security identity and access management systems. *International Journal of Control Theory and Applications*. no. 9 (1). pp. 0974-5572

7 Arapov D.V., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing*. 2017. pp. 587–594.

8 Arapov D.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Mathematical software for the synthesis of domestic catalyst of ethylene acetoxylation process. ИТНТ-2017. 2017. pp. 1169–1172.

9 Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. vol. 12 no. 2. pp. 511-515

10 Zemlyanukhin M.Yu. Firewall as a tool of implementation of security policy. Science and education : materials of the VIII international research and practice. Conference, Munich, March 19th–20th, 2015 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg. Munich, 2015. pp. 345-350.

11 Firsova A.V., Karmanova O.V., Sitnikova V.V., Blinov E.V. Synthesis and properties of butadiene- $\alpha$ -methylstyrene thermoplastic elastomer. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2016. no. 2. pp. 218-222. (in Russian) doi:10.20914/2310-1202-2016-2-218-222

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Denis V. Arapov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of Higher Mathematics and Information Technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, arapovdv@gmail.com

**Aleksei V. Skrypnikov** Dr. Sci. (Engin.), professor, department of Information Security, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Vladimir V. Denisenko** Senior Lecturer, department of Higher Mathematics and Information Technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, denisenkovv@mail.ru

**Elena V. Chernyshova** Cand. Sci. (Engin.), Senior Lecturer, department of Information Security, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elenabok@mail.ru

## CONTRIBUTION

**Denis V. Arapov** conducted an experiment, performed calculations

**Aleksei V. Skrypnikov** consultations during the study, proposed a model and methods of calculations

**Vladimir V. Denisenko** A review of the literature on the problem under study, an experiment

**Elena V. Chernyshova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.6.2017

ACCEPTED 2.12.2018