

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

ПИГУНОВ Владимир Владимирович

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РИТМИЧНОЙ РАБОТЫ СБОРОЧНЫХ ЦЕХОВ
И УЛУЧШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ
ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

05.22.07 — Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск · 1978

Работа выполнена в Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научные руководители:
кандидат технических наук, профессор **Криворучко Н. З.**,
кандидат технических наук, доцент **Бугаев В. П.**

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор **Скиба И. Ф.**,
кандидат технических наук, начальник Проектно-конструкторского бюро Главного управления вагонного хозяйства МПС **Ножевников А. М.**

Ведущее предприятие — Главное управление вагонного хозяйства

состоится « 12 » октября 1978 г. в « . »
специализированного совета К 114.07.01 в Днепропетровске
инженеров железнодорожного транспорта
Днепропетровск, 320629, ГСП, ул. Универ-

омиться в библиотеке ДИИТа.

сентября

1978 г.

совета Петрович Л. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В решениях XXV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы предусматривается значительный рост грузооборота железных дорог, что связано с дальнейшим повышением интенсивности использования вагонного парка и сокращением простоя вагонов в неисправном состоянии. В связи с этим возрастает актуальность исследований по совершенствованию методов планирования и управления вагоноремонтными предприятиями на основе широкого внедрения экономико-математических методов и современных средств вычислительной техники в рамках создания автоматизированных систем управления (АСУ)

6935a Сборка вагонов на ремонтных предприятиях является не только сложным, но и непрерывно изменяющимся процессом, так как поступающие в ремонт вагоны характеризуются множеством модификаций и имеют различное техническое состояние. В этих условиях необходимо обеспечить своевременную подачу нужных деталей в требуемых количествах, чтобы выпуск отремонтированных вагонов происходил в строгом соответствии с планом. Поэтому одним из важнейших путей обеспечения ритмичной и эффективной работы поточных линий ремонта и вагоноремонтных предприятий в целом является оптимизация планирования и управления запасами деталей и сборочных единиц, потребляемых при ремонте вагонов.

Для устойчивого и надежного функционирования поточных линий ремонта необходимо исследование комплекса взаимосвязанных вопросов: управления производственными запасами и повышения эффективности использования оборудования заготовительных цехов, от чего во многом зависит эффективность работы указанных цехов в целом. Повышение эффективности использования оборудования заготовительных цехов вагоноремонтных заводов позволит обеспечить не только подачу деталей и сборочных единиц в требуемом количестве на позиции поточных линий, но и в значительной степени улучшить обеспечение потребности линейных предприятий в запасных частях.

Цель работы заключается в обеспечении ритмичной и эффективной работы поточных линий сборочных цехов за счет совершен-

университет
Москва

ствования системы управления запасами деталей и сборочных единиц, потребляемых при ремонте вагонов, и выявление резервов улучшения использования оборудования заготовительных цехов вагоноремонтных предприятий в условиях функционирования АСУ

Общая методика исследования. Исследования проводились с использованием методов математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, метода имитационного моделирования и его стохастического варианта — метода статистических испытаний. Математическая обработка и необходимые расчеты выполнены на ЭВМ «Минск-32» и «Минск-22М».

Научная новизна. Разработаны математические модели оптимального планирования и управления запасами деталей и сборочных единиц на складе производственно-диспетчерского отдела (ПДО) вагоноремонтного завода и в вагонном депо. Применение имитационного моделирования позволило описать и исследовать функционирование рассматриваемых систем управления запасами с полным учетом специфики вагоноремонтного производства.

Установлены аналитические зависимости, используемые для количественной оценки стоимостных параметров моделей управления запасами деталей и сборочных единиц.

Построены имитационные прогнозирующие модели потребности материальных ресурсов на ремонт и техническое обслуживание вагонов, реализация которых позволяет определять потребность в материалах и деталях на ремонт и техническое обслуживание вагонов в планируемый период с полным учетом изменения их технического состояния и особенностей эксплуатации на заданном полигоне железных дорог.

Разработан комплекс математического обеспечения для автоматизации на ЭВМ процесса подбора и определения параметров закона распределения трудоемкости работ, расхода материалов, деталей и сборочных единиц на ремонт вагонов.

Разработана методика определения рациональных значений коэффициентов загрузки оборудования и программа обработки статистических данных для ЭВМ «Минск-22М» об использовании оборудования за различные периоды времени (час, смена, день, декада, месяц).

Практическая ценность. Внедрение выполненного комплекса исследований по оптимальному управлению запасами и повышению уровня использования оборудования на вагоноремонтных предприятиях позволяет обеспечить ритмичность и непрерывность производственных процессов, высокое качество ремонта и снизить простой вагонов в неисправном состоянии. Это во многом будет способствовать повышению провозной способности железных дорог.

Реализация результатов работы. Результаты выполненных исследований использованы при разработке методик и технических заданий на комплекс задач АСУ ремонтом грузовых вагонов в депо, которые одобрены ЦНИИ МПС, ПКБ ЦВ, ЦУВТ МПС и утверждены Главным управлением вагонного хозяйства в 1977 году. Проводится опытное внедрение задач в вагонное депо Гомель, являющемся базовым на сети железных дорог по разработке и внедрению АСУ ремонтом грузовых вагонов.

Апробация. Основные результаты исследований обсуждались и получили одобрение на республиканской научно-практической конференции «Наука и технический прогресс в машиностроении» (г. Гомель, 1974 г.), XII республиканской научно-технической конференции кафедр БелИИЖТа и секций ДорНТО Белорусской железной дороги (г. Гомель, 1975 г.), расширенном заседании секции НТО службы вагонного хозяйства Белорусской железной дороги (г. Минск, 1977 г.), заседании лаборатории АСУЖТ-В ЦНИИ МПС (г. Москва, 1977 г.), научно-техническом совещании отделения вагонного хозяйства ЦНИИ МПС (г. Москва, 1977 г.), XIII республиканской научно-технической конференции кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белорусской железной дороги «Повышение эффективности работы Белорусской железной дороги» (г. Гомель, 1977 г.).

Диссертационная работа в целом докладывалась, обсуждалась и получила положительную оценку на заседаниях кафедр «Вагоны и вагонное хозяйство» БелИИЖТа (1976 и 1978 гг.), ДИИТа (1978 г.), МИИТа (1978 г.) и научно-техническом совещании отделения вагонного хозяйства ЦНИИ МПС (г. Москва, 1978 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и предложений, списка литературы. Текстовая часть работы (без приложения, списка литературы, таблиц и рисунков) изложена на 144 страницах машинописного текста. Работа содержит 25 рисунков, 18 таблиц, список использованной литературы из 142 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и указываются основные направления исследования.

В первой главе дается общая постановка вопроса, определяются цель и задачи исследования. Анализ работы вагоноремонтных предприятий показал, что отсутствие хорошо налаженной системы обеспечения сборочных цехов деталями и сборочными единицами приводит к значительному экономическому ущербу, причиняемому

предприятиям в связи с отсутствием или избытком запасов. Поэтому назрела острая необходимость разработки системы научного управления запасами деталей и сборочных единиц, которая позволит обеспечить бесперебойность функционирования ремонтных процессов в течение периода планирования при минимально необходимых (оптимальных) запасах деталей и сборочных единиц. В условиях вагоноремонтного производства создание оптимальных запасов деталей и сборочных единиц и своевременное обеспечение ими цехов является фундаментом, основой организации производства, без которой невозможна ритмичная и эффективная работа предприятия.

Систему планирования запасов и производства запасных частей для локомотиворемонтных заводов разработал и теоретически обосновал Н. П. Мироненко, который предложил устанавливать нормы запасов на основе вероятностных методов исследования потребления деталей при ремонте локомотивов. Однако вопросы оптимального планирования и управления запасами деталей на локомотиво- и вагоноремонтных заводах являются в настоящее время недостаточно изученными.

Планированию запасов в локомотивных и вагонных депо посвящены работы А. П. Зайденберг и И. Д. Кузнецовой. Однако эти исследования не исчерпали всех вопросов, которые необходимо решить для практического внедрения методов научного управления запасами в вагонных депо.

Выполненный анализ показал, что исследовать математические модели динамической системы управления запасами на вагоноремонтных предприятиях, функционирующей в условиях неопределенности, традиционными аналитическими методами не представляется возможным. Поэтому в условиях вагоноремонтного производства при расчетах оптимальных производственных запасов деталей и сборочных единиц наиболее эффективным является применение имитационного моделирования, которое позволяет исследовать адекватные изучаемому процессу модели, учитывающие большое число факторов, в том числе и случайных.

Необходимым инструментом для проведения имитационных расчетов являются ЭВМ, которые используются, главным образом, в АСУ. В связи с этим методы научного управления запасами на вагоноремонтных предприятиях могут найти наиболее широкое применение в условиях функционирования АСУ.

Ритмичность и непрерывность функционирования поточных линий ремонта во многом определяются и эффективной работой заготовительных цехов, обеспечивающих поставку деталей на склад ПДО вагоноремонтного завода. В представленной работе рассмотрены в связи с этим вопросы улучшения использования оборотова-

ния заготовительных цехов вагоноремонтных заводов. До сих пор этому вопросу в вагоноремонтном производстве не уделялось достаточного внимания.

Вторая глава посвящена анализу и поиску путей улучшения экстенсивного использования оборудования заготовительных цехов вагоноремонтных заводов. Анализ использования оборудования производился с помощью системы показателей: коэффициента сменности $K_{см}$, коэффициента внутрисменного использования $K_{в}$, коэффициента использования машинного времени $K_{м}$, коэффициента полного экстенсивного использования оборудования $K_{экс}$ и коэффициента экстенсивного использования сменного фонда времени $K_{экс}^*$.

Для получения систематической информации о внутрисменном использовании оборудования, времени машинной работы и изучения других затрат времени применялся способ моментных наблюдений. Способ моментных наблюдений позволяет получать результаты наблюдения с заранее установленной степенью надежности и перейти от непрерывного наблюдения за ограниченным числом оборудования к моментному (прерывному) наблюдению за всем оборудованием данного подразделения (цеха, участка). Эффективность использования оборудования заготовительных цехов рассмотрена на примере механических цехов, которые тесно связаны со сборочными, обеспечивая бесперебойную подачу деталей и сборочных единиц на ремонтируемые вагоны.

Для проведения моментных наблюдений была разработана специальная ведомость учета использования оборудования по времени и приняты цифровые условные обозначения элементов затрат (признаков) для последующей обработки статистических данных на ЭВМ. Исследование уровня использования оборудования проводилось на двух ведущих вагоноремонтных заводах — Дарницком (ДВРЗ) и Канашском (КВРЗ). По Канашскому ВРЗ было проведено около 30 000 наблюдений, по Дарницкому — 15 000. Проведение большого количества наблюдений позволило уменьшить влияние на результаты исследования случайных факторов, возникающих в отдельные дни, декады и смены.

Обработка полученной информации проводилась по разработанной для ЭВМ «Минск-22М» программе, позволяющей оценить уровень экстенсивного использования оборудования по часам смен, сменам, отдельным дням месяца, декадам и в целом за месяц.

В результате проведенных обследований в механических цехах указанных заводов установлено, что здесь имеются значительные неиспользуемые резервы мощностей. Так, средняя сменность работы оборудования механического цеха КВРЗ равна 1,1, а на ДВРЗ она еще меньше — 0,77. Основными причинами целосменных про-

стоев оборудования являются: несоответствие структуры оборудования производственной программе; наличие большого резерва мощностей для удовлетворения максимального спроса при недостаточности запасов деталей и сборочных единиц на складе ПДО. Внутрисменные простои оборудования составляют 36% сменного времени на Канаашском ВРЗ и 37% на Дарницком. Они вызваны наличием недостатков в организации и планировании производства, неудовлетворительной возрастной структурой оборудования и плохой организацией труда станочников. К резервам повышения эффективности использования оборудования относится также недостаточное использование машинного времени оборудования, оцениваемое показателем K_m . На Канаашском и Дарницком ВРЗ K_m соответственно равен 0,70 и 0,67. Как показали результаты обследования распределение затрат времени работы оборудования на указанных заводах нельзя признать удовлетворительным. Так, по группам строгальных и фрезерных станков время обработки занимает меньше половины времени фактической работы оборудования. Поэтому одним из путей повышения K_m является сокращение элементов подготовительно-заключительного и вспомогательного времени, а также времени обслуживания рабочего места в структуре времени работы оборудования.

Для полной характеристики уровня экстенсивного использования оборудования рассчитывались показатели $K_{экс}$ и $K_{экс}^*$. Значения $K_{экс}$ для Канаашского и Дарницкого ВРЗ равны соответственно 0,16 и 0,11, а $K_{экс}^*$ — 0,49 и 0,33. То есть всего 16% времени в календарном фонде было затрачено на полезную работу оборудования на КВРЗ, на ДВРЗ еще меньше — 11%. Полезная работа оборудования в сменном фонде времени составляет 49% на КВРЗ и 33% на ДВРЗ.

Таким образом, результаты выполненных исследований свидетельствуют о возможности значительного повышения эффективности использования оборудования на указанных заводах (не менее чем в 2 раза) за счет сокращения целосменных и внутрисменных простоев, а также улучшения использования машинного времени работы оборудования. Выполненный анализ использования оборудования по декадам месяца показал, что оно используется неравномерно (лучше всего в третью декаду). В результате проведенного обследования установлено распределение загрузки оборудования по часам смен, представляющее собой диаграмму организации производственного процесса в цехе.

В ходе исследований разработана методика определения рациональных коэффициентов загрузки оборудования на вагоноремонтных предприятиях. Для этого используется полученная в работе гиперболическая зависимость себестоимости нормо-часа от

коэффициента загрузки оборудования η_3 . Анализ этой зависимости показывает, что с увеличением коэффициента загрузки оборудования себестоимость уменьшается. Причем резкое снижение себестоимости происходит до определенной величины коэффициента загрузки оборудования η_3^{min} . При дальнейшем повышении коэффициента загрузки оборудования до максимального уровня ($\eta_3^{\text{max}} = 1$) себестоимость изменяется незначительно. Поэтому диапазон значений коэффициента загрузки оборудования, ограниченный величинами η_3^{min} и η_3^{max} , представляет собой диапазон рациональных значений коэффициента загрузки или диапазон эффективного использования оборудования.

Таким образом, использование оборудования экономически целесообразно только в области рациональных значений коэффициента загрузки, определяемых дифференцированно по каждой единице оборудования. При работе оборудования в неблагоприятной зоне ($\eta_3 < \eta_3^{\text{min}}$) необходимо выявлять возможность повышения его загрузки до η_3^{min} или η_3^{max} , например, за счет изготовления деталей по кооперации.

В третьей главе выполнено исследование по установлению закономерностей спроса на детали и сборочные единицы на вагоноремонтных предприятиях. В работе проведена классификация деталей и сборочных единиц, потребляемых при ремонте вагонов. Это позволило выявить детали и сборочные единицы, для которых целесообразно использовать методы оптимального управления их запасами.

Сущность проведенной классификации состоит в следующем. На первом этапе на основе анализа частотных и объемных характеристик номенклатуры предприятия, потребляемой на ремонт вагонов в планируемый период времени, выявляются регулярно-повторяющиеся детали (основная номенклатура). На втором этапе производится разделение основной номенклатуры деталей и сборочных единиц на группы А, В и С по стоимостному критерию (метод АВС). Оптимизация запасов и ежедневный контроль за их уровнями осуществляется прежде всего по деталям группы А. В условиях вагоноремонтного производства необходимо расширять номенклатуру группы А за счет дефицитных деталей и деталей, по которым возможны простои поточных линий.

Для практической реализации методов оптимального управления запасами необходимо математическое описание спроса на детали и сборочные единицы. Поэтому в условиях функционирования АСУ вагоноремонтными предприятиями весьма актуальной представляется задача совершенствования методики сбора информации

о потреблении деталей и сборочных единиц на ремонт вагонов и автоматизации процесса подбора законов распределения спроса на ЭВМ.

В связи с этим были разработаны алгоритм и программа для ЭВМ «Минск-32» автоматизации процесса подбора и определения параметров закона распределения спроса и других случайных величин на основе использования семейств S_B —, S_U — и S_L — распределений Джонсона. Выбор аппроксимирующего распределения Джонсона осуществляется с помощью квадрата нормированного показателя асимметрии β_1 и нормированного показателя островершинности β_2 , являющихся характеристиками эмпирического распределения. Распределения Джонсона позволяют описать эмпирические данные для всей области в плоскости (β_1, β_2) и относительно легко произвести подбор распределения и оценить его параметры.

Проведено выборочное исследование степени устойчивости спроса на примере 20 деталей и сборочных единиц основной номенклатуры заготовительных цехов Дарницкого ВРЗ, разбитых в зависимости от объема потребления на 5 типических групп. Аппроксимация эмпирических распределений осуществлялась с помощью распределений Джонсона. Проверка соответствия распределений по критериям Пирсона и Романовского показала их хорошую сходимость. В результате выполненного исследования установлено, что процесс потребления деталей и сборочных единиц описывается, в основном, семейством S_B — распределений Джонсона

$$f(D) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(D-\epsilon)(\lambda-D+\epsilon)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\gamma + \eta \ln \left(\frac{D-\epsilon}{\lambda-D+\epsilon} \right) \right]^2 \right\} \quad (1)$$

где D — суточное потребление деталей или сборочных единиц данного наименования; $\eta, \lambda, \gamma, \epsilon$ — параметры распределения.

В условиях АСУ для создания информационных массивов, отражающих потребление материалов, деталей и сборочных единиц в планируемый период, разработаны имитационные прогнозирующие модели потребности материальных ресурсов на ремонт и техническое обслуживание вагонов. Основой для прогнозирования служат уточненные дефектные ведомости вагонов, прошедших ремонт на данном вагоноремонтном предприятии. Дефектные ведомости отражают характеристику и техническое состояние, поступившего в ремонт вагона, и позволяют получать информацию о фактическом расходе материалов и деталей дифференцированно по отдельному объекту ремонта с учетом его типа и модификации в специфических условиях конкретного

вагоноремонтного предприятия. Процесс потребления материалов и деталей изучается при моделировании ремонта вагонов на ЭВМ. Массив дефектных ведомостей вагонов, используемый при моделировании процесса потребления материалов и деталей, предварительно корректируется с учетом плановых показателей структуры и технической оснащенности вагонного парка на планируемый период, т. е. представляет собой статистическую модель вагонного парка на планируемый период.

В условиях вагонного депо общая потребность материальных ресурсов складывается из потребностей на деповской и неплановый текущий ремонты вагонов, что усложняет построение прогнозирующей модели. В результате проведенного анализа были выявлены основные факторы, оказывающие влияние на расход материалов и деталей при выполнении текущего ремонта: 1) структура (виды) текущего ремонта: ремонт с отцепкой от составов, ремонт грузовых вагонов в местах погрузки и выгрузки и ремонт вагонов без отцепки в проходящих поездах; 2) условия эксплуатации подвижного состава в различных районах сети дорог; 3) изменение структуры и технической оснащенности вагонного парка и планируемый период; 4) интенсивность поступления вагонов определенного типа в каждый вид текущего ремонта. Эти факторы и были учтены при разработке модели прогнозирования.

В результате выполненного исследования было установлено, что суточная неравномерность поступления вагонов данного типа в каждый вид текущего ремонта может быть аппроксимирована составным распределением Пуассона

$$P_{h, H} = \int_0^{\infty} P_{h, H} \varphi(H) dH, \quad (2)$$

где

$$P_{h, H} = \frac{H^h}{h!} e^{-H}; \quad (3)$$

$$\varphi(H) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(H-h)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (4)$$

h — суточное поступление вагонов в текущий ремонт; H — среднее количество вагонов определенного типа, ежедневно поступающих в текущий ремонт; σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины H .

При необходимости можно учесть изменения параметров закона распределения, используя метод экспоненциального сглаживания.

В результате моделирования по каждой детали и материалу, которые потреблялись за период планирования, формируются статистические ряды, используемые затем для подбора законов распределения спроса и определения их параметров с помощью ЭВМ по указанной выше программе.

Применение предлагаемых имитационных прогнозирующих моделей в условиях функционирования АСУ позволит производить обработку исходных данных о техническом состоянии вагонов единым методом, основанным на научном анализе, исключающем возможность получения недостоверной информации, а также определять потребность в материалах и деталях на ремонт и техническое обслуживание вагонов в планируемый период с полным учетом изменения их технического состояния и особенностей эксплуатации на заданном полигоне железных дорог.

Четвертая глава посвящена разработке математических моделей оптимального планирования и управления запасами деталей и сборочных единиц на вагоноремонтных предприятиях, используемых для принятия решений при регулировании запасов. Подробно излагается методология проведения имитационных экспериментов с моделями управления запасами на вагоноремонтных предприятиях.

В качестве критерия оптимальности принимается достижение минимума суммарных издержек за плановый период времени, т. е.

$$I = I_n + I_x + I_d, \quad (5)$$

где I_n — издержки поставки для депо или издержки на переналадку оборудования для вагоноремонтного завода; I_x — издержки хранения запасов; I_d — издержки производства, обусловленные дефицитом деталей.

Стоимость поставки деталей для вагонного депо при решении многономенклатурной задачи определяется затратами, пропорциональными количеству наименований деталей и сборочных единиц, заказываемых на складе НОДХ. Для вагоноремонтного завода имеют место фиксированные затраты на запуск партии в производство, не зависящие от размера партии (стоимость переналадки оборудования). Эти затраты предлагается определять по формуле

$$I_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{q\beta} t_{\text{пер.}\beta} = C_n n, \quad (6)$$

где n — число поставок за планируемый период T ; m — число операций; $C_{q\beta}$ — технологическая себестоимость 1 ч работы оборудования на β -й операции, руб.; $t_{\text{пер.}\beta}$ — время переналадки оборудования на β -й операции, ч; C_n — затраты на одну поставку, руб.

Издержки хранения

$$I_x = \sum_1^T C_x y_t = \sum_1^T \left(\frac{C_r \alpha_v + \Pi \alpha_n}{T} y_t \right), \quad (7)$$

где T — период планирования, дней; C_x — стоимость хранения единицы запаса за сутки, руб.; y_t — уровень запаса в t -й день; C_r — расходы по эксплуатации складского помещения за период T , руб.; α_v — коэффициент, учитывающий долю объема, занимаемого (согласно действующим нормам) единицей запаса, в полезном объеме склада; Π — стоимость единицы запаса, руб.; α_n — норма эффективности оборотных средств, принимаемая обычно в размере 0,10—0,15.

Предлагаемые формулы для определения потерь, обусловленных дефицитом, будут различаться в зависимости от последствий, которые могут возникнуть при отсутствии деталей на позициях поточных линий сборочных цехов вагоноремонтных предприятий. Возможны следующие случаи:

1. Дефицит единицы запаса связан с простоем поточных линий сборочного цеха. В этом случае имеют место дополнительные затраты на экстренную поставку дефицитных деталей $I_{эп}$, затраты, связанные с простоем поточных линий в течение периода поставки дефицитных деталей $I_{пл}$, и простоем вагонов за этот же период $I_{пв}$:

$$I_d = I_{эп} + I_{пл} + I_{пв}. \quad (8)$$

Стоимость экстренной поставки дефицитных деталей $I_{эп}$ за период моделирования T для вагоноремонтного завода

$$I_{эп} = \left(p_i - \frac{Y_{di}}{Q_i} \right) \sum_1^m C_{q\beta i} t_{пз i}, \quad (9)$$

где p_i — число случаев дефицита по детали i -го наименования за период T , дней; Y_{di} — общее количество дефицитных деталей i -го наименования за период T , шт.; Q_i — количество деталей i -го наименования в партии, шт.; $t_{пз i}$ — подготовительно-заключительное время на β -й операции, ч.

Стоимость экстренной поставки для вагонного депо

$$I_{эп} = \left[\frac{\sum_1^m C_{q\beta i} (t_{шт i} + t_{пз i} / \bar{y}_{di})}{\alpha_d} - \Pi_i \right] Y_{di}, \quad (10)$$

где $t_{шт i}$ — штучное время изготовления детали i -го наименования на β -й операции, ч; \bar{y}_{di} — ожидаемый размер дефицита, шт.; α_d — коэффициент, учитывающий снижение долговечности и надежности детали, изготовленной на неспециализированном оборудовании в условиях вагонного депо.

В случае, если в условиях депо нельзя изготовить деталь на имеющемся оборудовании, то $I_{эп}$ будет определяться разницей между стоимостью экстренной поставки деталей со склада отделения дороги и стоимостью поставки, осуществляемой обычным способом.

Затраты, связанные с простым поточной линии при возникновении дефицита

$$I_{пл} = \sum_{i=1}^{p_i} C_{ч.пл\ i} t_{пл\ i}, \quad (11)$$

где $C_{ч.пл\ i}$ — стоимость 1 ч простоя поточной линии (или линий) из-за отсутствия детали i -го наименования, руб.; $t_{пл\ i}$ — время поставки дефицитных деталей, ч.

Затраты, связанные с простым вагонов на поточных линиях

$$I_{пв} = \sum_{i=1}^{p_i} C_{ч.пв} t_{пл\ i} n_{ви}, \quad (12)$$

где $C_{ч.пв}$ — стоимость 1 вагоно-часа, руб.; $n_{ви}$ — число простаивавших вагонов.

2. Дефицит единицы запаса не связан с простоем поточных линий. В этом случае вагоны выходят из сборочного цеха неукомплектованными и ожидают постановки деталей или сборочных единиц после их получения:

$$I_d = I_{эп} + I_{пр} + I_{ср} + I_{пв}. \quad (13)$$

где $I_{пр}$ — стоимость простоя рабочих, выполняющих работы по постановке детали i -го наименования на поточных линиях, руб.; $I_{ср}$ — оплата сверхурочных работ после получения дефицитных деталей, руб.; $I_{пв}$ — стоимость простоя неукомплектованных вагонов, руб.

Стоимость простоя рабочих

$$I_{пр} = \sum_{i=1}^{p_i} C_{ч.пр\ i} \alpha_{уст\ i} t_{пл\ i}, \quad (14)$$

где $C_{ч.пр\ i}$ — стоимость 1 ч простоя рабочих, выполняющих работы по установке деталей i -го наименования на одной или нескольких поточных линиях, руб.; $\alpha_{уст\ i}$ — коэффициент, учитывающий долю времени, затрачиваемого на установку детали i -го наименования, в такте поточной линии сборочного цеха.

Издержки, связанные со сверхурочными работами

$$I_{ср} = \sum_{i=1}^{p_i} C_{ср\ i} N_{р\ i} t_{уст\ i} n_{ви}, \quad (15)$$

где $C_{ср1}$ — стоимость 1 ч сверхурочных работ, руб.; $N_{р1}$ — число рабочих; $t_{уст1}$ — время на установку деталей (или детали) i -го наименования на вагон, ч; $n_{нв1}$ — число неуккомплектованных вагонов, ожидающих постановки отсутствующих деталей и сборочных единиц.

Издержки, обусловленные простым неуккомплектованных вагонов

$$I_{нв} = \sum_1^{P_1} C_{ч.пв} t_{уст1} n_{нв1}. \quad (16)$$

Особенностью ремонтного производства является использование в сборочном процессе не только новых, но и восстановленных деталей. Поэтому при построении модели управления запасами деталей и сборочных единиц на складе ПДО учитываются два источника исполнения запасов: вновь изготовленные детали поступают из литейного, кузнечного или механического цехов, а восстановленные — из ремонтно-комплектовочного цеха (РКЦ).

В предлагаемой модели ежедневный спрос на детали, определяемый потребностью сборочного цеха, поступление отремонтированных деталей и время поставки новых являются случайными величинами с заданными функциями распределений. При снижении уровня запаса до точки заказа s , устанавливаемой по фиктивному запасу, или ниже ее делается заказ на поставку новых деталей в количестве Q , т. е. для регулирования запасов используется стратегия (s, Q) . В модели учитываются также ограничения, налагаемые на размер партии по пропускной способности оборудования. Обозначим через Q^* размер партии, равный суточной производительности оборудования, определяемой в соответствии со сменностью его работы. Если $Q \leq Q^*$, то заказываемая партия поступит со случайной задержкой τ . Если же $Q > Q^*$, то партия будет поступать по частям в течение θ дней, т. е.

$$\theta = \tau + \Theta, \quad (17)$$

где Θ — наибольшее целое число, меньшее или равное Q/Q^*

Модель управления запасами деталей и сборочных единиц на складе ПДО ВРЗ описывается следующими переменными, параметрами и функциональными соотношениями.

ЭНДОГЕННЫЕ (ВЫХОДНЫЕ) ПЕРЕМЕННЫЕ

I — общие издержки системы управления запасами; Z_1 — средний уровень запасов; Z_2 — средний уровень запасов, пролежавших без употребления; Z_3 — число поставок; Z_4 — вероятность дефицита; Z_5 — ожидаемый размер дефицита.

ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ

I_x — общие затраты на содержание запаса; I_n — общие затраты на поставки; I_d — общие издержки дефицита; p — число случаев дефицита за период T ; n — число поставок за период T ; $y_{\text{фн}}$ — уровень фиктивного запаса в конце t -го дня, $t = \overline{1, T}$; y_t — уровень наличного запаса в конце t -го дня, $t = \overline{1, T}$; Y_d — общая величина дефицита за период T ; Y — суммарная величина запаса за период T ; Y_p — суммарная величина запаса, пролежавшего без употребления за период T ; t — текущее время; t_{nj} — день поставки новых деталей по j -му заказу, $j = \overline{1, \omega}$; t_{nj}^* — день поставки партии деталей размером $\leq Q^*$ согласно j -го заказа, $j = \overline{1, \omega}$.

ЭКЗОГЕННЫЕ (ВХОДНЫЕ) ПЕРЕМЕННЫЕ

D_t — спрос в t -й день, $t = \overline{1, T}$; τ_j — время, необходимое для выполнения j -го заказа размером $\leq Q^*$, $j = \overline{1, \omega}$; L_t — поступление отремонтированных деталей на склад в t -й день, $t = \overline{1, T}$.

ПЕРЕМЕННЫЕ УПРАВЛЕНИЯ

Q — объем одной поставки; s — точка возобновления запаса.

ПАРАМЕТРЫ

C_x — затраты на хранение единицы запаса в течение одного дня; C_n — затраты на одну поставку; y_0 — начальный уровень запаса; T — период планирования (в днях); параметры уравнения (8) или (13)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

$f(D)$ — функция плотности вероятностей спроса; $f(\tau)$ — функция плотности вероятностей времени выполнения заказа размером $\leq Q^*$; $f(L)$ — функция плотности вероятностей поступления отремонтированных деталей на склад.

ТОЖДЕСТВА

$$I = I_x + I_n + I_d; \quad Z_1 = \frac{Y}{T}; \quad Z_2 = \frac{Y_p}{n};$$

$$Z_3 = n; \quad Z_4 = \frac{Y_d}{N_n}; \quad Z_5 = \frac{Y_d}{p},$$

где N_n — суммарная потребность в деталях за период T .

В результате проведения машинного имитационного эксперимента с рассматриваемой моделью определяются оптимальные значения s и Q , минимизирующие (в вероятностном смысле) общие затраты (подробная блок-схема имитации функционирования рассматриваемой системы приведена в работе).

Особенностью данной имитационной модели является возможность оценивать эффективность выбранной стратегии и по ряду частных показателей Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 и Z_5 , которые целесообразно применять при отсутствии данных об издержках или при определении уровней запасов деталей, не входящих в группу А.

Затем была построена многономенклатурная модель управления запасами деталей и сборочных единиц в вагонном депо. Предполагается, что на складе вагонного депо хранится N различных номенклатур. Спрос на i -ю номенклатуру в t -й день является случайной величиной с заданным законом распределения. Для регулирования запасов использования стратегия (\hat{Y}, T_n) в ее векторной форме, т. е. с различными значениями \hat{Y}_i и T_{ni} для i -й номенклатуры. Поставки осуществляются по системе кратных периодов, согласно которой периоды T_{ni} должны быть кратны определенному базисному периоду T_0 . Задача заключается в выборе периода T_0 и последующей разбивки всей номенклатуры на множества $\{k_i\}$ с периодичностью поставок $k_i T_0$ ($k_i = \overline{1, \xi}$) таким образом, чтобы издержки, обусловленные поставками, хранением и дефицитом были минимальными. В результате моделирования процесса управления запасами на складе вагонного депо производится расчет оптимальных интервалов поставки и уровней запаса по рассматриваемым деталям и сборочным единицам.

Рассматриваемая модель управления многономенклатурными запасами в депо описывается следующими переменными и параметрами.

ВЫХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

I — полные затраты системы; Z_d — вероятность дефицита; Z_{1i} — средний уровень запасов i -й номенклатуры, $i = \overline{1, N}$; Z_{2i} — средний уровень запасов i -й номенклатуры, пролежавших без употребления, $i = \overline{1, N}$; Z_{3i} — число поставок i -й номенклатуры, $i = \overline{1, N}$.

ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ

I_x — общие затраты на хранение запасов; I_n — общие затраты на поставки; I_d — общие затраты, обусловленные дефицитом; I_{di} — затраты, обусловленные дефицитом i -й номенклатуры, $i = \overline{1, N}$; T_d — число дней, в которые имел место дефицит; p_i — число поставок i -й номенклатуры за период T , $i = \overline{1, N}$; y_{it} — уровень запаса i -й номенклатуры в конце t -го дня, $i = \overline{1, N}$, $t = \overline{1, T}$; t — текущее время; t_n — день поставки (отпуска) по графику продукции со склада НОДХ; t_{ni} — день поставки i -й номенклатуры, $i = \overline{1, N}$; Y_{di} — общая величина дефицита по i -й номенклатуре за период T , $i = \overline{1, N}$; Y_i —

суммарная величина запаса по i -й номенклатуре за период T , $i = \overline{1, N}$; Y_{pi} — суммарная величина запаса по i -й номенклатуре, пролежавшего без употребления, $i = \overline{1, N}$; b — число одновременно заказываемых номенклатур.

ВХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

D_{it} — спрос на i -ю номенклатуру в t -й день, $i = \overline{1, N}$, $t = \overline{1, T}$

ПЕРЕМЕННЫЕ УПРАВЛЕНИЯ

\hat{Y}_i — верхний уровень запасов по i -й номенклатуре, $i = \overline{1, N}$; k_i — коэффициент, определяющий периодичность поставок i -й номенклатуры и принадлежность ее к соответствующему множеству, $i = \overline{1, N}$, $k_i = \overline{1, \xi}$.

ПАРАМЕТРЫ

C_{xi} — ежедневные затраты на хранение единицы i -й номенклатуры, $i = \overline{1, N}$; q — затраты на поставку, пропорциональные числу заказываемых номенклатур; T — период моделирования, дней; T_0 — базисный период, дней; N — число номенклатур; параметры уравнений, определяющих издержки дефицита.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

$f(D_i)$ — функция плотности вероятностей спроса на i -ю деталь, $i = \overline{1, N}$.

ТОЖДЕСТВА

$$I = I_n + I_x + I_d; \quad Z_d = \frac{T_d}{T};$$

$$Z_{1i} = \frac{Y_i}{T}; \quad Z_{2i} = \frac{Y_{pi}}{n_i}; \quad Z_{3i} = n_i.$$

В работе приводится блок-схема предлагаемой модели управления запасами. Для генерирования случайной величины спроса, описываемой S_B — распределением Джонсона, используется соотношение

$$D_{it} = \frac{\epsilon + (\epsilon + \lambda) \exp\left(\frac{x - \gamma}{\gamma_i}\right)}{1 + \exp\left(\frac{x - \gamma}{\gamma_i}\right)} \quad (18)$$

где x — нормированная нормально распределенная случайная величина с параметрами $\mu = 0$ и $\sigma = 1$.

В пятой главе рассматривается практическое приложение результатов исследования и их экономическая эффективность.

Методика решения задачи управления запасами иллюстрируется на примере одной из деталей группы А вагоноремонтного завода. Путем имитационных расчетов для рассматриваемой детали получены оптимальные значения размера партии и точки заказа, которые используются для регулирования запасов в течение периода планирования.

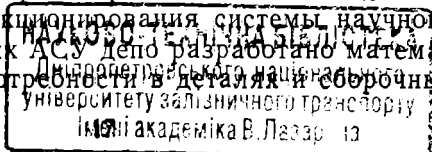
Проведение имитационного эксперимента с моделью управления запасами на складе ПДО вагоноремонтного завода позволило сделать следующие выводы: а) издержки дефицита являются преобладающими по сравнению со стоимостью поставок и хранения (больше на один или два порядка); б) определяющими среди издержек дефицита являются затраты, связанные с простоем поточных линий, и затраты на оплату сверхурочных работ; в) основную долю в издержках хранения составляют потери от связывания оборотных средств, являющиеся функцией стоимости детали.

Исходя из вышесказанного, при практической реализации моделей управления запасами на вагоноремонтных предприятиях целесообразно оптимизировать переменные управления моделей по стоимости хранения и поставок, исключив с заданной вероятностью случаи возникновения дефицита. В стоимости хранения можно учитывать только потери от связывания оборотных средств. Это значительно упрощает модель и ее реализацию.

В результате моделирования получена зависимость общих издержек и их составляющих от размера партии деталей, построен график зависимости вероятности дефицита от среднего уровня запаса. Результаты моделирования были представлены также в виде графика зависимости среднего уровня запаса от числа поставок при различных уровнях обслуживания. Пользуясь графиком можно получить обоснованную оценку эффективности стратегии управления запасами без детальных данных о размерах затрат.

С помощью модели управления многономенклатурными запасами был произведен расчет значений переменных управления для деталей и сборочных единиц, потребляемых при ремонте вагонов в депо Гомель. В диссертации приведены результаты расчета по четырем наиболее важным деталям и сборочным единицам группы А (головка автосцепки, борт платформы продольный, запор клиновой и колодка чугунная). Сравнение результатов моделирования с существующими нормативами запасов в депо Гомель показало возможность уменьшения среднего уровня запасов по указанным деталям и сборочным единицам на 4,5%. В целом по депо ожидается снижение уровня запасов ориентировочно на 15—20%.

Для нормального функционирования системы научного управления запасами в условиях АСЗ депо разработано математическое обеспечение по расчету потребности в деталях и сборочных едини-



6935a

цах на программу выпуска вагонов и для заявок, учета и контролю за уровнями запасов на ЭВМ.

Результаты выполненных исследований использованы при разработке методик решения и технических заданий на комплекс задач АСУ ремонтом грузовых вагонов в депо, которые утверждены Главным управлением вагонного хозяйства МПС для практического внедрения на сети железных дорог в условиях функционирования АСУ

Расчет экономической эффективности позволяет сделать вывод о целесообразности внедрения комплекса разработанных задач в условиях АСУ ВРЗ и депо. Срок окупаемости их составляет соответственно 2,36 и 2,96 года, расчетный коэффициент эффективности затрат — 0,423 и 0,340, а годовой экономический эффект 27,406 и 14,991 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Для внедрения на вагоноремонтных предприятиях системы научного управления запасами деталей и сборочных единиц, потребляемых при ремонте вагонов, необходимо, прежде всего, установление законов распределения спроса и построение математических моделей, описывающих функционирование системы. Для исследования математических моделей управления запасами весьма эффективным является применение метода имитационного моделирования, позволяющего изучать реальные производственные процессы во всей сложности.

2. Разработаны и апробированы имитационные модели планирования и управления запасами деталей и сборочных единиц на складе ПДО вагоноремонтного завода и в вагонном депо, которые дают возможность оптимизировать переменные управления моделей и соответствующие им уровни запасов. Применение указанных моделей в условиях АСУ позволяет автоматизировать процесс принятия решений по управлению запасами деталей и сборочных единиц.

3. Установлены аналитические зависимости, используемые для количественной оценки издержек производства, обусловленных функционированием системы управления запасами на вагоноремонтных предприятиях.

4. Построены имитационные прогнозирующие модели потребности материальных ресурсов на ремонт и техническое обслуживание вагонов, которые необходимо применять в условиях АСУ для создания информационных массивов, отражающих потребление материалов, деталей и сборочных единиц в планируемый период и используемых для определения законов распределения спроса.

5. Разработано математическое обеспечение для автоматизации на ЭВМ с помощью кривых Джонсона процесса подбора и опреде-

ления параметров законов распределения спроса и других случайных величин, которое может широко применяться в условиях АСУ для оптимизации ремонтных процессов. Результаты исследований показали, что спрос для большинства деталей и сборочных единиц аппроксимируется семейством S_B — распределений Джонсона.

6. В результате проведения на ЭВМ имитационных экспериментов установлено, что при практической реализации моделей управления запасами на вагоноремонтных предприятиях целесообразно оптимизировать переменные управления моделей по стоимости поставок и хранения, исключив с высокой вероятностью возникновение дефицита.

7. Для реализации моделей управления запасами в условиях АСУ депо разработан комплекс математического обеспечения для организации оперативного учета и контроля за уровнями запасов деталей и сборочных единиц на ЭВМ, которое может быть использовано и для вагоноремонтного завода.

8. Разработаны рекомендации, направленные на устранение значительных целосменных и внутрисменных простоев, а также на увеличение доли машинного времени в общей продолжительности работы оборудования, которые обеспечат повышение производительности работы оборудования механических цехов на рассматриваемых вагоноремонтных заводах более чем в два раза.

9. Разработаны методика определения рациональных значений коэффициента загрузки оборудования и программа обработки статистических данных об его использовании за различные периоды (час, смену, день, декаду, месяц), которые позволяют обоснованно планировать загрузку оборудования и принимать решения по улучшению его работы за указанные периоды.

10. Выполнены технико-экономические расчеты, показывающие высокую эффективность разработанных рекомендаций, которые представлены в виде отдельных задач, решаемых с помощью АСУ вагоноремонтного завода и депо. Срок окупаемости их составляет соответственно 2,36 и 2,96 года, а расчетный коэффициент эффективности затрат — 0,423 и 0,340.

11. Результаты выполненных исследований использованы при разработке методик и технических заданий на комплекс задач АСУ ремонтом грузовых вагонов в депо, которые одобрены ЦНИИ МПС, ПКБ ЦВ, ЦУВТ МПС и утверждены Главным управлением вагонного хозяйства МПС в 1977 году. Проводится опытное внедрение задач в вагонном депо Гомель, являющемся базовым по разработке и внедрению АСУ ремонтом грузовых вагонов на сети железных дорог.

Внедрение на вагоноремонтных предприятиях сети дорог научно обоснованных уровней запасов деталей и сборочных единиц и

рекомендуемых в диссертации мероприятий по улучшению использования оборудования позволит обеспечить ритмичность работы поточных линий сборочных цехов, повысить эффективность использования мощностей и получить экономический эффект более 2 млн руб. в год. В результате повышается качество ремонта вагонов и сокращается простой вагонов в неисправном состоянии, т. е. увеличивается провозная способность железных дорог.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Пигунов В. В.* Изучение времени использования оборудования способом моментных наблюдений на вагоноремонтных предприятиях железнодорожного транспорта. — В кн. *Белорусский научно-исследовательский институт научно-технической информации и технико-экономических исследований Госплана БССР. Наука и технический прогресс в машиностроении: Тез. докл. Минск, 1974, с. 41—42.*

2. *Пигунов В. В.* К вопросу внутрисменного использования станочного оборудования на вагоноремонтных заводах. — В кн.: *Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта. XII научно-техническая конференция кафедр института и секций ДорНТО Белорусской железной дороги: Тез. докл. Гомель, 1975, с. 90.*

3. *Пигунов В. В.* Определение минимально допустимых значений коэффициентов загрузки оборудования на предприятиях по ремонту подвижного состава. — *Тр./Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., 1975, вып. 135. Совершенствование конструкции и ремонта вагонов, с. 39—43.*

4. *Пигунов В. В.* Исследование эффективности использования мощностей заготовительных цехов вагоноремонтных заводов и выявление их резервов. — *Тр./Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., 1976, вып. 150. Совершенствование ремонта и текущего содержания вагонов, с. 45—53.*

5. *Пигунов В. В.* Методика определения оптимального уровня запасов деталей и узлов на вагоноремонтных предприятиях. — *Тр./Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., 1976, вып. 150. Совершенствование ремонта и текущего содержания вагонов, с. 22—31.*

6. *Пигунов В. В.* Управление многопоменклатурными запасами на складе вагонного депо. — *Тр./Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., 1977, вып. 154. Совершенствование конструкции и ремонта вагонов, с. 10—17.*

7. *Бугаев В. П., Пигунов В. В.* Автоматизация процесса подбора законов распределения случайных величин при решении задач оптимизации ремонта вагонов. — *Тр./Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., 1977, вып. 154. Совершенствование конструкции и ремонта вагонов, с. 33—44.*

8. *Пигунов В. В., Удод Т. И.* Особенности решения задач материально-технического обеспечения вагонного депо. — В кн.: *Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта. Повышение эффективности работы Белорусской железной дороги: Тез. докл. Гомель, 1977, с. 53—54.*

9. *Пигунов В. В.* Методика и результаты проведения на ЭВМ имитационных экспериментов с моделями управления запасами вагоноремонтных предприятий. — В кн.: *Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта. Повышение эффективности работы Белорусской железной дороги: Тез. докл. Гомель, 1977, с. 39—40.*

И. Г. 78

А3 50395. Подписано к печати 13.VII.1978 г. Печ. листов 1,25.
Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Зак. 2523. Тир. 150.

Тип. БелИИЖТа, г. Гомель.

Сканировала Камянская Н.А.