

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КРУПНОГО АВТОПАРКА

С.Я. Егоров<sup>1</sup>, Салих Хайдер Сабах<sup>1</sup>, А.В. Затонский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия,

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники, Россия

**Введение.** Принятие решений об объемах ремонтов транспортных средств после поломок основывается на минимальной стоимости ремонта. Однако это может привести к снижению технической готовности предприятия в целом, невыполнению заявок на перевозки и экономическому ущербу. Для расчета необходимого объема ремонтных работ, ведущего к достаточному повышению технической готовности транспортного средства, необходима модель деятельности предприятия, позволяющая рассчитывать последствия того или иного объема ремонтных работ по отношению к выполнению заявок на перевозки. **Цель исследования:** разработка имитационной стохастической модели деятельности автотранспортного предприятия, учитывающей снижение технической готовности транспортных средств в процессе эксплуатации. **Материалы и методы.** Проведен анализ структуры затрат на эксплуатацию транспортных средств, включая ремонтные затраты. Обоснована структура имитационной модели, включающая полный жизненный цикл перевозок и ремонтные работы. Приняты допущения, свойственные условиям работы крупного автотранспортного предприятия. Модель реализована на языке GPSS. Техническая готовность отдельного транспортного средства аппроксимирована кусочно-линейной функцией. Приведены сведения о процедуре моделирования. **Результаты.** Проведена проверка адекватности результатов моделирования при изменении факторов, ведущих к очевидным последствиям: скорости транспортных средств, количества транспортных средств в автопарке, времени ремонтных работ. Показана непротиворечивость результатов. Исследована возможность повышения выполнения системы заявок на перевозки за счет проведения более полных ремонтных работ. Получена асимптотическая зависимость готовности автопарка в целом от степени восстановления транспортных средств в результате ремонтов. **Заключение.** Разработанная модель может быть использована в качестве модуля системы поддержки принятия решений по управлению автотранспортным предприятием.

*Ключевые слова:* ремонт, грузовой транспорт, имитационное моделирование, техническая готовность.

### Введение

Рост масштаба предприятия ведет к опережающему росту сложности и масштабов управленческих задач. Хорошо известно, что одним из главных поводов для реинжиниринга является перегрузка управленческой системы при масштабировании деятельности [1]. Упомянутое общее правило выполняется также применительно к крупным автотранспортным предприятиям, обслуживающим строительные объекты. Кроме собственно строительства зданий и сооружений в перечень работ, для обслуживания которых требуются транспорт, машины и механизмы, могут входить [2]:

- 1) вертикальная планировка, разработка котлованов, отсыпка дамб;
- 2) благоустройство территорий;
- 3) содержание и эксплуатация дорог и мостов;
- 4) производство и продажа цементного раствора, бетона, асфальтобетонной смеси;
- 5) другие работы.

Для большинства автотранспортных предприятий все перевозки логично делятся:

- 1) на перевозки собственных грузов;
- 2) оказание транспортных услуг сторонним организациям.

В зависимости от основного рода деятельности организации от 10 до 90 % могут составлять собственные грузы. Последнее характерно для автопарков строительных организаций, являющихся структурными подразделениями или дочерними предприятиями. При этом эффективность автотранспортного предприятия любого вида включает в себя такие эксплуатационные показатели, как транспортную (техническую) готовность, коэффициент выпуска на линию, коэффициенты использования пробега и грузоподъемности [3, 4]. Учет эксплуатационных показателей позволяет через управление транспортной готовностью автопарка осуществлять управление затратами автопредприятия. Общая структура системы управления (поддержки принятия решений) с учетом особенностей автотранспортного предприятия приведена на рис. 1.



Рис. 1. Общая информационная структура системы поддержки принятия решений  
Fig. 1. General information structure of the decision support system

Планирование перевозок, вызванных собственными нуждами, осуществить легче, чем в случае внешних заказов. Для собственных перевозок достаточно контролировать техническую готовность автопарка и прогнозировать ее влияние на вероятность использования того или иного подвижного состава [5]. В случае внезапного поступления заказа на перевозку лицо, принимающее решение (ЛПР), должно выбрать конкретное транспортное средство (ТС), использование которого принесет наибольшую экономическую выгоду. Доходная часть при этом определяется условиями договора с заказчиком и не может меняться под действием решений ЛПР. Минимизация затрат возможна с точек зрения:

- 1) уменьшения расхода топлива;
- 2) уменьшения ремонтных затрат;
- 3) уменьшения заработной платы водителя;
- 4) уменьшения косвенных затрат: на административный персонал, на управление предприятием, на амортизацию ТС и т. п.

Пример структуры ремонтных затрат на конкретное ТС приведен на рис. 2.

Автотранспорт	Гос.номер	Количество	Сумма
Автомобиль КАМАЗ 6520-06 самосвал (гос. № К 279 ТХ)	К 279 ТХ	830,074	135 658,680
Подшипник 7815		1,000	1 535,310
РК торм.колодок		1,000	2 543,750
Сверло разное		4,000	23,300
Автошина R22.5 (КамАЗ)		4,000	59 829,130
Автошина R22,5		2,000	30 326,410
Тавотница (КамАЗ)		7,000	59,330
Щетка с/очистителя (КамАЗ)		2,000	489,100
Антифриз, кг		21,000	1 256,800
Удлинитель вентиля		1,000	209,320
Выключатель подъема и опускания платформы прицепа		1,000	152,540
Утеплитель		2,000	1 288,140
Лампа авто галоген		6,000	612,610
Лист плоский		22,000	6 076,720
Указатель габарита/ поворота		2,000	254,240
Масло трансмис. ТМ-5 80/90		14,000	1 588,990
Масло моторное 10/40		30,000	4 457,630
Датчик выкл. блокировки зад. хода		1,000	148,300
Барaban тормозной (КамАЗ)		1,000	7 008,470
Шланг подкачки (наконечник+гайка)		4,000	607,090
Ключ балонный		1,000	601,690
Уголок 32*4 ст3сп5		0,074	3 419,380
Лампа авто разные		6,000	122,280
Саморез, шт		650,000	1 327,150
Манжета (КамАЗ)		1,000	315,020
Антифриз, л		3,000	177,320
Литол-24, кг		3,000	360,570
Лукойл ТМ-5 80/90, л		25,000	2 394,770
Выключатель		1,000	2 512,710
Лампа А24х5		10,000	102,500
Панель кабины		1,000	2 711,860
Фартук (брызговик)		2,000	305,080
Рычаг регулировочный		1,000	2 841,170
<b>Итого:</b>		<b>830,074</b>	<b>135 658,680</b>

Рис. 2. Отчет о ремонтных затратах, сформированный в 1С-приложении  
 Fig. 2. Repair cost report generated in 1C application

При принятии решений о проведении и содержании восстановительных ремонтов ТС на практике пользуются критерием минимальной допустимости, то есть ограничиваются работами, совершенно необходимыми для возврата ТС на линию [6]. Однако водители хорошо знают, что более дорогой агрегатный ремонт (замена дефектного агрегата вместо замены его комплектующих) приводит к более существенному повышению надежности ТС. Следовательно, при принятии решения о содержании ремонтных работ было бы более логичным руководствоваться полной оценкой последствий ремонта, включая не только ремонтные затраты, но и будущие доходы от перевозок. В зависимости от характеристик автопарка предприятия и потоков поступающих заявок решения о выделении средств на ремонты становятся весьма нетривиальными. Одним из распространенных подходов к повышению обоснованности таких решений является создание информационных систем поддержки принятия решений (СППР), важными элементами которых являются модели деятельности [7, 8]. В данном случае, очевидно, для построения СППР требуется разработать модель перевозок с учетом возможных стохастических отказов. Целью данной статьи является построение подобной модельной основы, которая на практике будет дооснащаться конкретными показателями предприятия.

### Разработка модели

Очевидный жизненный цикл перевозки приведен на рис. 3. При поступлении заказа на перевозку от стороннего заказчика ЛПП должно обработать заявку, выбрать ТС для ее выполнения

с учетом загруженности, надежности, затратности и других характеристик ТС. Затем ТС, находящееся в резерве, в общем случае должно подготовиться к выполнению заказа, совершить нулевой пробег до погрузки груза, перегон к месту разгрузки, разгрузку, перегон обратно, пройти некоторое обслуживание (хотя бы заправку) перед постановкой в резерв до следующего заказа [9]. Если ТС в ходе перевозки вышло из строя, констатируется отказ в перевозке. Его вероятность, как упомянуто выше, описывается трендом технической готовности конкретного ТС и сроком эксплуатации. В случае отказа ТС или может быть исправлено на месте в ходе восстановительного ремонта, или ему требуется буксировка в автопарк, дополнительно увеличивающая затраты. ЛПР при получении информации об отказе в перевозке должно принять новое решение о назначении другого ТС на перевозку. Детализация частных случаев (таких, как перегрузка груза с отказавшего ТС на другое при помощи вспомогательного подъемного крана и т. п.) на рис. 3 не приведена.

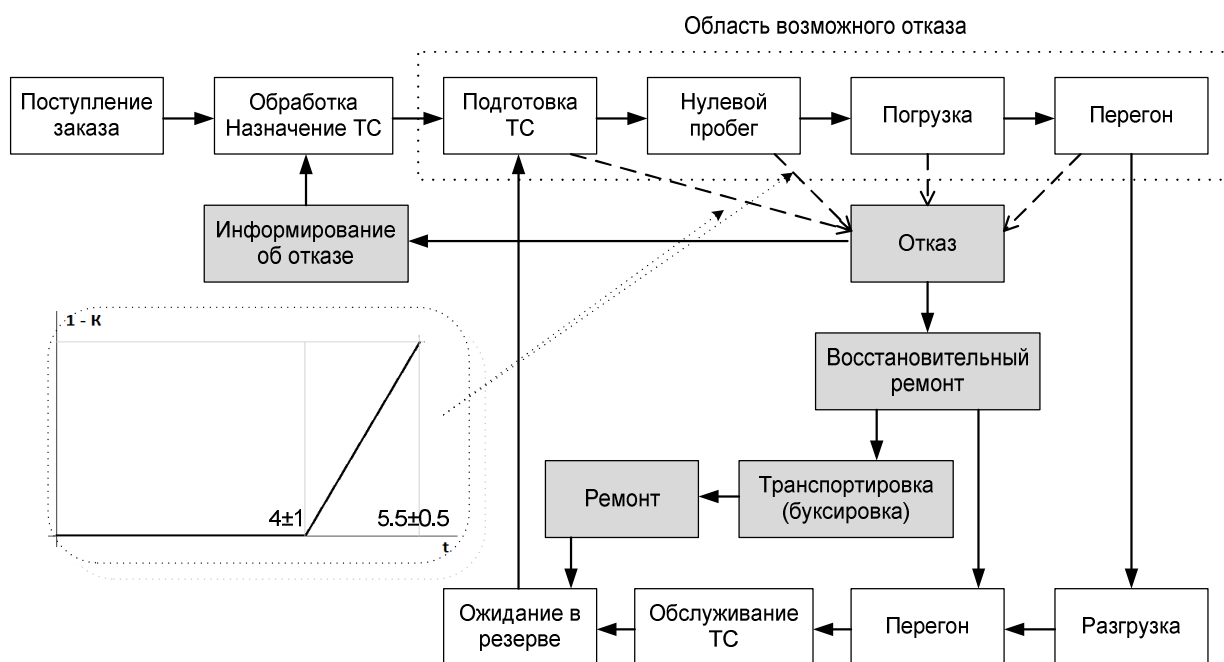


Рис. 3. Жизненный цикл перевозок и отказов в перевозках  
Fig. 3. Life cycle of transport and cancellations

В работе [10] обосновано, что тренд технической готовности конкретного ТС (или обратный ему тренд вероятности поломки, для иллюстрации приведенный на рис. 3) можно аппроксимировать двумя отрезками. В течение какого-то времени с начала эксплуатации ТС практически не ломается, а после определенного момента вероятность поломок нарастает. Для автотранспорта, по опыту эксплуатации, имеет смысл оперировать не физическим временем, а пробегом. Пробег грузового автомобиля в строительной организации составляет порядка 40–100 тыс. км в год [11], следовательно, его условное время эксплуатации равно пробегу, деленному на указанную константу.

Очевидно, что в процессе ремонта (соответствующий блок есть на рис. 3) техническая готовность ТС восстанавливается за счет замененного или отремонтированного агрегата [12]. Полного восстановления никогда не происходит, так как износ остальных агрегатов до их поломки редко приводит к замене агрегата, а регламентные работы восстанавливают готовность незначительно.

Для исследования влияния параметров надежности ТС на готовность транспортной организации в целом была написана модель на языке моделирования GPSS. Тренд вероятности отказа в зависимости от количества лет эксплуатации и типа ТС был реализован кусочно-линейными функциями наподобие

```
В_КАМАЗ_6520 FUNCTION P2,C4
0,0/4,0/5.5,1/10,1,
```

принимающими в качестве своего параметра значение второго параметра обрабатываемого транзакта, в который предварительно записывался случайный условный возраст ТС от 0 до 5 лет (для КамАЗ-6520; для других ТС – свое положение точки перелома тренда надежности). Номера генераторов случайных чисел выбраны в соответствии с рекомендациями [13], существенно повышающими качество взаимной генерации. Параметры модели подобраны таким образом, чтобы обеспечить очень высокую (стрессовую) загруженность достаточно старого автопарка, в котором изначально 20 % ТС имеют надежность ниже 100 %. Вероятность поломки самого ненадежного ТС за день эксплуатации в модели была задана равной 63 %.

Заявка поступает примерно каждые 15 мин, то есть в день поступает около 100 заявок, в месяц – порядка 3000. При соотношении результатов моделирования с реальным предприятием необходимо учитывать, что подобные значения недостижимы, а значит, устаревание реального автопарка будет происходить в несколько раз медленнее.

Модель построена в соответствии с рис. 3. Технически резерв организован в виде списка (операторы *LINK/UNLINK*), сортируемого в соответствии с правилами:

- 1) выбор ТС из резерва по правилу *FIFO*;
- 2) выбор ТС из резерва по правилу *LIFO*;
- 3) сортировка ТС в резерве по убыванию возраста;
- 4) сортировка ТС в резерве по возрастанию возраста;
- 5) случайная сортировка ТС в резерве.

Для сортировки использованы специфические параметры команды *LINK* языка *GPSS* [14]. ТС заносятся в список дважды: при их начальной генерации в модели командой *link rezerv, FIFO* в произвольном порядке и после выполнения перевозки (или после ремонта). Здесь используются параметры команды *LINK*, позволяющие отсортировать по значению параметра конкретного транзакта или с использованием дисциплин *LIFO* и *FIFO*. В параметр транзакта № 2 в модели заносилось условное время жизни ТС, возрастающее по мере продвижения модельного времени в соответствии с пробегом ТС.

В качестве допущений принято, что:

- 1) поступают заказы на перевозки некоторого груза на случайные расстояния от  $L_1$  до  $L_2$  км;
- 2) времена выполнения всех технологических операций распределены равномерно  $t_i \pm \Delta t_i$ , где  $i$  – номер операции (1 – поступление заказа, 2 – обработка заказа и назначение ТС, 3 – нулевой пробег и так далее в соответствии с рис. 3);
- 3) перевозки, осуществляемые одним ТС, никак не влияют на перевозки, осуществляемые всеми другими ТС (не учитывается ограниченная пропускная способность дорог, участков погрузки, разгрузки и ремонта и т. д.). Снятие этого допущения, очевидно, должно ухудшить воздействие от нескольких последующих отказов на время выполнения следующих заявок;
- 4) учитываются отказы только на нулевом пробеге и прямом пробеге, так как отказы на обратном пробеге не означают неисполнения заявки на перевозку;
- 5) исключением является ЛПП – моделируется многоканальным устройством (МКУ) с емкостью  $N_2$ , существенно меньшей, чем количество транспортных средств, чтобы имитировать возможную очередь у диспетчеров;
- 6) обратный перегон выполняется быстрее, чем прямой, в  $k_p$  раз ( $k_p \in [1; 1,4]$ );
- 7) устаревание ТС (снижение его надежности) за время моделирования увеличивается в соответствии с фактическим пробегом при выполнении каждой заявки;
- 8) условной единицей модельного времени принята 1 мин.

Поскольку в терминах *GPSS* невозможно на момент начала моделирования расположить транзакты в разных местах модели и в разных состояниях, процедура моделирования включала следующие этапы.

1. Все ТС в произвольном порядке помещаются в резерв (пользовательский список). При этом им задается начальное условное время эксплуатации.

2. В момент поступления заявки на перевозку (каждые  $t_1 \pm \Delta t_1$  ед. вр.) ТС из резерва последовательно вводятся в систему.

3. Производится работа модели до установившегося состояния. Транзакты проходят через ряд накопителей неограниченного объема, моделирующих многоканальные устройства их обра-

ботки, чтобы исключить появление очередей на погрузку, разгрузку, перевозку, ожидание в резерве и другие операции. Время данного этапа (в условных ед. вр., 1 ед. вр. по оси абсцисс равна 1 дню) определялось экспериментально, наблюдением за трендом средней загрузки списка «резерв» (рис. 4). В итоге, время выхода на установившийся режим принято 5 дней, так как после этого начинают нарастать задержки, связанные с ремонтами.

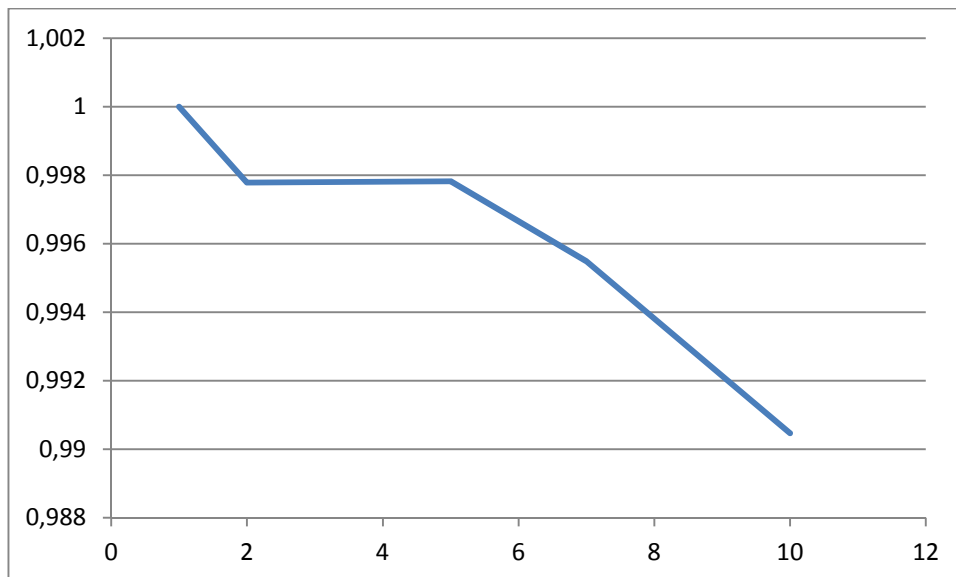


Рис. 4. К определению времени (по оси абсцисс, в днях) выхода модели на режим через изменение загрузки автотранспортного предприятия (ось ординат, в условных единицах)  
Fig. 4. To determine the time (on the abscissa axis, in days) of the model setting to the mode through the change of load of the road transport enterprise (ordinate axis, in conditional units)

4. Производится собственно моделирование работы автопредприятия в течение заданного времени со сбором статистики о состояниях объектов и транзактов через переменные состояния (оператор *SAVEVALUE*).

Запуск модели повторялся по 10–15 раз для каждого набора исходных данных, так как для отражения стохастических свойств системы при каждом пуске выполнялся оператор инициализации генераторов случайных чисел *RMULT* с разными значениями параметра [15].

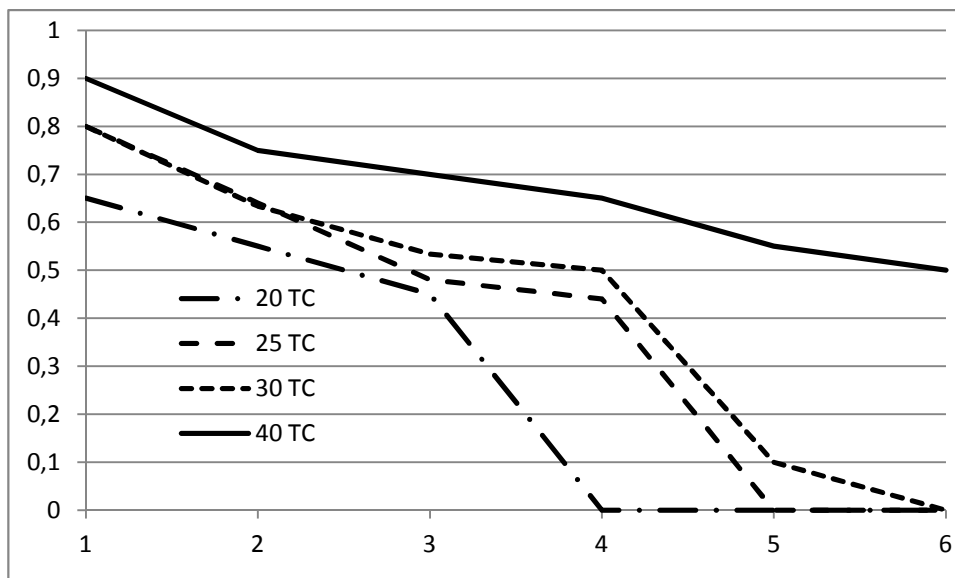
### Верификация модели

Поскольку модель создана для исследования общих тенденций распространения отказов, а не для конкретного автопарка, невозможно оценить ее достоверность (или погрешность) сравнением с экспериментальными данными. Для подтверждения работоспособности модели проведен ряд имитационных экспериментов, позволяющих сравнить результаты моделирования с ожидаемыми, продиктованными общей логикой происходящего и жизненным опытом. В данном случае использовался список *FIFO*. Исследована чувствительность модели к изменению в пределах  $\pm 10\%$  следующих факторов:

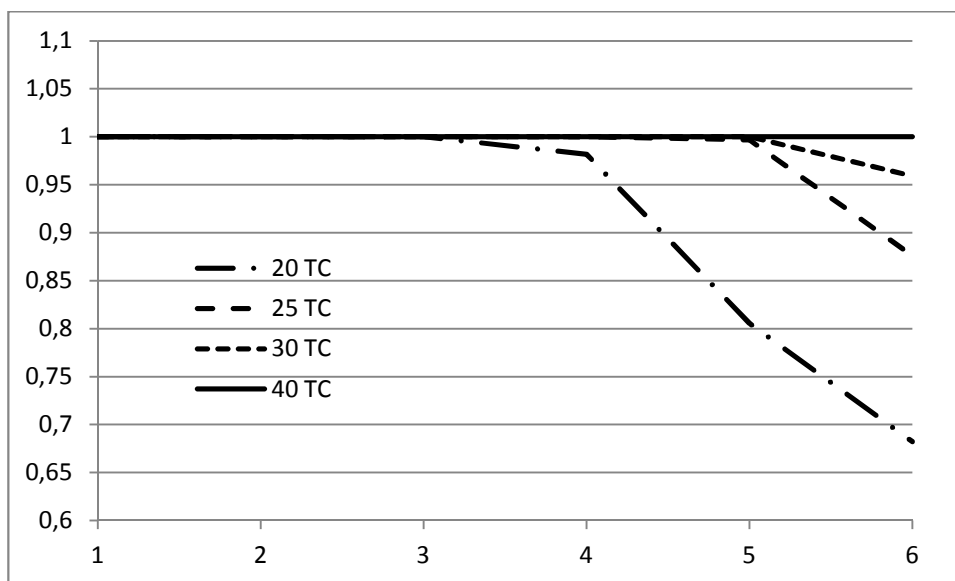
- 1) время моделирования;
- 2) количество автомобилей;
- 3) скорость движения с грузом;
- 4) продолжительность восстановительного ремонта.

В качестве исследуемой реакции взято среднее количество автомобилей в резерве. Очевидно, что при неограниченном времени моделирования все автомобили перейдут в состояние ремонта (устареют).

При увеличении количества ТС результаты моделирования соответствуют ожиданиям (рис. 5, 6).



**Рис. 5. Процент ТС, находящихся в резерве на момент окончания моделирования, в зависимости от общего количества ТС и продолжительности моделирования (мес.)**  
**Fig. 5. Percentage of vehicles in reserve at the end of the simulation, depending on the total number of vehicles and the duration of the simulation (months)**



**Рис. 6. Процент выполнения плана перевозок в зависимости от общего количества ТС и продолжительности моделирования (мес.)**  
**Fig. 6. Percentage of transport plan execution, depending on total number of vehicles and duration of simulation (months)**

Очевидно, что чем больше ТС в парке, тем меньше они нагружены и вероятность поломки каждого ТС меньше. Поэтому парк из 20 ТС справляется с перевозками только в течение 4 мес., после чего все ТС уходят в ремонт. Парк из 40 ТС справляется с перевозками на протяжении всех 6 мес.

При увеличении скорости движения с грузом ТС должно быстрее возвращаться в резерв, то есть в резерве должно становиться больше машин. Поскольку время собственно перевозки составляет незначительную долю от общего времени жизни ТС (включающего также ожидание в резерве, подготовку, нулевой пробег, обратный пробег, время ремонта), то и эффект этот невелик, хотя выражен вполне отчетливо (рис. 7).

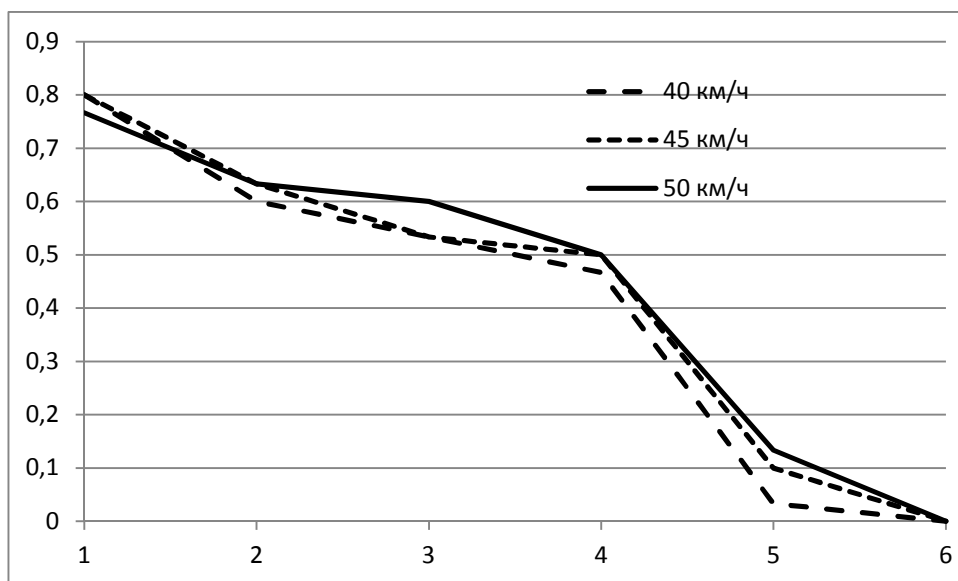


Рис. 7. Зависимость количества ТС в резерве на момент окончания моделирования от скорости движения с грузом и продолжительности моделирования (мес.)  
Fig. 7. Dependence of the number of vehicles in reserve at the moment of simulation termination on speed of movement with load and duration of simulation (months)

Увеличение времени ремонта сказывается тогда, когда в ремонте находится уже значительная часть автопарка (рис. 8).

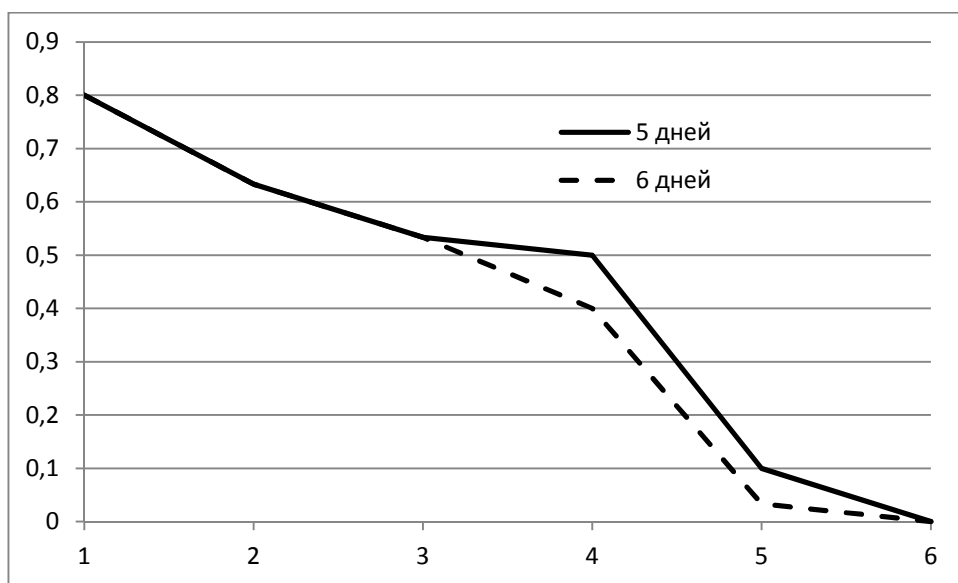


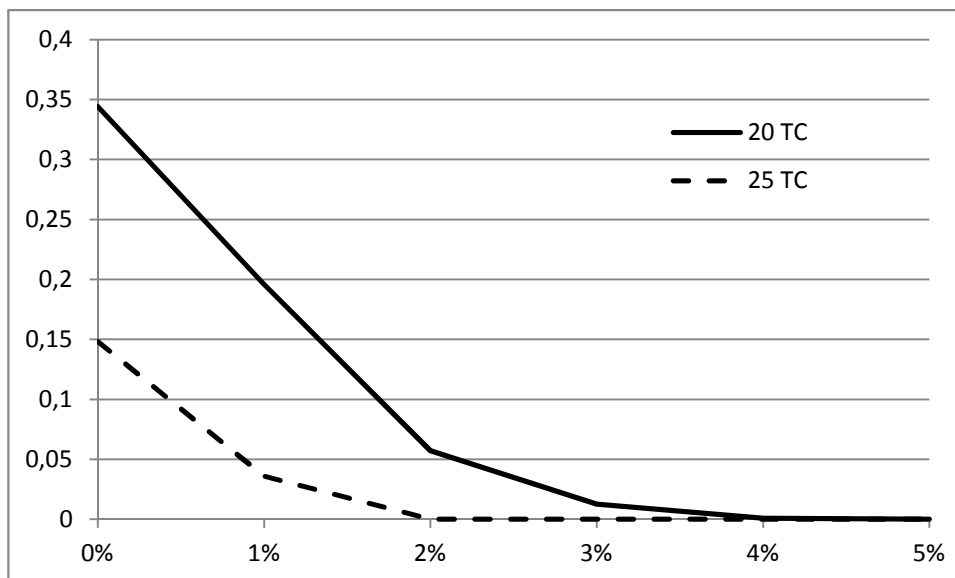
Рис. 8. Зависимость количества ТС в резерве на момент окончания моделирования от продолжительности восстановительного ремонта (дней) и моделирования (мес.)  
Fig. 8. Dependence of the number of vehicles in reserve at the moment of simulation completion on the duration of repair (days) and simulation (months)

Таким образом, проверка адекватности модели показала, что с ее помощью можно получить ожидаемые результаты, не противоречащие здравому смыслу. Следовательно, модель может использоваться для поддержки принятия решений по управлению ремонтными затратами с учетом последствий в смысле выполнения заявок на перевозки.

#### Исследование влияния восстановления вследствие ремонтов

Исследуем с помощью модели, как выполнение перевозок зависит от восстановления готовности в ходе ремонта. Для автопарка в 20 и 25 ТС получили следующие результаты (рис. 9).



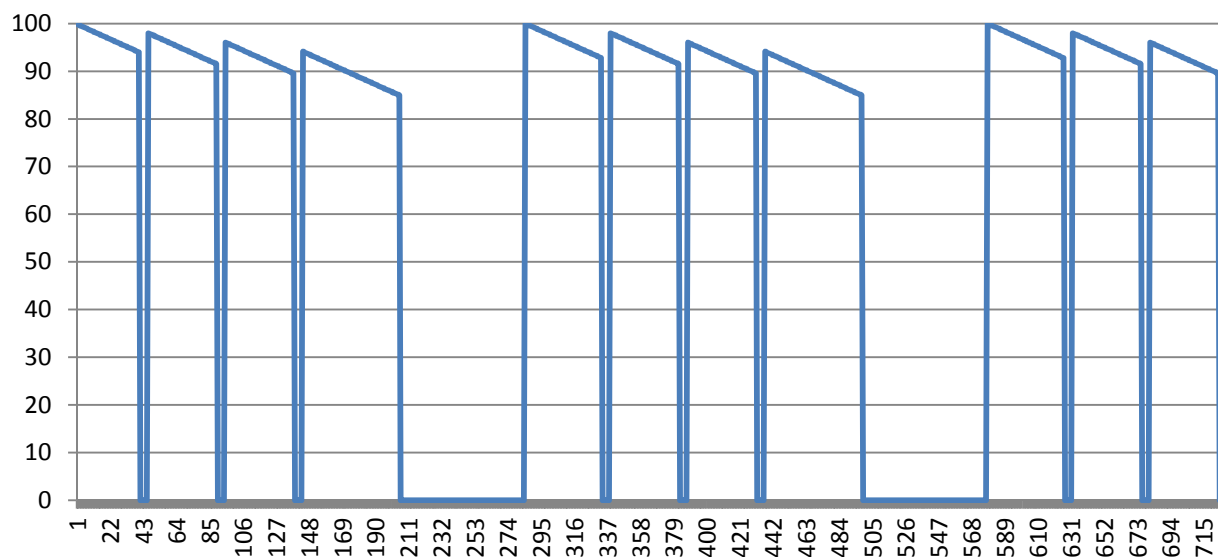


**Рис. 9. Итоговое невыполнение плана перевозок в зависимости от степени восстановления технической готовности ТС в ходе ремонта**  
**Fig. 9. Total non-completion of the transport plan, depending on the degree of recovery of vehicles during repairs**

Очевидно, что зависимость имеет нелинейный характер и при росте качества ремонтов асимптотически стремится к нулю (то есть выполнению всех поступивших заявок на перевозки). Как указано выше, повышение качества ремонтов естественным образом скажется на росте эксплуатационных затрат по разным статьям расходов, в том числе непосредственных расходов на ремонт.

Методика идентификации степени восстановления технической готовности вследствие ремонта совершенно идентична описанной в [10] и сводится к определению изменений коэффициентов тренда ТС. Экономические модели, позволяющие оценить финансовые последствия неполного выполнения поступивших заявок или изменений в ресурсном обеспечении ремонтов, очевидны и несложны.

Таким образом, при неполном восстановлении технической готовности в ходе текущих ремонтов и более полном – при капитальном агрегатном ремонте, занимающем большее время, можно ожидать примерно следующий вид тренда готовности конкретного ТС (рис. 10).



**Рис. 10. Примерный тренд изменения технической готовности ТС в результате последовательности текущих и агрегатных ремонтов (ось ординат в условных единицах времени)**  
**Fig. 10. Approximate trend of change of technical availability of vehicles as a result of sequence of current and aggregate repairs (axis ordinate in conventional units of time)**

Выбор вида ремонта, следовательно, может вести как к уменьшению затрат (текущий, компонентный ремонт) и времени ремонта, так и к повышению технической готовности ТС за счет более дорогого и долгого капитального ремонта.

### Заключение

Таким образом, поставленную задачу разработки модельной основы автотранспортного предприятия для использования в составе СППР можно считать решенной. Построенная модель показывает адекватную чувствительность к изменению факторов и близость результатов к ожидаемым, а следовательно, может использоваться как модуль СППР после оснащения данными конкретного предприятия.

### Литература

1. Akbaba, Ö. *The Effects of Reengineering, Organizational Climate and Psychological Capital on the Firm Performance* / Ö. Akbaba, E. Altındağ // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2016. – Vol. 235. – P. 320–331. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.11.038

2. Рыбалов, Ю.В. Автоматизированная информационно-аналитическая система по искусственным сооружениям на автомобильных дорогах / Ю.В. Рыбалов // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. – 2015. – № 2. – С. 127–132.

3. Горяев, Н.К. Транспортный аудит как основной инструмент оценки эффективности перевозок / Н.К. Горяев // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2012. – № 44. – С. 183–184.

4. *Invest Approach to the Transportation Services Cost Formation* / A. Halkin, V. Skrypin, E. Kush et al. // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 178. – P. 435–442. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.086

5. Постановка задачи определения технической готовности подвижного состава автотранспортного предприятия / Х.С. Салих, С.Я. Егоров, А.В. Затонский, М.Н. Фелькер // *Современная наука. Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. – 2020. – № 2. – С. 88–94.

6. *Acquiring insights into infrastructure repair policy using discrete choice models* / Y. Qiao, T.U. Saeed, S. Chen et al. // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2018. – Vol. 113. – P. 491–508. DOI: 10.1016/j.tra.2018.04.020

7. Затонский, А.В. Внешние связи информационной модели системы управления техническим состоянием оборудования / А.В. Затонский, В.Ф. Беккер, П.В. Плехов // *Современные наукоемкие технологии*. – 2009. – № 7. – С. 78–79.

8. Li, Z. *A deep learning driven method for fault classification and degradation assessment in mechanical equipment* / Z. Li, Y. Wang, K. Wang // *Computers in Industry*. – 2019. – Vol. 104. – P. 1–10. DOI: 10.1016/j.compind.2018.07.002

9. *Moving objects control under uncertainty* / I.S. Kobersy, D.V. Shkurkin, A.V. Zatonskiy et al. // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. – Т. 11, № 5. – С. 2830–2834.

10. Плехов, П.В. Оценка состояния технологического оборудования по модели жизненного цикла / П.В. Плехов, А.С. Латышева // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2009. – № 2 (91). – С. 138–140.

11. ГОСТ Р-03112194-0376–98. Методика оценки остаточной стоимости транспортных средств с учетом технического состояния (утв. Минтранс РФ 10.12.98).

12. Егоров, С.Я. Методика расчета нижней оценки стоимости соединений в задачах размещения промышленных объектов / С.Я. Егоров // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2006. – Т. 12, № 4-2. – С. 1191–1199.

13. Алиев, Т.И. Погрешности моделирования высоконагруженных систем в GPSS WORLD / Т.И. Алиев // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2013. – № 1 (83). – С. 70–75.

14. Vondra, T. *Cloud autoscaling simulation based on queueing network model* / T. Vondra, J. Šedivý // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2017. – Vol. 70. – P. 83–100. DOI: 10.1016/j.simpat.2016.10.005

15. Затонский, А.В. Разработка объектных средств имитационного и многоагентного моделирования производственных процессов / А.В. Затонский, В.Н. Уфимцева // *Вестник Астра-*

**Егоров Сергей Яковлевич**, д-р техн. наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов; egorovsy@yandex.ru.

**Салих Хайдер Сабах**, соискатель ученой степени кандидата наук, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов.

**Затонский Андрей Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники; avz@bfpstu.ru.

*Поступила в редакцию 20 января 2020 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr200202

## QUEUE MODEL OF TECHNICAL READINESS OF LARGE CAR FLEET

**S. Ya. Egorov**<sup>1</sup>, egorovsy@yandex.ru,

**Salih Hayder Sabah**<sup>1</sup>,

**A. V. Zatonsky**<sup>2</sup>, avz@bfpstu.ru

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation,

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russian Federation

**Introduction.** A making decisions about the volume of vehicle repairs after breakdowns is based on the minimum cost of repairs. However, this can lead to a decrease in the technical readiness of the enterprise as a whole, non-fulfillment of applications for transportation and economic damage. To calculate the required amount of repair work, leading to a sufficient increase in the technical readiness of the vehicle, a model of the enterprise's activity is needed, which allows calculating the consequences of a particular volume of repair work with respect to the fulfillment of transportation requests. **Aim.** A development of a stochastic queue model of the activity of a truck enterprise, taking into account a decrease in the technical readiness of vehicles during operation. **Materials and methods.** The analysis of the structure of the costs of operating vehicles, including repair costs. The structure of the simulation model, including the full life cycle of transportation and repair work, is substantiated. The assumptions inherent in the working conditions of a large motor transport enterprise are adopted. The model is implemented in the GPSS language. The technical availability of an individual vehicle is approximated by a piecewise linear function. The information on the modeling procedure is given. **Results.** The adequacy of the simulation results was checked when changing factors leading to obvious consequences: speed of vehicles, number of vehicles in the fleet, time of repair work. Consistency of results is shown. The possibility of increasing the implementation of the system of applications for transportation through more comprehensive repair work has been investigated. An asymptotic dependence of fleet availability as a whole on the degree of recovery of vehicles as a result of repairs was obtained. **Conclusion.** The model is developed can be used as a module of a decision support system for managing a motor transport enterprise.

*Keywords: repair, freight transport, simulation, technical readiness.*

### References

1. Akbaba Ö., Altındağ E. The Effects of Reengineering, Organizational Climate and Psychological Capital on the Firm Performance. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2016, vol. 235, pp. 320–331. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.11.038

2. Rybalov Yu.V. [Automated Information and Analytical System for Artificial Structures on Roads]. *CAD & GIS for Roads*, 2015, vol. 2, pp. 127–132. (in Russ.)
3. Gorjaev N.K. [Transport Audit as the Main Tool for Evaluating Transportation Efficiency]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economy and Management*, 2012, vol. 44, pp. 183–184. (in Russ.)
4. Halkin A., Skrypin V., Kush E. et al. Invest Approach to the Transportation Services Cost Formation. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 178, pp. 435–442. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.086
5. Salikh H.S., Egorov S.Ya., Zatonskiy A.V., Fel'ker M.N. [Statement of the Problem of Determining the Technical Readiness of Rolling Stock of a Motor Transport Enterprise]. *Modern Science. Current Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2020, vol. 2, pp. 88–94. (in Russ.)
6. Qiao Y., Saeed T.U., Chen S. et al. Acquiring insights into infrastructure repair policy using discrete choice models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, vol. 113, pp. 491–508. DOI: 10.1016/j.tra.2018.04.020
7. Zatonskiy A.V., Bekker V.F., Plekhov P.V. [External Relations of the Information Model of the Equipment Technical Condition Management System]. *Modern High Technologies*, 2009, vol. 7, pp. 78–79. (in Russ.)
8. Li Z., Wang Y., Wang K. A Deep Learning Driven Method for Fault Classification and Degradation Assessment in Mechanical Equipment. *Computers in Industry*, 2019, vol. 104, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.compind.2018.07.002
9. Kobersy I.S., Shkurkin D.V., Zatonskiy A.V., Volodina Yu.I., Safyanova T.V. Moving Objects Control under Uncertainty. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 2830–2834.
10. Plekhov P.V., Latysheva A.S. [Assessment of the Status of Technological Equipment According to the Life Cycle Model]. *News of SFU. Technical Science*, 2009, vol. 91, pp. 138–140. (in Russ.)
11. GOST R-03112194-0376–98. *Metodika otsenki ostatochnoy stoimosti transportnykh sredstv s uchetom tekhnicheskogo sostoyaniya* [State Standard R-03112194-0376–98. Procedure for Assessing the Residual Value of Vehicles Based on Technical Condition].
12. Egorov S. Ya. [Methodology for Calculating the Lower Cost Estimate of Compounds in the Problems of Industrial Facilities Location]. *Bulletin of Tambov Technical State University*, 2006, vol. 12, no. 4-2, pp. 1191–1199. (in Russ.)
13. Aliev T.I. [Errors of Simulation of Highly Loaded Systems in GPSS World]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, vol. 83, pp. 70–75. (in Russ.)
14. Vondra T., Šedivý J. Cloud Autoscaling Simulation Based on Queueing Network Model. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 2017, vol. 70, pp. 83–100. DOI: 10.1016/j.simpat.2016.10.005
15. Zatonskiy A.V., Ufimtseva V.N. [Design of Object Oriented Software to Multi-agent Modeling of Enterprise Processes]. *Journal of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2018, vol. 4, pp. 56–62. (in Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2018-4-56-62

Received 20 January 2020

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Егоров, С.Я. Имитационная модель технической готовности крупного автопарка / С.Я. Егоров, Салих Хайдер Сабах, А.В. Затонский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 14–25. DOI: 10.14529/ctcr200202

#### FOR CITATION

Egorov S.Ya., Salih Hayder Sabah, Zatonskiy A.V. Queue Model of Technical Readiness of Large Car Fleet. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 14–25. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200202