

**Информация об авторе**

Ольга Ивановна Веревкина – к. т. н., доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов- на – Дону, e-mail: ov18111966@mail.ru.

Author

Ol'ga Ivanovna Verevkina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Operational Work, Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, e-mail: ov18111966@mail.ru.

Для цитирования

Веревкина О.И. Оценка вклада материально-технического снабжения в риски нарушения безопасности по причине некачественного ремонта и несоблюдения технологии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 82–89. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).82–89

For citation

Verevkina O. I. Otsenka vklada material'no-tekhnicheskogo snabzheniya v riski narusheniya bezopasnosti po prichine nekachestvennogo remonta i nesoblyudeniya tekhnologii [Evaluation of the contribution of logistics to risks of security breaches due to poor maintenance and lack of technology]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 82–89. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).82–89.

УДК 629.423

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).89–98

И. К. Лакин¹, А. П. Семенов²

¹ Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги, г. Красноярск, Российская Федерация

² Научно исследовательский институт технологий, контроля и диагностики, г. Омск, Российская Федерация

Дата поступления: 12 мая 2019 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕМОНТОМ ЛОКОМОТИВОВ

Аннотация. «Цифровой двойник» – одно из базовых направлений цифровизации экономики (цифровой трансформации) и промышленных предприятий. В статье рассмотрен вариант применения технологии «Цифровой двойник» при автоматизированном управлении техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов. Предложено использовать самоадаптирующуюся статистическую модель процесса ремонта для прогнозирования времени выдачи локомотива под поезд после ремонта. Для этого во внедренной во всех сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех» автоматизированной системе управления техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов («Сетевой график») предусматривается накопление статистики времени выполнения каждой из операций. При постановке локомотива на ремонт, после определения его технического состояния и составления индивидуального линейного графика ремонта производится моделирование процесса технического обслуживания и ремонта. Рассчитывается вероятность выполнения ремонта за возможные продолжительности. В результате обосновано планируется подвязка локомотива под поезд после ремонта. Отработка модели «цифрового двойника» технического обслуживания и ремонта выполнена в среде «MS Excel» на встроенном языке программирования «Visual Basic for Applications». В статье приводятся примеры использования модели, сделан вывод о целесообразности использования «цифровых двойников» при выполнении технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Ключевые слова: цифровизация, «цифровой двойник», локомотив, техническое обслуживание и ремонт, автоматизированная система управления, статистические методы управления.

I. K. Lakin¹, A. P. Semenov²

¹ Krasnoyarsk railway introduction centre, Krasnoyarsk, Russia Federation

² Scientific Research Institute of Technologies, Control and Diagnostic, Omsk, Russia Federation

Received: May 12, 2019

USE OF «DIGITAL TWIN» TECHNOLOGY DURING THE LOCOMOTIVES' REPAIR MANAGEMENT

Abstract. "Digital twin" technology is one of the basic directions of digitization of economy and industrial enterprises.

The article considers a variant of application of "Digital Twin" technology during the automated management of locomotives maintenance and repair. It is proposed to use a self-adjusting statistical model of the repair process to predict the time of the locomotive being available for the train after repair. For this purpose, the automated control system by the "LocoTech" group of companies provides for the accumulation of statistics of the time of execution for each operation. When the locomotive is set for repair after determin-



ing the technical condition of the locomotive and compiling an individual linear schedule of the locomotive repair, the process is simulated. The probability of performing repair for possible time durations is calculated. As a result, the assignment of the locomotive for the train after repair is reasonably planned. The digital twin simulation is performed in MS Excel in the built-in VBA programming language. The paper provides examples of the simulation usage. It is concluded that the use of the "digital twin" technology is expedient when performing maintenance of locomotives.

Keywords: digitalization, digital twin, locomotive, maintenance and repair, automated control system, statistical methods of control.

Введение

Одно из базовых направлений повышения эффективности работы промышленных предприятий – внедрение цифровых технологий, цифровая трансформация [1]. Это современный этап развития Автоматизированной системы управления (АСУ), предполагающий реализацию принципов «Индустрия 4.0», «Cyber Physical Production Systems» (CPPS), использование мобильных устройств, «Интернет вещей», технологии определения местонахождения, интерфейсов работы с АСУ, аутентификации инцидентов, 3D-печати, анализа больших данных (big data), дополненной реальности, облачных сервисов и др. Одно из важных направлений цифровой трансформации – это технология «Цифровые двойники», предполагающая моделирование работы объекта управления, в том числе в режиме online [1, 2].

При конструировании автомобилей необходимо провести ряд дорогостоящих Краш тестов с целью определения прочности конструкции при аварийном столкновении, наличия опасности для жизни человека. В настоящее время физические испытания проводят после многочисленного моделирования аварии на компьютере. Аналогично на «цифровых двойниках» производится испытание всех сложных узлов. При проектировании механического оборудования локомотивов обязательно осуществляется моделирование нагрузки узлов на «цифровых двойниках» с использованием методов конечных элементов. «Цифровой двойник» позволяет существенно сократить сроки разработки новых изделий, повысить их надежность и долговечность, избежать отказов при эксплуатации. На железнодорожном транспорте активно используется моделирование поездной обстановки на полигоне для управления движением поездов как при разработке графиков движения поездов, так и в режиме online для оперативного диспетчерского управления движением поездов, особенно при возникновении нестандартных ситуаций, что позволяет существенно повысить пропускную способность участков, избежать сбоев движения. «Цифровые двойники» широко используются при организации производственных процессов. Разработаны специальные программы для моделирования производственных процессов с целью выбора оптимального варианта расположения оборудова-

ния, определения пропускной способности производственных линий. Из приведенных примеров очевидно, что понятие «цифровой двойник» существенно зависит от решаемой задачи. В статье описан предлагаемый авторами «цифровой двойник» для управления техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов (ТОиР).

Место «цифрового двойника» в управлении сервисным обслуживанием локомотивов

При изготовлении локомотива разрабатываются «цифровые двойники» производства и изделий – локомотива и его оборудования. При эксплуатации локомотива создается «цифровой двойник» перевозочного процесса. При сервисном обслуживании требуются «цифровой двойник» самого ТОиР, так как время его выполнения T и риски не выдачи локомотива в ожидаемое время существенно влияют как на число локомотивов, находящихся в эксплуатируемом парке, так и на надежность перевозочного процесса в целом [3–5].

В 85 сервисных локомотивных депо (СЛД) группы компаний «ЛокоТех» внедрена АСУ технологическими процессами ТОиР локомотивов АСУ «Сетевой график» (АСУ СГ) [5]. АСУ охватывает все элементы управления СЛД: анализ работы локомотивов и мониторинг их технического состояния, долгосрочное планирование ремонтов (перспектива, год, квартал, месяц), оперативное планирование (декада, трое суток), постановка локомотивов на ремонт, планирование объема ремонта, управление ТОиР, управление качеством ТОиР, управление зарплатой и складом, планирование ресурсов и др. При поступлении локомотива на ТОиР в СЛД производится анализ его технического состояния, результаты которого регистрируются в АСУ СГ в электронной диагностической карте, являющейся основой для планирования объема ремонта. По данным диагностической карты формируется индивидуальный для каждого конкретного локомотива (и даже секции) линейный график выполнения ТОиР, определяющий объем и последовательность его выполнения [4]. В результате трудно определить точное время выхода локомотива из депо.

Отсутствие точного времени выхода локомотива из СЛД является одной из главных проблем сервисного ТОиР, так как уже при заходе на



ТОиР под этот локомотив планируется поезд, под который он будет подвезан. Выход с ремонта в отличие от запланированного время приведет к срыву графика движения поездов или к простое локомотива. Именно тут необходимо применить технологию «цифровой двойник» ТОиР, который должен смоделировать процесс ТОиР и спрогнозировать время выдачи локомотива на линию.

Технологический процесс ТОиР состоит из последовательности операций, каждая из которых обладает своими вероятностными характеристиками времени ее выполнения. Эксплуатация АСУ СГ позволяет накопить статистику, обработка которой определяет закон распределения этой случайной величины и ее параметры.

Таким образом, после постановки локомотива на ремонт и определения объема и последовательности работ в АСУ СГ вводится индивидуальный график ремонта (так называемый «линейный график»), после чего по заранее накопленной статистике в АСУ автоматически рассчитывается ожидаемое время ремонта. При этом используются методы имитационного моделирования, для чего запускается «генератор случайных чисел» (Randomize), который позволяет по заранее определенным параметрам законов распределения случайных времен выполнения операций ТОиР смоделировать процесс ремонта. Многократное моде-

лирование (более 1 000 раз) процесса ремонта с использованием «цифрового двойника» позволяет получить распределение ожидаемого времени ремонта. При этом общее время моделирования занимает несколько секунд. Авторами разработка прообраза «цифрового двойника» ТОиР выполнена на встроенном языке программирования «Visual Basic for Applications» (VBA) в среде «MS Excel».

«Цифровой двойник» технического обслуживания и ремонта

При постановке локомотива на ремонт производится оценка его технического состояния, формируется диагностическая карта (рис. 1), индивидуальный линейный график ТОиР этого локомотива. При этом сам линейный график состоит из стандартных блоков (функциональных модулей), хранящихся в базе данных АСУ СГ (блок 3). По каждому модулю в процессе ТОиР накапливается статистика, в том числе время выполнения этой операции (блок 5). Его следует рассматривать как случайную величину.

По составленному сетевому графику (блок 2) и статистике продолжительности работ (блок 5) оперативно (в режиме online) формируется «цифровой двойник» ТОиР (блок 4) и производится моделирование (блок 6) с целью вероятностного расчета времени выполнения ТОиР. Если полученные результаты устраивают (блок 7), то

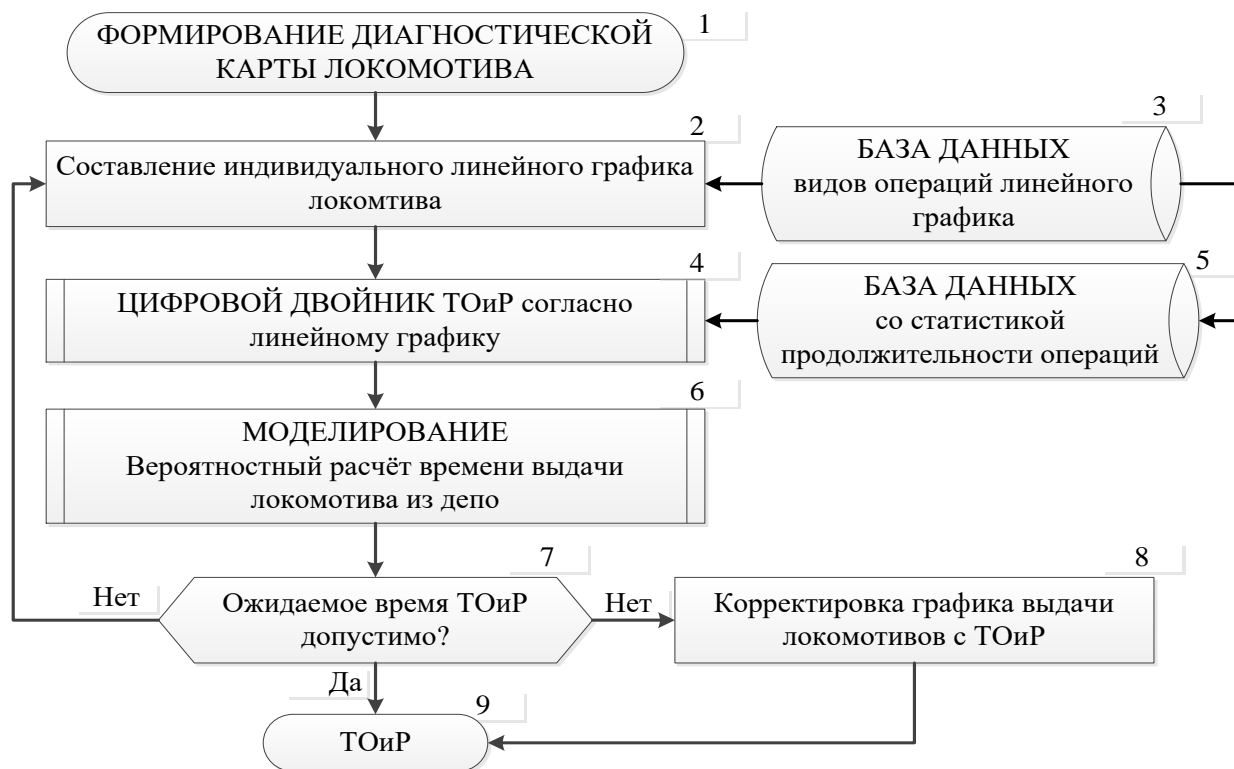


Рис. 1. Алгоритм использования «цифрового двойника» технического обслуживания и ремонта



приступают к ремонту. В противном случае производят корректировку линейного графика с повторным расчетом с использованием «цифрового двойника» или корректируют график подвязки локомотивов (блок 8).

Технологический процесс ТОиР состоит из последовательности операций – функциональных блоков F_i , каждый из которых обладает своими вероятностными характеристиками времени выполнения операции ΔT_i . Эксплуатация АСУ ТОиР позволяет накопить статистику, обработка которой поможет определить закон распределения этой случайной величины и ее параметры. В модели рассмотрены следующие законы распределения:

1. Дискретное время выполнения операции:

$$\Delta T_1 = \text{const.}$$

2. Нормальное распределение времени выполнения операции $f(x)$ подчиняется нормальному закону распределения случайной величины со статистически определенным значением математического ожидания времени выполнения операции ΔT и среднеквадратичным отклонением σt .

3. Распределение времени выполнения операции подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины:

$$f(t) = \lambda \times \exp(-\lambda t),$$

где λ – интенсивность ($\lambda = 1/M$, M – математическое ожидание).

4. Логнормальное распределение времени выполнения операции (логнормальный закон распределения случайной величины) [6].

Для моделирования операции i и времени ее выполнения Δt_i используется генератор случайных чисел VBA, для инициализации которого применяется команда «Randomize» [7]. Само случайное число R получается командой Rnd:

$$R_i = \text{Rnd}, \text{ где } R \in [0, 1].$$

Согласно центральной теореме, распределение случайных величин стремится к нормальному, поэтому случайное событие при ее нормальном распределении R_2 можно рассчитать по формуле:

$$R_2 = \sum_{k=1}^{12} R_k - 6.$$

Тогда при моделировании случайное время операции ΔT_2 будет

$$\Delta T_2 = M + S \cdot R_2,$$

где M – математическое ожидание времени операции; S – среднеквадратическое отклонение времени операции.

Экспоненциальное (показательное) распределение можно смоделировать с использованием обратной функции:

$$R_3 = -(1/\lambda) \cdot \ln(1 - R_i).$$

Логнормальное распределение также моделируется с использованием обратной функции. Моделирование значений случайной величины с логнормальным распределением (с параметрами μ , σ) проводится по формуле

$$X = \exp(Y),$$

где Y имеет нормальное распределение с теми же параметрами.

Кроме моделирования работы функционального модуля в штатном режиме, подчиняющемуся одному из возможных законов распределения случайной величины, необходимо учесть появление форс-мажорных обстоятельств: отсутствие запасных частей и маневрового локомотива, невыход слесаря на работу и др. Форс-мажорные обстоятельства J могут появляться случайным образом с вероятностью P_J , которая также определяется из статистики работы депо:

$$P_J = N_F / N_\Sigma,$$

где N_F – число операций, при которых произошел форс-мажор, а N_Σ – общее число выполнения операции за рассматриваемый период.

Устранение форс-мажора также подчиняется одному из возможных законов распределения случайной величины. Таким образом, для задания в модели возможного форс-мажора J следует указать вероятность его появления P_J , закон распределения времени его устранения Z и параметры этого закона (M , σ и др.).

В предлагаемой модели предусмотрено появление любого числа форс-мажорных обстоятельств, по каждому из которых происходит моделирование. На практике ожидается 3–12 форс-мажоров: занятость ремонтных позиций, отсутствие запасных частей, отсутствие маневрового локомотива и др. После моделирования выбирается максимальное время устранения форс-мажора.

Алгоритм моделирования функционального элемента (function Zakon) следующий: запускается генератор случайных чисел «Randomize» для генерации случайных чисел $R_i = \text{Rnd}$. Функция «Zakon» возвращает смоделированное случайное время выполнения очередной операции заданному закону распределения и его статистически определенным параметрам.

Полностью работа функционального модуля моделируется функцией FFF, учитывающей наличие форс-мажорных обстоятельств. Вначале рассчитывается случайная продолжительность основного процесса Δt , затем – каждого из заданных форс-мажорных обстоятельств Δt_i с выбором максимального времени $\Delta t_{\text{фм}} = \text{Max}(\Delta t_i)$. Смодели-

рованное время работы функционального элемента складывается из двух: $\Delta t = \Delta t + \Delta t_{\text{фм}}$.

Приведен алгоритм математического моделирования работы «цифрового двойника» в целом (рис. 2). После считывания параметров «цифрового двойника» и числа заданных итераций $N_{\text{MAX}} > 20$ (блок 2) программа последовательно N_{MAX} раз (блоки 3–8) моделирует его работу (блоки 5–8) с расче-

том N_{MAX} раз случайного времени выполнения ТОиР T_N . В результате формируется база данных о N_{MAX} случайных временах выполнения ТОиР T_N .

По окончании моделирования в объеме N_{MAX} раз производится статистическая обработка массива данных времен выполнения ТОиР T_N , где $N \in [1, N_{\text{max}}]$ с определением математического ожидания времени ТОиР $T_{\text{ср}}$, среднеквадратичного от-

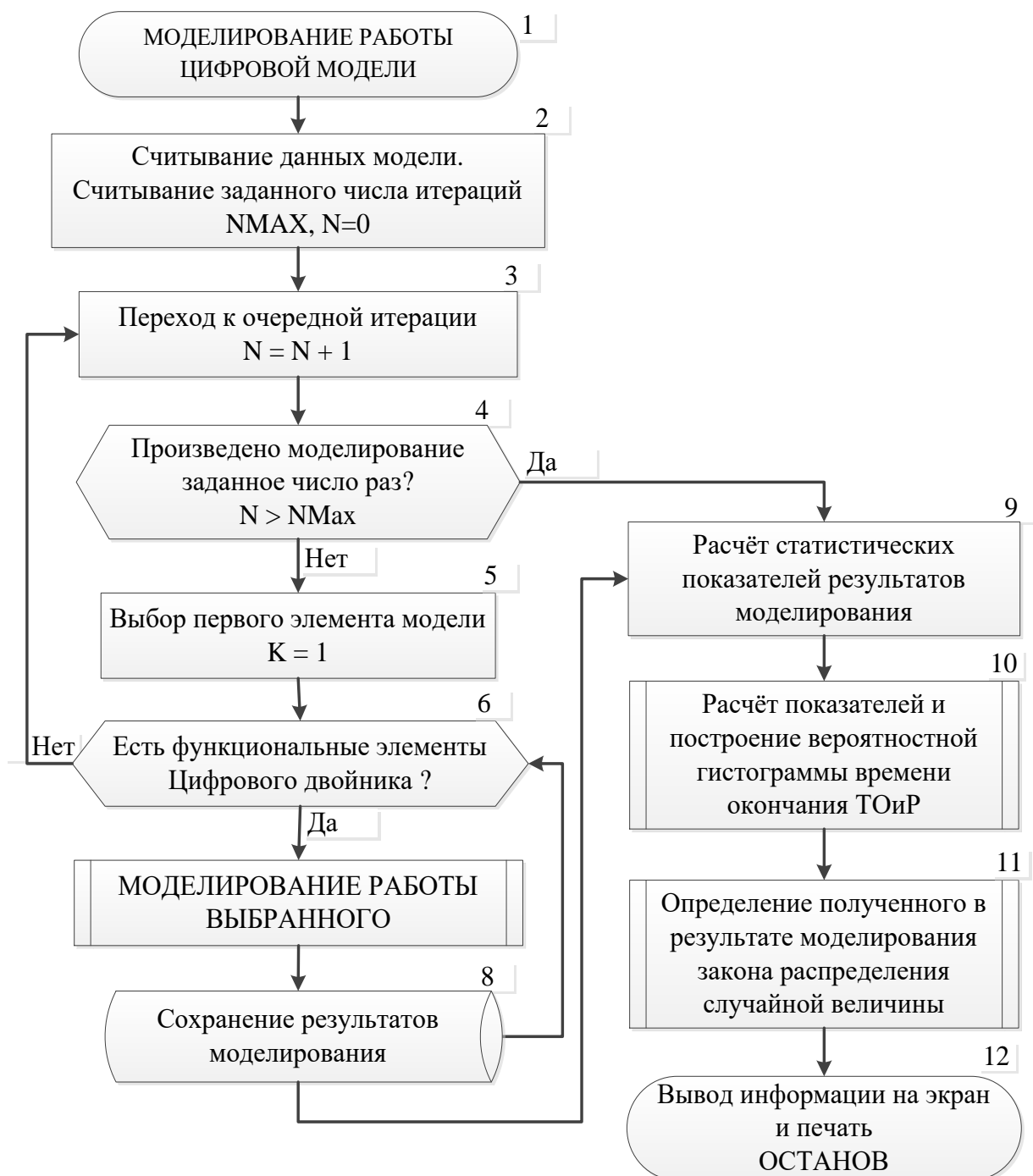


Рис. 2. Моделирование с использованием «цифрового двойника» технического обслуживания и ремонта



клонения σ (СКО), минимального T_{\min} и максимального T_{\max} значений времени выполнения ТОиР из N_{\max} итераций моделирования (блок 10):

$$T_{cp} = \sum_{n=1}^{N_{max}} T_n / N_{max},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_{max}-1} \sum_{n=1}^{N_{max}} (T_n - T)^2}.$$

Далее строится гистограмма распределения времени работы цифровой модели, для чего диапазон $T_{\min} - T_{\max}$ разбивается на заданное число участков K (по умолчанию $K = 10$) с шагом $\Delta N = (T_{\max} - T_{\min})/K$. Рассчитывается число попаданий N_K в каждый из участков. В результате вероятность P_K того, что время выполнения операции за время T_K будет соответствовать периоду K равна

$$P_K = N_K / N_{max},$$

а вероятность $P_{<k}$ того, что ремонт будет выполнен за время, не превышающее T_K , составит:

$$P_{<k} = \sum_{k=1}^k P_k.$$

Математическая модель технического обслуживания и ремонта локомотива

Моделирование «цифрового двойника» ТОиР выполнено в среде «MS Excel» с использованием встроенного языка VBA. Для записи исходных данных модели создается лист с именем «Name», а для записи результатов моделирования – лист «Name_R». Число таких пар листов соответствует числу моделей. Функциональные элементы, модели-

рование которых описано в предыдущем разделе, складываются в линейный график. Ниже приведен пример «цифрового двойника» сетевого графика, который состоит из 10 функциональных элементов (рис. 3). Для моделирования работы такой модели следует задать законы распределения случайных величин каждого из функциональных элементов и взаимодействия блоков между собой.

Программа последовательно моделирует процесс ТОиР заданное число раз. По результатам каждой итерации рассчитывается случайное время. Результаты расчетов (случайное время ТОиР) последовательно сохраняются на листе «Name_R». По окончании моделирования рассчитываются математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и другие параметры процесса.

На заключительном этапе моделирования рассчитываются вероятностные параметры процесса и строится гистограмма (табл.), (рис. 4). В верхней левой ячейке задается число столбцов гистограммы. В столбцах «MIN» и «MAX» указываются расчетные пределы диапазонов столбцов, в столбце «N» – число попаданий в диапазон ($\Sigma N = 1\ 000$). В столбце «P» приводится вероятность попадания в этот диапазон, а в столбце « ΣP » – вероятность нарастающим итогом, что ремонт будет выполнен до этого времени. Например, вероятность того, что ремонт будет выполняться 14 ч составит 0,492, вероятность того, что время ремонта не превысит 14 ч – 75 %, а вероятность того, что ремонт продлится более суток (24 ч) составит 0,6 %.

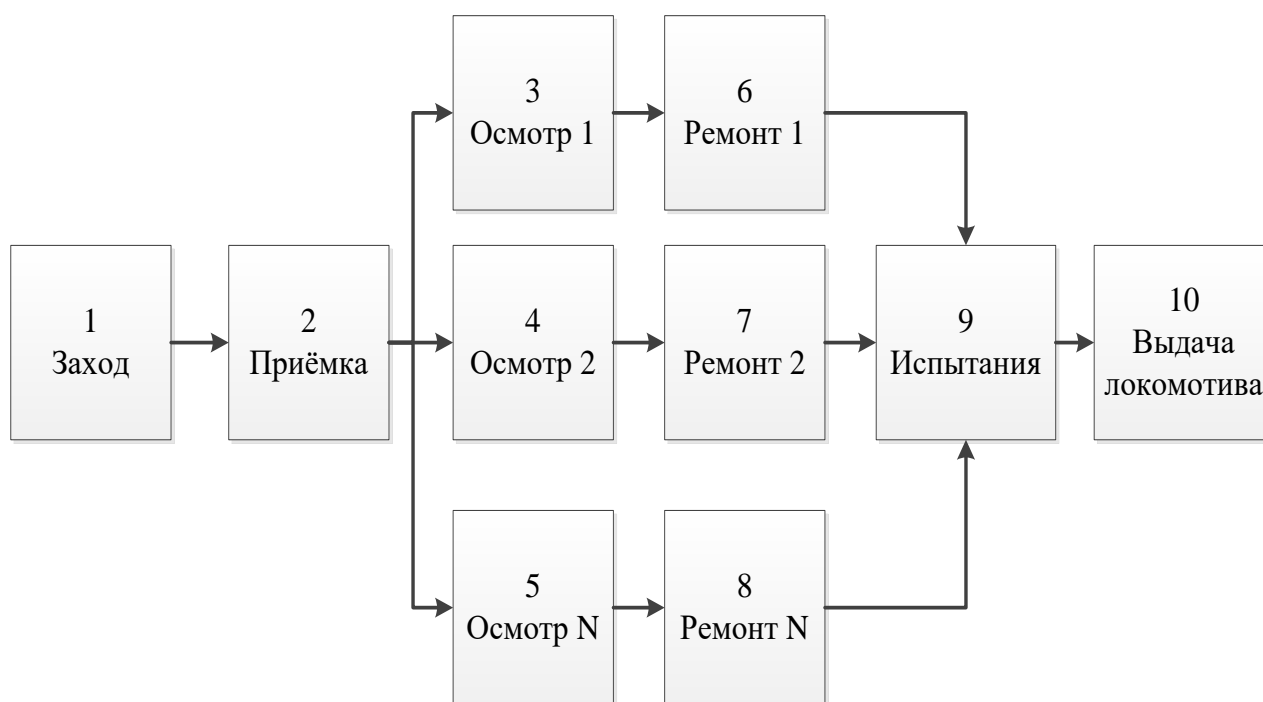


Рис. 3. Линейный график, состоящий из вероятностных элементов (пример)



Таблица 1

Вероятностные результаты 1 000 моделирований

10	MIN	MAX	Средние часы	N	P	ΣP
1	644	784,9	12	258	0,258	25,80%
2	784,9	925,8	14	492	0,492	75,00%
3	925,8	1066,7	17	186	0,186	93,60%
4	1066,7	1207,6	19	41	0,041	97,70%
5	1207,6	1348,5	21	15	0,015	99,20%
6	1348,5	1489,4	24	2	0,002	99,40%
7	1489,4	1630,3	26	3	0,003	99,70%
8	1630,3	1771,2	28	1	0,001	99,80%
9	1771,2	1912,1	31	1	0,001	99,90%
10	1912,1	2053	33	1	0,001	100,00%

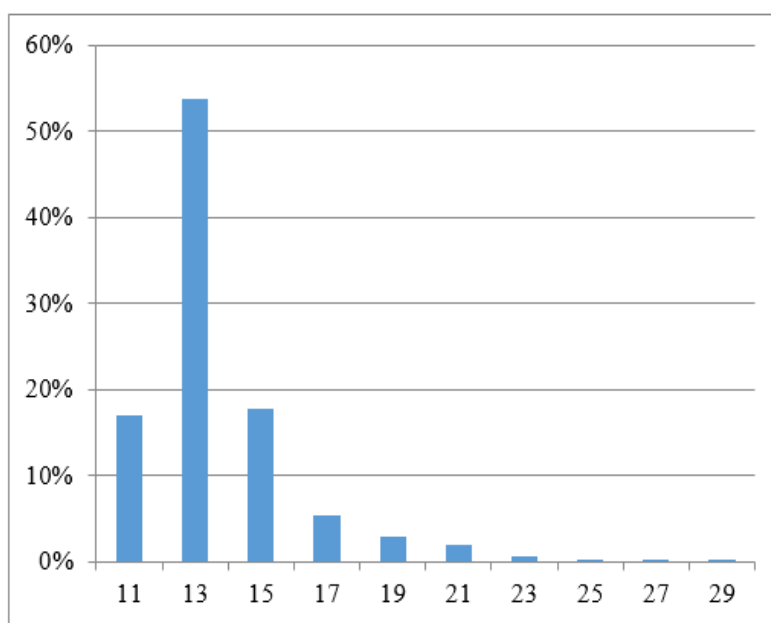


Рис. 4. Распределение ожидаемого времени выполнения ТОиР

Альтернативный «цифровой двойник» технического обслуживания и ремонта

Описанный «цифровой двойник» депо позволяет по известным законам распределения случайной величины времени выполнения каждой операции и возможных форс-мажорных событий рассчитать вероятность выполнения ТОиР в заданные сроки. При практическом использовании модели могут возникнуть трудности при определении закона распределения случайной величины, особенно при проверке по критерию Пирсона. При

работе с цифровым двойником возможен альтернативный подход, когда моделирование можно выполнить без определения закона распределения случайной величины с использованием гистограммы распределения.

У каждого процесса заранее известно нормативное время его выполнения, которое условно можно принять за математическое ожидание $M(T_{cp})$. Также примерно известен возможный разброс этого времени – σ (для надежности можно принять как 8σ). Тогда весь диапазон возможных времен выполнения операции можно разбить на N



диапазонов (обычно $N = 10$), длительность каждого из которых Δt будет:

$$\Delta t = ((M + 3\sigma) - (M - 3\sigma)) / N = 6\sigma / N.$$

Изначально в каждом из N диапазонов ΔN_i имеется ноль попаданий $\Delta N_i = 0$ (счетчики). Искусственно задается одно попадание в диапазон, соответствующий математическому ожиданию $\Delta N_M = 1$. Общее число статистических данных также равно 1, т. е. $Max = 1$.

По мере эксплуатации АСУ СГ накапливается статистика реального времени выполнения операции T_j . При попадании этого значения в один из возможных диапазонов, его счетчик увеличивается на единицу:

$$\Delta N_i = \Delta N_i + 1.$$

Также на единицу увеличивается и общее число статистических данных:

$$Max = Max + 1.$$

В этом случае вероятность P_i попадания в диапазон i составит:

$$P_i = \Delta N_i / Max.$$

Тогда при моделировании работы объекта необходимо задать случайное число $R = Rnd \in [0, 1]$ и сопоставить его одному из чисел, входящих в диапазон Max :

$$Z = 1 + \text{Int}(R \times Max).$$

Выбирается диапазон времени $i+1$, в который попадает это число Z , если просуммировать предыдущие данные при выполнении условия, то

$$Z = \sum_{k=1}^i \Delta N_k.$$

Если диапазон $i+1$ нулевой, то выбирается первый ненулевой диапазон.

Остальное моделирование выполняется аналогично ранее рассмотренному.

При таком подходе к моделированию форс-мажорные обстоятельства отдельно учитывать не надо, так как они уже входят в общую статистику.

Таким образом, «цифровой двойник» можно реализовать как с использованием законов распределения случайной величины для моделирования каждого функционального модуля с отдельным моделированием форс-мажорных обстоятельств, так и с использованием накопительной статистики.

Выводы

При разработке АСУ ТООИР применение технологии «цифровой двойник» позволяет реализовать в режиме online вероятностное прогнозирование времени выдачи локомотива.

Разработана модель ТООИР, позволяющая по мере накопления статистических данных о ТООИР, а также после формирования линейного графика ремонта конкретного локомотива (с учетом параметров его диагностической карты) моделировать процесс ТООИР, результатом которого является вероятностное ожидаемое время ремонта. Модель реализована на алгоритмическом языке VBA в среде «MS Excel».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Княгин В.Н. Цифровая трансформация: бизнес-модели и рыночные игроки // М. : Сколково, 2019.
2. Цифровой завод. MES система завода. 2050. Интегратор. М. : тр. конф. по цифровым двойникам. Сколково. 2019.
3. Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис / К.В. Липа, В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов и др. М. : ТМХ-Сервис, 2012. 160 с.
4. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой и др. М. : Локомотивные Технологии, 2015. 212 с.
5. Автоматизированное управление жизненным циклом локомотивов на этапе их эксплуатации / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, И.И. Лакин и др. // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : материалы третьей междунар. науч.-практ. конф. М. : ЛокоТех, 2018. С. 214–233.
6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. М. : Высш. шк., 1999. 576 с.
7. Ю.И. Галанов Статистическое моделирование. Томск : Изд-во ТПУ, 2010. 42 с. URL: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/g/GALANOVYI/ur/Tab2/mathmod.pdf> (Дата обращения 18.04.2019).
8. Лакин И.К., Смирнов Ю.В., Тимченко А.Ю. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ. М. : ОЦВ, 2002. 516 с.
9. Лакин, И.К., Лянгасов С.Л., Аболмасов А.А. Инкапсуляция статистических методов управления в информационные системы Локотех // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : тр. III Всеросс. науч.-техн. конф. с международ. участием. Омск : Изд-во ОмГУПС, 2015. С. 14–21.
10. Лакин И.К., Пустовой И.В. Проблемы внедрения информационных технологий в локомотивных депо // Локомотив. 2017. № 2 (722). С. 11–13.
11. Лакин И.К., Пустовой И.В. Эффективность сервисного обслуживания локомотивов // Техника железных дорог. 2017. № 2 (38). С. 34–44.
12. Пат. 2569216 Российская Федерация, МПК⁷ В 61 К 11/00, 2006.01. Способ управления обслуживанием и ремонтом тягового подвижного состава железнодорожного транспорта и система для его осуществления / К.В. Липа, А.В. Гриненко и др. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис». - № 2013147471/11 ; заявл. 24.10.13 ; опубл. 20.11.15, Бюл. № 32. 13 с.



13. Пат. 2593729 Российская Федерация, МПК⁷ В 61 L 27/00, 2006.01. Способ контроля режимов эксплуатации локомотивов / К.В. Липа, А.В.Гриненко, С.Л. Лянгасов. и др. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ-Сервис» - № 2015101911/11 ; заявл. 22.01.15 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. 4 с.
14. Уокенбах Д. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA. М. : Вильямс, 2014. 944 с.
15. Лакин И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов : дис. ... канд. техн. наук. М. : Изд-во РУТ (МИИТ). 2016. 211 с.
16. Аболмасов А.А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания : дис. ... канд. техн. наук. М. : Изд-во РУТ (МИИТ). 2017. 180 с.
17. Пустовой И.В. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов : дис. ... канд. техн. наук. Омск : Изд-во ОмГУПС. 2018. 183 с.

REFERENCES

1. Knyagin V.N. Tsifrovaya transformatsiya: biznes-modeli i rynochnye igroki [Digital Transformation: Business Models and Market Players]. Moscow: Skolkovo Publ., March 2019.
2. Tsifrovoy zavod. MES sistema zavoda [Digital factory. MES factory system]. Moscow: 2050 Integrator. *Trudy konferentsii v Skolkovo po tsifrovym dvoimikam [Proceedings of the conference on digital twins in Skolkovo]*, 2019.
3. Lipa K.V., Grinenko V.I., Lyangasov S.L., Lakin I.K. et al. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya nadezhnost'yu lokomotivov (ASUNT). Kontseptsiya TMKh-Servis [Automated Locomotive Reliability Management System (ALRMS). The concept of TMKh-Service]. Moscow: OOO TMKh-Servis Publ., 2012. 160 p.
4. Lipa K.V., Belinskii A.A., Pustovoi V.N., Lyangasov S.L. et al. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov ekspluatatsii lokomotivov. Teoriya i praktika [Monitoring the technical condition and operating modes of locomotives. Theory and Practice]. Moscow: OOO Lokomotivnye Tekhnologii Publ., 2015. 212 p.
5. Lakin I.K., Abolmasov A.A., Lakin I.I., Pustovoi I.V. et al. Avtomatizirovannoe upravlenie zhiznennym tsiklom lokomotivov na etape ikh ekspluatatsii [Automated lifecycle management of locomotives at the stage of their operation]. *Perspektivy razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov: materialy tret'ei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Perspektivy razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov» [Prospects for the development of service of locomotives: materials of the third international scientific-practical conference "Prospects for the development of service of locomotives"]*. Moscow: LokoTekh OOO Publ., 2018. 448 p. Pp. 214–233.
6. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostei [Probability Theory]. Moscow: Vyssh. shk. Publ., 1999. 576 p.
7. Galanov Yu.I. Statisticheskoe modelirovanie: Uchebnoe posobie [Statistical modeling: A textbook] [Electronic medium]. 2nd ed., ext. Tomsk: TPU Publ., 2010. 42 p. URL: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/g/GALANOVYI/ur/Tab2/mathmod.pdf>
8. Lakin I.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya lokomotivnym khozyaistvom. ASUT [Automated locomotive management system. Automated traction control system]. Moscow: OTsV Publ., 2002. 516 p.
9. Lakin I.K., Lyangasov S.L., Abolmasov A.A. Inkapsulyatsiya statisticheskikh metodov upravleniya v informatsionnye sistemy Lokotekh [Encapsulation of statistical management methods in Lokotech information systems]. *Trudy III Vseross. nauchn.-tekhn. konf. s mezhdunarodn. uchastiem «Tekhnologicheskoe obespechenie remonta i povyshenie dinamicheskikh kachestv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava» [Proceedings of III All-Russian scientific and technical conf. with international participation "Technological support for repairs and improving the dynamic qualities of railway rolling stock"]*. Omsk: OmGUPS Publ., 2015. Pp. 14–21.
10. Lakin I.K., Pustovoi I.V. Problemy vnedreniya informatsionnykh tekhnologii v lokomotivnykh depo [Problems of the introduction of information technology in locomotive depots]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2017. No. 2 (722). Pp. 11–13.
11. Lakin I.K., Pustovoi I.V. Effektivnost' servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov [Efficiency of maintenance of locomotives]. *Tekhnika zheleznykh dorog [Railway Machines]*, 2017. No. 2 (38). Pp. 34–44.
12. Lipa K.V., Grinenko A.V., Lyangasov S.L., Lakin I.K. et al. *Sposob upravleniya obsluzhivaniem i remontom tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta i sistema dlya ego osushchestvleniya [A method for managing the maintenance and repair of traction rolling stock of railway transport and a system for its implementation]*. Pat. 2569216 Russian Federation, МПК⁷ В 61 K 11/00, 2006.01.; applicant and patent holder is OOO TMKh-Servis. No. 2013147471/11; applied 24.10.13; publ. 20.11.15, Bull. No. 32. 13 p. : il.
13. Lipa K.V., Grinenko A.V., Lyangasov S.L., Lakin I.K., et al. *Sposob kontrolya rezhimov ekspluatatsii lokomotivov [The way to control the operating modes of locomotives]*. Pat. 2593729 Russian Federation, МПК⁷ В 61 L 27/00, 2006.01. Applicant and patent holder is OOO TMKh-Servis. No. 2015101911/11; applied 22.01.15; publ. 10.08.2016, Bull. No. 22. 4 p. : il.
14. Walkenbach J. Excel 2010. Power Programming with VBA. Wiley, 2010. 1052 p. [Russ. ed.: Excel 2010: professional'noe programmirovaniye na VBA]. Moscow: I.D.Vil'yams OOO Publ., 2014. 944 p.
15. Lakin I.I. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov po dannym bortovykh apparatno-programmnykh kompleksov. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Monitoring the technical condition of locomotives according to onboard hardware and software systems. Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow: RUT (MIIT) Publ., 2016. 211 p.
16. Abolmasov A.A. Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem tyagovogo podvizhnogo sostava v usloviyakh servisnogo obsluzhivaniya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Management of the technical condition of traction rolling stock during maintenance service. Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow: RUT (MIIT) Publ., 2017. 180 p.
17. Pustovoi I.V. Razrabotka informatsionno-dinamicheskoi modeli upravleniya servisnym tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom lokomotivov. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Development of an information-dynamic model for managing service maintenance and repair of locomotives. Ph.D. (Engineering) diss.]. Omsk: OmGUPS Publ., 2018. 183 p.



Информация об авторах

Лакин Игорь Капитонович – д. т. н., профессор, первый заместитель генерального директора АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги», г. Красноярск, e-mail: i.k.Lakin@dsv.ru

Семенов Александр Павлович – к. т. н., генеральный директор Научно исследовательского института технологий, контроля и диагностики, г. Омск, e-mail: corp@niitkd.ru

Authors

Igor' Kapitonovich Lakin – Doctor of Engineering Science, Prof., First Deputy General Director, Krasnoyarsk railway introduction centre AO, Krasnoyarsk, e-mail: i.k.Lakin@dsv.ru

Aleksandr Pavlovich Semenov – Ph.D. in Engineering Science, General Director of "NIITKD" AO, Omsk, e-mail: corp@niitkd.ru

Для цитирования

Лакин И. К. Использование технологии «цифровой двойник» при управлении ремонтом локомотивов / И.К. Лакин, А.П. Семенов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 89–98. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).89–98

For citation

Lakin I. K., Semenov A. P. Ispol'zovanie tekhnologii «tsifrovoy dvoynik» pri upravlenii remontom lokomotivov [Use of «digital twin» technology during the locomotives' repair management]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 89–98. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).89–98

УДК 656.2.052.432

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).98–106

А. С. Арсёнова, В. А. Анисимов

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт - Петербург, Российская Федерация
Дата поступления: 21 мая 2019 г.

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ ВАЛОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ВЕЛИЧИНУ ПАССАЖИРОПОТОКА

Аннотация. *Транспортная отрасль играет важнейшую роль в социально-экономическом развитии страны. Транспорт благоприятно влияет на географические передвижения населения, рост производительности труда, а также повышает уровень жизни населения. Сегодня в России особое внимание уделяется развитию железнодорожного транспорта, в частности, развитию железнодорожного пассажирского сообщения. В декабре 2009 г. был произведен успешный запуск высокоскоростных поездов «Сапсан» на самом популярном пассажирском направлении в России Москва – Санкт-Петербург. Целью представленной работы является исследование влияния валового регионального продукта и его структуры на величину пассажирских перевозок. В статье проведен анализ существующих методик прогнозирования, в результате чего, сделан вывод о невозможности выбора оптимального метода. На основе рассмотренных достоинств и недостатков методов прогнозирования было решено провести регрессионный анализ изменения пассажиропотока железнодорожного транспорта, в итоге было получено значимое уравнение регрессии. Для проведенного анализа исходными данными о численности населения были приняты значения валового регионального продукта по субъектам Российской Федерации за 2010–2016 гг., опубликованные Федеральной службой государственной статистики. В результате проделанной работы, сделан вывод о тесной взаимосвязи между рассматриваемыми разделами валового регионального продукта и величиной пассажиропотока, а также о целесообразности проведения дальнейших исследований на направлениях между крупными узлами зарождения и погашения пассажиропотока.*

Ключевые слова: *пассажирские перевозки, прогнозирование спроса, валовой региональный продукт, высокоскоростной железнодорожный транспорт.*

А. S. Arsenova, V. A. Anisimov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg, Russian Federation
Received: May 21, 2019

ABOUT THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF GROSS REGIONAL PRODUCT ON THE AMOUNT OF PASSENGER FLOW

Abstract. *The transport industry plays a crucial role in the socio-economic development of the country.*

Transport favorably affects the geographical movement of the population, the growth of labor productivity, and also increases the standard of living of the population. Today in Russia, special attention is paid to the development of railway transport, in particular, the development of railway passenger traffic. In December 2009, there was a successful launch of high-speed Sapsan trains on the most popular passenger route in Russia, Moscow - St. Petersburg. The purpose of the presented work is to study the influence of the gross regional product and its structure on the amount of passenger traffic. In this paper, we analyzed the existing methods of forecasting, as a result of which, it was concluded that it was impossible to choose the optimal method. On the basis of the considered advantages and disadvantages of the forecasting methods, it was decided to conduct a regression analysis of changes in passenger traffic of railway transport, as a result of which a significant regression