

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Транспортная инфраструктура

УДК [UDC] 519.8

DOI 10.17816/transsyst20206294-105

© Т. С. Карпова, В. И. Моисеев, В. А. Ксенофонтова

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО СПОСОБА СЛИВА ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Обоснование:** На внутреннем рынке в зимний период увеличивается потребление мазута, что влечет повышение цен. При этом значительно увеличиваются затраты ресурсов и время слива вязких нефтепродуктов. Продолжительность процесса слива связана с физико-химическими свойствами мазута. А именно, его вязкость зависит от температуры самого продукта и температуры внешней среды, которая в условиях нашей страны в среднем в год составляет  $-5,5^{\circ}\text{C}$ .

**Цель:** Уменьшение длительности и стоимости процесса перевозки вязких нефтепродуктов.

**Методы:** В статье предложен новый способ перевозки вязких нефтепродуктов по железной дороге, обеспечивающий сохранение их текучести без применения тепловой изоляции котла вагона-цистерны и средств путевого подогрева. Построены имитационные модели процессов слива вязких нефтепродуктов для традиционного и нового способа налива при циркуляционном способе слива вязких нефтепродуктов, позволяющие оценить количество потребляемых ресурсов.

**Результаты:** В работе показаны особенности существующего процесса слива вязких нефтепродуктов. Проведено имитационное моделирование и функционально-стоимостной анализ процесса слива при циркуляционном способе подогрева вязких нефтепродуктов. Проведен сравнительный анализ полученных результатов.

**Выводы:** При новом способе налива процесс слива происходит аналогично с летним периодом.

**Ключевые слова:** вязкие нефтепродукты; железнодорожные перевозки; имитационная модель; циркуляционный способ слива; мазут; стратифицированное состояние вязкого нефтепродукта.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Transport Infrastructure

© T. S. Karpova, V. I. Moiseev, V. A. Ksenofontova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

## SIMULATION OF THE CIRCULATION METHOD FOR DISCHARGING VISCOUS PETROLEUM PRODUCTS

**Background:** In the domestic market, the consumption of fuel oil increases during the winter period, leading to higher prices. At the same time, the cost of inputs and the time for the discharge of viscous oil products are greatly increased. The duration of the discharge process is related to the physico-chemical properties of the fuel oil. Its viscosity depends on the temperature of the product itself and the temperature of the environment, which in our country averages  $-5.5$  °C per year.

**Aim:** Reduction in the length and cost of transport of viscous petroleum products.

**Methods:** The article proposes a new method for the carriage of viscous petroleum products by rail, ensuring that their fluidity is preserved without the use of thermal insulation of the boiler of the tank-wagon and the means for carrying the heating. Simulation models of the processes of pouring out viscous petroleum products for a traditional and new method of pouring in the circulation method of discharge of viscous petroleum products, which make it possible to estimate the quantity of resources consumed, are constructed.

**Results:** The work shows the peculiarities of the existing process of discharging viscous petroleum products. Simulation and functional-cost analysis of the discharge process were carried out under the circulatory method for heating viscous petroleum products. The results were compared.

**Conclusion:** In the new pouring method, the discharge process is similar to the summer period.

**Keywords:** viscous petroleum products, railway transport; simulation model; circulation method of discharge; oil; stratified state of viscous oil product.

## ВВЕДЕНИЕ

Нефть является одним из основных источников энергии. Нефтяная промышленность сталкивается со сложной задачей конкурентоспособности в связи с колебаниями спроса, цен на нефть и нефтепродукты. Поэтому нефтяные компания ищут дополнительные возможности по снижению себестоимости продукта.

Нефтепродукты проходят сложный путь от разработки месторождения и добычи сырой нефти до поставки конечному потребителю конечного продукта. Стоимость транспортных услуг напрямую зависит от вида нефтепродукта и способа его поставки [1-4].

В ассортименте нефтеперерабатывающей промышленности выделяют три основных группы: моторное топливо (карбюраторное, дизельное, реактивное), котельное топливо (котельное, к которым относится мазут и др., газотурбинное) и нефтяные масла (смазочные и не смазочные масла) [5].

Основным физико-химическим свойством котельного топлива является вязкость, величиной которой определяются полнота сгорания топлива и условия слива и налива и др. На вязкость влияет температура окружающей среды: при ее понижении вязкость нефтепродукта резко возрастает. В этом случае выгрузка самотеком нефтепродукта становится невозможной.

В условиях географических и климатических особенностей нашего государства наиболее перспективны железнодорожные поставки вязких нефтепродуктов [6]. Преимуществом такого способа транспортировки является всесезонность в отличие от поставок речным и морским транспортом. Железнодорожные перевозки способны обеспечить массовые поставки нефтепродуктов средним объемом 3000 тонн одним железнодорожным составом в то время как максимальный объем груза, перевозимого единицей автомобильного транспорта, составляет 25 тонн [7, 8]. Поставки вязких нефтепродуктов по трубопроводу возможны только на небольшие расстояния.

## ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ СЛИВА

В модели перевозки вязких нефтепродуктов, к которым относится мазут, наиболее затратным и энергоемким процессом является разогрев нефтепродукта перед сливом [9]. На данный момент при сливе применяют локальный пригрев пристенного слоя топлива с использованием стационарных теплообменников, входящих в конструкцию цистерны, пригрев всей массы топлива в цистерне через выносной стационарный теплообменник и комбинированный способ. Для разогрева мазута в железнодорожных цистернах в качестве теплоносителя используется как правило водяной пар и электроэнергия [10].

В данной работе рассматривается модель циркуляционный подогрева мазута, относящийся к пригреву всей массы топлива в цистерне. При применении этого способа разогрев мазута в железнодорожных цистернах производится горячим мазутом, подаваемым насосом через выносные стационарные теплообменники. Мазут, взятый из хранилища, в стационарных теплообменниках разогревается до температуры на 15°С ниже, чем температура вспышки, но не более 120°С. Продолжительность подготовительных процессов и слива мазута с одного котла вагона-

цистерны в среднем длится в зимний период 15–20 часов, в то время как в летний период это время составляет 8–9 часов.

При этом способе слива нефтепродукты сливаются полностью и котел вагона-цистерны не нуждается в дальнейшей очистке при условии перевозки в нем того же вида топлива.

## ОПИСАНИЕ НОВОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕВОЗКИ

В работе предложен новый способ перевозки вязких нефтепродуктов, основанный на физических свойствах мазута, обладающего низкой теплопроводностью [11]. Данный способ позволяет снизить себестоимость транспортных расходов за счет предотвращения охлаждения груза при транспортировке по железной дороге.

Наиболее интенсивное охлаждение нефтегруза происходит в течение первых суток после налива в цистерну как результат смешанной свободно-вынужденной конвекции. Особенно интенсивно процесс охлаждения происходит в зимний период, который в некоторых регионах страны продолжается до 8 месяцев [7].

Суть метода в переводе нефтепродукта в устойчивое, но не равновесное состояние в момент загрузки, когда плотность в верхней части котла вагона-цистерны существенно меньше, чем в нижней. Такое состояние называется стратифицированным. При этом подходе естественная конвекция, которая является причиной быстрого охлаждения груза, практически исчезает. В местах взаимодействия нефтегруза со стенками котла вагона-цистерны образуется высоковязкий слой из застывшего груза, обладающий малой теплопроводностью, и выполняющий функции тепловой изоляции [12, 13].

При таком способе налива основная масса продукта остается в текучем состоянии. В этом случае в разогреве при выгрузке нуждается не более 10 % перевозимого груза. Предложенный метод позволяет процесс слива в зимнее время приблизить к нормативам летнего периода

## ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Для разработки имитационной модели в качестве инструментальной среды использовалась отечественная платформа Business Studio. Данное программное обеспечение позволяет с помощью функционально стоимостного анализа оценить экономическую эффективность предложенного способа перевозки [14, 15].

При моделировании использовались нотации BPMN и EPC, позволяющие максимально точно описать моделируемые бизнес-процессы.

Смоделируем процесс слива вязких нефтепродуктов циркуляционным способом, который состоит из следующих этапов:

1. Подача железнодорожной цистерны под эстакаду слива.
2. Замер количества прибывшего груза и отбор проб. В летний период данная процедура занимает 1 час, а в зимний период 2 часа.
3. Подключение устройств слива нефтепродуктов.
4. Заполнение системы слива нефтепродуктом из хранилища и подогрев его. При подогреве используется пар. Расход пара в зимний период в среднем 6 Гкал на слив одной железнодорожной цистерны, в летний период 3 Гкал.
5. Разогрев нефтепродуктов в зоне сливного клапана котла вагона-цистерны.
6. Слив 90–95 % объема нефтепродуктов в хранилище. В летний период данная процедура занимает 8 часов, а в зимний период 15–20 часов. После этого процедура слива останавливается.
7. Размывание остатков нефтепродуктов в железнодорожной цистерне и окончательный слив. Этот процесс занимает еще 4 часа в холодное время года и 2 часа в теплое время года.
8. Отключение сливного устройства.
9. Вывод железнодорожной цистерны из-под эстакады слива.

Модель данного бизнес-процесса приведена на Рис. 1. Процесс подготовительных мероприятий и непосредственно самого слива встроен как декомпозиция в данную модель.

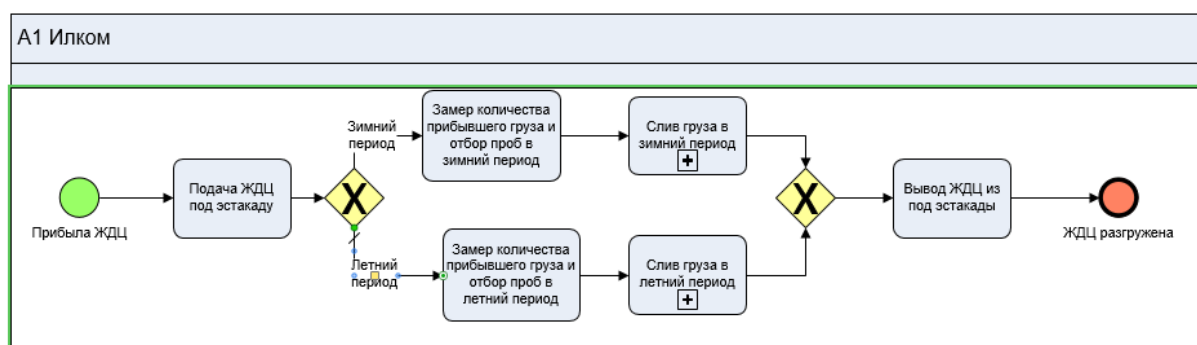


Рис.1. Модель процесса слива вязких нефтепродуктов циркуляционным способом

При новом способе загрузки схема слива груза значительно упрощается (Рис. 2).

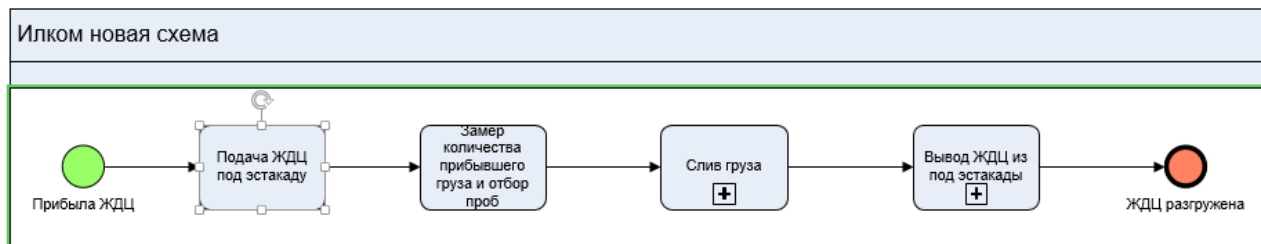


Рис. 2. Модель процесса слива нефтепродуктов циркуляционным способом при новом способе загрузки

## ПРОВЕДЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

Для проведения функционально стоимостного анализа задаем свойства объектов. Железнодорожные цистерны приходят на станцию ежедневно в разное время в течение суток в количестве 20 штук в среднем. Этот факт отражен на Рис. 3.

Тип случайной величины	Интервал	Закон распределения	Количество экземпляров соб...
Момент времени	0:00:00 — 0:00:00	Равномерный (0:00:00; 24:00:...	Нормальный ( $\mu=20$ ; $\sigma=5$ )
*			

Рис. 3. Свойство стартового события

Платформа Business Studio позволяет смоделировать частоту возникновения стартового события. Результат показан на Рис. 4.

Задаем параметры объектов с учетом данных, приведенных в описании, и даты наступления события, а также условия возникновения события Зимний период и Летний период (Рис. 5).

Время выполнения процессов Слив в зимнее время и Слив в летнее время задаем как случайную величину с нормальным законом распределения.

Проведем имитационное моделирование процесса слива вязкого нефтепродукта в период с 30 сентября по 2 октября, что позволит нам наблюдать работу модели в летний и зимний период. Результаты имитации приведены на Рис. 6.

Здесь же мы можем наблюдать количество реализаций каждого процесса: сколько запущено, сколько завершено и выполняется (Рис. 7).

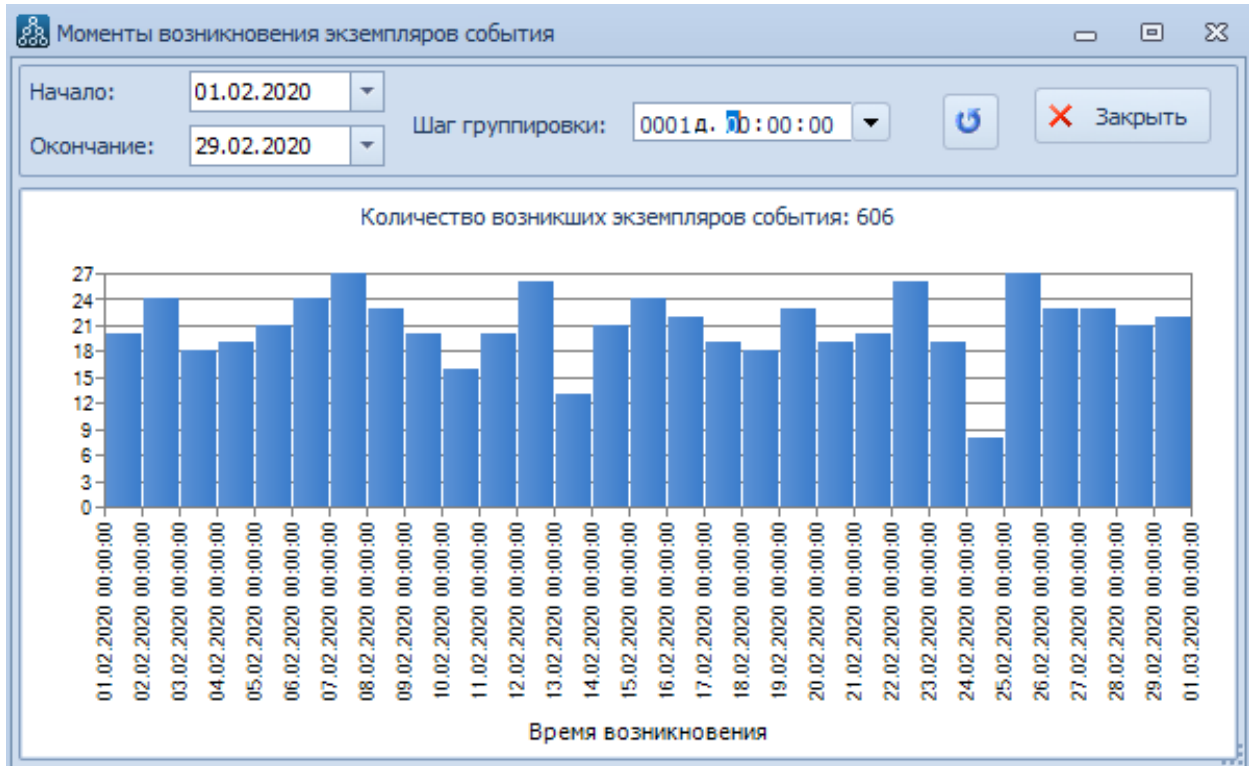


Рис. 4. Моделирование моментов возникновения экземпляров стартового события

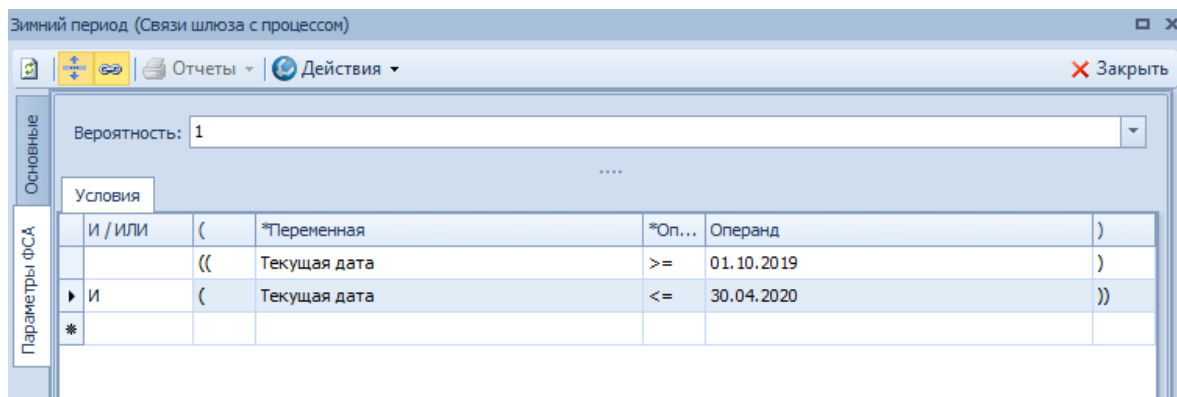


Рис. 5. Свойства условия Зимний период

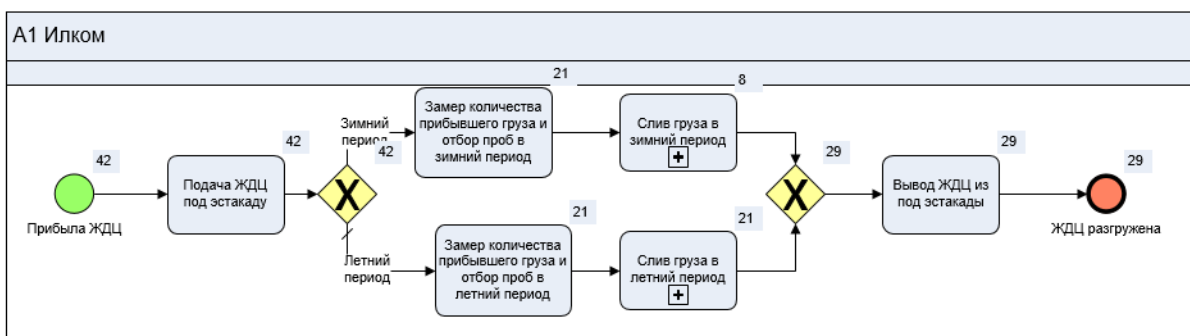


Рис. 6. Результаты имитации

Процесс	Запущено	Завершено	Выполняется	Ожидает выполнения	Ожидает в очереди	Ожидает матер. ресурс
A1 Илком	42	29	13	-	-	-
A1.1 Подача ЖДЦ под эстакаду	42	42	0	0	0	0
A1.2 Замер количества прибывшего груза и отбор проб в зимний период	21	21	0	0	0	0
A1.3 Замер количества прибывшего груза и отбор проб в летний период	21	21	0	0	0	0
A1.4 Слив груза в зимний период	21	8	13	-	-	-
A1.4.1 Подготовительные работы для слива НП	21	21	0	0	0	0
A1.4.2 Слив НП в зимний период	21	8	13	0	0	0
A1.5 Слив груза в летний период	21	21	0	-	-	-
A1.5.1 Подготовительные работы для слива НП	21	21	0	0	0	0
A1.5.2 Слив НП в летний период	21	21	0	0	0	0
A1.6 Вывод ЖДЦ из под эстакады	29	29	0	0	0	0
ВСЕГО	197	184	13	0	0	0

Рис. 7. Расчет количества запущенных процессов

*Business Studio* позволяет задавать расход пара как переменную величину или продукт. В первом случае мы можем наблюдать, какое количество пара расходуется при сливе каждого котла вагона-цистерны. И сколько пара потребовалось для слива всего груза. В виду большого количества данных приведем часть таблицы расхода пара в летний период (Табл. 1) и в зимний период (Табл. 2), импортированных в *Excel*. Это еще одна возможность, представляемая разработчиками данного программного обеспечения.

Таблица 1. Расход пара в летний период

Экземпляр процесса	Дата и время	Операнд (количество используемого пара в одном процессе)	Значение на выходе
A1.5 Слив груза в летний период, экз. №01	30.09.2019 9:00:00	2,0813	2,0813
A1.5 Слив груза в летний период, экз. №04	30.09.2019 11:40:00	3,1313	5,2126
A1.5 Слив груза в летний период, экз. №03	30.09.2019 12:10:00	3,2206	8,4332

Таблица 2. Расход пара в зимний период

Экземпляр процесса	Дата и время	Операнд (количество используемого пара в одном процессе)	Значение на выходе
A1.5 Слив груза в зимний период, экз. №01	01.10.2019 14:30:00	6,7017	70,2761
A1.5 Слив груза в зимний период, экз. №04	01.10.2019 15:30:00	8,5487	78,8248
A1.5 Слив груза в зимний период, экз. №03	01.10.2019 15:50:00	6,8391	85,6639



Задав количество потребляемого пара как продукт, были получены следующие данные, приведенные на Рис. 8.

Процесс	Количество выполнений	Средняя стоимость произв...	Суммарная стоимость произ...	Среднее производимое ко...	Суммарное произведено...
A1.4 Слив груза в зимний период	8	3127,14	25017,12	6,087	48,696
A1.5 Слив груза в летний период	21	3127,14	65669,94	2,736	57,458

Рис. 8. Статистика по продукту Пар

При задании пара как продукта, произведенного в процессе слива нефтепродуктов, подсчитывается только количество пара, учитывая завершенные процессы. Отсюда видна разница потребления пара в первом (120,63 Гкал) и во втором (106,15 Гкал) случаях.

На следующих рисунках приведены результаты имитации за тот же период при новой схеме налива (Рис. 9–11, Табл. 3).

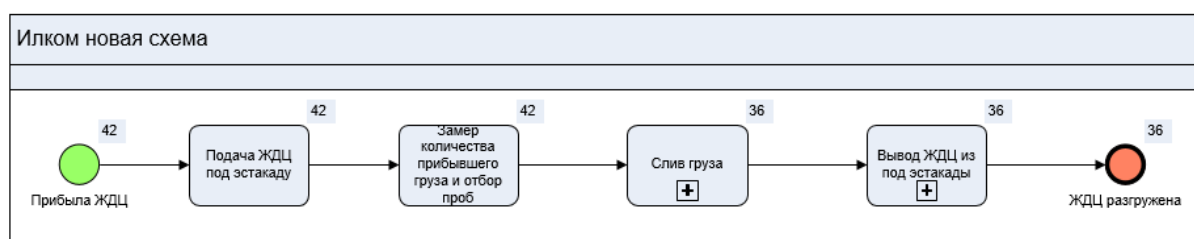


Рис. 9. Результат имитационного моделирования при новой схеме налива

Процесс	Запущено	Завершено	Выполняется	Ожидает выполнения	Ожидает в очереди	Ожидает матер. ресурс
Илком новая схема	42	36	6	-	-	-
A1 Подача ЖДЦ под эстакаду	42	42	0	0	0	0
A2 Замер количества прибывшего груза и отбор проб	42	42	0	0	0	0
A3 Слив груза	42	36	6	-	-	-
A3.1 Подготовительные работы для сливав НП	42	42	0	0	0	0
A3.2 Слив НП	42	36	6	0	0	0
A4 Вывод ЖДЦ из под эстакады	36	36	0	0	0	0
ВСЕГО	204	198	6	0	0	0

Рис. 10. Расчет количества запущенных процессов при ново схеме налива

Таблица 3. Расход переменной Пар при новой схеме налива

Экземпляр процесса	Дата и время	Операнд (количество используемого пара в одном процессе)	Значение на выходе
A3 Слив груза, экз. №36	01.10.2019 21:30:00	4,2596	102,3337
A1.5 Слив груза, экз. №36	01.10.2019 23:10:00	2,8673	105,2011

Процессы					
Переменные					
Статистика по процессу					
Процесс	Количество выполнений	Средняя стоимость произв...	Суммарная стоимость произ...	Среднее производимое ко...	Суммарное произведено...
▶ А3 Слив груза	36	3127,14	112577,04	3,109	111,92

Рис. 11. Расход продукта Пар при новой схеме налива

## ВЫВОДЫ

Построены имитационные модели слива вязких нефтепродуктов циркуляционным способом, позволяющие оценить количество ресурсов, необходимых при сливе. Новый способ налива позволяет сэкономить затраты на расход пара в среднем на 2 млн рублей ежемесячно в зимний период.

Преимущества построенной модели:

1. Впервые использован новый метод для моделирования физических процессов.
2. Для построения имитационной модели использовался новый инструмент, который до этого применялся исключительно для моделирования организационных бизнес-процессов.
3. Использована отечественная платформа *Business Studio* в качестве инструментальной среды.
4. Данные, полученные в результате имитационного моделирования, соответствуют данным, предоставленным профильной работающей организацией.
5. Новая схема слива зависит только от способа налива вязких нефтепродуктов, поэтому ее можно применять не только при циркуляционном способе слива.

**Авторы заявляют, что:**

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Хусаинов В.И., Ожерельева М.В. Перевозки угля и нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом: текущее состояние и перспективы // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 22–27. [Husainov VI, Ozherel'eva MV. Transportation of coal and oil cargoes by rail transport: current state and prospects. *Transport Rossijskoj federacii* 2019;4(83):22-27 (In Russ.)].
2. Kazemi Y. *Modelling the petroleum supply chain: multimodal transportation, disruptions and mitigation strategies*. [dissertation] North Dakota: State University of Agriculture and Applied Science, 2016. [cited 2020 March 04]. Available from: <http://hdl.handle.net/10365/25830>

3. Saad MS, Elsaghier EH, Ezaga D. Planning and Optimising Petroleum Supply Chain. In Proceedings of the 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), 2018 June 11-14, Columbus, OH, USA doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.131
4. Информационно-справочный портал «Железнодорожные перевозки». Доступно по URL: <https://cargo-report.info/> Ссылка активна на 04.03.20. [Informacionno-spravocnyj portal “Zheleznodorozhnye perevozki” (In Russ.)]. Доступно по: <https://cargo-report.info/> Ссылка активна на: 04.03.2020.
5. Геллер З.И. Мазут как топливо. – М.: Недра, 1965. – 496 с. [Geller ZI. *Mazut kak toplivo*. Moscow: Nedra; 1965. 496 p. (In Russ.)]. Доступно по: [https://www.studmed.ru/geller-zi-mazut-kak-toplivo\\_767fd1e5abb.html](https://www.studmed.ru/geller-zi-mazut-kak-toplivo_767fd1e5abb.html) Ссылка активна на: 04.03.2020.
6. Жебанов А.В., Волов Д.Б. Актуальные задачи транспортировки вязких и затвердевающих нефтепродуктов на железнодорожном транспорте // Материалы 5 Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса». – Самара: СамГУПС, 2009. – С. 364–366. [Zhebanov AV, Volov DB. Aktual'nye zadachi transportirovki vjazkih i zatverdevajushhijh nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte. In Proceedings of the Materialy 5 Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii “Aktual'nye problemy razvitija transportnogo kompleksa” Samara: SamGUPS; 2009. pp. 364-366. (In Russ.)].
7. Жебанов А.В. Управление теплофизическими процессами в нефтепродуктах при их перевозках в теплоизолированном вагоне. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – СПб; 2017. [Zhebanov AV. Upravlenie teplofizicheskimi processami v nefteproduktah pri ih perevozkah v teploizolirovannom vagone. [dissertation]. St. Petersburg; 2017 (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/upravlenie-teplofizicheskimi-protsessami-v-nefteproduktakh-pri-ikh-perevozkakh-v-teploizolir>. Ссылка активна на: 04.03.2020.
8. Моисеев В.И. Теория и модели процессов тепломассопереноса при транспортных операциях с застывающими наливными грузами. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – СПб; 2012. [Moiseev VI. Teorija i modeli processov teplomassoperenosa pri transportnyh operacijah s zastyvajushhimi nalivnymi gruzami. [dissertation]. St. Petersburg; 2012. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/teoriya-i-modeli-protsessov-teplomassoperenosa-pri-transportnykh-operatsiyakh-s-zastyvayushch>. Ссылка активна на: 04.03.2020.
9. Моисеев В.И. Охлаждение горячих нефтепродуктов в цистернах с парообогревательным кожухом / Труды XXII Международной научно-практической конференции «Математика в вузе». – СПб, 2010. – С. 126–128. [Moiseev VI. Ohlazhdenie gorjachih nefteproduktov v cisternah s paroobogrevatel'nyh kozhuhom. In Proceedings of the 24th International Conference “Matematika v vuze”. St. Petersburg; 2017. pp. 126-128 (In Russ.)].
10. Бахтизин Р.Н., Галлямов А.К. Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов. Применение электроподогрева. – М.: Химия, 2004. – 193 с. [Bahtizin RN, Gallyamov AK. *Transport i hranenie vysokovjazkih neftej i nefteproduktov. Primenenie jelektropodogreva*. Moscow: Himija; 2004. 193 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002459532> Ссылка активна на: 04.03.2020.
11. Ступак П.М., Фройштетер Г.Б., Чередниченко Г.И. Теплофизические свойства смазочно-охлаждающих жидкостей и их базовых масел. В кн. Теплофизические свойства углеводородов и нефтепродуктов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1983.

- С. 134–138. [Stupnjak PM, Frojsteter GB, SHERednichenko GI. *Терлофизические свойства смазочно-охлаждающих жидкостей и их базовых масел*. In book *Терлофизические свойства углеводородов и нефтепродуктов*. Moscow: CNITJeneftehim; 1983. pp. 134-138 (In Russ.)].
12. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с. [Miheev MA, Miheeva IM. *Osnovy teploperedachi*. Moscow: Jenergiya; 1977. 344 p. (In Russ.)]. Доступно по: <http://thermalinfo.ru/spravochniki-skachat/miheev-miheeva-osnovy-teploperedachi>. Ссылка активна на: 04.03.2020.
13. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. – М.: Наука, 1965. – 641с. [Monin AS, Jaglom AM. *Statisticheskaja gidromehanika*. Moscow: Nauka; 1965. 641 p. (In Russ.)]. Доступно по: [https://www.studmed.ru/monin-as-yaglom-am-statisticheskaya-gidromehanika-tom-1\\_4b3c72f48bc.html](https://www.studmed.ru/monin-as-yaglom-am-statisticheskaya-gidromehanika-tom-1_4b3c72f48bc.html). Ссылка активна на: 04.03.2020.
14. Документация Business Studio. [Dokumentacija Business Studio [Internet] (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.businessstudio.ru/>. Ссылка активна на: 04.03.2020.
15. Karpova TS, Moiseev VI, Ksenofontova VA. Construction of the Simulation Model of Transportation Oil Products [Internet] 2019;2556:103-107 [cited 2019 Dec 4-5] Available from: <http://ceur-ws.org/Vol-2556/paper18.pdf>.

#### Сведения об авторах:

**Карпова Татьяна Сергеевна**, к.т.н., доцент;  
eLibrary SPIN: 9676-3790; ORCID: 0000-0002-8755-5396;  
E-mail: t.s.karpova@yandex.ru

**Моисеев Владимир Иванович**, д.т.н., доцент;  
eLibrary SPIN:6925-1107; ORCID: 0000-0003-0558-6242;  
E-mail: moiseev\_v\_i@list.ru

**Ксенофонтова Вера Алексеевна**;  
eLibrary SPIN: 2747-2890; ORCID: 0000-0002-3085-3771;  
E-mail: koc-vera@yandex.ru

#### Information about the authors:

**Tatyana S. Karpova**, Candidate of Technical Science, docent;  
eLibrary SPIN: 9676-3790; ORCID: 0000-0002-8755-5396;  
E-mail: t.s.karpova@yandex.ru

**Vladimir I. Moiseev**, Doctor of Technical Science, docent;  
eLibrary SPIN: 6925-1107; ORCID: 0000-0003-0558-6242;  
E-mail: moiseev\_v\_i@list.ru

**Vera A. Ksenofontova**;  
eLibrary SPIN:2747-2890; ORCID: 0000-0002-3085-3771;  
E-mail: koc-vera@yandex.ru

#### Цитировать:

Карпова Т.С., Моисеев В.И., Ксенофонтова В.А. Имитационное моделирование циркуляционного способа слива вязких нефтепродуктов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 94–105. doi: 10.17816/transsyst20206294-105

#### To cite this article:

Karpova TS, Moiseev VI, Ksenofontova VA. Simulation of the Circulation Method for Discharging Viscous Petroleum Products. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):94-105. doi: 10.17816/transsyst20206294-105