

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-362

EDN: QSOJPI

УДК 656.07



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ

Е.С. Козин

Аннотация

В исследовании рассмотрен методический подход к контролю производственных процессов по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятиях технического сервиса. Подход основывается на рассмотрении предприятия как сложной организационной или кибернетической системы. Для основного процесса, реализуемого этой системой, определяется количество точек контроля в течение смены, величина и степень запаздывания управленческих воздействий. Для моделирования работы системы используется имитационная модель, которая учитывает постепенное нарастание ошибки исполнителей и ее устранение при применении управляющего воздействия. С учетом установленного показателя и критерия эффективности определено оптимальное количество элементов системы контроля в зависимости от интенсивности поступления автомобилей в сервисную зону. Получены модели установленных закономерностей, которые описываются однофакторными регрессионными уравнениями. Разработаны модели закономерностей влияния параметров системы контроля на относительную пропускную способность системы.

Цель – повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем установления закономерностей влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на параметры системы контроля производственных процессов предприятия.

Метод и методология проведения работы. В исследовании используется метод корреляционно-регрессионного анализа, методика планирования эксперимента, имитационное моделирование, системный анализ.

Результаты. Установлены закономерности влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на количество точек контроля в течение смены, на величину управляющего воздействия, на степень запаздывания реализации управляющего воздействия. Установлены закономерности влияния количества точек контроля в течение смены, величины управляющего воздействия, степени запаздывания реализации управляющего воздействия на относительную пропускную способность системы.

Область применения результатов. Результаты исследования могут быть использованы руководством предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей при оперативном управлении технологическими процессами.

Ключевые слова: контроль; автомобили; техническая эксплуатация; оптимизация; сервис

Для цитирования. Козин, Е. С. (2025). Модель реализации системы контроля производственного процесса на предприятии технического сервиса автомобилей. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 229–251. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-362>

Original article | Operation of Road Transport

IMPLEMENTATION MODEL OF THE PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEM AT A CAR SERVICE ENTERPRISE

E.S. Kozin

Abstract

The study considers a methodical approach to control of production processes for maintenance and repair of cars at technical service enter-

prises. The approach is based on considering the enterprise as a complex organizational or cybernetic system. For the main process implemented by this system, the number of control points during the shift, the size and degree of delay of control actions are determined. To simulate the system operation, a simulation model is used that takes into account the gradual increase in the error of performers and its elimination when applying the control action. Taking into account the established indicator and the efficiency criterion, the optimal number of control system elements is determined depending on the intensity of car arrival in the service zone. Models of the established patterns are obtained, which are described by single-factor regression equations. Models of patterns of influence of control system parameters on the relative throughput of the system are developed.

Purpose – to improve the efficiency of management of automobile transport enterprises by establishing patterns of influence of the number of vehicles arriving in the technical service area on the parameters of the enterprise’s production process control system.

Methodology. The study uses the method of correlation-regression analysis, the methodology of experiment planning, simulation modeling, and system analysis.

Results. Patterns of influence of the number of vehicles arriving in the technical service area on the number of control points during a shift, on the magnitude of the control action, and on the degree of delay in the implementation of the control action were established. Patterns of influence of the number of control points during a shift, the magnitude of the control action, and the degree of delay in the implementation of the control action on the relative throughput of the system were established.

Practical implications. The results of the study can be used by the management of enterprises for technical maintenance and repair of vehicles in the operational management of technological processes.

Keywords: control; vehicles; technical operation; optimization; service

For citation. Kozin, E. S. (2025). Implementation model of the production process control system at a car service enterprise. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 229–251. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-362>

Введение

Техническая эксплуатация автомобильного (ТЭА) транспорта направлена на обеспечение и поддержание работоспособности подвижного состава. Управлением технической эксплуатации подвижного состава на предприятии занимается техническая служба. Система управления относится к типу сложных организационно-производственных систем, одним из основных методов изучения которых является имитационное моделирование. Выделяют четыре функции управления: планирование, организацию, стимулирование и контроль [17]. Тогда можно говорить, что управление на предприятии осуществляется через реализацию этих функций. Задачам планирования, организации и стимулирования посвящены другие работы автора и других исследователей. В настоящей работе раскрыты подходы к решению задачи контроля.

В общем виде контроль предполагает собой наблюдение за выбранным показателем производственного процесса. При отклонении текущего значения показателя от установленных нормой пределов применяется управляющее воздействие (УВ), направленное на изменение значения контролируемого параметра [6; 7]. Для решения задачи контроля нужно определить: наблюдаемый показатель, его нормативное значение, количество точек контроля, величину управляющего воздействия, возможную степень задержки управляющего воздействия.

Цель работы

Целью исследования является повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем установления закономерностей влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на параметры системы контроля производственных процессов предприятия. Научная новизна исследования заключается в установленных моделях закономерностей влияния факторов на пропускную способность

зоны технического сервиса предприятия, а также на параметры системы контроля. Практической значимостью исследования является разработка инструмента для определения параметров системы контроля производственных процессов для предприятий автомобильного транспорта.

Материалы и методы

Следует отметить, что задача управления ТЭА не рассматривалась через призму основных функций управления. Существующие подходы к контролю производственных процессов можно разделить на три вида. Первый реализует принципы проектного менеджмента, постулируя необходимость контроля как одной из групп процессов методологии управления проектом [3]. При этом не изучаются закономерности формирования модели контроля. Второй подход следует из теории автоматического управления [1; 15]. Однако, он в большей степени применим для технических систем и не учитывает особенности предприятий автомобильного транспорта (ПАТ) [13; 14]. Третий подход характерен для технической эксплуатации автомобилей. В нем разными авторами рассматривалась целесообразность внедрения центра управления производством (ЦУП) как способа визуального контроля процессов ТО и Р. Также существуют варианты внедрения информационной системы контроля операций по ТО и Р, которая основана на стационарных терминалах, оснащенных справочной системой и необходимостью регистрации действий исполнителя в ней [9; 18; 19]. Тем не менее, указанные подходы не рассматривают указанные выше параметры подсистемы контроля [5]. Таким образом, выявление закономерностей влияния показателей контроля на эффективность системы управления ТЭА является важной научной задачей, требующей решения.

Предлагаемый метод ближе к теории автоматического управления и основывается на теории управления организационными системами [16].

Теоретические основания

Технологический процесс ТО и Р автомобиля можно представить в виде ориентированного графа, вершинами которого являются технологические звенья (посты) разных типов. Надстройкой к этому графу является организационная структура, которая определяет количество узлов управления (административных, инженерно-технических работников или менеджеров) и их взаимосвязи с технологическими звеньями (какой менеджер контролирует те или иные узлы). Так, каждый менеджер может контролировать определенное количество технологических звеньев. Каждое такое звено реализует одну или несколько технологических операций. Следовательно, каждое звено управления будет контролировать некоторую совокупность технологических операций (функций). Очевидно, что при большом количестве контролируемых функций на одного менеджера (норма управляемости) потребуется меньшее количество таких узлов управления [2]. При этом неограниченный рост возложенных на менеджера функций будет вызывать его перегрузку и приводить к возникновению ошибок. В случае с ошибкой при управлении основным бизнес-процессом (работами по ТО и Р автомобиля) можно получить значительные потери, связанные с потерей клиента (для станции технического обслуживания) или с увеличением простоя в ТО и Р и недополученной выгодой (для АТП, УГТ). Тогда целевая функция подсистемы контроля производственного процесса может иметь следующий вид:

$$C_k = C_{оч} + C_{ош} \rightarrow \min \quad (1)$$

где C_k – суммарные затраты на контроль, руб.;

$C_{оч}$ – потери, связанные с нахождением автомобилей в очереди на техническое обслуживание и ремонт на одном из технологических звеньев, руб.

$C_{ош}$ – потери, связанные с ошибками управления из-за несвоевременного контроля производственных процессов, руб.

В свою очередь составляющие суммарных затрат определяются следующим образом.

$$C_{\text{оч}} = C_L \cdot r \cdot N_{\text{ТО,Р}} \quad (2)$$

где r – средняя длина очереди, ч.

C_L – стоимость единицы времени простоя в очереди, руб.

$N_{\text{ТО,Р}}$ – производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед/сут.

$$C_{\text{ош}} = N_{\text{ТО,Р}} \cdot C_{\text{пот.}} \cdot P_{\text{ош}} \cdot \sum_{i=1}^n (N_i)^{\alpha\beta} \quad (3)$$

где $C_{\text{пот}}$ – стоимость потери одного клиента в год, руб.

$P_{\text{ош}}$ – вероятность потери клиента вследствие снижения эффективности контроля, %

N – количество технологических звеньев под управлением одного менеджера, ед.

α – степень однородности технологического процесса (коэффициент)

β – уровень квалификации управленческого персонала (коэффициент)

График затрат целевой функции для разного количества точек контроля будет иметь вид (Рисунок 1).

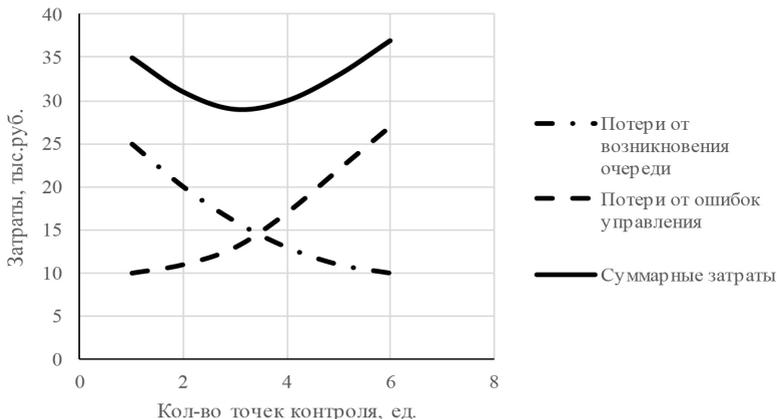


Рис. 1. График изменения затрат целевой функции от количества точек контроля

При увеличении количества точек контроля управляемая величина будет чаще возвращаться в пределы своих нормативных значений.

Это уменьшит длину очереди и сократит потери $C_{оч}$. При этом будет увеличиваться количество управленческих функций на одного менеджера, поскольку точка контроля и реализации управляющего воздействия также является функцией менеджера. Тогда затраты на управление и потери от управленческих ошибок будут расти. В этих условиях требуется определить рациональное количество точек контроля, при котором суммарные затраты на контроль будут минимальны.

Для изучения поведения системы был использован метод имитационного моделирования [8]. В качестве объекта исследования выбран производственный процесс ТО и Р автомобилей на не крупной СТО, имеющей два технологических звена: мастеров-приемщиков (reception) и универсальные посты по ТО и Р автомобилей (service) [20]. Схема ориентированного графа реализации основного бизнес-процесса рассматриваемого предприятия представлена на рисунке 2 с использованием BPMN-нотации (Рисунок 2).

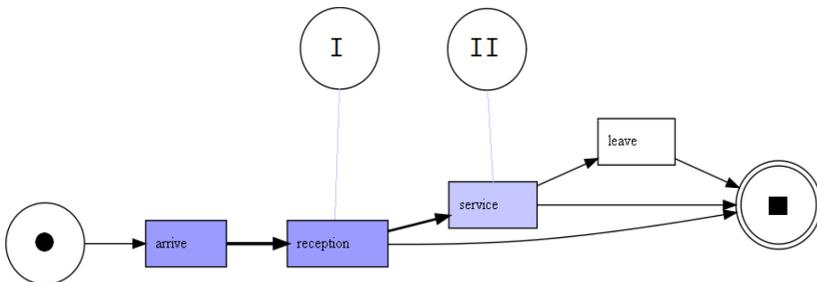


Рис. 2. Функциональная схема основного бизнес-процесса ТО и Р автомобилей на станции технического обслуживания с двумя технологическими звеньями (reception, service) и двумя узлами управления: I и II

После появления в системе (arrive) автомобили сначала поступают к мастерам-приемщикам (реализуют вспомогательные технологические операции производственного процесса), после чего отправляются на универсальные посты по ТО и Р (реализуют основные технологические операции). После выполнения работ над автомобилем мастер-приемщик возвращает транспортное средство (ТС), после чего оно покидает систему (leave).

Надстройкой описанного технологического графа является организационная структура из двух звеньев управления (менеджеров). Общее количество контролируемых менеджерами технологических операций для представленной модели системы составляет 32. Точки контроля и реализации УВ суммируются с представленным выше числом, являясь дополнительными функциями, возложенными на менеджера [12].

Для учета влияния количества контролируемых звеном управления функций был введен представленный в формуле (1) показатель степени однородности технологического процесса α . В отличие от [17] α является коэффициентом масштабирования затрат в зависимости от количества функций на одном менеджере. Он принимает значения из отрезка [1; 1,5] и интерпретируется как коэффициент сжатия информации о проблемах в отчете. Он определяется типичностью проблем, возникающих у исполнителей. Поскольку на предприятии существует несколько технологических звеньев одного типа, например, 5 универсальных постов по ТО и Р, то коэффициент α учитывает также и количество исполнителей на одноименном технологическом звене.

Параметр β , как и в [17], описывает эффективность работы менеджеров – более квалифицированные менеджеры при одинаковом числе проблем несут меньшие затраты, а при одинаковых затратах решают больше проблем. Коэффициент β меняется из отрезка [1; ∞), но, как правило, логический смысл имеют значения β на отрезке [1; 3]. В противном случае затраты масштабируются неадекватно.

Коэффициент α предлагается определять по формуле (2):

$$\alpha = \frac{(x_i \cdot (f_i + n_i) - \min(x, f, n)) \cdot (1,5 - 1)}{\max(x, f, n) - \min(x, f, n)} + 1 \quad (4)$$

где x – количество постов (исполнителей) на технологическом звене, контролируемом звеном управления i -го типа, ед.;

f – количество функций, контролируемых звеном управления i -го типа, ед.

n – количество точек контроля, ед.

Разработанная имитационная модель представляет собой среду моделирования дискретных событий, основанную на процессах [10]. По установленному закону распределения моделируется интенсивность поступления входящего потока заявок на ТО и Р автомобилей, которые по определенному маршруту (в случае представленной на рисунке 2 модели – последовательно) проходят через заданные технологические звенья-каналы. Каждый канал может быть занят или свободен и обслуживает заявку в течение установленного законом распределения времени. Задается число каналов каждого типа, а также суточная неравномерность поступления заявок, моделируемая по гармонической модели. Пики интенсивности приходятся на начало и окончание рабочего дня. Созданная на базе общеизвестного подхода к моделированию систем массового обслуживания, модель имеет ряд особенностей. Для изучения влияния подсистемы контроля на показатели эффективности системы управления был определен контролируемый параметр – среднее время обслуживания заявки. Предполагается, что в случае нарушения технологического процесса время обслуживания будет увеличиваться. То есть система управления работает по отклонению [15]. В момент контроля регистрируется фактическое значение параметра. Управляющее воздействие при реализации в полном объеме приравнивает фактическое значение параметра к нормативному. Если УВ реализовано не в полном объеме, то фактическое значение уменьшается пропорционально величине управляющего воздействия. Кроме того, модель учитывает возможность отсрочки применения УВ относительно точки контроля. Это аналогично задержке между выявлением проблемы и ее устранением в реальной производственной деятельности. Визуализация процесса накопления ошибки и применения разных вариантов УВ представлена на рисунке 3.

В результате работы модели регистрируется:

- среднее время ожидания автомобилей в очереди, ч.;

- среднее время выполнения работ, ч.;
- количество прибывших автомобилей (суточная производственная программа), ед.;
- количество обслуженных автомобилей, ед.
- суммарные затраты на работу подсистемы контроля, руб.

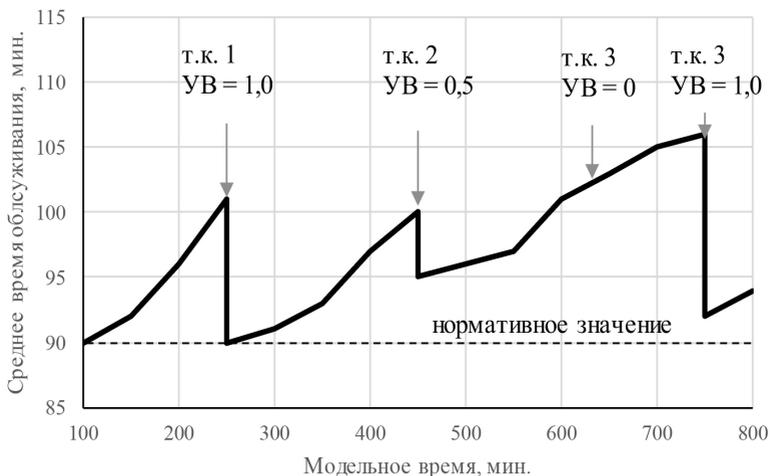


Рис. 3. Моделирование процесса контроля величины среднего времени обслуживания автомобиля: т.к. – точка контроля; УВ – значение величины управляющего воздействия; т.к.1 – УВ реализовано в полном объеме; т.к.2 – УВ реализовано наполовину; т.к.3 – УВ реализовано с задержкой

Исходя из этих показателей определяется величина относительной пропускной способности, равная отношению количества обслуженных автомобилей к суточной производственной программе.

Алгоритм работы имитационной модели представлен на рисунке 4. Он формализует описанные выше процессы в графическом виде.

Разработанная имитационная модель была использована для изучения поведения системы при различных значениях параметров подсистемы контроля: количестве, степени и величине задержки УВ [4]. Численные параметры моделируемой системы (условия эксперимента) представлены в таблице 1.

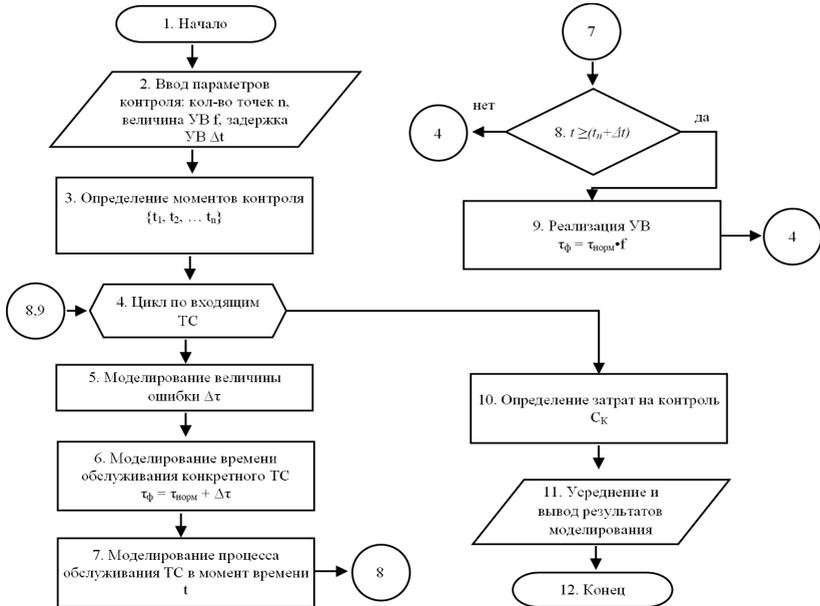


Рис. 4. Алгоритм имитационной модели контроля производственного процесса по ТО и Р автомобилей

Таблица 1.

Параметры имитационной модели при проведении эксперимента

№	Параметр	Значение	№	Параметр	Значение
1	Контролируемый параметр	Среднее время ТО и Р, мин.	10	Количество контролируемых функций, ед.	32
2	Нормативное значение контролируемого параметра, мин.	90	11	Количество менеджеров, чел.	2
3	Время приемки автомобиля, мин.	20	12	Диапазон изменения количества точек контроля	1 - 6
4	Количество постов по ТО и Р, ед.	5	13	Диапазон изменения величины управляющего воздействия, %	20 - 100
5	Количество мастеров-приемщиков, чел.	2	14	Диапазон изменения задержки реализации УВ, мин.	0 - 360

6	Суточная производственная программа, ед.	40	15	Коэффициент β	1,0
7	Стоимость простоя в очереди, руб./час	1750	16	Периодичность накопления ошибки, обслуживаний	5
8	Стоимость потери клиента, руб./год	15000	17	Величина увеличения ошибки от нормы, %	20
9	Вероятность потери клиента, %	0,5			

Результаты исследований и их обсуждение

Ниже представлены результаты имитационного моделирования работы системы контроля. Установлено, что количество точек контроля влияет на показатели эффективности системы. Так, на рисунке 5 представлена величина среднего времени нахождения в очереди при одной (слева) и пяти (справа) точках контроля. Можно заметить, что при увеличении количества точек контроля среднее время нахождения в очереди уменьшается (Рисунок 5).

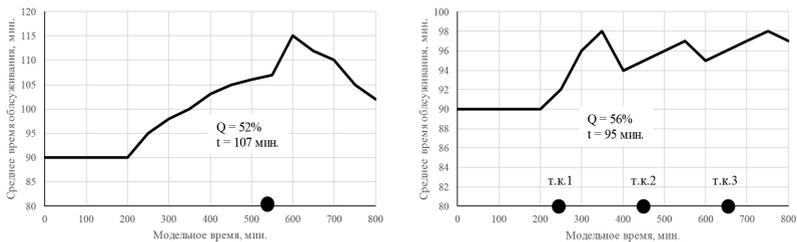


Рис. 5. Среднее время работ по ТО и Р автомобиля на при разном количестве точек контроля и реализации управляющих воздействий

Следует отметить, что при реализации точки контроля наблюдается задержка в изменении значения среднего времени обслуживания. Она составляет 60 – 120 минут. Это обусловлено усреднением фактических величин времени обслуживания каждого конкретного автомобиля. На графиках можно увидеть момент применения УВ, когда величина времени обслуживания начинает снижаться. При одной точке контроля это происходит одномоментно

но, а при нескольких возникают зоны локальных минимумов, чередующихся с возобновлением роста ошибки. Задержка реакции контролируемого показателя также обусловлена выбранным способом контроля, который в имитационной модели привязан не к модельному времени, а к количеству обслуженных автомобилей, т.е. контролируем после выпуска очередных 10 автомобилей.

Оптимизация по экономическим показателям зависит от установленных значений затрат и их соотношения. Поэтому сначала приводятся результаты изменения технических параметров системы, а затем – изменение значений целевой функции (1).

Было установлено, что величина управляющего воздействия влияет на среднее время обслуживания автомобиля и, следовательно, на относительную пропускную способность Q . Уменьшение величины УВ приводит к увеличению фактического значения контролируемого показателя. Это представлено на рисунке 6.

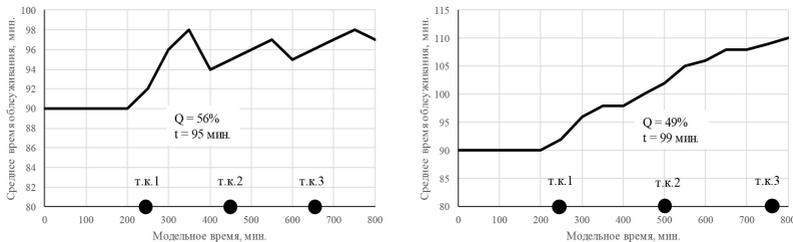


Рис. 6. Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях с величиной 100% (слева) и с величиной 50% (справа) за время моделирования 800 минут

На значение контролируемой величины также влияет время задержки между точкой контроля и моментом реализации УВ. В предыдущих примерах они совпадали. Установлено, что задержка реализации УВ более чем на 60 минут увеличивает среднее время обслуживания на 11%, среднее время нахождения ТС в очереди на 12% и снижает относительную пропускную способность Q на 4-6%. Это представлено для одних и тех же параметров модели на рисунке 7. Слева показано изменение среднего времени обслужи-

вания при отсутствии задержки в применении УВ, а справа – при задержке в 120 минут для трех точек контроля за смену.

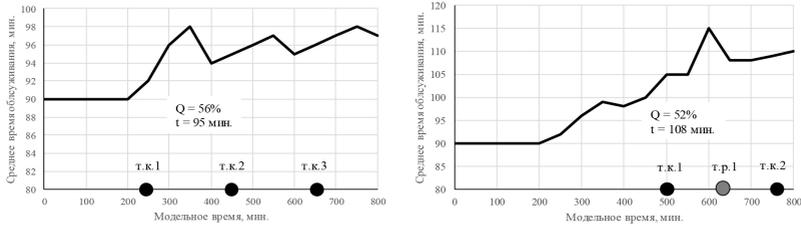


Рис. 7. Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях без задержки в их применении (слева) и с задержкой в 120 минут (справа): т.к. – точка контроля; т.р. – точка реализации УВ

Были определены модели закономерностей изменения относительной пропускной способности системы от количества точек контроля n (2), от величины УВ f (3) и от времени задержки реализации УВ Δt (4). Графики моделей закономерностей представлены на рисунке 8, а модели закономерностей, проверенные на статистическую значимость по величине множественной детерминации R^2 и критерию Фишера – ниже [11].

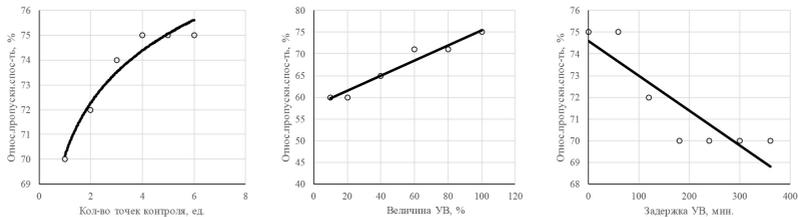


Рис. 8. Модели закономерностей изменения относительной пропускной способности Q системы от параметров подсистемы контроля: а – количества УВ, б – величины УВ, в – задержки УВ Δt

$$Q = 3,0475 \cdot \ln(n) + 70,158 \tag{2}$$

$$Q = 0,1759 \cdot f + 57,912 \tag{3}$$

$$Q = -0,0161 \cdot \Delta t + 74,607 \tag{4}$$

Закономерность на рисунке 8а описывается логарифмической моделью на области определения $\lambda(n) \in [1;7]$ и характерна тем,

что в начале своей области определения увеличение количества точек контроля приводит к быстрому росту показателя эффективности. Однако, при дальнейшем увеличении количества точек контроля существенного прироста эффективности уже не наблюдается. Это может говорить о том, что на практике для выбранного процесса реализовать 2-3 точки контроля. Больше их количество уже нецелесообразно. Закономерности на рисунке 8б и 8в описываются линейными моделями на области определения $\lambda(f) \in [10; 100]$ и $\lambda(\Delta t) \in [0; 6]$ соответственно. Первая модель говорит о линейном приросте эффективности от величины управляющего воздействия, а вторая – о снижении эффективности в результате задержки реализации управляющего воздействия. В общем случае можно заключить, что снижение величины УВ и задержка в его реализации не являются целесообразными для контролируемого процесса. Варьирование этих факторов целесообразно лишь в случае приоритета экономического критерия при оптимизации по представленной в (1) целевой функции. С использованием формулы определения значения целевой функции по критерию минимизации суммарных затрат на контроль были определены модели закономерностей оптимальных параметров подсистемы контроля от разных значений суточной производственной программы по ТО и $P N_{\text{сут}}$ автомобилей. Полученные модели были проверены на статистическую значимость по ряду установленных критериев [11]. Суточная производственная программа изменялась в пределах от 20 до 70 автомобилей с шагом в 10 автомобилей. Автомобили поступали в систему с учетом суточной неравномерности. Для каждого значения производственной программы определялось оптимальное по критерию минимума суммарных затрат значение параметра подсистемы контроля. Для параметра задержки величины УВ оптимальное значение целевой функции всегда достигалось при нулевом значении, поэтому модель закономерности не представлена. Полученные модели закономерностей показаны на рисунке 9.

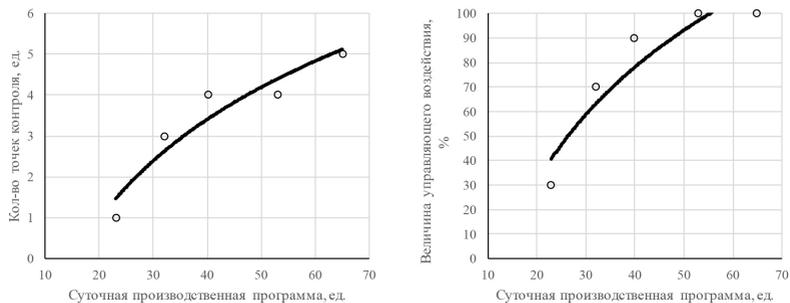


Рис. 9. Модели закономерностей влияния суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей на оптимальные параметры подсистемы контроля

$$n = 3,522 \cdot \ln(N_{\text{сут}}) - 9,59 \quad (5)$$

$$f = 67,4 \cdot \ln(N_{\text{сут}}) - 170,5 \quad (6)$$

Заключение

Таким образом, была разработана методика формирования системы контроля производственных процессов ТО и Р автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта. Методика предполагает выбор контролируемого показателя, определение размаха варьирования его нормативных значений, реализацию наблюдения за показателем с установленной периодичностью и, в случае выхода фактического значения показателя за допустимые пределы, применение управляющего воздействия с заданной величиной для возврата значения к нормативному. Установлены закономерности изменения показателей эффективности ТЭА от параметров подсистемы контроля. Полученные закономерности могут быть использованы при формировании регламентов деятельности административно-управленческих работников в рамках определения периодичности контроля производственных процессов, а также при разработке нормативов времени решения производственных проблем. Также были определены модели закономерностей изменения параметров подсистемы контроля от суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей. Высокая интен-

сивность поступления автомобилей на посты требует повышения периодичности контроля. Закономерности могут быть полезны инженерно-техническому персоналу станций технического обслуживания автомобилей и автотранспортных предприятий.

Список литературы

1. Aizerman, M. A. (2016). *Theory of automatic control: Adiwes international series*. Amsterdam: Elsevier.
2. Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A typology of production control situations in process industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382> EDN: <https://elibrary.ru/EAYRGB>
3. Landers, R. G., et al. (2020). A review of manufacturing process control. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110814. <https://doi.org/10.1115/1.4048111> EDN: <https://elibrary.ru/MOXMIO>
4. Trentesaux, D. (2009). Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.05.001>
5. Захаров, Н. С., & Козин, Е. С. (2023). Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей. *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*, (4), 43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51> EDN: <https://elibrary.ru/NAQINB>
6. Калугин, Ю. Б. (2020). Модифицированная расчетная схема для обоснования величины периода контроля. *Специальная техника и технологии транспорта*, (8), 114–120. EDN: <https://elibrary.ru/IPJTYD>
7. Калугин, Ю. Б. (2020). Обоснование величины шага контроля при управлении технологическими процессами. *Специальная техника и технологии транспорта*, (7), 33–36. EDN: <https://elibrary.ru/GJETWL>

8. Кельтон, В., & Лоу, А. (2004). *Имитационное моделирование. Классика CS* (3-е изд.). Санкт-Петербург: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ. 847 с.
9. Киселев, Г. Г. (2023). Система для оперативного контроля и соблюдения технологической дисциплины процесса осмотра подвижного состава на ПТО. В *Наука и образование: достижения и перспективы: Материалы VIII Международной научно-практической конференции* (Саратов, 21 декабря 2023 г.) (с. 35–40). Самара – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит». EDN: <https://elibrary.ru/BPLWCZ>
10. Козин, Е. С. (2022). Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей. *Транспорт Урала*, (3), 73–77. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2022-3-73-77> EDN: <https://elibrary.ru/MWZBJW>
11. Кремер, Н. Ш. (2006). *Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов* (2-е изд., перераб. и доп.). Москва: ЮНИТИ-ДАНА. 573 с.
12. Кузьменко, Н. В., Куликов, В. В., & Бордун, Г. Ф. (2014). Разработка структуры анализа контроля качества технологического процесса. *Современные технологии и научно-технический прогресс*, 1, 11. EDN: <https://elibrary.ru/SHOTZL>
13. Кушнир, Г. Ю., & Минченко, С. Н. (2017). Совершенствование методов контроля качества технического обслуживания и ремонта на предприятиях, обслуживающих транспортные средства различных марок. *Международный научный журнал*, (3), 70–73. EDN: <https://elibrary.ru/YTOIWR>
14. Мальцев, Д. В., & Репецкий, Д. С. (2020). Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей. *Мир транспорта*, 18(6), 238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247> EDN: <https://elibrary.ru/MRGGVD>
15. Михайлов, В. С. (1988). *Теория управления*. Киев: Выща школа. Головное изд-во. 312 с.

16. Новиков, Д. А. (2016). *Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития*. Москва: ЛЕНАНД. 160 с. EDN: <https://elibrary.ru/ULJXBF>
17. Новиков, Д. А. (2005). *Теория управления организационными системами*. Москва: МПСИ. 584 с. EDN: <https://elibrary.ru/PFGVIJ>
18. Трегубов, Ю. М. (2015). Анализ проблем внутреннего контроля производственных процессов на промышленном предприятии. В *XXXII Туpoleвские чтения (Школа молодых ученых): Материалы конференции* (Казань, 19–21 октября 2015 г.) (т. 5, с. 388–394). Казань: ООО «Издательство Фолиант». EDN: <https://elibrary.ru/UWATMB>
19. Антохина, Ю. А., Семенова, Е. Г., Епифанцев, К. В., & Копанский, А. С. (2020). Управление качеством продукции и производственный контроль технологических процессов при применении принципов ХАССП. В *Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Международный форум* (Санкт-Петербург, 4 марта 2020 г.) (с. 12–13). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. EDN: <https://elibrary.ru/VNWGNV>
20. Шайдуллина, Н. К., Печеный, Е. А., & Нуриев, Н. К. (2023). Моделирование процесса администрирования системы массового обслуживания с ограниченным временем жизни заявок. *Современные наукоемкие технологии*, (11), 81–86. <https://doi.org/10.17513/snt.39824> EDN: <https://elibrary.ru/SNBJFJ>

References

1. Aizerman, M. A. (2016). *Theory of Automatic Control: Adiwes International Series*. Amsterdam: Elsevier.
2. Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A typology of production control situations in process industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382> EDN: <https://elibrary.ru/EAYRGB>
3. Landers, R. G., et al. (2020). A review of manufacturing process control. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11),

110814. <https://doi.org/10.1115/1.4048111> EDN: <https://elibrary.ru/MOXMIO>
4. Trentesaux, D. (2009). Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.05.001>
 5. Zakharov, N. S., & Kozin, E. S. (2023). Monitoring implementation of technological processes for vehicle maintenance and repair using neural networks. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*, (4), 43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51> EDN: <https://elibrary.ru/NAQINB>
 6. Kalugin, Yu. B. (2020). Modified computational scheme for substantiating control period size. *Special Equipment and Transport Technologies*, (8), 114–120. EDN: <https://elibrary.ru/IPJTYD>
 7. Kalugin, Yu. B. (2020). Justification of step size control in technological process management. *Special Equipment and Transport Technologies*, (7), 33–36. EDN: <https://elibrary.ru/GJETWL>
 8. Kelton, W., & Law, A. (2004). *Simulation Modeling: Classic CS* (3rd ed.). St. Petersburg: Peter; Kyiv: BHVT. 847 p.
 9. Kiselev, G. G. (2023). Real-time control system for compliance with inspection discipline of rolling stock at PTOS. In *Science and Education: Achievements and Perspectives: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference* (pp. 35–40). Samara–Saratov: Amirit. EDN: <https://elibrary.ru/BPLWCZ>
 10. Kozin, E. S. (2022). Decision-making support system for automobile service station management. *Transport of the Urals*, (3), 73–77. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2022-3-73-77> EDN: <https://elibrary.ru/MWZBJW>
 11. Kremer, N. Sh. (2006). *Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook for Higher Education Institutions* (2nd ed., Revised and Extended). Moscow: Unity-Dana. 573 p.
 12. Kuzmenko, N. V., Kulikov, V. V., & Bordon, G. F. (2014). Development of quality control process analysis structure. *Modern Technologies and Scientific-Technical Progress*, (1), 11. EDN: <https://elibrary.ru/SHOTZL>

13. Kushnir, G. Yu., & Minchenko, S. N. (2017). Improvement of quality control methods for technical maintenance and repair at enterprises providing services for vehicles of different brands. *International Scientific Journal*, (3), 70–73. EDN: <https://elibrary.ru/YTOIWR>
14. Mal'tsev, D. V., & Repetsky, D. S. (2020). Monitoring production staff during vehicle maintenance work execution. *World of Transport*, 18(6), 238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247> EDN: <https://elibrary.ru/MRGGVD>
15. Mikhailov, V. S. (1988). *Control Theory*. Kyiv: Vischa Shkola. Head Publishing House. 312 p.
16. Novikov, D. A. (2016). *Cybernetics: Navigator. History of cybernetics, current state, and development prospects*. Moscow: LENAND. 160 p. EDN: <https://elibrary.ru/ULJXBF>
17. Novikov, D. A. (2005). *Theory of Management of Organizational Systems*. Moscow: MPPI. 584 p. EDN: <https://elibrary.ru/PFGVIJ>
18. Tregubov, Yu. M. (2015). Analysis of internal control problems of production processes at industrial enterprises. In *XXII Tupolev Readings (School of Young Scientists): Conference Proceedings* (Kazan, October 19–21, 2015) (Vol. 5, pp. 388–394). Kazan: Foliant. EDN: <https://elibrary.ru/UWATMB>
19. Antokhina, Yu. A., Semenova, E. G., Epifantsev, K. V., & Kopansky, A. S. (2020). Product quality management and production control of technological processes when applying HACCP principles. In *Metric Support of Innovative Technologies: International Forum* (Saint Petersburg, March 4, 2020) (pp. 12–13). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. EDN: <https://elibrary.ru/VNWGNV>
20. Shaidullina, N. K., Pecheny, E. A., & Nuriyev, N. K. (2023). Modeling administration process of queuing system with limited lifetime claims. *Modern Knowledge-Intensive Technologies*, (11), 81–86. <https://doi.org/10.17513/snt.39824> EDN: <https://elibrary.ru/SNBJFJ>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Козин Евгений Сергеевич, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, кандидат технических наук, доцент

*Тюменский индустриальный университет
ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Российская Феде-
рация
kozines@tyuiu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Evgeniy S. Kozin, Associate Professor of the Department of Car Service and Technological Machines, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*Industrial University of Tyumen
38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation
kozines@tyuiu.ru
SPIN-code: 1834-0639
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-3285>
ResearcherID: D-8474-2019
Scopus Author ID: 57052768700*

Поступила 23.04.2025
После рецензирования 02.05.2025
Принята 06.05.2025

Received 23.04.2025
Revised 02.05.2025
Accepted 06.05.2025