

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

**М.В. Немков<sup>1</sup>, В.В. Попцов<sup>2</sup>, В.М. Немков<sup>3</sup>**

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup>e-mail: nemkov.m@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: poptsov.victor@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: nemkov.vm@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлено решение проблемы поиска оптимального количества нормоконплектов технологического транспорта для Управлений магистральных нефтепроводов в условиях Западной Сибири. Основной задачей Управлений заключается в принятии решений в процессе эксплуатации трубопроводного, резервуарного, энергетического и другого хозяйства, входящего в комплекс трубопроводного транспорта нефти и газа. Немаловажной задачей является поддержание работоспособности системы магистральных нефтепроводов, что требует иметь в своем распоряжении собственный парк технологического транспорта или же обращаться к подрядным организациям. В данной статье рассматривается только обслуживание трубопровода собственными силами. При этом для решения одинаковых задач, а именно выполнение обслуживания или ремонта магистрального нефтепровода, Управления магистрального нефтепровода могут иметь существенные различия в протяженности трубопроводов, их возрасте, природно-климатических условиях, развитости транспортной инфраструктуры, оснащенность ЦТТ и СТ в регионе и дорожной сети. Такой показатель как возраст трубопровода оказывает существенное влияние на формирование потребности в технологическом транспорте ввиду увеличения или уменьшения числа ремонтов. В существующих регламентах оснащенности подразделений технологическим транспортом эти факторы учтены не в полном объеме. Для решения поставленной задачи был проанализирован подход к эксплуатации технологического транспорта, а так же разработана модель имитации транспортного обслуживания нефтепроводной системы методом агентного моделирования в среде Anylogic. Данная программа позволяет подстраивать под нужные условия модель, варьируя скорость техники, числом исследуемых объектов, а так же применяя ГИС-карты с транспортными базами и трубопроводами. В модель закладываются нормативное число ремонтов трубопровода в исследуемом году, скорость технологического транспорта, время ремонта, тип ремонта, тип технологического транспорта. В данной работе технологический транспорт работает бригадами. На основе моделирования предлагается определить реальную потребность в технологическом транспорте для Управлений магистрального нефтепровода, а так же сформировать корректировки существующих нормативных документов по потребности в технике.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, технологический транспорт, магистральные нефтепроводы, потребность в технике, структура парка.

**Для цитирования:** Немков М. В., Попцов В. В., Немков В. М. Оптимизация комплектов технологического транспорта с использованием среды имитационного моделирования Anylogic // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 7. – С. 112-119. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-112.

## OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL TRANSPORT KITS USING THE SIMULATION ENVIRONMENT ANYLOGIC

**M.V. Nemkov<sup>1</sup>, V.V. Poptsov<sup>2</sup>, V.M. Nemkov<sup>3</sup>**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>e-mail: nemkov.m@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: poptsov.victor@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: nemkov.vm@mail.ru

**Abstract.** The article presents a solution to the problem of finding the optimal number of standard sets of technological transport for the Management of oil trunk pipelines in Western Siberia. The main task of the Departments is to make decisions in the process of operation of the pipeline, tank, energy and other facilities included in

the complex of pipeline transportation of oil and gas. An important task is to maintain the efficiency of the system of oil trunk pipelines, which requires to have at its disposal its own fleet of technological transport or contact contractors. In this article we will focus on pipeline maintenance on their own. At the same time, to solve equal tasks, namely the maintenance or repair of the main oil pipeline, the Management of the main oil pipeline can have significant differences in the length of the pipelines, their age, natural and climatic conditions, the development of transport infrastructure, the equipment of CTT and CT in the region and the road network. Such an indicator as the age of the pipeline has a significant impact on the formation of the need for technological transport due to the increase or decrease in the number of repairs. In the existing regulations of the equipment of units of technological transport, these factors are not taken into account in full. To solve this problem, the approach to the operation of technological transport was analyzed, as well as a model of simulation of transport service of the oil pipeline system by agent modeling in anylogic environment was developed. This program allows you to adjust the model to the desired conditions, varying the speed of equipment, the number of objects under study, as well as using GIS maps with transport bases and pipelines. The model includes the standard number of pipeline repairs in the year under study, the speed of technological transport, repair time, type of repair; type of technological transport. In this paper, technical transport works teams. On the basis of modeling, it is proposed to determine the real need for a technological TRANS-port for the Management of the oil trunk pipeline, as well as to form adjustments to existing regulations on the need for equipment.

**Keywords:** simulation modeling, technological transport, oil trunk pipelines, the need for technology, the structure of the Park.

**Cite as:** Nemkov, M.V., Poptsov, V.V., Nemkov, V.M. (2019) [Optimization of technological transport kits using anylogic simulation modeling environment]. *Intellekt. Innovatsi. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 7, pp. 112-119. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-112.

## Введение

В настоящее время в организациях по транспортировке углеводородов актуальным является вопрос об оптимизации потребности в технике для Управлений магистральных нефтепроводов (УМН) [2]. Существующие нормативные документы АК «Транснефть» регламентируют потребность в технике для структурных подразделений, не учитывая различия в природно-климатических, дорожных и других условиях.

Региональная структура магистральных нефтепроводов включает в себя несколько Управлений магистральных нефтепроводов, каждое из которых имеет одинаковый перечень задач по обеспечению бесперебойной работы участка нефтепровода. Одним из основных методов поддержания работоспособности трубопроводов является плановый ремонт методом замены участка трубопровода (замена катушки), установки ремонтной муфты, шлифовки либо наплавки участка трубопровода. Для выполнения этих работ используются машинокомплекты техники: бортовой автомобиль, самосвал, седельный тягач, вахтовый грузопассажирский автобус, передвижная авторемонтная мастерская, плетевоз, топливозаправщик, сварочный агрегат, передвижной насосный агрегат, автокран, трубоукладчик, пожарный автомобиль [1]. Следует отметить, что для разных методов выборочных ремонтов нефтепровода используются разные машинокомплекты.

Исходя из этого, появляется необходимость оптимизации числа нормокомплектов технологического транспорта, используемая в филиалах АО «Транснефть-Сибирь». Целью исследования является оптимизация нормокомплектов техно-

логического транспорта посредством имитационного моделирования.

## Теоретические исследования

Предварительный анализ двух УМН, входящих в состав ПАО «Транснефть-Сибирь», выявил значительные различия между ними, что существенно влияет на процессы транспортно-технологического сервиса основного производства (рисунок 1).

Общая площадь территории, занимаемой Ноябрьским УМН, меньше площади Урайского УМН, через которое проходит разветвленная сеть из трех разных магистральных нефтепроводов общей протяженностью более 1500 км, в то время как в Ноябрьском УМН пролегает один нефтепровод протяженностью 800 км. Кроме того, Управления отличаются по уровню развития дорожной сети и наличию труднопроходимых участков.

## Экспериментальные исследования

Для учета вышеуказанных особенностей была разработана имитационная модель работы системы магистральных нефтепроводов с привязкой к географическому расположению Управлений магистральных нефтепроводов.

В настоящее время существует несколько подходов к имитационному моделированию: системная динамика, дискретно-событийное моделирование, динамические системы, агентное моделирование, объединенный подход [1–7].

В рамках данного исследования был использован агентный подход, реализованный в программной среде Anylogic. Основная суть подхода заключается в том, что модель представляется в виде

множества отдельных активных объектов (агентов), каждый из которых взаимодействует с другими агентами, образующими для него внешнюю

среду. Такой подход является мощным инструментом, способным дать исследователю возможность учесть большое многообразие факторов [8-10].

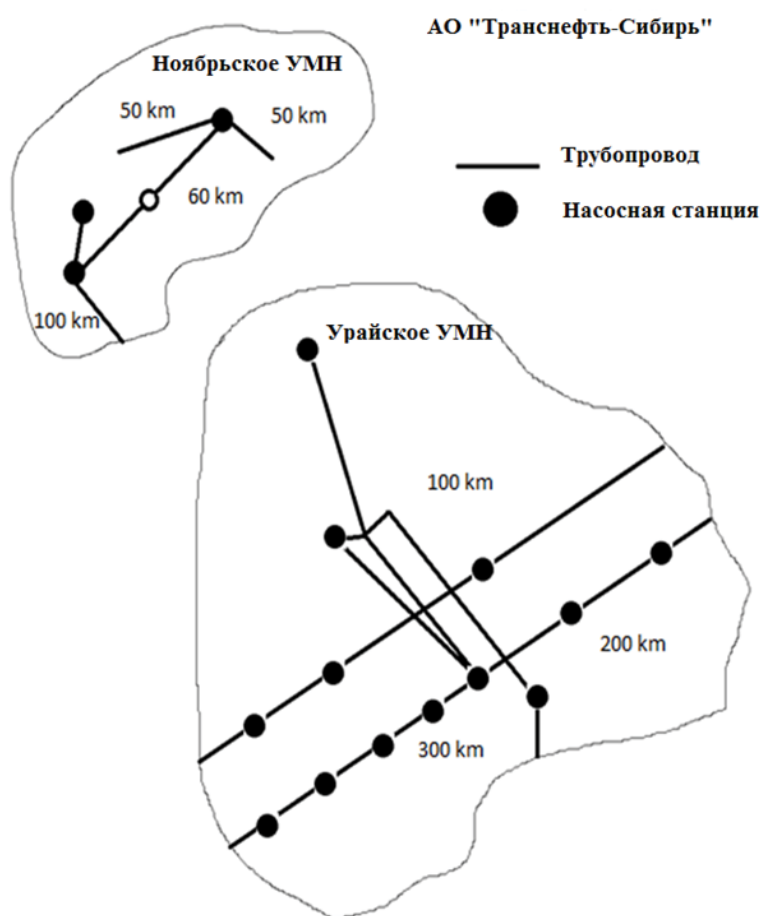


Рисунок 1. Сравнение двух УМН, входящих в состав ПАО «Транснефть-Сибирь»: Уральское УМН и Ноябрьское УМН

Модель имитирует работу Управления магистральных нефтепроводов. Работающая сеть нефтепроводов может переходить из работоспособного в неисправное состояния с заданной интенсивностью. Интенсивности возникновения потребности в ремонте был определен в работе [11]. Следует отметить, что количество выполняемых выборочных ремонтов нефтепровода в Уральском УМН больше, чем в Ноябрьском. При этом отдельно моделируется процесс возникновения потребности в выборочном ремонте методом вырезки катушки, методом установки муфты, методом шлифовки или наплавки (моделируются как один метод в силу схожести технологий) (рисунок 2).

При изменении технического состояния трубопровода формируется запрос на тот или иной машинокомплект технологического транспорта, который должен выехать с транспортной базы, находящейся в Управлении, произвести ремонт и вернуться обратно. После чего трубопровод вновь возвращается

в работоспособное состояние. При этом возможно выполнение ремонта трубопровода в местах расположенных в 30-50 километрах от места выполнения ремонта бригады, либо же по пути обратно на базу.

Логика работы транспорта (рисунок 3) представляет собой повторяющийся алгоритм, в котором при начале моделирования транспорт находится на базе (atcenter), при поступлении заявки проводится ее анализ и классификация по одному из трех типов: Servicing – ремонт методом установки муфты, Servicing1 – ремонт методом вырезки катушки, Servicing2 – ремонт методом шлифовки. Соответственно типу заявки выбирается свободный машинокомплект, который направляется к участку трубопровода (Moving To Pipeline) в следующем переходе. При этом фиксируется среднее время выполнения ремонтных работ с учетом ожидания прибытия техники на место. В случае отсутствия свободной бригады определяется время ожидания освобождения техники.

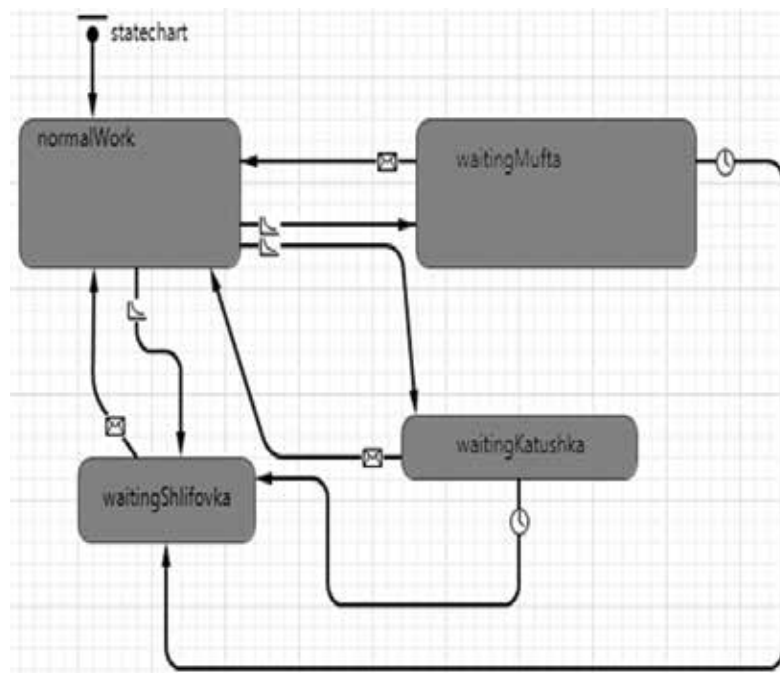


Рисунок 2. Логический алгоритм работы магистрального нефтепровода в модели

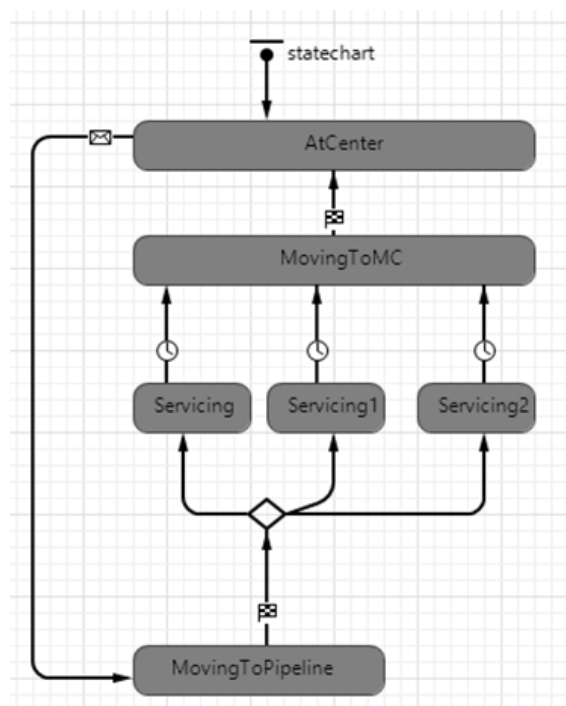


Рисунок 3. Логический алгоритм работы транспорта в модели

В работе модели также учитывались факторы, влияющие на техническую эксплуатацию транспортно-технологических машин, подробно рассмотренные в работах [12–15].

Основной особенностью данной модели является привязка к ГИС картам исследуемых УМН. Места пролегания трубопроводов в модели были отмечены с помощью геоточек, каждая из которых

является источником возникновения заявок на технику. Такой подход позволяет учесть развитие дорожно-транспортной сети региона, время, требуемое для передвижения техники до мест проведения ремонтов трубопровода. Движение транспорта происходит либо по дорогам общего пользования или же по проездным путям (рисунок 4).

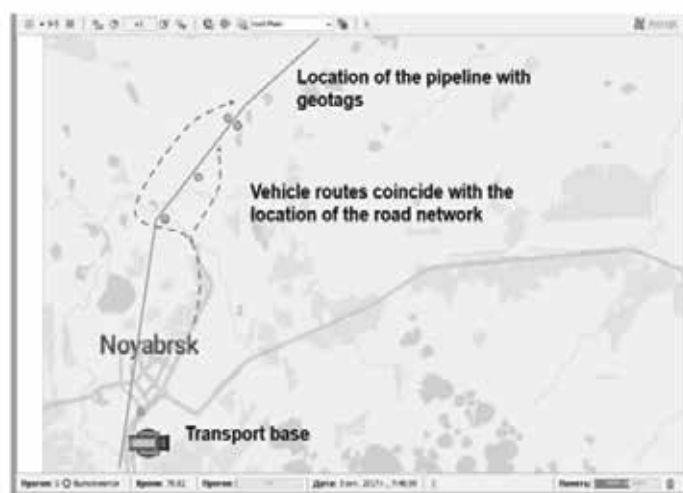


Рисунок 4. Имитация движения техники к месту ремонта нефтепровода по имеющейся сети дорог

В модель также были заложены средние значения количества ремонтов трубопроводов для рассматриваемых УМН и средние технические скоро-

сти движения по дорожной сети. Исходные данные моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные моделирования

| Показатель                        | Ноябрьское УМН | Урайское УМН |
|-----------------------------------|----------------|--------------|
| Ремонт методом вырезки            | 50             | 70           |
| Ремонт методом муфты              | 221            | 581          |
| Ремонт методом шлифовки           | 115            | 257          |
| Средняя эксплуатационная скорость | 45             | 60           |

Реализация имитационной модели с заданными условиями для двух УМН при различном количестве машинокомплектов технологического транспорта позволила сформировать статистику по изменению среднего времени выполнения ремонтных работ с учетом ожидания техники. При увеличении количества машинокомплектов среднее время уменьшается до определенных значений, соответствующих трудоемкости ремонта трубопровода. Технологически необходимое количество машинокомплектов соответствует точке, на которой интенсивность снижения среднего времени ремонта замедляется до стабильных показателей.

$$N_{\text{комплектов}} = \text{opt} \rightarrow t_{\text{ож.ремонта}} \rightarrow \min$$

Результаты эксперимента по определению машинокомплектов технологического транспорта представлены на рисунке 5.

Можно заключить, что для Ноябрьского УМН в заданных условиях технологически необходимое количество комплектов техники равноотрем,

а для Урайского - четырем. Следовательно, исходя из разницы в протяженности УМН, в типах дорог и климатических условиях можно подтвердить гипотезу, что для разных управлений необходимо подбирать разную оснащенность технологическим транспортом.

### Заключение

Полученные результаты могут быть полезны руководству структурных подразделений компании «АК Транснефть» при формировании нормативных документов по обеспечению технологическим транспортом, при принятии решений по обновлению парка техники, а также при определении объема финансирования транспортных подразделений. Экспериментальная модель показала необходимость дифференцированного подхода к оснащению техникой структурных подразделений. Это является предпосылкой к классификации Управлений магистральными нефтепроводами, которая позволит сформировать более гибкую систему распределения техники, позволяющую минимизировать затраты на транспортно-технологический сервис нефтепроводной отрасли.

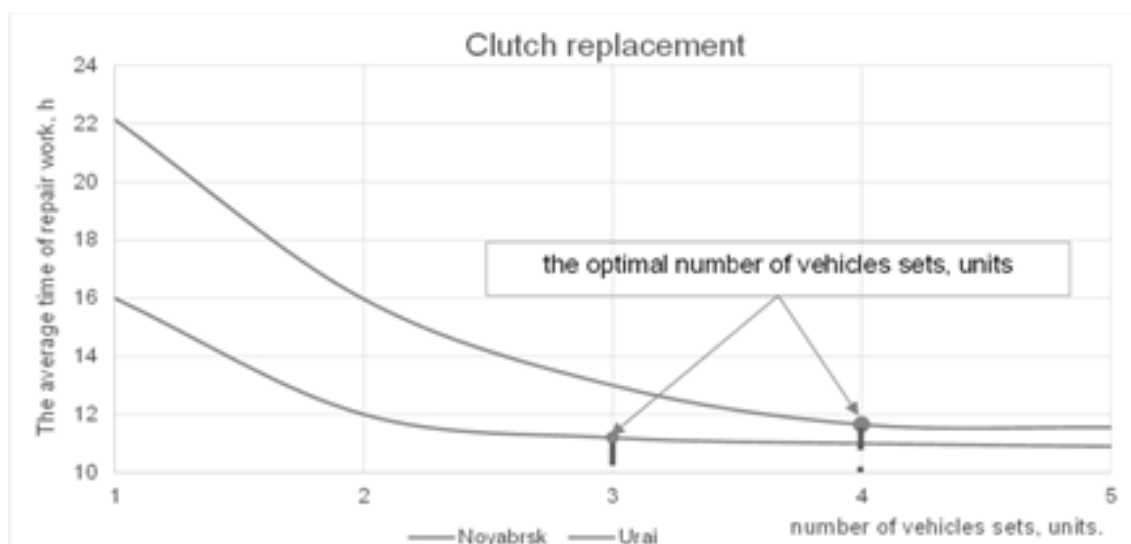


Рисунок 5. График зависимости среднего времени ожидания участка от числа комплектов техники для замены муфты

### Литература

1. Определение потребности в топливозаправщиках для машин, используемых при строительстве и ремонте магистральный трубопроводов / А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, Ю.Е. Якубовский. // Научно-технический вестник поволжья. – 2012. – № 5. – С. 93-96.
2. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей и специальной техники в нефтепроводной отрасли / А.В. Базанов, В.И. Бауэр, Е.С. Козин, М.В. Немков, и др. // Научно-технический вестник поволжья. – 2014. – № 6. – С. 69-73.
3. AnyLogic 7 Help Personal Learning Edition 7.2.0 Turbine Service Model (Agent approach) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fagentbased%2Ftutorial%2FMaintenance+Model.html> (дата обращения: 23.04.2019).
4. Biondi, E., Boldrini, C., Bruno, R. Optimal Deployment of Stations for a Car Sharing System with Stochastic Demands: a Queueing Theoretical Perspective / 19th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) Rio de Janeiro, BRAZIL.: NOV 01-04, 2016. – pages 1089-1095
5. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6 / 2013-614 p.
6. Development of a simulation model of vehicle maintenance building with the use of simulation / Davydova A.A., Babenko A.V., Kurzaeva L.V. / Nosov Magnitogorsk State Technical University / MODERN EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, Publisher: international research and innovation centre (Moscow) / 11–2 (63), – 2016. – pages 219-228.
7. Factors influencing on downtime of transport-technological cars under current repairs / Zakharov, N.S., Savin, S.A., Ivankiv, M.M., Lushnikov, A.A./ Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry / Issue 4, 2014, pages 82-84.
8. Formation of reconditioning complexes during oncondition centralized repair of automobile units / Krasovsky, V.N., Poptsov, V.V., Korchagin, V.A. Email Author, Krasovskaja, N.I. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 12, Issue 13, 1 July 2017, pages 4111-4121.
9. Fuel economy in light vehicles in winter by optimizing the warm-up mode / Zakharov N.S., Titla I.M., Maniashin A.V., Tiulkin V.A., Abakumov G.V. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. vol. 10. № 20. p. 41129-41135.
10. Influence of workers' qualification on the costs of maintenance and repair of transport and technological machines in oil and gas production. Proceedings of higher educational institutions / Zakharov N.S., Abakumov G.V., Elesin S.V., Kichigin S.J. Oil & Gas Journal. 2012. vol. 6. p. 112.
11. Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7.2/ Berlin School of Economics and Law, Berlin, 2017 – 97 p.
12. Osmanova, M.M. Methodological approaches of calculation of needs and optimal composition of machine-tractor park in agriculture // Economics and Business. 2016. No. 10-2 (75-2).
13. Ponicky, Jan; Camaj, Juraj; Kendra, Martin. Possibilities of Simulation Tools for Describing Queueing Theory and Operations Service Lines in Railway Passenger Transport / International Conference on Engineering

Science cargo handling simulation using Petri nets with predicates / Proceedings of the institution of mechanical engineers part M-journal of engineering for the maritime environment. Volume: 229 Issue: 4 NOV 2015.

14. The methodic for determining the structure of the park of refuelers for transport divisions in the pipeline industry / Bazanov A.V., Bauer V.I., Kozin E.S., Nemkov M.V., Mukhortov A.A. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. vol. 6. № 1. p. 1748-1760. (ISSN09758585-India-Scopus).

15. The object-oriented methodology of traffic microscope simulation system for generating vehicles from od matrix / Jing P., Juan Z., Lin X. 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals – Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable, ICCTP 2010. – pages 17-29.

16. The methodic of forming a rational structure of a distributed production base of transport divisions in the pipeline industry / Bauer V.I., Kozin E.S., Bazanov A.V., Nemkov M.V., Mukhortov A.A., Biosciences Biotechnology Research Area / T.11, 2014, pages 287-295.

## References

1. Bazanov, A.V., Bauer, E.S., Kozin, Yu.E. Yakubovsky (2012) [Determination of the need for tankers for cars used in the construction and repair of pipelines]. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. Vol. 5, pp. 93-96 (In Russ.).

2. Bazanov, A.V., Bauer, E.S. Kozin, Yu.E. (2014) [Improving the efficiency of technical operation of cars and special equipment in the oil pipeline industry]. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. Vol. 6, pp. 69-73 (In Russ.).

3. AnyLogic 7 Help Personal Learning Edition 7.2.0 Turbine Service Model (Agent approach). Available at: <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fagentbased%2Ftutorial%2FMaintenance+Model.html> (accessed 23.04.2019) (In Russ.).

4. Biondi, E., Boldrini, C., Bruno, R. (2016) Optimal Deployment of Stations for a Car Sharing System with Stochastic Demands: a Queuing Theoretical Perspective. *19th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Rio de Janeiro, BRAZIL, pp.1089–1095 (In Engl.).

5. Borshchev, A. (2013) The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with Any Logic. Vol. 6, 614 p. (In Engl.).

6. Davydova, A.A., Babenko, A.V., Kurzaeva, L.V (2016) Development of a simulation model of vehicle maintenance building with the use of simulation. *No-sov Magnitogorsk State Technical University. MODERN EQUIPMENT AND TECHNOLOGY*, Publisher: international research and innovation center (Moscow). Vol. 11 – 2 (63), pp. 219-228. (In Engl.).

7. Zakharov, N.S., Savin, S.A., Ivankiv, M.M., Lushnikov, A.A (2014) Factors influencing on downtime of transport-technological cars under current repairs. *Neft'yanoe khozyaystvo – Oil Industry*. Issue 4, pp. 82-84. (In Engl.).

8. Krasovsky, V.N., Poptsov, V.V., Korchagin, V.A., Krasovskaja, N.I (2017) Formation of reconditioning complexes during on condition centralized repair of automobile units. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12, Issue 13, 1 July, pp. 4111-4121. (In Engl.).

9. Zakharov, N.S., Titla, I.M., Maniashin, A.V., Tiulkin, V.A., Abakumov, G.V (2015) Fuel economy in light vehicles in winter by optimizing the warm-up mode. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 10, No. 20, pp. 41129-41135. (In Engl.).

10. Zakharov, N.S., Abakumov, G.V., Elesin, S.V., Kichigin, S.J. (2012) Influence of workers' qualification on the costs of maintenance and repair of transport and technological machines in oil and gas production. Proceedings of higher educational institutions. *Oil & Gas Journal*. Vol. 6, pp. 112. (In Engl.).

11. Ivanov, D. (2017) Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7.2. *Berlin School of Economics and Law*, Berlin, 97 p.

12. Osmanova, M.M. (2016) Methodological approaches of calculation of needs and optimal composition of machine-tractor park in agriculture. *Economics and Business*. No. 10-2 (75-2). (In Engl.).

13. Ponicky, Jan; Camaj, Juraj; Kendra, Martin (2015) Possibilities of Simulation Tools for Describing Queuing Theory and Operations Service Lines in Railway Passenger Transport. International Conference on Engineering Science cargo handling simulation using Petri nets with predicates. *Proceedings of the institution of mechanical engineers part M-journal of engineering for the maritime environment*. Vol. 229 Issue: 4 (In Engl.).

14. Bazanov, A.V., Bauer, V.I., Kozin, E.S., Nemkov, M.V., Mukhortov, A.A. (2015) The methodic for determining the structure of the park of refuelers for transport divisions in the pipeline industry. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. Vol. 6, No. 1, pp. 1748-1760 (ISSN09758585-India-Scopus) (In Engl.).

15. Jing, P., Juan, Z., Lin, X. (2010) The object-oriented methodology of traffic microscope simulation system

for generating vehicles from od matrix . *10th Inter-national Conference of Chinese Transportation Professionals. Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable, ICCTP*, pp. 17–29. (In Engl.).

16. Bauer, V.I., Kozin, E.S., Bazanov, A.V., Nemkov, M.V., Mukhortov, A.A. (2014) The methodological of forming a rational structure of a distributed production base of transport divisions in the pipeline industry. *Biosciences Biotechnology Research Area*. Vol. 11, pp. 287-295. (In Engl.).

#### **Информация об авторах:**

**Михаил Васильевич Немков**, кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, институт транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Author ID:** 394269

e-mail: nemkov.m@mail.ru

**Виктор Вадимович Попцов**, кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, институт транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Author ID:** 413508

e-mail: poptsov.victor@mail.ru

**Василий Михайлович Немков**, магистрант, направление подготовки 23.04.03. Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Author ID:** 826817

e-mail: nemkov.vm@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.03.2019; принята в печать 29.10.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### **Information about the authors:**

**Mikhail Vasilyevich Nemkov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department Automobiles and Technological Machines Service, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Author ID:** 394269

e-mail: nemkov.m@mail.ru

**Victor Vadimovich Poptsov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department Automobiles and Technological Machines Service, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Author ID:** 413508

e-mail: poptsov.victor@mail.ru

**Vasilii Mikhailovich Nemkov**, postgraduate, training direction 23.04.03. Operation of transport-technological machines and complexes, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Author ID:** 826817

e-mail: nemkov.vm@mail.ru

The paper was submitted: 27.03.2019.

Accepted for publication: 29.10.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.