

Научная статья
УДК 656. 078.1

Имитационная модель предприятия автотранспортного обслуживания в терминально-логистическом центре

Александр Владимирович Цыганов

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
(МГТУ им. Г.И. Носова), Магнитогорск, Россия
tsyganov.alek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8857-6287>

Аннотация. Одним из инструментов зелёной логистики, обеспечивающим достижение целей концепции устойчивого развития транспортной системы России, является применение контейнерной технологии. Для её организации требуется создание в терминально-логистических центрах инфраструктурных объектов, оказывающих транспортные услуги, необходимые для взаимодействия задействованных видов транспорта. К числу объектов относятся автообслуживающие предприятия, осуществляющие подготовку контейнеров к железнодорожным перевозкам. Концепция организации контейнерных перевозок предусматривает, что создание таких предприятий является прерогативой частных инвесторов. Условием частного финансирования выступает разработка бизнес-планов и их экономическая оценка, что требует определения технико-эксплуатационных параметров объекта. Целью данной работы является проверка расчётных технологических параметров и определение значений эксплуатационных параметров предприятия автотранспортного обслуживания. Метод исследования – программная среда AnyLogic, использованная для имитационного моделирования процесса технической подготовки и проверки автомобильных транспортных средств в зоне обслуживания. Применение имитационной модели, учитывающей случайный характер прибытия автомобилей, обосновывает необходимость трёхкратного увеличения территории, предназначенной для размещения автомобилей, ожидающих обслуживания. Результаты работы показывают целесообразность комплексного использования аналитической и имитационной моделей, позволяющих расширить перечень параметров автообслуживающего предприятия, определяемых при разработке бизнес-планов и проектной подготовке производства.

Ключевые слова: транспортная система, контейнерная технология, терминально-логистический центр, предприятие автотранспортного обслуживания, имитационное моделирование, AnyLogic.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-10038, <https://rscf.ru/project/23-21-10038/>

Для цитирования: Цыганов А.В. Имитационная модель предприятия автотранспортного обслуживания в терминально-логистическом центре // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 4 (42).

Original article

Simulation model of road transport service company at terminal logistics center

Aleksandr V. Tsyganov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, (NMSTU), Magnitogorsk, Russia
tsyganov.alek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8857-6287>

Abstract. One of the green logistics tools that ensures the achievement of the goals of the concept of sustainable development of the Russian transport system is the use of piggyback technology. Its organization requires the creation of infrastructure facilities in terminal logistics centers that provide transport services necessary for the interaction of the involved modes of transport. Such facilities include road transport service company that prepare piggybacks for rail transportation. The concept of organizing piggyback transportation provides that the creation of such enterprises is the prerogative of private investors. The condition for private financing is the development of business plans and their economic assessment, which requires determining the technical and operational parameters of the facility. The purpose of this work is to verify the calculated process parameters and determine the values of the operational parameters of road transport service company. The research method is the AnyLogic software environment used for simulation modeling of the process of technical preparation and inspection of road vehicles in the service area. The use of a simulation model that takes into account the random nature of the arrival of cars justifies the need for a threefold increase in the territory intended for placing cars awaiting service. The results of the work show the feasibility of the integrated use of analytical and simulation models, which allow expanding the list of parameters of road transport service company, determined during the development of business plans and project preparation of production.

Keywords: transport system, piggyback transportation, terminal logistics center, road transport service company, simulation modeling, AnyLogic.

Funding: The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 23-21-10038, <https://rscf.ru/en/project/23-21-10038/>

For citation: Tsyganov A.V. Simulation model of road transport service company at terminal logistics center. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. № 4 (42).

Введение

Программы модернизации транспортной отрасли в развитых странах, направленные на решение социально-экономические задач ориентированы на снижение экологического воздействия транспорта на окружающую среду [1, 2]. Одним из направлений решения поставленных логистических задач является использование в цепях поставок мультимодальных транспортных систем, в том числе основанных на применении интермодальных технологий [3].

До настоящего времени в России перевозки грузов контейнерной технологией находятся на этапе становления, не достигнув широкого распространения. Одним из условий применения данной технологии для продвижения грузопотоков в цепях поставок, является формирование транспортной инфраструктуры на магистральной железнодорожной сети. Организация регулярных контейнерных перевозок концептуально представлена в документах [4, 5]. Помимо государственного финансирования, проектом предусматривается создание инфраструктурных объектов на территориях терминально-логистических центров и интермодальных терминалов за счёт привлечения частных инвестиций [6]. Для частного капитала особенно важными являются экономические результаты и эффективность бизнес-проектов, но указанные стратегические документы не располагают данной информацией в необходимом объёме, снижая интерес инвесторов к данному виду коммерческой деятельности.

В частности, к таким объектам относятся автообслуживающие предприятия, функциональное назначение которых заключается в подготовке контейнеров к сохранной перевозке в железнодорожных вагонах. Целью данного исследования выступает определение эксплуатационных характеристик предприятия автотранспортного обслуживания на основе комплексного использования математической и имитационной моделей сервисного обслуживания автомобильного подвижного состава. Полученные значения технологических и эксплуатационных параметров позволят повысить точность инвестиционных проектов для принятия по ним обоснованных управленческих решений.

Определение параметров предприятия автотранспортного обслуживания

Определение параметров предприятия автотранспортного обслуживания проводится на этапе проектно-технологической подготовки производства с целью унификации предприятий и систематизации услуг, оказываемых рассматриваемым инфраструктурным объектом терминально-логистического центра. К числу основных технологических параметров относятся виды работ, структура производственных участков, планировка производственной зоны, её оснащение технологическим оборудованием. На основе методик, приведённых в работах [7; 8], для предприятия по обслуживанию грузовых автомобилей, осуществляющих регулярные контейнерные перевозки, определены расчётные значения данных параметров. Подробности их расчёта и описание новых условий эксплуатации автомобильных транспортных средств, представлены в работе [9]. Планировка производственных помещений приведена на рис. 1.

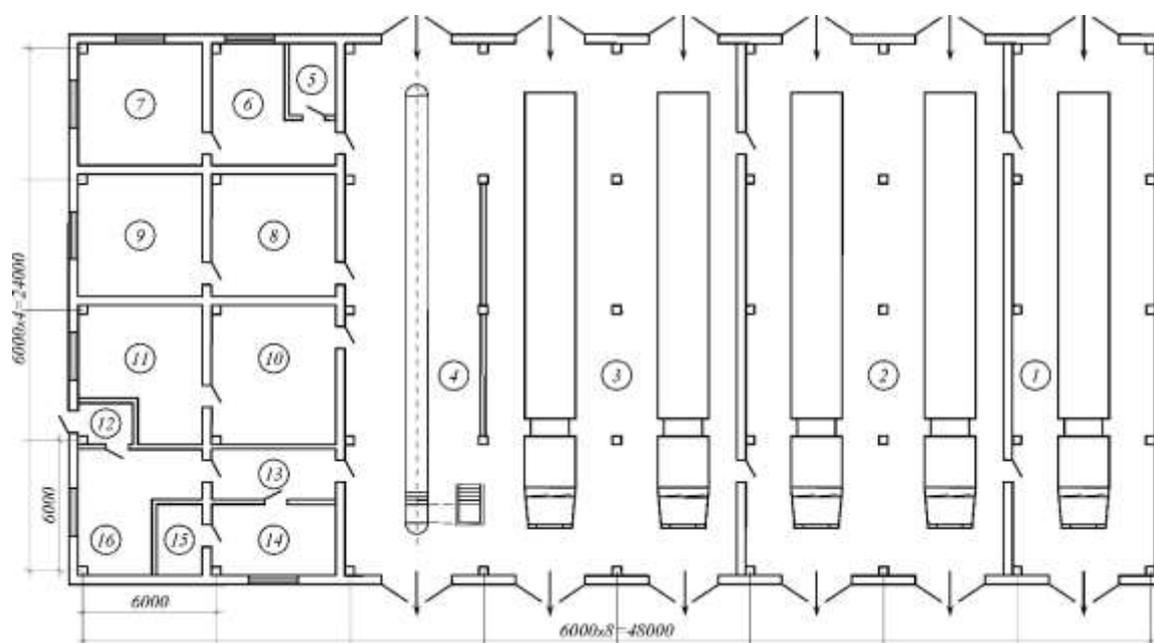


Рис. 1. План помещений предприятия автотранспортного обслуживания: 1 – участок мойки автомобилей (УМП); 2, 3 – участок технического и контрольного осмотра (ТиКО); 4 – участок технического обслуживания и текущего ремонта (ТОиТР); 5, 15 – санитарный узел; 6 – помещение персонала; 7 – бытовое помещение; 8 – склад запасных частей, шин и материалов; 9 – склад узлов и агрегатов; 10, 11 – производственные подразделения цеховых работ ТОиТР; 12 – тамбур; 13 – коридор; 14 – клиентское помещение; 16 – магазин

По принципу построения, применённые методики [7; 8] относятся к аналитическим математическим моделям, использование которых возможно при предсказуемом количестве параметров и линейном поведении моделируемой системы. Они формируют достаточно точное, но ограниченное представление о работе предприятия. Эти параметры не позволяют прогнозировать работу автообслуживающего предприятия в режиме реального времени, снижая уровень проработанности организационно-технологических решений.

Эксплуатационными параметрами, значение которых не может быть рассчитано данными методиками, но которые необходимы для оценки функционирования предприятия, являются: количество автомобилей, поступающих на обслуживание в определённый момент или период времени; степень использования постов и неравномерность их загрузки; количество транспортных средств, ожидающих определённого вида работ; время ожидания обслуживания. С учётом вероятностного закона распределения момента прибытия автомобилей на обслуживание, величины этих параметров будут выражаться совокупностью неточных или неопределённых значений, либо варьироваться интервалом значений. Для определения значений указанных параметров в данной работе использовано модельно-ориентированное проектирование.

Имитационная модель предприятия автотранспортного обслуживания

Изучение процесса технического обслуживания автомобилей и его модельного проектирования проведено современными программными средствами имитационного моделирования, поскольку данный класс моделей позволяет исследовать поведение объектов любой природы на различных уровнях абстракции [10, 11] и оптимизировать значения их параметров.

Созданная в программной среде AnyLogic имитационная модель основана на принятой в работе [9] технологии обслуживания и планировке

производственных постов, рациональной схеме движения и распределения автомобильных транспортных средств в зонах ожидания и обслуживания. При разработке имитационной модели использованы рассчитанные значения технологических параметров предприятия автотранспортного обслуживания. Последовательность технологических операций представлена на рис. 2. Применён тактический уровень моделирования, имитирующий процессы взаимодействия различных звеньев производственной цепи; подходом к моделированию выбрано дискретно-событийное моделирование.

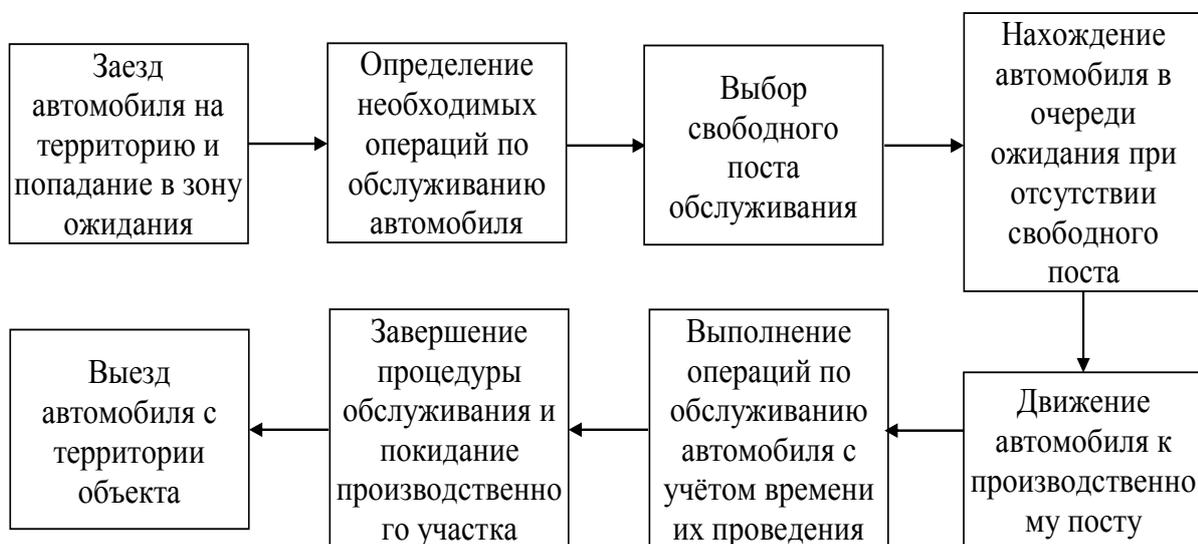


Рис. 2. Последовательность технологических операций в зоне обслуживания

Моделирование выполнения технологических операций реализовано с помощью библиотеки моделирования процессов программы Anylogic с построением диаграммы дискретно-событийных процессов технического и контрольного осмотра, технического обслуживания и текущего ремонта, мойки автомобилей на предприятии автотранспортного сервиса (рис. 3). Заданные в модели исходные параметры приведены в табл. 1.

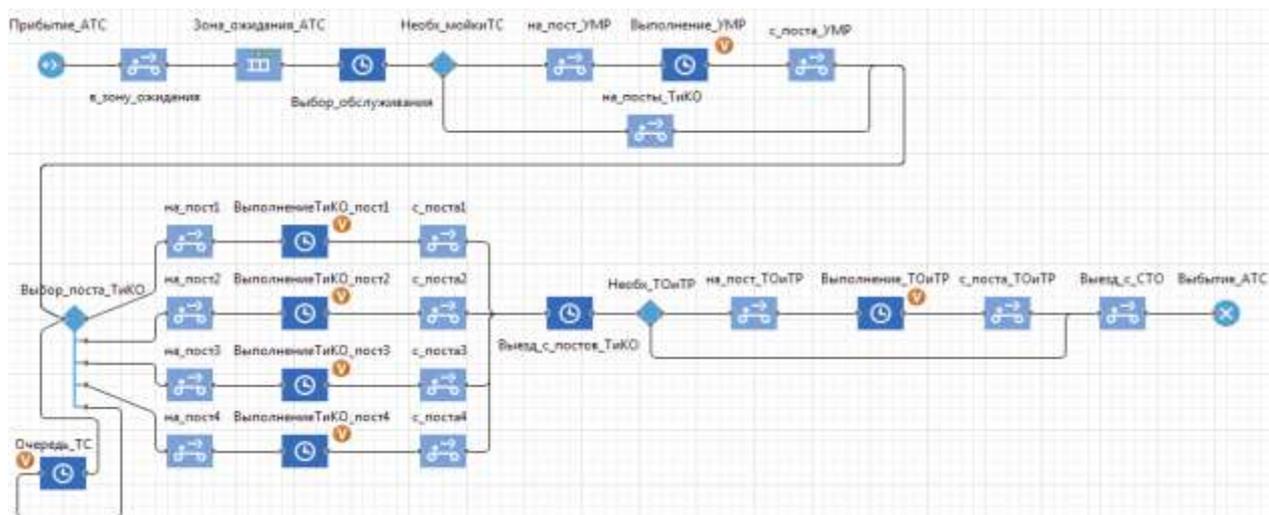


Рис. 3. Диаграмма процессов обслуживания автомобилей

Таблица 1

Исходные параметры модели

Параметр модели	Значение
Тип агента	Одиночный, truck (грузовик), длина 20 м, ширина 2,5 м
Скорость перемещения агента	5 км/ч, равномерно, согласно пути
Блок Enter	«Прибытие_АТС» – является блоком генерации входа агентов-автомобилей в диаграмму
Прибытие агента	Согласно интенсивности в 176 авт./сутки
Модельное время	1440 мин (1 сутки)
Вероятность попадания агента в блок Delay:	«Выполнение_УМР» – 6%; «ВыполнениеТикО_пост1» – 20%; «ВыполнениеТикО_пост2» – 20%; «ВыполнениеТикО_пост3» – 20%; «ВыполнениеТикО_пост4» – 20%; «Выполнение_ТОиТР» – 4%
Время задержки агентов в блоке Delay:	Описывается треугольным распределением (функция triangular) с параметрами: min – минимальное значение x, mode – наиболее вероятное значение x, max – максимальное значение x
Значение функции triangular для блока Delay:	«Выполнение_УМР» – (0,2; 0,25; 0,4) ч; «ВыполнениеТикО_пост1(2,3,4)» – (0,25; 0,3; 0,4) ч; «Выполнение_ТОиТР» – (2,5; 2,8; 3,0) ч

Результаты экспериментов на имитационной модели

Неравномерность прибытия агентов-автомобилей на обслуживание в течение суток, генерируемая моделью, показана на рис. 4.

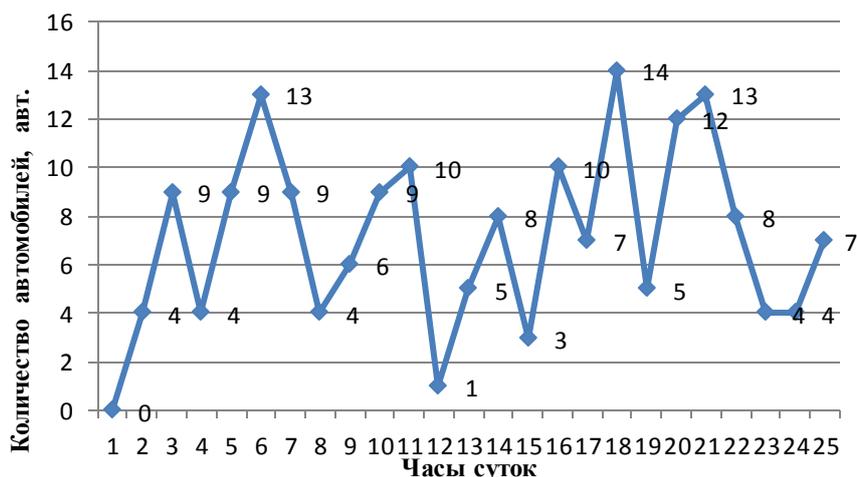


Рис. 4. Интенсивность прибытия автомобилей на обслуживание

Определено, что на участке технического и контрольного осмотра будет наблюдаться неравномерность загрузки четырёх производственных постов. Наибольшее количество автомобилей, проходящих технический и контрольный осмотр, приходится на пост 1. Снижение загрузки остальных постов находится в пределах 11–41% (рис. 5), что приводит к различию значения коэффициента использования рабочего времени производственного поста.

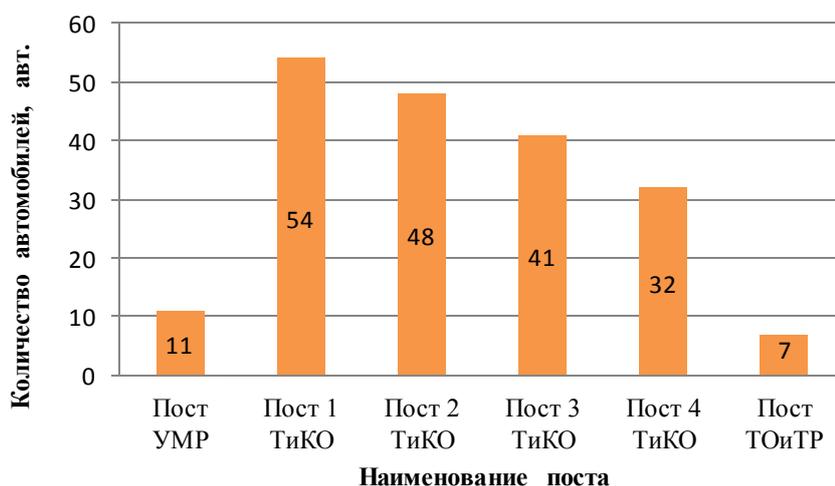


Рис. 5. Количество автомобилей, обслуживаемых на производственных постах

Неравномерность прибытия агентов-автомобилей на обслуживание в течение суток формирует очереди прохождения автомобилями операции

технического и контрольного осмотра на четырёх производственных постах участка ТиКО. Общее количество автомобилей, которые будут находиться в очереди на данную операцию, составит 57 автомобилей в сутки. Процесс накопления автомобилей в очередь с распределением по времени суток показан на рис. 6. Данные значения указывают на ограниченный резерв обслуживания без задержек в зоне технического и контрольного осмотра автомобилей.

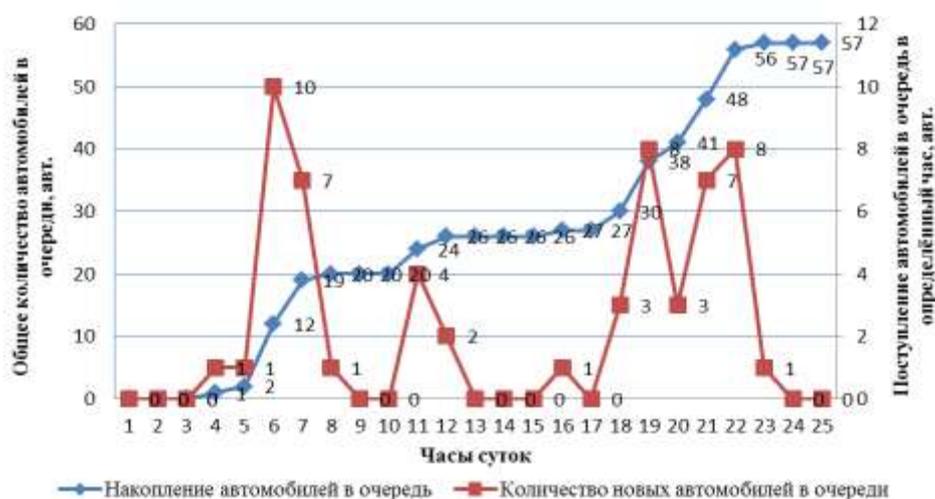


Рис. 6. Накопление автомобилей в очередь и их распределение по часам суток на участке ТиКО

Наличие одного поста на участке ТОиТР также формирует очередь на прохождение транспортными средствами операции технического обслуживания и текущего ремонта. Общее количество транспортных средств, ожидающих выполнения определённой технологической операции в связи с занятостью производственных постов на участке ТиКО и участке ТОиТР, распределённое по часам суток, показано на рис. 7.

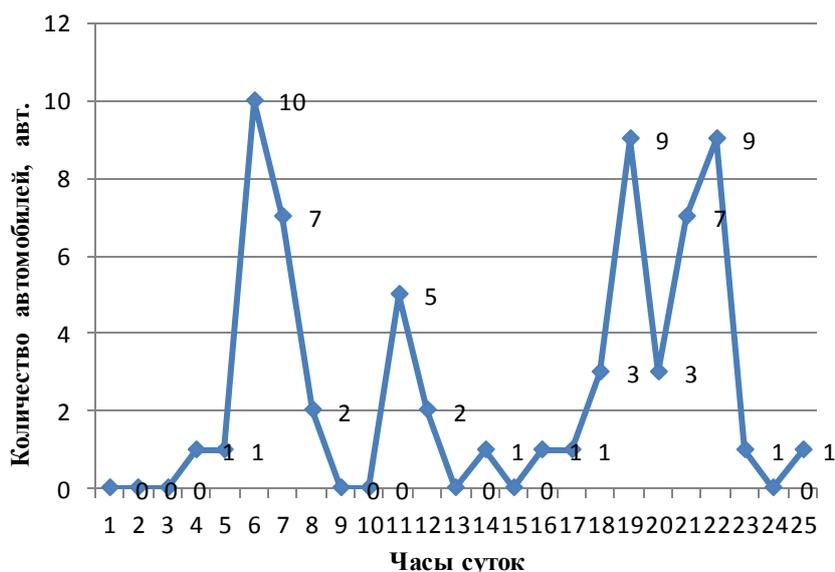


Рис. 7. Общее количество автомобилей, находящихся в очереди на обслуживание на участках ТиКО и ТОиТР

Значения параметров предприятия автотранспортного обслуживания, рассчитанные с использованием аналитической [9] и имитационной моделей, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры предприятия автотранспортного обслуживания

Параметр	Единица измерения	Производственный участок*		
		ТиКО	ТОиТР	УМР
Общие исходные данные моделей				
Расчётная суточная интенсивность автомобилей	авт./сут.	176		
Частота заездов автомобилей на обслуживание	доля	1,00	0,04	0,06
Суточная производственная программа	авт./сут.	176	7	10
Аналитическая модель				
Время работы в сутки	ч/сут.	16		
Количество производственных постов	ед.	4	1	1
Количество мест ожидания	авт.-мест	3		
Имитационная модель				
Время работы в сутки	ч/сут.	24		
Количество производственных постов	ед.	4	1	1
Количество мест ожидания	авт.-мест	10		

* ТиКО – участок технического и контрольного осмотра; ТОиТР – участок технического обслуживания и текущего ремонта; УМР – участок мойки автомобилей

Заключение

Комплексное применение аналитической и имитационной моделей функционирования предприятия автотранспортного обслуживания позволяет увеличить количество определяемых технологических и эксплуатационных параметров и повысить точность расчётов. Однако, сравнение значений технологических показателей, рассчитанных данными моделями, показывает различие получаемых результатов. Так, при единых исходных данных в аналитической модели обслуживание 176 контрейлеров возможно за 16 часов, а в имитационной модели при аналогичном количестве технологических постов потребное время обслуживания возрастает до 24 часов.

Результаты экспериментов имитационной модели с модельным временем 16 часов показывают значительное увеличение количества транспортных средств, находящихся в очереди ожидания выполнения технологических операций. Их своевременное обслуживание возможно только путём увеличения числа производственных постов на участках ТиКО и ТОиТР.

Также согласно имитационной модели для размещения автомобилей, ожидающих все виды обслуживания, необходима площадка вместимостью не менее 10 авт-мест. При этом, по данным аналитической модели, расчётное количество мест ожидания составляет 3 авт.-места. Таким образом, расчёт параметров автообслуживающего предприятия с помощью аналитических моделей формирует существенно меньшие значения параметров, чем определяемые при имитационном моделировании. Основной причиной этого, по нашему мнению, является недостаточный учёт в аналитических моделях фактора неравномерности прибытия транспортных средств с внешней сети автомобильных дорог в терминально-логистический центр.

Полученные скорректированные данные будут использованы при разработке второй имитационной модели, описывающей процесс

технического обслуживания автомобилей. Целью разработки следующей модели выступает оптимизация структуры производственных участков и планировки производственной зоны предприятия автотранспортного обслуживания, что найдёт отражение в дальнейших исследованиях.

Список источников

1. Ritchie H. Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from? – URL: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> (дата обращения: 06.10.2020).
2. Awareness of green logistics technology, certification, and standards by logistics practitioners at Chinese e-commerce company, Jing Dong / C.Yunlin // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. – 2023. – Vol. 39, No. 4. – P. 37-46. – DOI 10.1016/j.ajsl.2023.10.004.
3. Обеспечение сохранности автодорог Юга России на основе транспортно-коммуникационного взаимодействия всех видов транспорта / Е. А. Лебедев, Л. Б. Миротин, А. Н. Карпенко, В. В. Соскова // *Вестник транспорта*. – 2022. – № 9. – С. 15-19. – EDN PGSGOI.
4. Концепция организации контрейлерных перевозок на «пространстве 1520». – Москва: Изд-во ОАО «Российские железные дороги», 2011. – 149 с.
5. Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации. – Москва: Изд-во ОАО «Российские железные дороги», 2012. – 79 с.
6. Multi-criteria Assessment of Piggyback Systems in Sustainable Supply Chains / N. Osintsev, A. Tsyganov, A. Rakhmangulov, A. Sladkowski // *Studies in Systems, Decision and Control*. – 2022. – Vol. 400. – P. 451-559. – DOI 10.1007/978-3-030-87120-8_10. – EDN GPLJKG.
7. Епишкин, В.Е. Проектирование станций технического обслуживания автомобилей: учеб. пособие / В.Е. Епишкин, А.П. Караченцев, В.Г. Остапец. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 284 с.
8. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учебник для вузов / Г.М. Напольский. – Москва: Транспорт, 1993. – 271 с.
9. Цыганов, А. В. Параметры предприятий автотранспортного обслуживания в терминально-логистических центрах / А. В. Цыганов // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2020. – № 3(81). – С. 81-88. – EDN CNHUIW.
10. Кузьмин, Д. Особенности организации контрейлерных перевозок с использованием средств многоподходного имитационного моделирования / Д. Кузьмин // *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*. – 2014. – № 3. – С. 39-43. – EDN SYPHQJ.
11. Гринченко, А. В. Разработка имитационной модели технической эксплуатации автобусов пассажирского предприятия в AnyLogic / А. В. Гринченко, Е. Сковцов // *Вестник Липецкого государственного технического университета*. – 2023. – № 3(52). – С. 50-58. – DOI 10.53015/23049235_2023_3_50. – EDN CLAQPX.

References

1. Ritchie H. Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from? Available at: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> (06.10.2020).
2. Yunlin C. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 2023, vol. 39, no. 4, pp. 37-46.
3. Lebedev E.A., Mirotin L.B., Karpenko A.N., Soskova V.V. *Vestnik transporta*, 2022, no. 9, pp. 15–19.
4. *Kontseptsiya organizatsii kontreylernykh perezovozok na «prostranstve 1520»* (The concept of organizing piggyback transportation in the “1520 space”), Moscow, Izd-vo OAO «Rossiyskiye zheleznnye dorogi», 2011, 149 p.
5. *Kontseptsiya sozdaniya terminal'no-logisticheskikh tsentrov na territorii Rossiyskoy Federatsii* (The concept of creating terminal and logistics centers on the territory of the Russian Federation), Moscow, Izd-vo OAO «Rossiyskiye zheleznnye dorogi», 2012, 79 p.
6. Osintsev N., Tsyganov A., Rakhmangulov A., Śladkowski A. *Studies in Systems, Decision and Control*, 2022, vol. 400, pp. 451–559, DOI: 10.1007/978-3-030-87120-8_10.
7. Epishkin V.E., Karachentsev A.P., Ostapets V.G. *Proyektirovaniye stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley* (Design of vehicle service stations), Tolyatti, TSU, 2008, 284 p.
8. Napolsky G.M. *Tekhnologicheskoye proyektirovaniye avtotransportnykh predpriyatiy i stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya* (Technological design of motor transport enterprises and service stations), Moscow, Transport, 1993, 271 p.
9. Tsyganov A.V. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2020, no. 3 (81), pp. 81–88.
10. Kuzmin D.V. *RISK: Resursy, Informatsiya, Snabzheniye, Konkurentsia*, 2014, no. 3. pp. 39-43.
11. Grinchenko A.V., Skvortsov E. *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2023, no. 3 (52). pp. 50–58.

Рецензент: С.Н. Корнилов, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Информация об авторе

Цыганов Александр Владимирович, канд. техн. наук, доц.,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Information about the author

Tsyganov Aleksandr V., Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor, NMSTU.

Статья поступила в редакцию 30.09.2024; одобрена после рецензирования 02.11.2024; принята к публикации 21.11.2024.

The article was submitted 30.09.2024; approved after reviewing 02.11.2024; accepted for publication 21.11.2024.