

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и автоматического управления

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПЕРЕВОДА РЕМОНТНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ С ДВУХСМЕННОГО НА ТРЕХСМЕННЫЙ
ГРАФИК РАБОТЫ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 481 группы
направления 27.03.03 Системный анализ и управление
факультета компьютерных наук и информационных технологий
Некрасова Максима Дмитриевича

Научный руководитель

доцент, к. т. н.

И. Н. Фомин

Заведующий кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Современные сервисные предприятия часто сталкиваются с нехваткой кадров и рабочих площадей при обслуживании спецтехники. Обычный график в две смены плохо справляется с нестабильным потоком заявок. Днём оборудование загружено примерно на 55–60%, но при этом на участках диагностики скапливаются очереди из машин. Самое простое решение в такой ситуации — это ввести третью смену и запустить цех круглосуточно. В теории это должно увеличить фонд рабочего времени на треть и пропорционально поднять объёмы ремонта [1].

На практике такой прямой подход часто не срабатывает. Ремонт спецтехники сильно зависит от людей, и любые ошибки здесь стоят очень дорого. Работа в ночное время требует особого внимания, но с 02:00 до 05:00 утра у рабочих неизбежно наступает физиологическая усталость. Из-за этого снижается концентрация, сварщики начинают допускать брак, а риск механических повреждений деталей возрастает. Дополнительное негативное давление оказывает ТК РФ, требующий повышенной оплаты ночного труда не менее чем на 20–40%.

Для малого предприятия «TANK M», находящегося в условиях долгой нагрузки и демонстрирующего отрицательную операционную маржу на уровне -200 тыс. рублей в 2025 году, неконтролируемое раздувание фонда оплаты труда при падении спроса создает прямую угрозу кассовому разрыву. Аналитические методы расчета [2] (такие как статические матрицы Excel или классические формулы Эрланга) оказываются полностью слепыми к нелинейным эффектам комбинаторного взрыва состояний цеха. В связи с этим применение методов дискретно-событийного имитационного моделирования в среде AnyLogic является единственным научно обоснованным методом системного анализа, позволяющим верифицировать сценарии ГО-ВЕ и предотвратить финансовый кризис предприятия до принятия административных решений.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка с помощью имитационного моделирования технической возможности и экономической целесообразности перевода ремонтного предприятия с двухсменного режима работы на трёхсменный.

Чтобы достичь этой цели, в работе решаются следующие задачи:

- разобрать научные публикации и практический опыт перевода промышленных и ремонтных предприятий на круглосуточный режим;
- провести системный анализ процессов ремонта автоцистерн и описать исходное состояние предприятия (AS-IS);
- поставить задачу формально и описать, как в модели рабочие занимают дефицитные ресурсы цеха с учётом того, что ночью производительность падает;
- реализовать дискретно-событийную модель цеха в AnyLogic и встроить в неё модуль финансовой аналитики на Java;
- прогнать модель много раз, чтобы убрать влияние случайности, разобрать полученные результаты и предложить рекомендации по графику работы.

Методологические основы имитационного моделирования и его применения к задачам организационно-технической оптимизации производственных систем представлены в работах В. Д. Боева [3], А. А. Гладких [4] и В. В. Побединского [5]. Теоретическую базу описания производственного процесса как сети систем массового обслуживания составляют работы М. А. Плескунова [6] и В. А. Романенко [7]. Методологические основы системного анализа представлены в работах И. Н. Глухих [2] и В. В. Кузнецова [8].

Теоретическая значимость бакалаврской работы. В работе выполнена формализация производственного процесса малого ремонтного предприятия в терминах теории массового обслуживания. Цех представлен как открытая сеть систем массового обслуживания с нестационарным входящим потоком, немарковскими распределениями длительностей операций, контуром обратной связи от брака и зависимостью производительности персонала от смены. Показано, что совокупность указанных факторов выводит систему за пределы аналитически разрешимых задач теории массового обслуживания и обосновывает применение методов дискретно-событийного имитационного моделирования.

Практическая значимость бакалаврской работы. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы разработана дискретно-событийная имитационная модель ремонтного цеха предприятия «TANK M» в среде AnyLogic с встроенным модулем финансовой аналитики на языке Java.

Адекватность модели подтверждена сопоставлением её результатов с фактическим финансовым положением предприятия. Построенная модель представляет собой готовый инструмент поддержки управленческих решений: она позволяет проверять сценарии реорганизации режима работы предприятия в виртуальной среде, без производственных и финансовых рисков, и тем самым предотвращать дорогостоящие управленческие ошибки до их реального внедрения.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников и 7 приложений. Общий объём работы — 49 страниц, из них 36 страниц — основное содержание, включая 5 рисунков и 2 таблицы. Список использованных источников информации — 20 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Обзор подходов к переводу предприятий на многосменный режим работы» посвящён анализу научных публикаций и практического опыта перевода промышленных и ремонтных предприятий на многосменный график, а также обоснованию выбора инструмента моделирования.

В подразделе 1.1 рассмотрены особенности перевода ремонтного цеха на круглосуточную работу. Показано, что классическое предположение о линейном приросте выработки при добавлении смен справедливо для конвейерного производства, но неприменимо к ремонтным цехам со стохастическим характером входящего потока.

Подраздел 1.2 посвящён анализу научных исследований по теме изменения режимов работы предприятий и моделирования соответствующих рисков, включая снижение работоспособности персонала в ночные часы, повышение оплаты ночного труда по Трудовому кодексу РФ и рост доли производственного брака.

В подразделе 1.3 рассматривается применение методов имитационного моделирования для оценки технической возможности и экономической целесообразности перехода. Обосновано, что аналитические методы теории массового обслуживания не позволяют одновременно учесть всю совокупность действующих факторов.

В подразделе 1.4 проведено обоснование выбора программного обеспечения. Сравнение функциональных возможностей сред GPSS World, Arena и AnyLogic показало, что для решения поставленной задачи наиболее подходящей является среда AnyLogic благодаря поддержке дискретно-событийного моделирования, интеграции с языком Java и встроенному механизму серийных экспериментов.

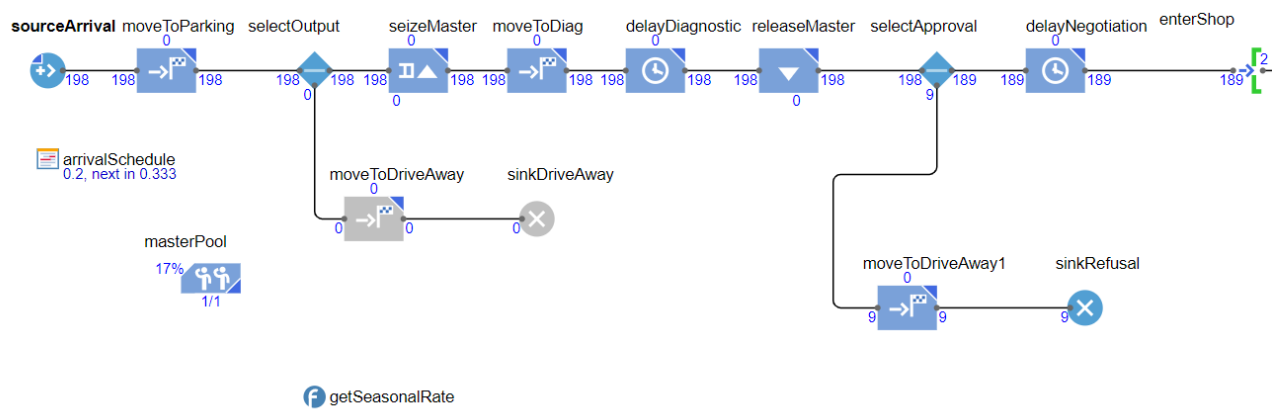
Второй раздел «Разработка имитационной модели» посвящён системному анализу предприятия, формальной постановке задачи в терминах теории массового обслуживания и программной реализации модели в среде AnyLogic.

В подразделе 2.1 приведено описание ремонтного предприятия «TANK M» и его характеристик. Предприятие специализируется на обслуживании и восстановлении грузовых автомобилей и автоцистерн; базовый режим работы — двухсменный, со штатом 9 человек в смену.

Подраздел 2.2 посвящён определению параметров модели в среде AnyLogic: интенсивности входящего потока, длительностей технологических операций, состава ресурсных пулов и характеристик случайных событий — отказов оборудования и брака.

В подразделе 2.3 представлена математическая модель системы. В пункте 2.3.1 производственный процесс описан как открытая сеть систем массового обслуживания, где каждый технологический пост представлен отдельной СМО с очередью. В пункте 2.3.2 приведена формальная постановка задачи. В пункте 2.3.3 описан механизм захвата дефицитных ресурсов и введён сменный коэффициент производительности α , отражающий снижение работоспособности персонала в вечерние и ночные часы.

Подраздел 2.4 посвящён построению имитационной модели в среде AnyLogic. В пункте 2.4.1 описана общая структура процесса — цепочка блоков, через которые проходит автоцистерна от поступления на предприятие до выпуска после ремонта. Технологический маршрут условно разделён на три участка, представленных на рисунках 1–3.



Дашборд



Логика процесса

Рисунок 1 – Начальный пост: генерация потока, приёмка и согласование

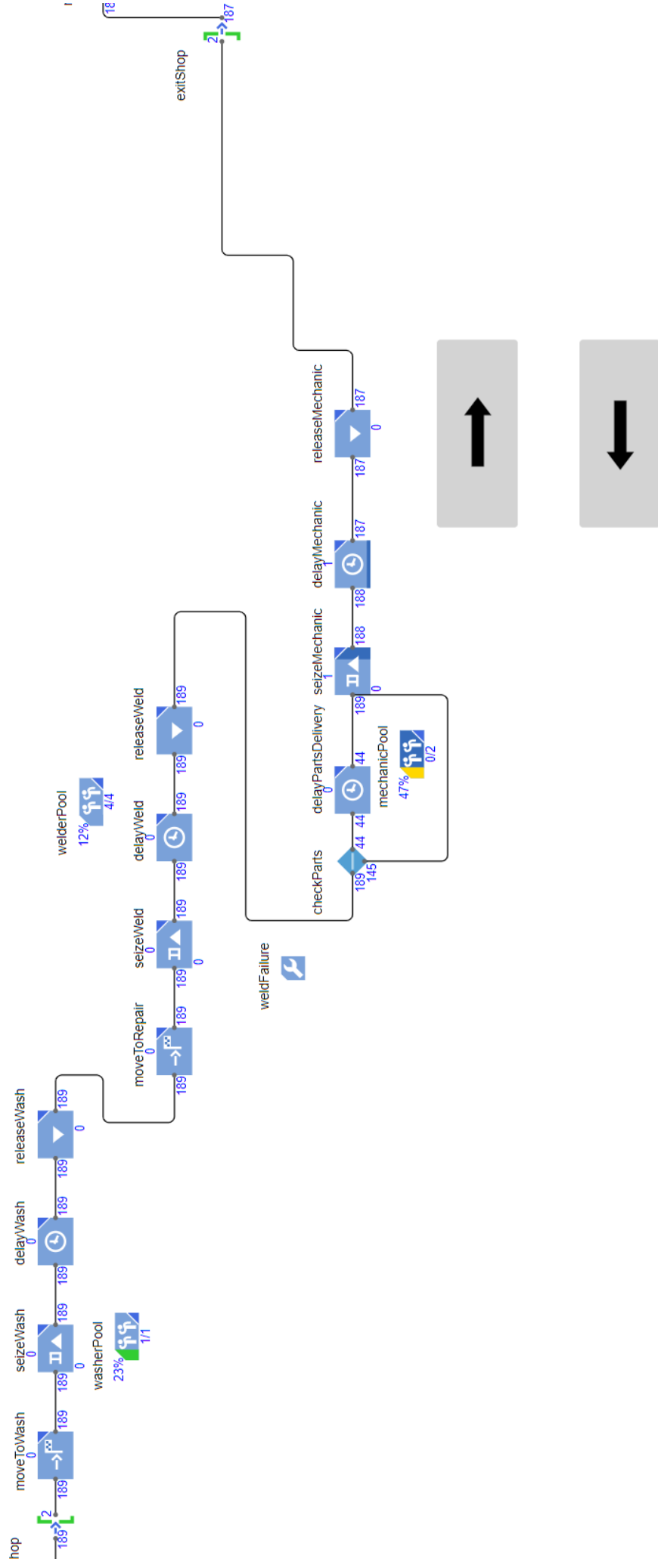
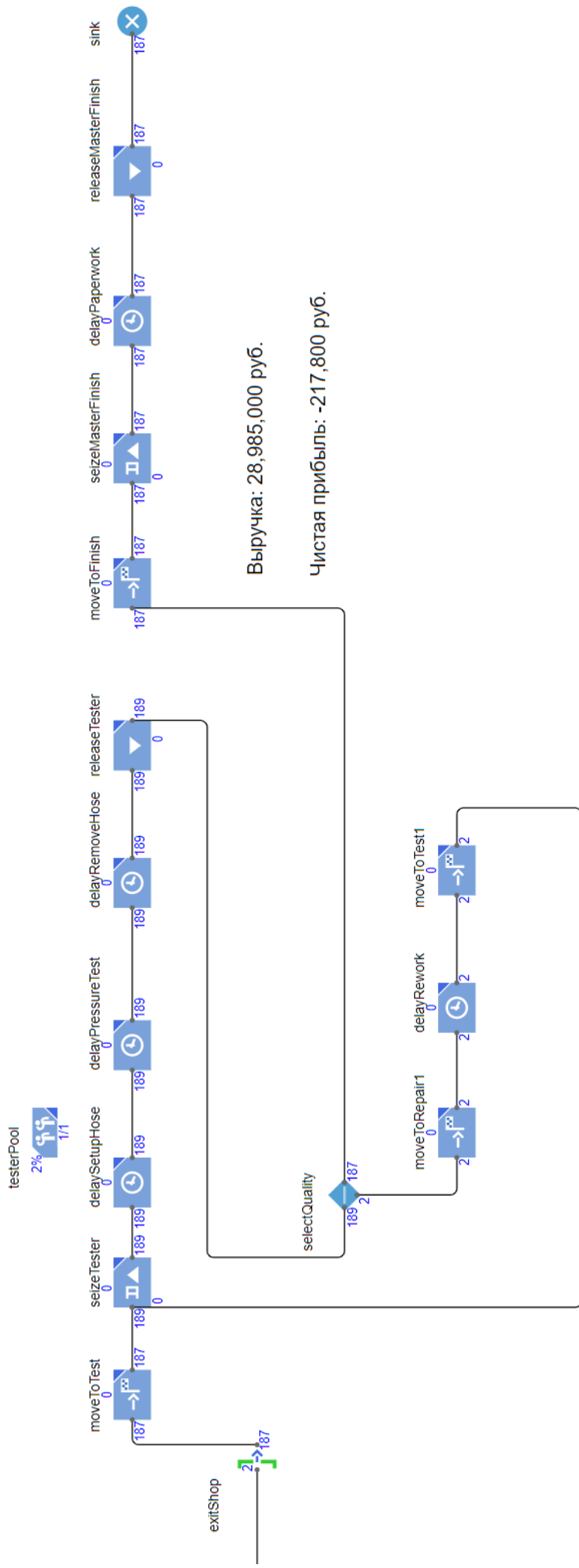


Рисунок 2 – Производственная зона: мойка, сварка, заказ запчастей и слесарные работы



Выручка: 28,985,000 руб.

Чистая прибыль: -217,800 руб.



Рисунок 3 – Пост испытаний, контроль качества с петлей переделки и оформление

На первом участке (рисунок 1) реализованы блоки поступления автоцистерн, постановки на парковку, приёмки мастером и согласования объёма работ. На втором участке (рисунок 2) расположена производственная зона: мойка и дегазация, сварочно-восстановительные работы, ветвь заказа запчастей и слесарных операций. На третьем участке (рисунок 3) представлены пост испытаний под давлением, контроль качества с возвратом дефектных изделий на доработку и оформление документов.

В пункте 2.4.2 описана реализация переключения смен через циклическое событие `shiftEvent`, которое каждые восемь часов меняет текущую смену, проверяет, должен ли цех работать в данный момент, и устанавливает численность бригад по постам. Фрагмент кода события приведён ниже.

```
if (shiftManager.currentShift == ShiftManager.ShiftType.dayShift) {
    shiftManager.currentShift = ShiftManager.ShiftType.eveningShift;
} else if (shiftManager.currentShift == ShiftManager.ShiftType.eveningShift) {
    shiftManager.currentShift = ShiftManager.ShiftType.nightShift;
} else {
    shiftManager.currentShift = ShiftManager.ShiftType.dayShift;
}

boolean isWorkingNow = true;
if (getDayOfWeek() == SUNDAY) {
    isWorkingNow = false;
} else if (shiftManager.currentShift == ShiftManager.ShiftType.nightShift
    && isThreeShiftsMode == false) {
    isWorkingNow = false;
}

if (isWorkingNow) {
    if (shiftManager.currentShift == ShiftManager.ShiftType.nightShift) {
        welderPool.set_capacity(2);
        mechanicPool.set_capacity(2);
        masterPool.set_capacity(1);
        washerPool.set_capacity(0);
        testerPool.set_capacity(0);
    } else {
        welderPool.set_capacity(4);
        mechanicPool.set_capacity(2);
        masterPool.set_capacity(1);
        washerPool.set_capacity(1);
        testerPool.set_capacity(1);
    }
} else {
    welderPool.set_capacity(0);
    mechanicPool.set_capacity(0);
}
```

```
masterPool.set_capacity(0);  
washerPool.set_capacity(0);  
testerPool.set_capacity(0);  
}
```

Событие реализует три действия: циклическое переключение текущей смены в порядке «день → вечер → ночь», проверку рабочего состояния цеха (исключение воскресенья и ночной смены при двухсменном режиме) и установку численности бригад по постам. В ночную смену выходит сокращённый состав из пяти человек, поскольку мойка, дегазация и испытания под давлением в ночные часы не выполняются.

В пункте 2.4.3 описаны финансовый модуль, рассчитывающий чистую прибыль предприятия как разность накопленной операционной маржи и совокупных издержек (включающих фонд оплаты труда, зависящий от режима сменности, и прочие постоянные расходы), и механизм учёта дефектов через перечисление типов брака.

В подразделе 2.5 выполнена верификация и проверка адекватности модели. Адекватность подтверждена сопоставлением результатов модели с фактическим финансовым положением предприятия: настроенная на реальные параметры, модель воспроизвела убыток того же порядка, что зафиксирован в отчётности предприятия за 2025 год.

Третий раздел «Проведение экспериментов и оценка целесообразности перехода предприятия с двухсменного на трёхсменный режим» посвящён сравнительному анализу двух режимов работы предприятия и формированию рекомендаций.

В подразделе 3.1 определены параметры, метрики и сценарии экспериментов. Оценка проводилась по трём показателям: поступившему потоку автоцистерн, числу обслуженных машин и годовой чистой прибыли. Для каждого сценария — сохранения двухсменного режима и перехода на трёхсменный — использована серия из 50 прогонов методом варьирования параметров с усреднением результатов.

Подраздел 3.2 посвящён проведению экспериментов и отслеживанию метрик. Результаты показали, что при сохранении двухсменного режима годовой убыток предприятия в прогнозном 2026 году составляет около 410 тыс. руб., тогда как переход на трёхсменный режим увеличивает убыток почти в десять раз — до 3,95 млн руб. Прирост числа обслуженных машин

при этом составляет лишь около 3%.

Подраздел 3.3 содержит оценку технической возможности и экономической целесообразности перехода и формирование рекомендаций. В пункте 3.3.1 показано, что переход на трёхсменный режим технически осуществим. В пункте 3.3.2 установлено, что экономически он нецелесообразен: дополнительные расходы на содержание ночной бригады в семь раз превышают приносимую ею выручку. В пункте 3.3.3 сформулированы рекомендации: отказаться от перехода на трёхсменный режим и направить усилия предприятия на работу со спросом, снижение брака и оптимизацию дневной загрузки постов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволяет сделать вывод о том, что поставленная задача оценки технической возможности и экономической целесообразности перевода предприятия «TANK M» с двухсменного на трёхсменный режим была решена. С помощью имитационного моделирования получен обоснованный ответ на вопрос о целесообразности перехода и сформирован комплекс рекомендаций для предприятия.

В ходе работы последовательно решены все задачи, поставленные во введении. Прежде всего был проведён анализ научных публикаций и практического опыта перевода предприятий на многосменный режим. Обзор показал, что линейный рост выработки при добавлении смен допускается на конвейере, однако в ремонтных цехах оно не работает, так как поток заявок случаен по своей природе. Выявилась и вторая сложность — стандартный аппарат теории массового обслуживания не справляется, когда нужно одновременно охватить нестационарный и сезонный спрос, отказы оборудования, возврат брака на повторную обработку и зависимость темпа работы от времени суток. По этой причине в качестве рабочего инструмента и была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic.

На втором этапе процессы ремонта автоцистерн прошли системный анализ, по итогам которого описано текущее состояние предприятия (AS-IS). Производственный цикл удалось свести к открытой сети систем массового обслуживания, где ресурсы ограничены, присутствует контур обратной связи, а поток на входе нестационарен. Также зафиксированы исходные параметры.

Третий этап свёлся к формализации задачи средствами теории массового обслуживания. Был описан порядок захвата дефицитных ресурсов и введён сменный коэффициент производительности, который отражает, что к вечеру и к ночи работоспособность падает, а на пересменке теряется часть времени. Опираясь на это, удалось поставить задачу: подобрать режим работы с наилучшим финансовым итогом, не выходя за технические ограничения системы.

Следующим шагом стала разработка и программная реализация дискретно-событийной модели цеха в AnyLogic. Маршрут ремонта состоит из блоков библиотеки моделирования процессов, а всё нестандартное — смена режимов, пересчёт производительности, финансовые расчёты — реализовано кодом на Java. Проверка адекватности дала положительный результат: при настройке на реальные параметры модель показала убыток того же порядка, что и в отчёте предприятия.

Заключительный этап составили эксперименты по схеме варьирования параметров. Каждый сценарий прогонялся 50 раз со случайной инициализацией, после чего результаты усреднялись; благодаря этому удалось погасить случайные колебания и придать выводам статистическую устойчивость.

Основной итог работы сводится к следующему. С технической стороны трёхсменный режим вполне реализуем, но с экономической — себя не оправдывает. Если предприятие остаётся на двух сменах, его годовой убыток в прогнозном 2026 году держится на уровне около 410 тыс. руб.; переход же на три смены углубляет убыток почти десятикратно, доводя его до 3,95 млн руб. Объясняется это тем, что ночная смена вынуждает держать ещё одну бригаду с повышенной оплатой ночного труда — годовой фонд оплаты труда вырастает примерно на 3,5 млн руб., а отдача в виде дополнительно обслуженных машин не превышает 3 %. Дополнительные расходы превышают дополнительные доходы более чем в семь раз.

Важным самостоятельным выводом стало выявление действительного узкого места системы. Им оказалась не продолжительность работы цеха, а ограниченность и неравномерность входящего потока заявок, который две смены обслуживают практически полностью. Следовательно, наращивание рабочего времени не устраняет ограничение мощности, поскольку это ограничение находится не в той части системы, на которую направлено решение.

На основании полученных результатов предприятию рекомендовано отказаться от перехода на трёхсменный режим в существующих условиях и направить усилия не на наращивание смен, а на работу со спросом и эффективностью: привлечение дополнительного потока заявок, снижение доли брака и оптимизацию дневной загрузки постов. Вопрос о третьей смене может быть пересмотрен только при существенном росте спроса, причём такое решение должно предваряться повторным имитационным экспериментом на обновлённых данных.

Основные источники информации:

1. Набоков, В. И. Операционный менеджмент: методические указания по изучению дисциплины / В. И. Набоков. — Нижневартовск: Филиал ЮУрГУ в г. Нижневартовске, 2024. — 9 с.
2. Глухих, И. Н. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / И. Н. Глухих. — М.: Проспект, 2026. — 152 с.
3. Боев, В. Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов / В. Д. Боев. — М.: Издательство Юрайт, 2025. — 253 с.
4. Гладких, А. А. Имитационное моделирование в AnyLogic: учебное пособие / А. А. Гладких; сост. К. А. Толстов. — Ульяновск: УИ ГА, 2024. — 98 с.
5. Побединский, В. В. Моделирование в среде AnyLogic процесса технического обслуживания и ремонта автомобилей / В. В. Побединский, Р. Н. Ковалев, С. В. Ляхов, И. А. Сафронов // Транспорт. — 2022. — С. 59–63.
6. Плескунов, М. А. Теория массового обслуживания: учебное пособие / М. А. Плескунов. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 264 с.
7. Романенко, В. А. Системы и сети массового обслуживания: учебное пособие / В. А. Романенко. — Самара: Изд-во Самарского университета, 2021. — 68 с.
8. Кузнецов, В. В. Системный анализ: учебник / В. В. Кузнецов, А. Ю. Шатраков. — М.: Издательство Юрайт, 2026. — 327 с.