

УДК 629.3.083

© И. О. Черняев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: chernyaev@rambler.ru

© В. В. Верхорубов, канд. техн. наук, доцент
(Вологодский государственный университет,
Вологда, Россия)
E-mail: sb1200s@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-5-88-96

© I. O. Chernyaev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: chernyaev@rambler.ru

© V. V. Verhorubov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Vologda State University
Vologda, Russia)
E-mail: sb1200s@rambler.ru

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ С ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ СЕРВИСНОГО ИНТЕРВАЛА

METHODOLOGY OF SUBSTANTIATING THE PROGRAM ON MAINTENANCE OF MOTOR VEHICLES IN THE WORKABILITY ASSURANCE SYSTEMS ACCOUNTING FOR INDIVIDUAL CORRECTION OF THE SERVICE INTERVAL

Рассматриваются задачи обоснования параметров производственно-технических баз автопредприятий в условиях применения систем технического обслуживания с индивидуальной коррекцией сервисного интервала. Показано, что применение традиционных методик технологического расчета в данном случае может привести к снижению эффективности эксплуатации подвижного состава по критериям надежности и, как следствие, к снижению экономической эффективности. Предложено рассматривать заявки на техническое обслуживание от парка транспортных средств как поток требований, соответствующий «закономерностям третьего вида». На основе этого предложена методика, позволяющая выполнять расчет программы по техническому обслуживанию в системах с индивидуальной коррекцией сервисного интервала, в том числе с заданной вероятностью выполнения. Выводы подтверждены анализом статистических данных реального предприятия.

Ключевые слова: техническое обслуживание автомобилей, гибкие системы технического обслуживания, производственно-технологическая инфраструктура предприятий автомобильного транспорта.

The article considers the tasks of substantiating the parameters of the production and technical bases of automobile enterprises in the conditions of using maintenance systems with individual correction of the service interval. It is shown that the use of traditional methods of technological calculation in this case can lead to a decrease in the efficiency of rolling stock operation by reliability criteria and, as a consequence, to a decrease in economic efficiency. The authors propose to consider maintenance requests from the fleet of vehicles as a stream of requirements corresponding to the «patterns of the third type». Based on this, a technique is proposed that allows calculating the maintenance program in systems with individual correction of the service interval, including with a given probability of execution. The study conclusions are confirmed by the analysis of statistical data of a really existing enterprise.

Keywords: car maintenance, flexible maintenance systems, production and technological infrastructure of automobile transport enterprises.

Введение

Современный уровень развития конструкций автотранспортных средств (АТС) и информационных технологий обуслови-

вает переход на более эффективные, по сравнению с планово-предупредительными, адаптивные (индивидуальные) системы технического обслуживания с так называемыми

мым «плавающим» сервисным интервалом [1, 2, 3].

В данных системах, основанных на непрерывном контроле параметров, характеризующих эксплуатацию АТС и их техническое состояние [4, 5], индивидуально для каждого АТС определяется текущий сервисный интервал — интервал времени или наработка с момента предыдущего выполненного технического обслуживания до момента, в который необходимо выполнение следующего технического обслуживания. Очевидно, что сервисный интервал в таких системах является непостоянной величиной даже для одного АТС: определяемые с учетом текущих особенностей эксплуатации два последовательных сервисных интервала могут различаться.

Для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту АТС формируется производственно-техническая база (ПТБ). Основными параметрами, характеризующими ПТБ, являются количество постов по ТО и Р, количество персонала, количество производственно-технологического оборудования и размер производственных площадей, необходимых для размещения ПТБ. Нерациональное обоснование параметров ПТБ может привести либо к перерасходу средств на ее формирование и простаиванию производственных мощностей без загрузки, либо к недостаточному количеству производственных мощностей, простаиванию АТС в ожидании ТО и Р, снижению коэффициента технической готовности. В любом случае, учитывая существенные затраты на формирование ПТБ, нерациональное обоснование ее параметров приведет к значительному снижению экономического эффекта деятельности предприятия.

Для обоснования параметров ПТБ в настоящее время продолжает применяться ряд методик, приведенных в работах, считающихся в области технической эксплуатации фундаментальными [6, 7]. Однако указанные методики сформированы для исполь-

зования в условиях реализации планово-предупредительных систем ТО, в которых сервисный интервал представляет собой постоянную периодичность технического обслуживания (или его отдельных видов). Таким образом, их применение в условиях развития и внедрения адаптивных (индивидуальных) систем ТО становится ограниченным, способным вызвать ошибки в обосновании параметров ПТБ и, как показано выше, в конечном итоге — существенное снижение экономической эффективности автопредприятий.

Варианты совершенствования указанных методик предполагают некоторую вариацию исходных данных (значений среднесуточного пробега, времени простоя в техническом обслуживании и ремонте) [8], но также используют постоянную периодичность технического обслуживания. Другие варианты, основанные на теории массового обслуживания [9], предназначены скорее для оптимизации уже существующих ПТБ с учетом особенностей их работы и не могут быть применены в полном объеме для первоначального обоснования параметров ПТБ в условиях непостоянства сервисного интервала. Дальнейшая коррекция «классических» методик обоснования параметров ПТБ продолжает оставаться актуальной.

Вместе с тем ключевым параметром, являющимся основной для расчета ПТБ в указанных методиках, является годовая производственная программа по техническому обслуживанию, представляющая собой количество случаев выполнения работ по ТО в течение календарного года [6]. Очевидно, что в условиях постоянства сервисного интервала (периодичности ТО) она определяется по элементарной логике на основе частного от годового пробега и периодичности ТО. В условиях непостоянства сервисного интервала такой подход становится в общем случае невозможным. Таким образом, задача коррекции «классических» методик обосно-

вания параметров ПТБ может быть сведена к формированию методики обоснования программы по техническому обслуживанию АТС в системах ТО с индивидуальной коррекцией сервисного интервала.

Методы

Методики, применяемые для обоснования параметров ПТБ, предполагают использование одной из двух моделей: модели, характерной для автотранспортных предприятий (АТП с собственным подвижным составом), либо модели, характерной для станций технического обслуживания (СТО, оказывающей услуги по ТО и Р для стороннего автотранспорта) [6, 7].

При выборе модели расчета для ее дальнейшей адаптации с целью использования в адаптивных системах ТО (с индивидуальной коррекцией сервисного интервала) необходимо учитывать особенности реализации таких систем. Так, для их реализации в общем случае требуется стороннее выполнение функций по хранению и обработке информации, полученной в ходе непрерывного контроля. Такие функции могут предоставлять либо производители АТС, либо сторонние разработчики.

Следовательно, адаптивные системы ТО могут быть реализованы преимущественно на дилерских СТО, которые по дилерскому договору будут иметь доступ ко всем инструментам аналитики данных. В случае АТП выполнение мероприятий по поддержанию технического состояния АТС в рамках адаптивных систем ТО может быть реализовано как передача работ по техническому обслуживанию и ремонту АТС на аутсорсинг тем же дилерским СТО либо на собственной ПТБ или с привлечением сторонних организаций, предоставляющих услуги по хранению и обработке данных непрерывного контроля, или полностью своими силами.

Таким образом, реализация адаптивных систем ТО на любых типах автопредприятий

будет характеризоваться следующими особенностями:

- подвижной состав закреплен за предприятием, выполняющим его техническое обслуживание и ремонт;
- имеется информация о количестве и характеристиках подвижного состава, а также о режиме его эксплуатации (днях работы, среднесуточных пробегах, базовых сервисных интервалах, трудоемкостях выполнения работ и пр.);
- сервисный интервал является не детерминированной, а случайной величиной, индивидуальной для каждого АТС, но изменяющейся в известных границах.

С учетом этих особенностей при формировании методики обоснования параметров ПТБ для предприятий, реализующих адаптивные системы ТО, целесообразно принять за основу смешанный вариант методик для АТП и СТО, в котором предполагается максимальная информированность о количестве и характеристиках подвижного состава, но поток требований для выполнения технического обслуживания рассматривается не как детерминированный, а как стохастический, но формируемый по определенным правилам.

Результаты

В «классических» методиках технологического расчета ПТБ (а также в расчете ПТБ на основе ТМО) для обоснования производственной программы N_r используется периодичность технического обслуживания, являющаяся постоянной.

В адаптивных системах ТО его периодичность представляет собой сервисный интервал, который индивидуально корректируется для каждого АТС. В таком случае сервисный интервал $L_{ТО}$ можно рассматривать как случайную величину. При рассмотрении парка АТС, который составляют $A_{сн}$ единиц подвижного состава, для иллюстрации возникновения потока требований на техническое обслуживание можно предложить схе-

му, приведенную на рис. 1 и сформированную на основе полученных в 2019–2022 гг. от дилерского центра ООО «ВологдаСкан» (г. Вологда, ул. Гагарина, д. 83А) данных об обслуживании автомобилей Scania, для которых применялся вариант адаптивной системы ТО с фирменным названием Scania Flex.

На рис. 1 видны вариации сервисного интервала как для различных транспортных средств, так и для одного транспортного средства, например, для АТС № 19 $L_{\text{ТО}01}^{19} \neq L_{\text{ТО}12}^{19} \neq L_{\text{ТО}23}^{19}$. Выполняемые в разные моменты времени для разных АТС технические обслуживания составляют общий поток требований на выполнение ТО (рис. 1,

горизонтальная ось внизу диаграммы), который является входящим потоком требований для соответствующего подразделения ПТБ и характеризуется следующими особенностями:

- индивидуально скорректированные сервисные интервалы случайны для каждого АТС;
- данные интервалы независимы у разных автомобилей;
- при выполнении технического обслуживания соответствующему подразделению ПТБ безразлично, от какого АТС поступает требование и какое оно по счету.

Данные особенности потока требований на выполнение ТО полностью соответству-

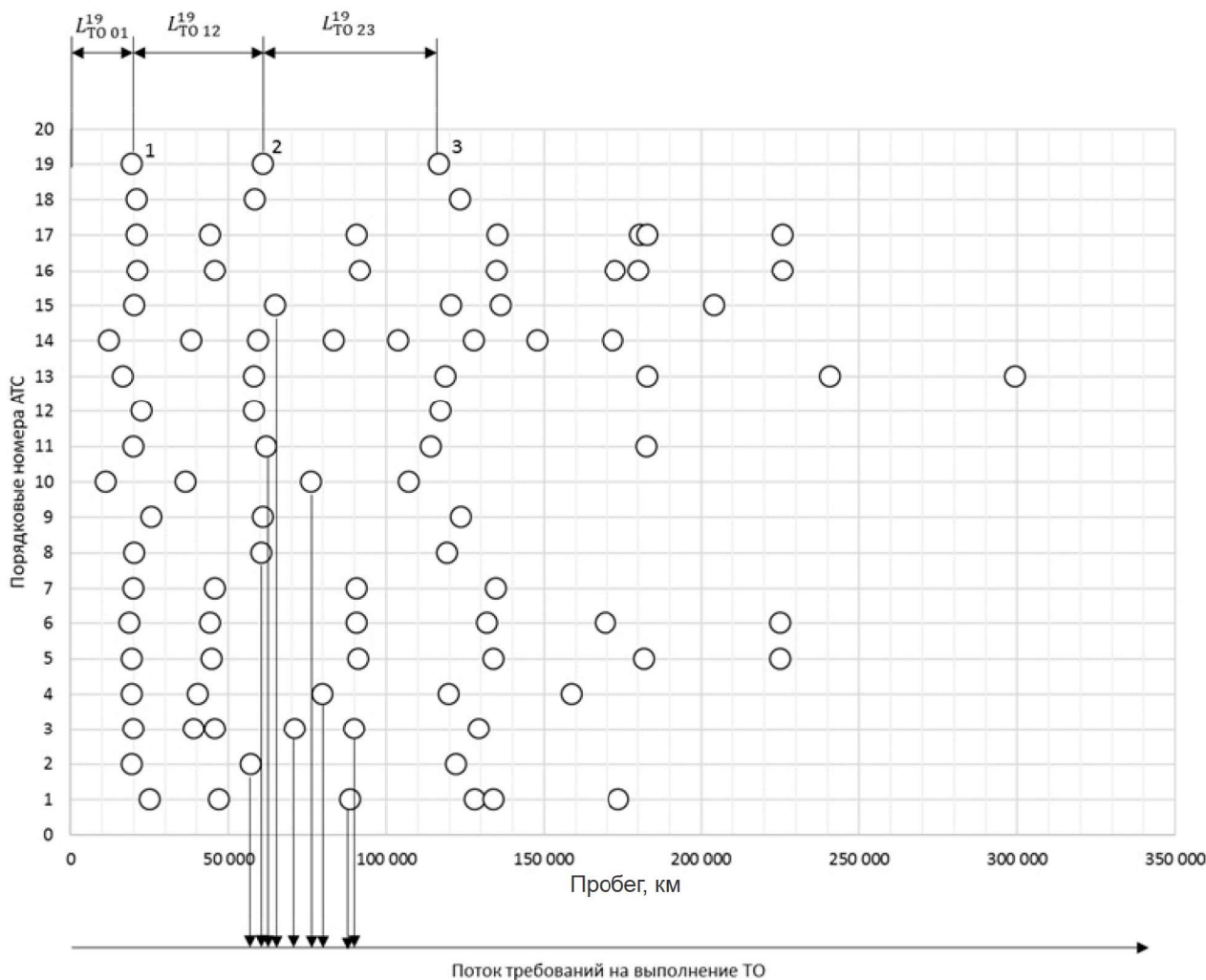


Рис. 1. Формирование потока требований на выполнение технического обслуживания в адаптивных системах ТО

ют рассматриваемым в теории технической эксплуатации автомобилей так называемым закономерностям третьего вида, которые характеризуют процесс восстановления: возникновение заявок на технические воздействия и их выполнение во времени [7].

При этом необходимо учитывать, что так как базовый сервисный интервал для АТС в адаптивных системах ТО является постоянным [1], то для $A_{\text{сп}}$ АТС постоянным будет и средний сервисный интервал между последовательными техническими обслуживаниями:

$$\bar{L}_{\text{ТО}k-1,k} = \frac{1}{A_{\text{сп}}} \sum_{i=1}^{A_{\text{сп}}} \bar{L}_{\text{ТО}i,k-1,k} = \bar{L}_{\text{ТО}} = \text{const.} \quad (1)$$

В связи с этим характеризующий закономерности трестьего вида коэффициент полноты восстановления ресурса η , равный отношению сервисных интервалов между некоторыми техническими обслуживаниями к сервисному интервалу до первого ТО, может быть принят равным единице [7]: $\eta = 1$.

Следует отметить, что в данном случае постоянство среднего сервисного интервала может быть охарактеризовано как допущение, принятое для определенного отрезка периода эксплуатации. С течением времени и со значительным увеличением пробега с начала эксплуатации сервисный интервал может изменяться. Однако обоснование параметров производственной базы производится как раз для определенного отрезка периода эксплуатации, что позволяет говорить о корректности такого допущения.

Остальные параметры, характеризующие закономерности третьего вида, для потока требований на выполнение технического обслуживания будут определяться следующим образом.

Ведущая функция потока заявок на ТО $\Omega_{\text{ТО}}(l)$ будет характеризовать накопленное количество заявок к пробегу l . Для ее расчета может быть использована формула [7]

$$\Omega_{\text{ТО}}(l) = \sum_{k=1}^{\infty} F_{\text{ТО}k}(l), \quad (2)$$

где $F_{\text{ТО}k}$ — вероятность выполнения k -го технического обслуживания на пробеге l .

Параметр потока заявок на ТО $\omega_{\text{ТО}}(l)$ будет представлять собой плотность вероятности выполнения технического обслуживания на пробеге l :

$$\omega_{\text{ТО}}(l) = \frac{d\Omega_{\text{ТО}}(l)}{dl} = \sum_{k=1}^{\infty} f_{\text{ТО}k}(l), \quad (3)$$

где $f_{\text{ТО}k}$ — плотность вероятности выполнения k -го технического обслуживания на пробеге l .

Параметр потока заявок на ТО будет представлять собой относительное число заявок на ТО, приходящееся на единицу пробега. На рис. 2 приведены результаты определения параметра потока заявок на ТО в зависимости от пробега АТС, рассчитанные для того же массива данных, который был использован для построения диаграммы, представленной на рис. 1.

Как видно, характер изменения параметра потока заявок на ТО полностью соответствует случаю изменения данного параметра, определенного для потока отказов с постоянным восстановлением ресурса [7, 10, 11] (в рассматриваемом случае аналогом является поток отказов с полным восстановлением ресурса, так как выше показано, что для потока заявок на ТО $L_{\text{ТО}} = \text{const}$ и $\eta = 1$).

В рассматриваемом примере для 19 АТС средний сервисный интервал составил 38 513 км $\approx$ 40 000 км. Рис. 2 подтверждает, что стабилизация параметра потока заявок на ТО произошла на уровне $100\,000 / 38\,513 \dots 40\,000 = 2,6 \dots 2,5$ заявки на ТО на 100 тыс. км пробега.

Таким образом, основываясь на приведенных рассуждениях и принимая, что средний сервисный интервал в общем случае будет соответствовать базовому $\bar{L}_{\text{ТО}} = L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}$, возможно предложить следующую формулу для усредненной оценки годовой производственной программы по техническому обслуживанию для адаптивных систем ТО

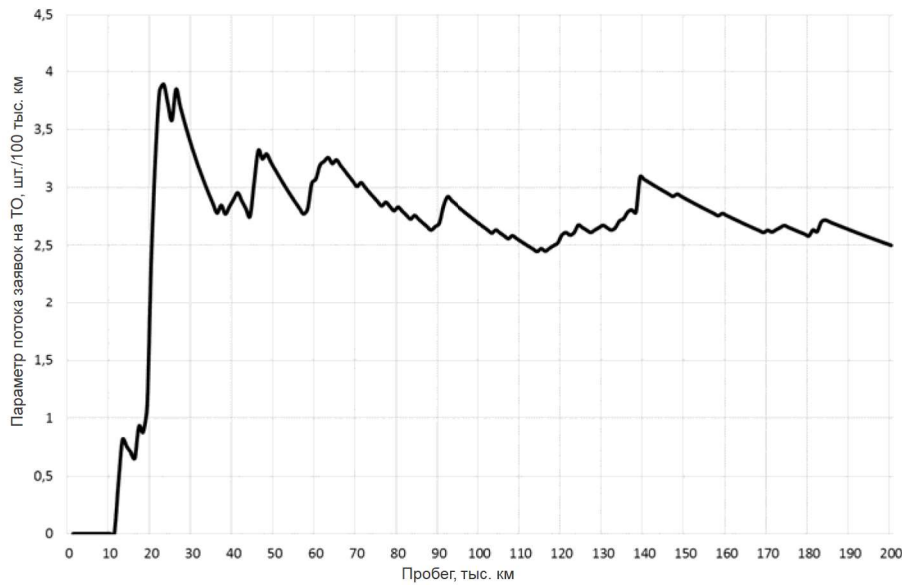


Рис. 2. Результат расчета параметра потока заявок на техническое обслуживание

(с индивидуальной коррекцией сервисного интервала):

$$N_{\Gamma} = \frac{A_{\text{сп}} L_{\Gamma}}{L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}}. \quad (4)$$

Однако формула (4) дает только приближенную усредненную оценку и может быть использована для предварительных оценочных расчетов.

Для того чтобы создать гарантии выполнения работ по ТО, целесообразно знать интервальную оценку годовой производственной программы, которая позволит определить интервалы значений параметров ПТБ и, исходя из условий и требований к качеству работ по проведению технического обслуживания, выбрать или минимально допустимые значения, или максимальные, гарантирующие полное выполнение работ по ТО.

Для интервальной оценки возможно использовать ведущую функцию потока заявок на ТО $\Omega_{\text{ТО}}(l)$, характеризующую накопленное количество заявок к пробегу l . Тогда в соответствии со способом интервальной оценки $\Omega_{\text{ТО}}(l)$, предложенным Е. С. Кузнецовым [7], для годовой производственной программы по техническому обслуживанию можно предложить формулу

$$N_{\Gamma} = \Omega_{\text{ТО}}(L_{\Gamma}) = A_{\text{сп}} \left(\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}} \pm z_{\alpha} \sigma \sqrt{\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}}} \right), \quad (5)$$

где L_{Γ} — среднегодовой пробег АТС, км; $L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}$ — базовое значение сервисного интервала, км; σ — среднеквадратичное отклонение сервисного интервала; $A_{\text{сп}}$ — списочное количество обслуживаемого подвижного состава; z_{α} — нормированное отклонение для нормального закона распределения при условии, что количество заявок на ТО с вероятностью $1-\alpha$ будет заключено в данных пределах.

Для рассматриваемого примера $L_{\text{ТО}}^{\text{баз}} = 40$ тыс. км, $\sigma = 15,6$ тыс. км. Пусть среднегодовой пробег одного АТС составит 300 тыс. км. Тогда рассчитанная по формуле (5) годовая производственная программа по ТО для 19 АТС с вероятностью 95 % будет иметь значения 143 ± 34 заявки. Для гарантированного выполнения производственной программы по ТО с вероятностью 95 % необходимо в расчетах параметров ПТБ использовать верхнюю границу полученного интервала, т. е. 177 заявок.

Для сравнения, усредненная оценка по формуле (4) составляет 142 заявки. Она гарантирует выполнение программы по техни-

ческому обслуживанию с вероятностью 50 %, что подтверждается нахождением по справочным таблицам соответствующего значения z_α из формулы (5) при $N_T = 142$ и соответствующей этому значению вероятности.

В завершение следует отметить, что применение формул (4) и (5) предполагает соблюдение двух условий [7].

Первое состоит в том, что аргумент функции $\Omega_{ТО}(l)$ должен принимать достаточно большие значения, то есть поток заявок на ТО должен стабилизироваться. При интенсивной эксплуатации, когда $L_T \gg L_{ТО}^{баз}$, данное условие выполняется. Как видно, в рассматриваемом примере (см. рис. 2) параметр потока заявок стабилизируется уже на 80–100 тыс. км пробега (при годовом пробеге 300 тыс. км и базовом сервисном интервале 40 тыс. км). В связи с этим для нормальной интенсивной эксплуатации АТС первое условие можно считать выполняемым.

Вторым условием является близость распределения индивидуально скорректированных сервисных интервалов к нормальному.

Данное условие можно признать также выполняемым, так как величина сервисного интервала, представляющая собой пробег до технического обслуживания, подвержена влиянию большого числа независимых факторов [7]. Дополнительно в подтверждение

нормальности распределения величин индивидуально скорректированного сервисного интервала на рис. 3 представлены соответствующие диаграммы распределения.

Визуальная проверка подтверждает примерное соответствие законов распределения нормальному. Рассчитанная величина критериев хи-квадрат составила $\chi^2 = 3,33$ для $L_{ТО}^{баз} = 40$ тыс. км и $\chi^2 = 5,42$ для $L_{ТО}^{баз} = 20$ тыс. км, что много меньше 12,6 — критического значения критерия для 6 степеней свободы при уровне значимости 0,05 [12]. Следовательно, анализируемые распределения можно считать соответствующими нормальному.

Выводы

Приведенный анализ результатов выполнения ТО с индивидуальной коррекцией сервисного интервала показал, что для выполняющих данные ТО предприятий формируется поток заявок на техническое обслуживание, соответствующий по своему характеру применяемым в технической эксплуатации автомобилей закономерностям третьего вида.

Применение математического аппарата, описывающего закономерности третьего вида, позволяет предложить формулы (4) и (5) для определения годовой производственной программы по ТО в системах ТО и Р с индивидуальной коррекцией сервисно-

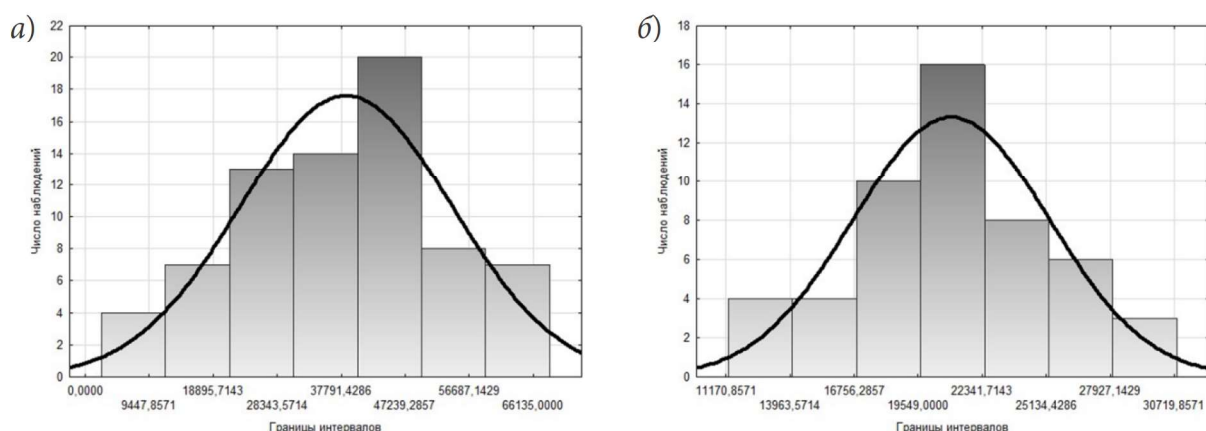


Рис. 3. Проверка нормальности распределения величин индивидуально скорректированного сервисного интервала: а — для $L_{ТО}^{баз} = 40$ тыс. км; б — для $L_{ТО}^{баз} = 20$ тыс. км

го интервала и сформулировать следующую методику их применения:

- по характеристикам эксплуатируемого парка АТС обосновать значения списочного количество АТС в парке $A_{\text{сп}}$ и их среднегодового пробега L_r ;
- с использованием данных сервисной документации определить базовое значение сервисного интервала $L_{\text{ТО}}^{\text{баз}}$;
- по формуле (4) произвести приближенную оценку годовой программы по техническому обслуживанию и ремонту;
- если приближенной оценки программы по ТО недостаточно (ее применение в дальнейших расчетах дает 50-процентную гарантию выполнения работ), то задаться вероятностью α , с которой работы по ТО должны быть выполнены;
- по справочной литературе определить нормированное отклонение z_α для нормального закона распределения при заданной на предыдущем шаге вероятности, а также среднеквадратичное отклонение сервисного интервала σ (по аналогам или с учетом опыта эксплуатации);
- по формуле (5) произвести уточненную оценку годовой программы по техническому обслуживанию и ремонту, которая при использовании в дальнейших расчетах позволит гарантировать ее выполнение с заданной вероятностью.

Данная методика обоснования программы по техническому обслуживанию автотранспортных средств в системах ТО и Р с индивидуальной коррекцией сервисного интервала позволит модифицировать существующие методики обоснования параметров ПТБ автопредприятий и сделать возможным их применение в условиях реализации адаптивных (индивидуальных) систем технического обслуживания.

Библиографический список

1. Черняев И. О. О необходимости и механизме формирования систем технической эксплуатации

автотранспортных средств на основе непрерывного контроля их технического состояния // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 57. С. 167–172.

2. Репин С. В., Рулис К. В., Зазыкин А. В., Крутин С. А. Методология обеспечения работоспособности транспортно-технологических машин и комплексов средствами технической эксплуатации. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 256 с.

3. Зеркин Д. Ш., Цыбакин К. А., Шибанов Е. А. Концепция обеспечения готовности многофункциональной технической системы к применению по назначению на основе формирования индивидуальных моделей технического состояния ее составных частей // Инженерный журнал: наука и инновации. 2021. № 6 (114). С. 1–12.

4. Черняев И. О., Воробьев С. А., Евтюков С. А. Способ оперативной индивидуальной корректировки периодичности технического обслуживания автотранспортных средств // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 2 (79). С. 202–207.

5. Черняев И. О. Способ корректировки периодичности технического обслуживания транспортных средств на основе учета накопленного нагрузочно-го воздействия // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 1 (84). С. 178–187.

6. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1993. 271 с.

7. Кузнецов Е. С., Болдин А. П., Власов В. М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2004.

8. Веревкин Н. И., Черняев И. О., Лаврентьев Е. В. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий как средство повышения безопасности дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2015. № 1 (56). С. 52–55.

9. Суханов С. А., Тахтамышев Х. М., Новиков А. Н. Математические модели функционирования гаражных автосервисов в рыночных условиях // Вестник евразийской науки. 2020. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/36ECVN520.pdf> (дата обращения: 08.08.2023).

10. Краковский Ю. М., Нго З. Д. Вычислительный алгоритм численной оценки параметра потока отказов многокомпонентного оборудования // Вестник ИргТУ. 2015. № 10 (105). С. 16–20.

11. Захаров Н. С., Теньковская С. А. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 2. С. 121–129.

12. Иванов А. П., Иванов А. И., Безяев А. В., Курьянов Е. Н., Банных А. Г., Перфилов К. А., Лукин В. С., Савинов К. Н., Полковникова С. А., Серикова Ю. И., Ма-

лыгин А. Ю. Обзор новых статистических критериев проверки гипотезы нормальности и равномерности распределения данных малых выборок // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 2 (38). С. 33–44.

References

1. Chernyaev I. O. *O neobkhodimosti i mekhanizme formirovaniya sistem tekhnicheskoy ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv na osnove nepreryvnogo kontrolya ikh tekhnicheskogo sostoyaniya* [About necessity and mechanism of forming the systems of motor vehicles' technical operation on the basis of continuous control of their technical condition]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of St. Petersburg State Agrarian University*, 2019, no. 57, pp. 167–172.
2. Repin S. V., Rulis K. V., Zazykin A. V., Krupin S. A. *Metodologiya obespecheniya rabotosposobnosti transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov sredstvami tekhnicheskoy ekspluatatsii* [Methodology of maintenance of serviceability of transport-technological machines and complexes by means of technical operation]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, 256 p.
3. Zerkina D. Sh., Tsybakina K. A., Shibaniy E. A. *Kontseptsiya obespecheniya gotovnosti mnogofunktsional'noy tekhnicheskoy sistemy k primeneniyu po naznacheniyu na osnove formirovaniya individual'nykh modeley tekhnicheskogo sostoyaniya ee sostavnykh chastei* [Concept of ensuring readiness of multifunctional technical system for intended use on the basis of formation of individual models of technical state of its components]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii – Engineering Journal: Science and Innovations*, 2021, no. 6 (114), pp. 1–12.
4. Chernyaev I. O., Vorobey S. A., Evtyukov S. A. *Sposob operativnoy individual'noy korrektsirovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv* [Technique of a prompt individual adjustment of maintenance periodicity of motor vehicles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 2 (79), pp. 202–207.
5. Chernyaev I. O. *Sposob korrektsirovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya transportnykh sredstv na osnove ucheta nakoplennoy nagruzochnoy vozdeystviya* [Method of adjustment of periodicity of maintenance of vehicles on the basis of account of the accumulated load influence]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 1 (84), pp. 178–187.
6. Napol'skiy G. M. *Tekhnologicheskoe proektirovanie avtotransportnykh predpriyatiy i stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya* [Technological design of motor transport enterprises and service stations]. 2-nd ed., revised. Moscow, Transport Publ., 1993, 271 p.
7. Kuznetsov E. S., et al. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley* [Technical operation of automobiles]. 4-th. ed., revised. Moscow, Nauka Publ., 2004.
8. Verevkin N. I., Chernyaev I. O., Lavrent'ev E. V. *Tekhnologicheskoe proektirovanie avtotransportnykh predpriyatiy kak sredstvo povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Technological design of motor transportation enterprises as means of increasing road traffic safety]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike – Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics*, 2015, no. 1 (56), pp. 52–55.
9. Sukhanov S. A., Takhtamyshev Kh. M., Novikov A. N. *Matematicheskie modeli funktsionirovaniya garazhnykh avtoservisov v rynochnykh usloviyakh* [Mathematical models of functioning of garage car services in market conditions]. *Vestnik evraziyskoy nauki – Bulletin of Eurasian Science*, 2020, no. 5. Available at: <https://esj.today/PDF/36ECVN520.pdf> (accessed: 08.08.2023).
10. Krakovskiy Yu. M., Ngo Z. D. *Vychislitel'niy algoritm chislennoy otsenki parametra potoka otkazov mnogokomponentnogo oborudovaniya* [Computational algorithm of numerical estimation of the parameter of failures' flow of the multi-component equipment]. *Vestnik IrGTU – Bulletin of IrSTU*, 2015, no. 10 (105), pp. 16–20.
11. Zakharov N. S., Ten'kovskaya S. A. *Vliyaniye narabotki i vozrasta na potok otkazov avtomobiley* [Influence of running time and age on the failure flow of automobiles]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investments*, 2023, no. 2, pp. 121–129.
12. Ivanov A. P., et al. *Obzor novykh statisticheskikh kriteriev proverki gipotezy normal'nosti i ravnomernosti raspredeleniya dannykh malykh vyborok* [Review of new statistical criteria for testing the hypothesis of normality and uniformity of distribution of small sample data]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem – Reliability and Quality of Complex Systems*, 2022, no. 2 (38), pp. 33–44.