

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-5.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/103TVN517.pdf>

Статья опубликована 17.11.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белов С.А., Тахтамышев Х.М. Оптимизация мощности производственных участков технической службы автотранспортных предприятий с учетом агрегатного метода ремонта // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/103TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 629.113/.115(075.8)

Белов Сергей Александрович

ГАОУ ВО «Невинномысский гуманитарно-технический институт», Россия, Невинномысск¹
Доцент кафедры «Эксплуатации автомобильного транспорта»
Кандидат педагогических наук
E-mail: belovmail@yandex.ru

Тахтамышев Хизир Махмудович

ГАОУ ВО «Невинномысский гуманитарно-технический институт», Россия, Невинномысск
Заведующий кафедрой «Эксплуатации автомобильного транспорта»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: hizirt43@mail.ru

Оптимизация мощности производственных участков технической службы автотранспортных предприятий с учетом агрегатного метода ремонта

Аннотация. Ремонт узлов и агрегатов на производственных участках автотранспортных предприятий целесообразнее производить при устранении нескольких неисправностей одного автомобиля одновременно. В остальных случаях целесообразно применять агрегатный метод ремонта.

Для аппроксимации функционирования отдельных подразделений технической службы без использования оборотных агрегатов наиболее адекватной является математическая модель в виде системы массового обслуживания с ожиданием.

Для участков, которые занимаются только восстановлением узлов и агрегатов с известными интенсивностями заявок, исходные параметры участка аппроксимируются как системы массового обслуживания с отказами.

Если исправного агрегата в оборотном фонде не оказалось, производится экстренное восстановление агрегата и немедленная доставка его к автомобилю. Изменяя мощность ремонтного участка, можно варьировать средним временем оборота агрегатов и, следовательно, величиной оборотного фонда агрегатов.

При известном среднем времени оборота каждого агрегата рассматривается система: оборотный фонд – автомобили на постах технического обслуживания как система массового обслуживания.

¹ 357108, Невинномысск, Бульвар Мира, 17

Оборотный фонд агрегатов представляется как разомкнутая система массового обслуживания с отказами, в которой источниками требований являются автомобили, а аппаратами обслуживания – агрегаты оборотного фонда.

При изменении производительности участка меняется среднее время оборота агрегатов, от которого зависит оптимальное их количество. В свою очередь увеличение мощности участка создает избыточные трудовые ресурсы, которые будут простаивать из-за отсутствия неисправных агрегатов.

Выбор оптимального сочетания числа исполнителей и количества оборотных агрегатов, представляет многопараметрическую задачу с несколькими переменными. Решение ее предлагается путём использования специальных методов оптимизации.

Ключевые слова: оптимизация; агрегатный метод; массовое обслуживание; посты; уровень загрузки; мощность; оборотный фонд; очередь; техническое обслуживание; ремонт; автомобили; динамическое программирование

Управление производством представляет собой сложную задачу, от успешности которой зависит судьба организации [1, 2, 7, 10] со сложной структурой управления, каковыми являются автотранспортные предприятия (АТП).

Известно, что ремонт узлов и агрегатов на производственных участках автотранспортных предприятий целесообразнее производить при устранении нескольких неисправностей одного автомобиля одновременно, так как в этом случае продолжительность простоев автомобилей на постах зоны ремонта при выполнении монтажно-демонтажных работ превышает продолжительность времени восстановления работоспособности снятых элементов. В остальных случаях целесообразно применять агрегатный метод ремонта.

Однако и в номенклатуре работ, выполняемых производственными участками, могут быть ремонтные воздействия (замена деталей, регулировка систем и т. п.), не требующие замены узлов и агрегатов (снятия с автомобиля). Наряду с этим целый ряд восстановительных операций как сварка, кузнечные работы, крепежные работы, правка и т. п. производятся непосредственно на автомобиле.

Кроме перечисленных видов воздействий зачастую трудоемкость ремонта систем, узлов и агрегатов значительно ниже трудоемкости их замен, а поэтому восстановление их работоспособности предпочтительнее без снятия с автомобиля.

Таким образом, функционирование отдельных подразделений технической службы без использования оборотных агрегатов является основным технологически оправданным методом поддержания технической готовности парков автомобилей. Для таких подразделений наиболее адекватной является математическая модель в виде системы массового обслуживания (СМО) с ожиданием [1, 3, 5, 6, 8, 10].

Критерием оптимальности такой системы служит выражение:

$$MC_k \cdot C_A + n_k \cdot C_n \rightarrow \min, \quad (1)$$

где: MC_k и n_k – соответственно, количество автомобилей на k -ом участке и число исполнителей k -го участка.

Если часть неисправных автомобилей установлена в зоне ремонта, то они подлежат первоочередному обслуживанию, так как к издержкам от простоя автомобилей добавляются потери от простоя постов с ремонтным персоналом. Вместе с тем, необходимо учитывать высокую вероятность выполнения одновременно ремонтных воздействий и другими

участками, что в итоге приводит к снижению штрафов за несвоевременное выполнение работ данным участком. Для определения количества автомобилей, находящихся в ремонте (в очереди и на постах) необходимо учитывать принятый вариант организации труда рабочих.

В связи с относительно небольшим количеством одновременно работающих на производственных участках, для них следует рекомендовать вариант с полной взаимопомощью рабочих. Поиск оптимальной мощности можно выполнить не методом простого перебора, а аналитическим способом.

Для этого вначале выразим среднее число автомобилей в ремонте MC и запишем

$$\alpha / (n - \alpha) C_A + n \cdot C_n \rightarrow \min \quad (2)$$

Взяв первую производную по n и приравняв ее к нулю, получим выражение для оптимального числа постов (рабочих):

$$n_{\text{opt}} = \alpha + \sqrt{\alpha \cdot S} \quad (3)$$

где: $S = C_A / C_n$ – соотношение стоимостей простоев автомобилей и постов, руб./ч.

Представляет интерес также определение оптимального уровня загрузки участка, который получается из предыдущего выражения путем замены переменных.

Для этого, разделив обе части предыдущего выражения на n и заменив полученное Ψ на χ^2 , найдем:

$$\chi = \frac{\sqrt{S} - \sqrt{S + 4_n}}{2\sqrt{n}} \quad (4)$$

Произведя обратную замену, определяем:

$$\psi_{\text{opt}} = 1 - \frac{\sqrt{S^2 + 4_n S} - S}{2n} \quad (5)$$

Простота этих выражений, позволяющих вести прямой счет оптимальных показателей участков непосредственного ремонта автомобилей на постах, представляет не только теоретический, но и большой практический интерес, так как дает готовые решения для конкретных предприятий.

Рабочие участков по ремонту узлов и агрегатов, как указывалось выше, осуществляют их восстановление после снятия с автомобиля, а также непосредственно на автомобиле (постовые участковые работы).

Отдельные участки занимаются только восстановлением узлов и агрегатов после доставки их на соответствующие рабочие места.

Рассмотрим математическую модель работы такого участка.

Пусть k -й участок занимается восстановлением N наименований узлов и агрегатов. Причем, невзаимозаменяемые агрегаты одного типа (например, двигатели) считаются различными наименованиями. Трудоемкость каждого j -го агрегата составляет t_j . Если потоки требований поступают на участок с интенсивностями λ_i , то исходные параметры участка как СМО можно считать известными.

Однако, следует еще произвести выбор наиболее адекватной математической модели. Согласно формализованной постановке задачи, участок выступает в роли источника

снабжения, который поставляет в оборотный фонд агрегаты j -го наименования с интенсивностями μ_j . Величина обратная μ_j , есть время оборота агрегата, значение которого существенно больше среднего времени активного ремонта. Очевидно, что такое явление вызвано ожиданием неисправными агрегатами свободного исполнителя, занятого ремонтом агрегатов других наименований.

Если поступило требование на замену i -го агрегата, а неисправного в оборотном фонде не оказалось, производится экстренное восстановление агрегата i -го наименования и немедленная доставка его к автомобилю.

Изменяя мощность ремонтного участка, можно варьировать средним временем оборота агрегатов и, следовательно, величиной оборотного фонда агрегатов.

Вычислим средние значения времени оборота N агрегатов, восстанавливаемых n исполнителями одного участка.

Для этого рассмотрим участок как разомкнутую систему массового обслуживания с ожиданием, в которой источником требований является оборотный фонд агрегатов [5, 8, 9, 10].

Суммарный поток требований, обслуживаемый участком в этом случае равен

$$\lambda_{\lambda, \hat{E}} = \sum_{i=1}^i \lambda_i, \quad (6)$$

а средняя интенсивность восстановления по всей номенклатуре агрегатов определится из выражения

$$v_{A, K} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i \cdot \lambda_i}{\lambda_{A, K}}. \quad (7)$$

Для произвольного или оптимального числа исполнителей n участка при $\alpha_{A, K} = \lambda_{A, K} / v_{A, K}$ находим по известным выражениям теории массового обслуживания длину очереди неисправных агрегатов и свободных исполнителей.

Воспользовавшись выражением для СМО с ожиданием, запишем величину среднего времени ожидания агрегатом начала ремонта:

$$T_n = M_{AK} / \lambda_{A, K}. \quad (8)$$

Распределение среднего времени ожидания t можно произвести по различным законам разделения. Рассмотрим некоторые наиболее возможные из них.

1. Простой в ожидании ремонта одинаков для всех N агрегатов:

$$t_{ож\ i} = T_n. \quad (9)$$

2. Простой в ожидании ремонта пропорционален среднему времени единичного ремонта j -го агрегата

$$T_{ож} = T_n \cdot t_i / t_n, \quad (10)$$

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_i / n$$

где: t_n – среднее время ремонта.

Величина t_n представляет собой среднее время ремонта j -го агрегата без учета частоты появления требования на его замену.

Простой в ожидании ремонта пропорционален средним затратам труда на восстановление j -го агрегата

$$t_{\text{ож}i} = T_n \cdot t_i \cdot \lambda_i / T_{A,K}, \quad (11)$$

где: $T_{A,K}$ – определяется как величина, обратная $V_{A,K}$.

Время оборота агрегатов, как известно, складывается из времени ожидания и продолжительности активного ремонта:

$$T_{\text{об}i} = t_{\text{ож}i} + t_i \quad (12)$$

Величина, обратная среднему времени оборота, представляет собой интенсивность восстановления μ_i .

Таким образом, определив среднее время оборота каждого i -го агрегата, можно приступить к рассмотрению системы: оборотный фонд – автомобили на постах ТО и ТР как системы массового обслуживания.

Выбор типа СМО следует из специфики реальных процессов.

Эта схема функционирования допускает вероятность отказа в оборотном фонде агрегата любого наименования, так как для безотказного обеспечения автомобилей исправными агрегатами необходимо неоправданно большое число запасных агрегатов.

Если представить оборотный фонд агрегатов как разомкнутую СМО с отказами, то в такой системе источниками требований будут автомобили, а аппаратами обслуживания – агрегаты оборотного фонда [2, 6, 9, 10].

Требования на замену j -х агрегатов поступают с интенсивностью λ_i , а восстанавливаются с интенсивностью μ_i .

Если в оборотном фонде нет исправного агрегата, таковой вне очереди восстанавливается на соответствующем участке и немедленно доставляется к автомобилю, установленному на посту ТО или ТР.

Функция цели такой СМО будет иметь вид

$$\lambda_i \cdot t_i \cdot P_{ni} \cdot (C_A + C_n) + N_{AG,i} \cdot C_{\text{хр}i} \rightarrow \min, \quad (13)$$

где: $N_{AG,i}$ – число запасных агрегатов j -го наименования;

$C_{\text{хр}i}$ – стоимость хранения агрегата в единицу времени.

Минимальное значение числа оборотных агрегатов следует устанавливать исходя из условия:

$$\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot N_{AG,i}} < 1$$

Хотя это неравенство справедливо для СМО с ожиданием и без отказов, использование его для определения начального числа запасных агрегатов существенно снижает объем вычислений.

Таким образом, первое слагаемое выражения (13) представляют собой издержки от простоя автомобилей и постов в ожидании исправных агрегатов. Второе слагаемое этого

выражения позволяет вычислить издержки от хранения исправных агрегатов в оборотном фонде.

Подводя итог приведенным выше рассуждениям, можно предложить следующий алгоритм решения задачи.

1. Определить суммарный поток требований на ремонт агрегатов по номенклатуре участка по выражению (6).
2. Установить по формуле (7) среднее время активного ремонта агрегатов по участку или интенсивность ремонта.
3. По формулам из теории массового обслуживания (ТМО) найти среднюю длину очереди агрегатов, а по выражению (8) – среднее время ожидания неисправным агрегатом исполнителя по данным величинам $\alpha_{A,K}$ и n .
4. По любому из вариантов распределения (9) и (11) определить среднее время ожидания по i -му агрегату.
5. Вычислить среднее время оборота j -го агрегата по выражению (12).
6. Подставив значения интенсивности потоков требований λ_i , интенсивностей восстановления в обычных случаях μ_i в расчетные выражения для СМО, определить вероятность P_{ni} . В зависимости от значения P_{ni} , времени активного ремонта t_j , а также стоимостных показателей получить суммарные издержки.
7. Последовательно увеличивая число агрегатов и выполняя операции по пункту 6, достичь минимального значения функции (13).

Такой алгоритм позволяет оптимизировать оборотный фонд агрегатов, пополняемый за счет восстановления их на определенных участках.

Однако, как было показано выше, время оборота агрегатов зависит от числа исполнителей участка. Следовательно, минимум функции (13) достигается при определенной мощности участка.

При изменении производительности участка будет меняться среднее время оборота агрегатов, от которого зависит оптимальное их количество.

В свою очередь увеличение мощности участка создает избыточные трудовые ресурсы, которые будут простаивать из-за отсутствия неисправных агрегатов.

Поэтому при наличии достаточных трудовых ресурсов и ограниченности числа запасных агрегатов можно предложить следующий алгоритм расчетов.

1. Для фиксированного числа исполнителей произвести вычисления по пунктам 1-5 предыдущего алгоритма для всех N наименований агрегатов.
2. Вычислить среднюю стоимость хранения агрегатов по номенклатуре участка согласно формуле

$$C_{\text{xp.cp}} = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{i=1}^N C_{\text{xpi}} \quad (14)$$

3. Произвести расчеты среднего числа свободных от ремонта исполнителей MP по выражениям из ТМО.
4. Выполнить операции предыдущего алгоритма по пункту 6, однако, при этом функцию цели записать в виде:

$$MP_K \cdot C_p + (C_A + C_n) \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot P_{ni} + \sum_{i=1}^n N_{AGi} \cdot C_{xpi} \rightarrow \min \quad (15)$$

5. Последовательно увеличивая число исполнителей участка, повторить операции предыдущего алгоритма по пунктам 1-6 и настоящего по пунктам 1-4, в результате чего выражение (15) получит свое минимальное значение, что будет соответствовать оптимальному числу исполнителей участка.

Заметим, что выбор оптимального сочетания числа исполнителей и количества оборотных агрегатов, представляет многопараметрическую задачу с $N + I$ числом переменных. Решение ее возможно при использовании специальных методов оптимизации.

Для определения локального оптимума при переменном числе агрегатов оборотного фонда N_{AG} достаточно воспользоваться выражением для расчета оптимального числа рабочих (3), в котором соотношение будет представлять собой величину $S = Ca/Sp$. Оптимальное число оборотных агрегатов будет устанавливаться при этом по функции цели (15) согласно рассмотренному алгоритму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бигель Дж. Управление производством. – М.: Мир, 1973. – 301 с.
2. Бусленко Н. П., Математическое моделирование производственных процессов. – М.: Наука. – 1964. – 362 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
4. Вентцель Е. С. Элементы динамического программирования. – М.: Наука, 1964. – 175 с.
5. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения. Пер. с франц. – М.: МИР, 1965. – 302 с.
6. Кульбак Л. И. Основы расчета обеспечения электронной аппаратуры запасными элементами. – М.: Советское радио, 1970. – 207 с.
7. Тахтамышев Х. М. Методы оптимального технологического расчета автотранспортных предприятий. – Киев: Вища школа, 1986. – 107 с.
8. Тахтамышев Х. М. Вероятностные методы технологического расчёта автотранспортных предприятий. Из-во НГГТИ, Невинномысск, 2016. – 258 с.
9. Хедли Дж., Уайтин Т. Анализ систем управления запасами. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
10. Хэнсменн Ф. Применение математических методов управления производством и запасами / Ф. Хэнсменн. – М.: 1981. – 286 с.

Belov Sergey Alexandrovich

Nevinnomyssk state social and technical science institute, Russia, Nevinnomyssk
E-mail: belovmail@yandex.ru

Takhtamyshev Khizir Makhmudovich

Nevinnomyssk state social and technical science institute, Russia, Nevinnomyssk
E-mail: hizirt43@mail.ru

Optimization of production sites' capacities at the transport enterprises' technical service through utilization of the aggregate repair method

Abstract. Repair of components and assemblies to the production zones of transport companies should be performed while eliminating several issues of a single car at the same time, in other cases it is advisable to use an aggregate method of repair.

To approximate the functioning of the individual units of the technical service without the use of circulating units, the most adequate mathematical model is system of mass service with waiting/queuing.

For sites that are engaged only in recovering the units with known request intensity, the initial parameters of the site are approximated as a mass service system with refusals. If the functional unit is not available without the operational resources, the urgent reparation of the unit is produced and immediately delivered to the vehicle. By changing the repair site capacity, one can vary the average turnover time of the units and, consequently, the size of the operational resources.

With the known value of average turnover time of each unit, one can consider a system: Operational Fund – Automobiles at the technical service points as a system of mass service. Operational fund of the units is presented as an open mass service system with refusals, where the demand source is the vehicles, and service devices – units of operational funds.

Changing the production capacity the average turnover of the units changes as well. Consequently, the increase in productivity creates surplus of idle manpower due to lack of dysfunctional units.

The selection of the best combination of manpower and the number of working units is multi-parameter task with several variables. The solution is proposed by utilizing specialized methods of optimization.

Keywords: optimization; Aggregate method; mass service; service points; capacity level; production power; Operational Fund; queue; technical maintenance; repairs; automobile vehicles; dynamic programming