

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Аннотация. Построена модель процесса перевозки различных грузов разными видами транспорта, которые имеют одинаковые этапы, с использованием сетей Петри. Особенности определенных подпроцессов, присущих для данного вида товара и транспорта, могут быть отражены как декомпозиция соответствующего этапа.

Построенная имитационная модель позволяет оценить продолжительность операции и другие характеристики.

Ключевые слова: процесс перевозки, математическая модель, имитационная модель, бизнес-процесс, сеть Петри.

Для цитирования: Ксенофонтова, В. А. Обобщённая математическая модель процессов перевозок грузов / В. А. Ксенофонтова // Вестник РГУПС. – 2021. – № 2. – С. 158–167. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_2_158.

Введение

В настоящее время объёмы экспортных перевозок в РФ в денежном эквиваленте превышают 250 млрд долларов. На рис. 1 показано распределение основных продуктов российского экспорта, по данным Федеральной таможенной службы, полученным за первые 5 месяцев 2020 г., выраженное в млн \$. Исключая экспорт газа, осуществляемый преимущественно по стационарным трубопроводам, доставка остальных позиций осуществляется морским, речным, железнодорожным, автомобильным видами транспорта, в соответствии с общей схемой, показанной на рис. 2.

Логическая последовательность транспортных операций, связанная с функционированием железнодорожного, речного, морского и автомобильного транспорта, представлена на рис. 2. Она включает:

- p1** – подготовку средства транспортирования к очередной погрузке (очистку, вентилирование и дегазация вагонов-цистерн, танков на судоналивных судах); им начинается и заканчивается цикл перевозки;
- p6** – подготовку как груза, так и транспортного средства к погрузке (разогрев ВНП для обеспечения их налива в вагон-цистерну, распиловку стволов деревьев для укладки в грузовой вагон, организацию предварительного хранения зерна в накопительном элеваторе при выдержанных температуре и влажности, хранение пищевых продуктов на складах);
- p7** – непосредственная погрузка с максимальным использованием средств механизации (залив нефтепродукта в вагон-цистерну, укладка перевозимого лесоматериала штабелем с фиксацией в грузовом вагоне, засыпку угля и т.д.);
- p14** – доставку в вагоне с сохранением физических и эксплуатационных характеристик груза;
- p16** – подготовку в выгрузке (разогрев ВНП в вагоне-цистерне для восстановления текучести, разогрев смерзшихся насыпных грузов в тепляках и т.д.);
- p17** – выгрузку и складирование, который замыкает цикл перевозки.

Сопутствующими мероприятиями являются организация потоков технической документации, осмотр и проверка средств передвижения, их периодический плановый ремонт, возможны также особые мероприятия по организации перевозок взрыво- и пожароопасных, а также токсичных материалов и т.д.

Возможны и специфические особенности. Так при эксплуатации железнодорожного подвижного состава должны выполняться жесткие требования к соблюдению габаритов перевозимого груза и предельных нагрузок на оси колесных пар. При эксплуатации речных транспортных средств должны выполняться требования по предельной осадке судна, при эксплуатации морского транспорта – требования устойчивости при волнении и т.д.



Рис. 1. Важнейшие экспортные товары за январь – май 2020 г. (объем в млн \$)

В настоящей работе мы ограничимся рассмотрением железнодорожных перевозок, где используется подвижной состав как общего назначения (полувагоны, вагоны, платформы, вагоны-цистерны), так и специализированный подвижной состав (цистерны-термосы, вагоны для перевозки пищевой продукции, цементовозы и т.д.). Эксплуатация подвижного состава общего назначения всегда считалась более рентабельной по сравнению со специализированным, так как для него характерен большой порожний пробег.

Отдельно выделим перевозку вязких нефтепродуктов (ВНП), на примере котельного мазута М-100, и пищевых продуктов в тарной упаковке, на примере фруктового сока в тарной упаковке. Для первых характерно резкое повышение вязкости в процессе охлаждения [1], для вторых – потеря качества. В этом сложность перевозок названных продуктов для нашей страны с ее географической протяженностью и холодным континентальным климатом в большинстве регионов. Охлажденный в процессе транспортировки, которая может продолжаться от 7 до 15 суток, ВНП нуждается в разогреве для восстановления текучести и возможности выгрузить его самотеком. Регламентированная нормативами [2] выгрузка ВНП в течение 10 часов при низких температурах окружающей среды, может продолжаться до одних суток и даже более. Основное время тратится именно на разогрев ВНП, затрачивая при этом большое количество тепловой энергии.

Стандартным решением существующей (описанной) проблемы, для замедления процесса застывания ВНП применяются различные модели цистерн [3]: с паровобогревательным кожухом, со стационарно закрепленными паровыми змеевиками, цистерны с тепловой изоляцией стенок котла, вагоны бункерного типа и т.д.

Ранее в работах [4, 5] был предложен иной подход для решения существующей проблемы. Основная идея состоит в переводе на стадии налива в цистерну горячего жидкого нефтепродукта в состояние, при котором плотность груза в нижней части котла вагона-цистерны будет больше, чем в верхней путем подавления естественной и вынужденной конвекций.

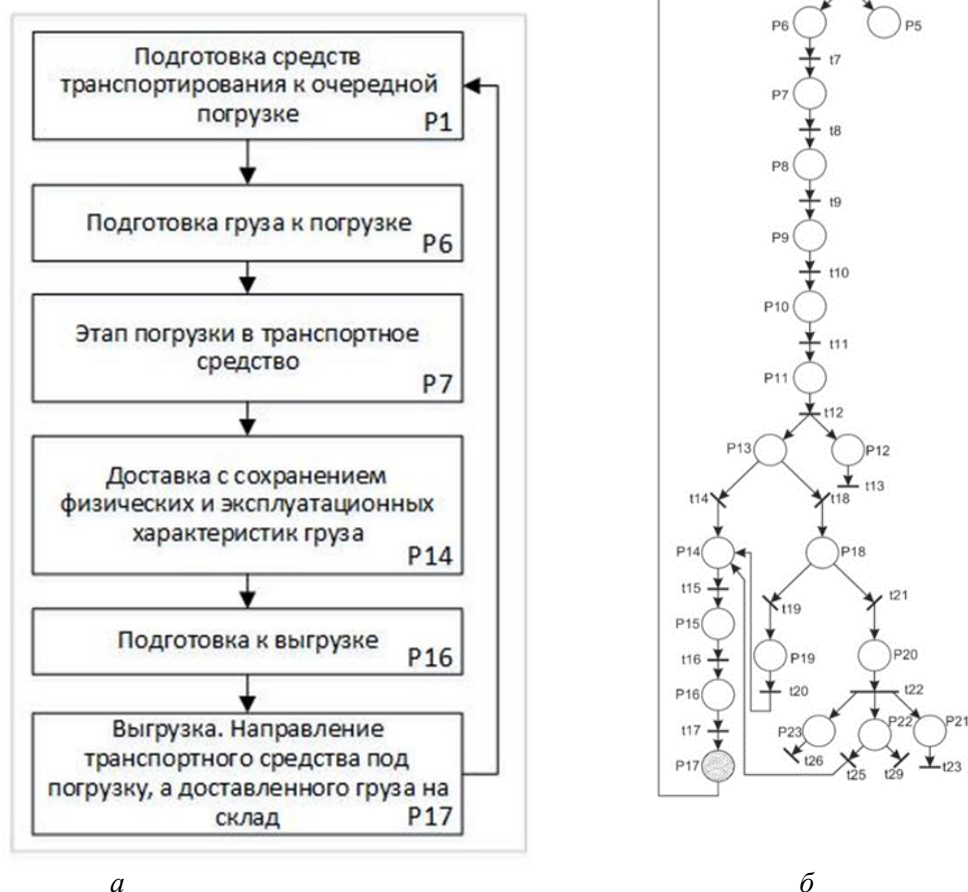


Рис. 2. Математическая модель процесса перевозки ВПП

При моделировании процесса перевозок чаще всего используют систему массового обслуживания (СМО) или линейное программирование [6–9], сводящееся к вопросу получения максимальной прибыли при ограниченных ресурсах. Целью исследования была имитация работы предприятия с определением сопутствующих затрат и «тонких» мест, требующих отдельного внимания. При условии, что время проведения некоторых этапов процесса перевозок определяется эмпирически и есть величина случайная, систему дифференциальных уравнений, описывающих СМО, пришлось бы постоянно переписывать. Поставленная задача является причиной использования для построения математической модели временной стохастической сети Петри с задержками, соотнесенными с позициями, графическое представление которой изображено на рис. 2, б [10, 11]. Основными этапами являются p1, p6, p7, p14, p16, p17, а также вспомогательные этапы, например, p5 – оформление сопутствующей документации и т.д.

Построение математической модели. Для математического моделирования всех перечисленных транспортных операций можно использовать сети Петри, достижимость которых проверяется с использованием имитационного моделирования.

Сеть Петри представляет собой граф, который можно описать с помощью блока матриц, элементами которых являются величины, характеризующие отдельные транспортные операции, образующие взаимосвязанную цепочку, отражающую рассматриваемый транспортный процесс.

Непосредственно продолжительность операций процесса перевозки груза каждого этапа определяется эмпирически и является величиной случайной, подчиненной нормальному закону распределения с математическим ожиданием $M(t)$ и среднеквадратичным отклонением σ :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-M(t))^2}{2\sigma^2}}. \quad (1)$$

Использование сетей Петри позволяет декомпозировать наиболее трудные процессы. На рис. 2, б позиция p_1 соответствует очистке вагона (емкости) от остатков груза, позиция p_{17} – выгрузке груза. Каждая из этих позиций представляет систему (ряд) вложенных подпроцессов. Тогда продолжительность задержки в позициях p_1 и p_{17} принимается равной продолжительности выполнения вложенного процесса.

Рассмотрим позицию p_{17} , а именно рециркуляционный процесс слива как наиболее популярный сегодня. При этом способе слива ВМП сливается полностью и котел вагона-цистерны не нуждается в дальнейшей очистке при условии перевозки в нем аналогичного вида топлива.

На рис. 3, а приведена сеть Петри упрощенной схемы слива ВМП, на рис. 3, б – соответствующая ей имитационная модель.

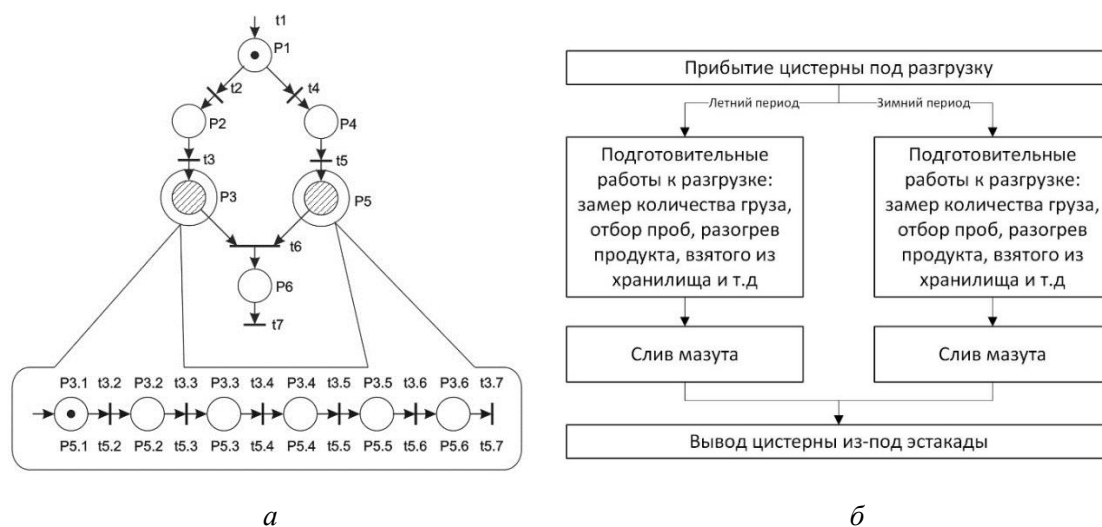


Рис. 3. Модель процесса слива мазута из котла вагона-цистерны

Сеть Петри есть двудольный ориентированный граф, вершинами которого являются позиции ($p_i \in P, i = 1..n$) и переходы ($t_j \in T, j = 1..m$), которые не могут быть соединены непосредственно друг с другом, и определяются как совокупность множеств, содержащая n позиций, m переходов и конечное множество дуг различной кратности:

$$N = \{P, T, F, W, M_0, \Theta\}.$$

Здесь:

$P = \{p_i\}, i = 1, \dots, n$ – конечное множество позиций;

$T = \{t_j\}, j = 1, \dots, m$ – конечное множество переходов;

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – конечное множество дуг;

$W: F \rightarrow R$ – весовая функция графа, которая каждой дуге сопоставляет некое рациональное число. В нашем случае, в качестве весовой функции можно выбрать расход ресурсов, прибыль, убытки и т.д.;

$M_0: P \rightarrow Z_+$ – начальное маркирование (состояние) сети, определяемое множеством положительных целых чисел Z_+ .

$\tau \in \Theta: T \rightarrow R_+$ – функция времени срабатывания, которая каждому переходу сопоставляет ее время срабатывания, являющееся случайной величиной для данной модели; R_+ – множество неотрицательных рациональных чисел.

Рассмотрим схему, представленную на рис. 2, а. Процесс функционирования (достижимости) сети Петри может быть описан матрицами перехода D^- и D^+ , где $D^- = D^-(p_i, t_j)$ – матрица, элементами которой является количество дуг, идущих от p_i к t_j , и $D^+ = D^+(t_j, p_i)$ – матрица, элементами которой является количество дуг, идущих от t_j к p_i .

Для построенной сети Петри $D^- = [d_{ij}^-]$ такова, что $d_{ij}^- = 1$, если существует переход из p_i к t_j , в остальных случаях нули. Элементы матрицы $D^+ = [d_{ij}^+]$ определяют вероятность перехода в позицию p_i согласно формуле:

$$\varphi_{ij} = \frac{\psi_{ij} \tau_{ij}}{\sum_{l,m} \psi_{lm} \tau_{lm}}, \text{ где } \tau_{ij} = \frac{1}{\sigma_{ij} \sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} x e^{-\frac{(x-\mu_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} dx;$$

где ψ_{ij} – вероятность того, что соответствующий переход выполнен;

τ_{ij} – время задержки в позиции p_i ;

μ_{ij} – среднее ожидаемое время выполнения i -го этапа;

σ_{ij} – отклонение от среднего при выполнении i -го шага.

Рассмотрим матрицу перехода построенной модели $D = D^+ - D^-$.

Переход t_j в маркировке M разрешен, если $M \geq e(j)D^-$, где $e(j)$ – вектор, у которого на j -м месте стоит 1, остальные все 0. Результат запуска перехода t_j в маркировке M обозначим функцией $\delta(M, t_j)$, которая определяет новую маркировку M' следующим образом:

$$M' = \delta(M, t_j) = M + e(t_j)D. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет решение, если M' достижима.

Рассмотрим последовательность переходов $H = \{t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_k}\}$. Тогда

$$\delta(M, t_j) = M + f(H)D, \quad (3)$$

где $f(H) = e(t_{j_1}) + \dots + e(t_{j_k})$ – вектор запуска последовательности H .

Решение уравнения (3) позволяет ответить на вопрос о достижимости требуемого состояния системы и дать прогноз о времени этого достижения.

На схеме (рис. 2, а) продолжительность выделенных позиций p_3 и p_5 равна продолжительности выполнения встроеного подпроцесса.

Сеть Петри на рис. 2, б описывается аналогичным образом.

Построение имитационной модели. Для построения имитационной модели была выбрана Business Studio, как наиболее интуитивно понятная для пользователей и не требующая специальной подготовки, ранее используемая исключительно для моделирования организационных бизнес-процессов [12].

В качестве примера авторами рассмотрена работа действующего предприятия, специализирующегося на перевалке мазута и использующего популярный в последнее время циркуляционный способ слива, не требующий последующей специальной очистки котла вагона-цистерны [13–15].

Рассмотрим подробнее процесс слива мазута, включающий в себя его разогрев аналогичным нефтепродуктом.

Результаты группировки выборки и график плотности нормального закона приведены на рис. 4. Основные оценки данной выборки – мода, медиана и среднее равны между собой и принимают значение, равное 10, откуда можно сделать вывод о нормальности данной выборки.

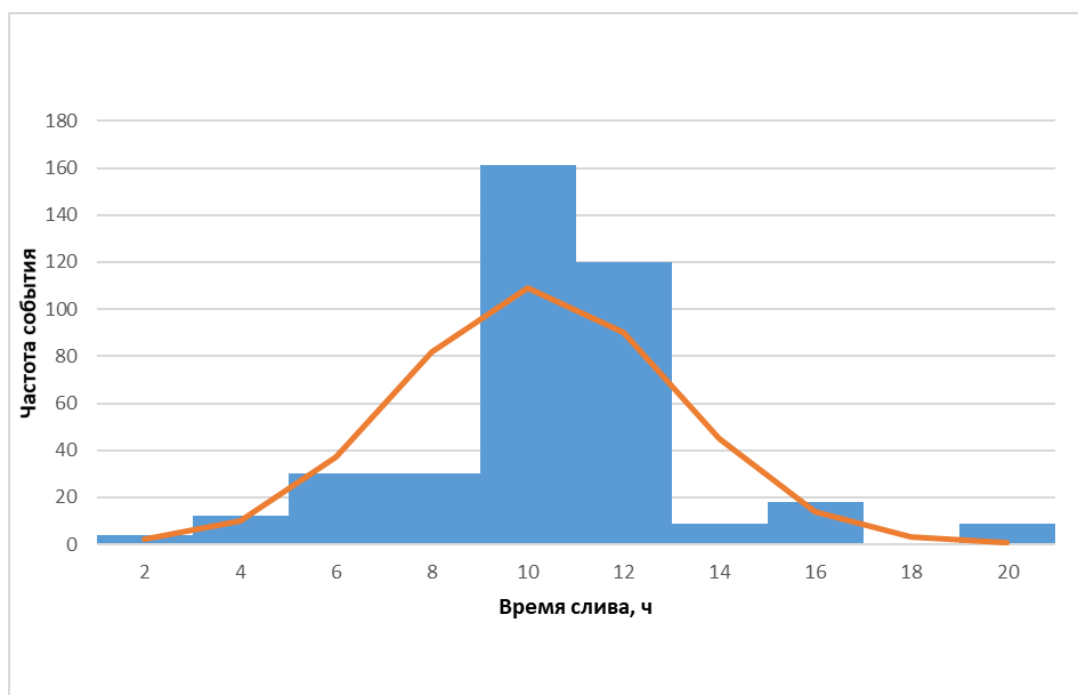


Рис. 4. Результаты группировки

Как известно, для нормально распределенной случайной величины в пределах одного среднеквадратичного отклонения лежит 68,26 % всех значений, в пределах двух среднеквадратичных отклонений 95,44 %, трех – 99,72 %. Тогда большее количество вагонов будет слито за время от 7 до 13 часов. А слив за время, меньшее 1 часа и большее, чем 18 часов, практически невозможен. На практике, согласно выборке, 9 вагонов в указанный период были слиты за 20 часов, что приводит к простоям вагонов и дополнительным рекламациям.

Для проведения функционально-стоимостного анализа зададим параметры модели, в которой постоянными составляющими являются: Проверка наличия свободных эстакад и Проезд к эстакаде. Продолжительность этих этапов составляет 1 мин и 4 мин соответственно. Продолжительность остальных этапов подчиняется нормальному закону (1), математическое ожидание и средне квадратичное отклонение представлены в таблице 1. На рис. 5 изображена отладка продолжительности отдельно взятого процесса, распределенного нормально.

Таблица 1

Продолжительность этапов процесса слива мазута марки М-100 циркуляционным способом

Этап процесса	Продолжительность процесса
Замер количества груза и отбор проб	$M(t) = 60\text{мин}$ $\sigma(t) = 10\text{мин}$
Подготовительные работы перед сливом	$M(t) = 30\text{мин}$ $\sigma(t) = 5\text{мин}$
Слив мазута с предварительным разогревом	$M(t) = 480\text{мин}$ $\sigma(t) = 60\text{мин}$
Размывка остатков груза	$M(t) = 120\text{мин}$ $\sigma(t) = 30\text{мин}$

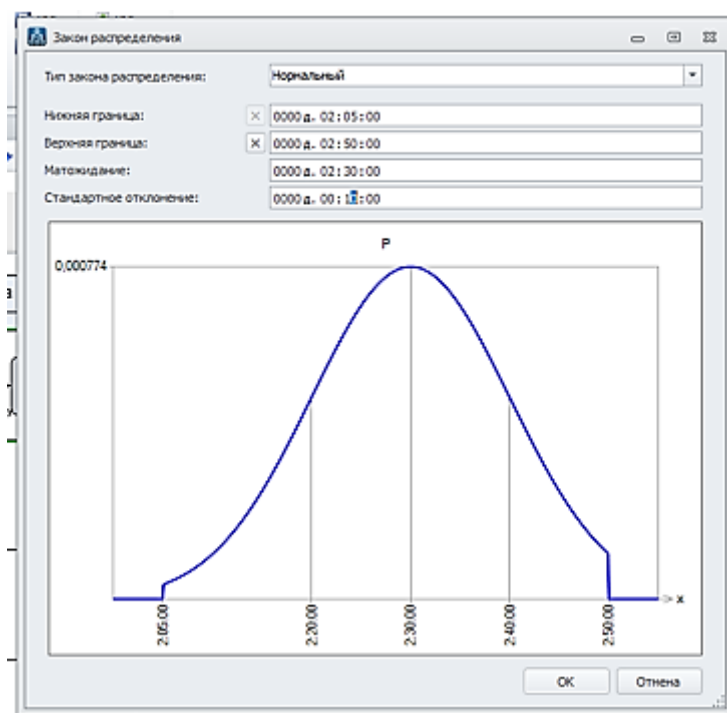


Рис. 5. Настройка нормального распределения

Проведем имитационное моделирование для 20, 17 и 15 железнодорожных цистерн, разгружаемых на имеющихся семи эстакадах.

Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 2.

Из таблицы видно, что в течение суток полностью разгружаются только 9 и 8 вагонов. Улучшить показатели возможно только путем увеличения количества эстакад или уменьшением времени слива.

При новом предложенном способе разгрузки все процессы будут протекать по нормативам, близким к летним, так как основная масса нефтепродукта внутри котла вагона-цистерны сохраняет высокую температуру и текучесть, а при выгрузке остается необходимым разогревать не более 10 % от всего содержимого котла. Примем «Время слива мазута с предварительным подогревом» за 5 часов (летний период). И проведем имитационное моделирование с новыми данными. Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 3.

Таблица 2

Линейный список операций, зимнее время

Процесс	Количество выполнений		Средняя длительность, сек		Суммарное полное время, сек	
			15 цистерн	20 цистерн	15 цистерн	20 цистерн
Проверка наличия свободных эстакад	15	20	60	60	900	1200
Ожидание на запасных путях			41302	54023	330420	702300
Проезд к свободной эстакаде	7	7	240	240	1680	1680
Проезд на освободившуюся эстакаду	8	8	240	240	1920	1920
Отбор проб и замер количества груза	15	15	3576	3616	53640	54240
Подготовительные работы и слив ВМП	13	9	29058	31100	407040	433740
Размыв остатков ВМП	9	8	10600	10080	117540	87720
ЖДЦ покидает эстакаду	9	8	240	240	2160	1920

Таблица 3

Линейный список операций, летнее время

Процесс	Количество выполнений		Средняя длительность, с		Суммарное полное время, с	
			12	20	12	20
Проверка наличия свободных эстакад	12	20	60	60	720	1200
Ожидание на запасных путях			20628	36660	103140	476580
Проезд к свободной эстакаде	7	7	240	240	1680	1680
Проезд на освободившуюся эстакаду	5	13	240	240	1200	3120
Отбор проб и замер количества груза	12	20	3920	3561	47040	71220
Подготовительные работы и слив ВМП	12	16	18715	19583	224580	386280
Размыв остатков ВМП	12	14	5790	7161	69480	108720
ЖДЦ покидает эстакаду	12	14	240	240	2880	3360

Как видно из таблицы 3, количество полностью разгруженных цистерн существенно увеличилось.

Выводы. В статье предложена модель перевозки груза, которая является универсальной. Она применима для железнодорожных, речных, морских и автомобильных перевозок. Математическая модель построена и описана с использованием временной стохастической сети Петри с задержками, соотношенными с позициями. Непосредственно процесс разгрузки рассмотрели на примере слива мазута марки М-100 рециркуляционным способом.

Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования существующего и предложенного процесса слива ВМП, который показал, что при новом способе перевозки количество слитых цистерн увеличивается в 1,5 раза.

Результаты имитационного моделирования соответствуют данным, предоставленным действующей организацией.

Список литературы

- 1 Геллер, З. И. Мазут как топливо / З. И. Геллер. – Москва : Недра, 1965.
- 2 ГОСТ Г-14540 «Типовой технологический процесс работы железнодорожных станций по наливу и сливу грузов и промыочно-пропарочных предприятий по очистке и подготовке цистерн под перевозку грузов». – Москва : Транспорт, 1982.
- 3 Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов. Применение электроподогрева / Р. Н. Бахтизин [и др.]. – Москва : Химия, 2004. – С. 193.
- 4 Жебанов, А. В. Пути снижения тепловых потерь вязких нефтегрузов при транспортировке железнодорожным транспортом / А. В. Жебанов // Известия Транссиба. – 2016. – № 3(27). – С. 31–38.
- 5 Моисеев, В. И. Охлаждение горячих нефтепродуктов в цистернах с паробогревателем кожухом / В. И. Моисеев // Труды XXII

Reference

- 1 Geller, Z. I. Mazut kak toplivo / Z. I. Geller. – Moscow : Nedra, 1965.
- 2 GOST G-14540 Standard Operating Process for Railway Loading and Discharge Stations and Cleaning and Preparation Facilities for Cargo Tanks. – Moscow : Transport, 1982.
- 3 Transport i hranenie vysokovjazkih neftej i nefteproduktov. Primenenie jelektropodogreva / R. N. Bahtizin [et al.]. – Moscow : Himija, 2004. – P. 193.
- 4 Zhebanov, A. V. Ways of reducing heat loss of viscous oil cargo in rail transport / A. V. Zhebanov // Izvestiya Transsiba. – 2016. – № 3(27). – P. 31–38.
- 5 Moiseev, V. I. Ohlazhdenie gorjachih nefteproduktov v cisternah s paroobogrevatel'nyh kozhuhom / V. I. Moiseev // Proceedings of the International

Международной научно-практической конференции «Математика в вузе». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 126–128.

6 **Kazemi, Y.** Modelling the petroleum supply chain: multimodal transportation, disruptions and mitigation strategies: dissertation / Yasaman Kazemi. – North Dakota: State University of Agriculture and Applied Science, 2016.

7 **Saad, Sameh M.** Planning and optimising petroleum supply chain / Sameh M Saad, Elganidi H Elsaghier, David Ezaga // Proceedings of the 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), 2018. June 11–14, Columbus, OH, USA.

8 **Farahani, M.** Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap / Mohsen Farahani, Donya Rahmani // Energy Volume 141, 15 December 2017. – P. 991–1003.

9 **Jafar Razmi Alirez** An Evaluative Continuous Time Markov Chain Model for a Three Echelon Supply Chain with Stochastic Demand and Lead Time / Jafar Razmi Alirez, Taheri Moghadam, Fariborz Jolai // IFAC-PapersOnLine Volume 48, Issue 3. – 2015. – P. 248–253.

10 **Тарасюк, И. В.** Стохастические сети Петри – формализм для моделирования и анализа производительности вычислительных процессов / И. В. Тарасюк // Системная информатика: сборник научных трудов; под ред. А. Г. Марчука. – Новосибирск, 2004. – С. 135–194.

11 **Рябухин, С. И.** Применение сетей Петри для моделирования событийно-процессных цепей и построения структур базы данных / С. И. Рябухин // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – Том 11 (2013). – IT Выпуск 4 (2013).

12 Документация. Business Studio: сайт. Текст: электронный. – URL: <https://www.businessstudio.ru/>

13 Патент 2019666553. Российская Федерация. Лолипс. № 2019665265: заявл. 26.11.2019, опубл. 11.12.2019 / В. А. Ксенофонтова, Т. С. Карпова, В. И. Моисеева.

14 Патент 2020662722. Российская Федерация. Модель циркуляционного способа слива вязких нефтепродуктов. № 2020662722: заявл. 21.10.2020, опубл. 05.11.2020 / В. А. Ксенофонтова, Т. С. Карпова, В. И. Моисеев.

15 **Ксенофонтова, В. А.** Имитационное моделирование циркуляционного способа слива вязких нефтепродуктов / Т. С. Карпова, В. И. Моисеев, В. А. Ксенофонтова // Транспорт-

Conference «Matematika v vuze» – Sankt-Peterburg, 2017. – P. 126–128.

6 **Kazemi, Y.** Modelling the petroleum supply chain: multimodal transportation, disruptions and mitigation strategies: dissertation / Yasaman Kazemi. – North Dakota: State University of Agriculture and Applied Science, 2016.

7 **Saad, Sameh M.** Planning and optimising petroleum supply chain / Sameh M Saad, Elganidi H Elsaghier, David Ezaga // Proceedings of the 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), 2018. June 11–14, Columbus, OH, USA.

8 **Farahani, M.** Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap / Mohsen Farahani, Donya Rahmani // Energy Volume 141, 15 December 2017. – P. 991–1003.

9 **Jafar Razmi Alirez** An Evaluative Continuous Time Markov Chain Model for a Three Echelon Supply Chain with Stochastic Demand and Lead Time / Jafar Razmi Alirez, Taheri Moghadam, Fariborz Jolai // IFAC-PapersOnLine Volume 48, Issue 3. – 2015. – P. 248–253.

10 **Tarasyuk, I. V.** Petri stochastic networks – formalism for simulation and analysis of computational process performance / I. V. Tarasyuk // Sistemnaya informatika. – Novosibirsk, 2004. – P. 135–194.

11 **Ryabuhin, S. I.** Application of Petri networks for event-process modelling and database structures / S. I. Ryabuhin // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnie tehnologii. – T. 11 (2013). – IT Vipusk 4 (2013).

12 Business Studio. – Text : electronic. – URL: <https://www.businessstudio.ru/>

13 Pat. Rossii № 2019666553. Lolips № 2019665265: заявл. 26.11.2019, опубл. 11.12.2019 / V. A. Ksenofontova, T. S. Karpova, V. I. Moiseev.

14 Pat. Rosii № 2020662722, 21.10.2020. Model of a circulating method for discharging viscous petroleum products № 2020662722: заявл. 21.10.2020, опубл. 05.11.2020 / V. A. Ksenofontova, T. S. Karpova, V. I. Moiseev.

15 **Ksenofontova, V. A.** Simulation of a circulating method for discharging viscous petroleum products / V. A. Ksenofontova, T. S. Karpova, V. I. Moiseev // Journal of Transportation Systems Engineering and

ные системы и технологии. – Санкт-Петербург : 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 94–105.

Information Technology. – Sankt-Peterburg : 2020. – Т. 6. – № 2. – P. 94–1059.

V. A. Ksenofontova

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF CARGO TRANSPORTATION PROCESSES

Abstract. A model of the process of transporting different goods by different modes of transport, which have the same stages, using Petri networks has been built. The characteristics of certain sub-processes specific to a particular product and to transport may be reflected as a decomposition of the relevant stage.

The simulation model made makes it possible to estimate the duration of the operation and other characteristics.

Keywords: transportation process, mathematical model, simulation model, business process, Petri network.

For citation: Ksenofontova, V. A. Generalized mathematical model of cargo transportation processes / V. A. Ksenofontova // Vestnik RGUPS. – 2021. – № 2. – P. 158–167. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_2_158.

Сведения об авторах

Ксенофонтова Вера Алексеевна

Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС),
кафедра «Высшая математика»,
e-mail: koc-vera@yandex.ru

Information about the authors

Ksenofontova Vera Alekseevna

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Department «Higher Mathematics»,
e-mail: koc-vera@yandex.ru