

4. Куцев Р. А. Как организовать разметку данных для машинного обучения: методики и инструменты / Р. А. Куцев. — Текст : электронный // habr.com = Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/post/572508/> (дата обращения: 04.04.2022).
5. CatBoost. Документация : [сайт]. — URL: <https://catboost.ai/> (дата обращения: 11.05.2022). — Текст : электронный.

**Ю. А. АРКАДЬЕВА, И. Г. ЗАХАРОВА**

*Тюменский государственный университет, г. Тюмень*

**УДК 51(082)**

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблема выбора информационного обеспечения для создания системы поддержки принятия решений при планировании времени, требующегося для ремонта двигателей на машиностроительном предприятии. Произведен анализ существующих решений и предложен новый подход к построению прогнозных моделей.*

***Ключевые слова:** производственное планирование, системы поддержки принятия решений, прогнозные модели, регрессионный анализ.*

**Введение.** Со времен зарождения промышленности до наших дней приоритетом в развитии любого производства являлось наращивание его темпов и увеличение объемов. Планирование — очень важный аспект в данном вопросе, ошибки в нем дорого обходятся предприятиям. Особенно отчетливо это заметно в отраслях высокого стратегического и экономического значения. Одной из таких является машиностроение и, в частности, двигателестроение.

Российская Федерация не так давно утвердилась в роли одного из лидеров мировой экономики. Поддержание подобного статуса обязывает участвовать в жесткой конкурентной борьбе с иностранными производителями в сфере создания двигателей [1].

Планирование вне зависимости от его вида и контекста применения основывается на некоторой оценке будущего состояния рассматриваемого объекта — прогноза. Точность этого прогноза

тождественна с эффективностью плана [2]. Процессы производства в области двигателестроения многоэтапны и сложны, а так же подвержены множеству факторов влияния. Эффективный и быстрый учет данных факторов при планировании выходит за рамки возможностей человека. По этой причине применение систем поддержки принятия решений при планировании весьма актуально для практики.

Вопросам автоматизации систем производственного планирования посвящено не мало исследований: особым «трендом» современности является реализация решений на основе многоагентного подхода [3]. На рынке готовых программных продуктов так же существуют системы пользующиеся популярностью среди организаций: «1С:ERP Управление предприятием», SAP, СПРУТ-ОКП и другие. Однако, анализ их документации показал, что преимущественно под производственным планированием подразумеваются аспекты не связанные с цеховыми процессами: в большинстве случаев, имеется ввиду складское, закупочное, либо планирование труда.

Время, требуемое на выполнение непосредственных производственных операций рассчитывается в соответствии с некоторыми стандартами, утвержденными в организации, либо в соответствии с конструкторской документацией [4]. Данные для расчета сформированы на основании заранее известных заводских характеристик, считающихся идентичными для всех экземпляров изделия. Однако, каждая отдельная деталь эксплуатируется вне зависимости от остальных, и условия ее использования могут иметь уникальный характер. Это приводит тому, что при идентичных исходных параметрах, детали поступают на ремонт с разной степенью износа и требуют разного количества времени на восстановительные работы.

**Проблема исследования.** Планирование в двигателестроении — междисциплинарный процесс, подразумевающий согласованное участие специалистов различных направлений деятельности и компетенцией. Центральной точкой, вокруг которой должен выстраиваться производственный план, является работа цехов. На предприятиях, деятельность которых связана с ремонтом двигате-

лей, ключевой процесс разделен ряд этапов: поступление, разработка на оставляющее и диффектация, ремонт отдельных деталей, сборка, испытания (может быть несколько кругов), упаковка и отгрузка [5]. Наиболее длительным и потенциально проблематичным из всех перечисленных является ремонт отдельных деталей (далее — Ремонт): анализ данных о сроках выполнения контрактов за 2021 г. на одном из предприятий, которое специализируется на капитальном ремонте и техническом обслуживании газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов, показал, что лишь 25% контрактов выполняются с соблюдением сроков по плану (т.е. фактическая дата окончания работ находится в пределах того же месяца, что и планируемая дата окончания этих работ), и в 87% случаев задержка возникает именно на этапе Ремонта. Сравнительный анализ графиков функций плотности вероятности плана и факта показал практически полное отсутствие пресечений (рис. 1), следовательно одной из причин невыполнения плана может быть неэффективный способ его формирования.

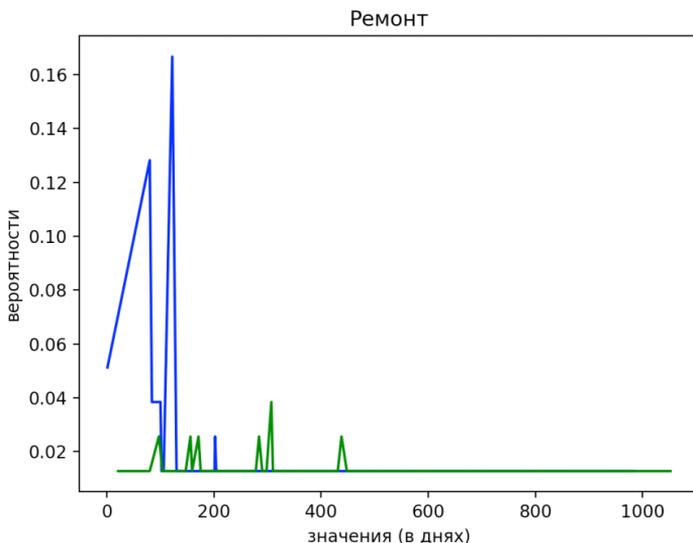


Рис. 1. Графики функции плотности распределения вероятностей времени выполнения ремонта по плану и по факту

Ремонт на предприятии организован следующим образом: двигатель в разобранном состоянии поступает в производство в виде отдельных деталей (далее — Производственные заказы). Для каждой детали определен перечень операций, диктуемый конструкторской документацией, результатами диффектации и условиями контракта с заказчиком. Производственные заказы для одного двигателя могут выполняться параллельно, а операции в рамках заказа — всегда последовательно. Общее фактическое время Ремонта определяется как период, потребовавшийся для выполнения всех Производственных заказов, относящихся к двигателю. Следовательно, длительность выполнения операций для каждой отдельной детали может оказать влияние на общее время Ремонта двигателя.

На предприятии, данные из учетных систем которого используются в рамках исследования, при планировании времени Ремонта применяется принцип «среднего». В основе расчетов планирования заложены сроки реализации каждого из этапов работы с двигателем (отгрузка, деффектация и т. д.), которые собраны из документации по завершенным контрактам и из результатов опроса специалистов производства. Так же в организации функционирует система учета данных о «движении» деталей по операциям Производственного заказа. В ней фиксируется время перехода между операциями, но при планировании это не учитывается. Среди данных, собранных описанной системой учета, была сделана выборка, в которой находились сведения о наиболее часто встречающихся видах деталей, входящих в состав двигателей с различными индивидуальными характеристиками (тип, владелец, место эксплуатации, пробег и т. п.). Анализ плотности вероятности распределения значений времени выполнения ремонта отдельных деталей показал, что единого среднего времени для рассмотренных деталей может не быть: функции имеют по несколько экстремумов (рис. 2). Следовательно подход расчета на основании единого стандартного или среднего времени не отражает действительность. Так же, можно сделать вывод, что существуют некие факторы, оказывающие влияние на конечные значение при ряде одинаковых исходных параметров.



Рис. 2. Функция плотности вероятности распределения количества времени, требуемого на ремонт детали

Как было упомянуто ранее, некоторые характеристики, связанные с условиями эксплуатации и рядом других факторов, имеют различные показатели для каждого экземпляра рассматриваемой детали. Методом экспертной оценки и сравнительного анализа информации, собранной системами учета, было выявлено, что некоторые из этих характеристик могли бы оказать влияние не результирующие значения. Таким образом, задача для решения проблемы планирования времени Ремонта двигателей сводится к разработке прогнозной модели расчета времени на основании исторических данных об отдельных деталях из спецификации.

**Материалы и методы.** Одним из способов оценки отношения между объясняющими переменными и предикатом является регрессионный анализ. Указанный метод широко применяется для построения прогнозных моделей в различных областях исследований. В текущей задаче в качестве независимых переменных выступают исходные характеристики детали, предикатом является время проведения технических работ.

Материалами послужили данные о хронологии выполнения ремонта отдельных деталей и операций. Они являются достаточными для построения регрессионной модели в рамках исследования.

**Результаты.** Большинство независимых параметров детали имеют нечисловой характер без возможности иной «нормализации», кроме обращения в множество фиктивных, бинарных переменных, а высокая вариативность значений приведет к возрастаю количества аргументов конечного уравнения регрессии. По этой причине возникла потребность в уточнении, все ли нечисловые параметры в действительности оказывают влияние на результат.

С целью проведения данной оценки были построены диаграммы рассеивания по числовым независимым параметрам (рис. 3). В большинстве случаев на графиках присутствовали точки, находящиеся в отдалении от линии тренда (далее — выбросы). Путем сравнительного анализа было выявлено, что существуют некоторые повторяющиеся совокупности значений параметров, при которых точка гарантированно попадает в число Выбросов. Но в то же время имеются такие, которые никак не влияют на результат. Следовательно, некоторые нечисловые параметры, отобранные экспертным методом, действительно можно не учитывать при построении целевых регрессионных моделей.

Так же, в ходе проведения описанной выше сравнительной оценки, выяснилось, что «характерные» для выбросов комбинации значений для разных деталей так же различны. На практике данный факт может быть обусловлен как техническими особенностями самой изделия, так и среды или способа его эксплуатации.

С точки зрения статистического анализа, различие наборов параметров в комбинациях свидетельствует о нецелесообразности использования идентичных выборок для каждой разновидности детали: в них так или иначе будет избыточность. Таким образом, более эффективным решением для планирования времени Ремонта двигателя в целом будет применение семейства регрессионных моделей рассчитанных индивидуально для каждой детали в спецификации.



Рис. 3. Диаграмма рассеивания одного из числовых параметров детали

**Заключение.** При подведении итога проделанной работы, сформулированы следующие выводы:

1. Применение методов прогнозирования на основании расчета среднего значения от известных данных при планировании производства в цехах не отражает действительность. Более точные прогнозные модели можно получить путем анализа исторических данных.

2. Несмотря на наличие множества нечисловых параметров, оказывающих влияние на результат, для построения целевой модели допустимо применение метода регрессионного анализа.

3. Для расчета общего времени Ремонта использование семейства регрессионных моделей, созданных для каждого вида делала в спецификации двигателя, будет более рациональным решением, чем построение единой универсальной модели.

В качестве развития текущего исследования ставятся следующие задачи:

- более подробно проанализировать роли нечисловых параметров при формировании общего времени ремонта для рассмотренных деталей, расширить выборку;

- рассмотреть возможность прогнозирования времени ремонта двигателя с использованием более детального подхода: учитывать не только общий период технических работ с деталью, но и время, затраченное на каждую операцию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В. А. Экономические проблемы двигателестроения в РФ и пути их решения / В. А. Гордеев, И. К. Кудратов. — Текст : электронный // Теоретическая экономика. — 2015. — № 6 (30). — С. 21-26. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-problemy-dvigatelistroeniya-v-rf-i-puti-ih-resheniya> (дата обращения: 05.05.2022).
2. Сидоренко Ю. А. Особенности и методология производственного планирования на машиностроительном предприятии / Ю. А. Сидоренко. — Текст : электронный // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2015. — № 2 (38). — С. 35-41. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-metodologiya-proizvodstvennogo-planirovaniya-na-mashinostroitelnom-predpriyatii> (дата обращения: 05.05.2022).
3. Ризванов Д. А. Планирование производственных мощностей предприятия с применением многоагентного подхода / Д. А. Ризванов, Е. С. Чернышов, К. А. Ризванов. — Текст : электронный // Современные наукоемкие технологии. — 2020. — № 5. — С. 91-95. — URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38037> (дата обращения: 12.05.2022).
4. Кольке Г. И. Разработка модели оценки эффективности деятельности машиностроительных предприятий / Г. И. Кольке, Н. А. Калайтан. — Текст : электронный // Вестник СибАДИ. — 2016. — № 2 (48). — С. 178-182. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-otsenki-effektivnosti-deyatelnosti-mashinostroitelnyh-predpriyatiy> (дата обращения: 15.05.2022).
5. Шарипов Т. Ф. Методология планирования на предприятиях машиностроительного комплекса в условиях модернизации экономики: монография / Т. Ф. Шарипов. — Текст : электронный. — Оренбург : ОГУ, 2012. — 176 с. // Литрес: электронная библиотека. — URL: <https://www.litres.ru/t-f-sharipov/metodologiya-planirovaniya-na-predpriyatiyah-mashinostroitelnogo-kompleksa-v-usloviyah-modernizatsii-ekonomiki/chitat-onlayn/> (дата обращения: 09.05.2022).