

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

Кафедра математической кибернетики и компьютерных наук

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОСТА ПРОИЗВОДСТВА ПРИ
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 273 группы
направления 02.04.03 — Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем
факультета КНиИТ
Коноваловой Валерии Сергеевны

Научный руководитель
профессор, д. т. н., доцент

А. С. Богомолов

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

С. В. Миронов

Саратов 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Актуальные проблемы фармацевтического рынка в РФ	4
2 Метод системной динамики	5
2.1 Модель множественной регрессии	5
2.1.1 Типы регрессионных моделей	5
2.1.2 Отбор признаков и построение модели	5
2.2 Связь моделей	6
3 Разработка программы	7
3.1 Обзор существующих решений	7
3.2 Предварительный анализ данных	7
3.3 Описание разработанной программы	8
3.3.1 Общая архитектура приложения	8
3.3.2 Загрузка и предварительная обработка данных	9
3.3.3 Построение и оценка моделей множественной регрессии ...	9
3.3.4 Построение модели системной динамики	10
3.3.5 Графический интерфейс пользователя	10
3.4 Результаты моделирования	10
3.5 Практическое применение модели	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	12
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	13

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях глобализации и конкуренции на мировом рынке фармацевтическая отрасль является одной из приоритетных и стратегически важных для развития экономики и обеспечения здоровья населения. Однако Российская Федерация испытывает значительную зависимость от импорта лекарственных средств, особенно в сегменте инновационных и жизненно необходимых препаратов. Так, в 2020 году доля импорта в фармацевтическом рынке РФ составляла около 56% [1]. Такая ситуация создает риски для национальной безопасности, угрожает доступности и качеству лекарственного обеспечения, а также сдерживает развитие отечественного производства. В связи с этим, одной из приоритетных задач государственной политики в сфере фармацевтики является импортозамещение, то есть замена импортных лекарственных средств отечественными аналогами.

Актуальность данной работы обуславливается тем, что для определения планов мероприятий и сценариев развития отечественного фармацевтического производства требуются инструменты математического моделирования динамики его ключевых показателей.

Цель настоящей работы — разработка программы для построения модели системной динамики ключевых показателей фармацевтического рынка РФ при различных сценариях поведения внешних факторов.

В связи с поставленной целью, основными **задачами** являются:

1. исследовать современные публикации по вопросам фармацевтического рынка и импортозамещения в РФ;
2. изучить особенности построения моделей системной динамики и множественной регрессии;
3. разработать и протестировать программу для построения моделей множественной регрессии и системной динамики;
4. провести вычислительные эксперименты для моделирования различных сценариев динамики рассматриваемых показателей, сделать выводы.

Структура и объём работы. Магистерская работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников и трёх приложений. Общий объём работы — 65 страниц, из них 52 страницы — основное содержание, включая 9 рисунков, список использованных источников информации — 35 наименований.

1 Актуальные проблемы фармацевтического рынка в РФ

Фармацевтическая отрасль является одним из ключевых компонентов здравоохранения в любой стране, в том числе и в Российской Федерации. Однако, в последние годы фармацевтический рынок столкнулся с рядом актуальных проблем, включая проблемы импортозамещения [2].

Одной из основных проблем фармацевтического рынка в России является зависимость от импорта медицинских препаратов. Для снижения зависимости от импорта и обеспечения надежного доступа к жизненно важным медикаментам в случае внешних кризисов, в России активно ведется работа по импортозамещению в фармацевтической отрасли. Этот процесс включает в себя развитие отечественного производства лекарств, поддержку национальных фармацевтических компаний, стимулирование научно-технического прогресса и инноваций в здравоохранении [3].

Несмотря на активные шаги в направлении импортозамещения, фармацевтический рынок в России сталкивается с несколькими вызовами. Во-первых, поддержка отечественного производства требует значительных инвестиций в модернизацию и расширение производственных мощностей, а также интенсивное развитие научных исследований в области фармацевтики. Во-вторых, существует проблема качества и доступности отечественных аналогов импортных лекарств.

Актуальные проблемы фармацевтического рынка и импортозамещения в России требуют комплексного подхода и сотрудничества различных заинтересованных сторон. Важной частью такого подхода является моделирование и прогнозирование возможных вариантов развития фармацевтической промышленности, в частности, динамики основных ее показателей.

2 Метод системной динамики

2.1 Модель множественной регрессии

Системная динамика используется для моделирования сложных систем с множеством взаимодействующих элементов, где важно количественно описать влияние различных факторов на целевые показатели. Для этой цели применяется множественная регрессия — статистический метод, позволяющий определить, как несколько переменных одновременно влияют на результат и сделать на основе этого прогнозы.

Основная задача множественной регрессии — построить модель, описывающую зависимость между переменными [4]. В данной работе множественная регрессия служит инструментом анализа данных и отбора значимых факторов.

2.1.1 Типы регрессионных моделей

Для построения модели множественной регрессии в данной работе были выбраны три функциональных зависимости: линейная, экспоненциальная и квадратичная. Выбор этих трёх форм был обусловлен как их методологической устойчивостью, так и прагматическим соображением: они представляют различные типы функциональных зависимостей, которые часто встречаются в моделировании социально-экономических и технических процессов.

2.1.2 Отбор признаков и построение модели

Построение моделей множественной регрессии начинается с подготовки данных и формализации системы уравнений, отражающей связи между признаками и целевыми показателями. Далее модели обучаются на трёх типах функциональных зависимостей. Для каждой модели рассчитываются коэффициенты методом наименьших квадратов, минимизирующим ошибку предсказания. После этого проводится оценка статистической значимости переменных с целью исключения тех, которые вносят шум или вызывают переобучение. В результате остаются только важные признаки, что повышает устойчивость и интерпретируемость модели. Финальным результатом становятся три регрессионные модели, которые затем оцениваются по способности воспроизводить и объяснять эмпирические данные.

В данном исследовании для этой цели используются три ключевые метрики: средняя абсолютная ошибка (MAE), взвешенная средняя абсолютная ошибка ($WAPE$) и коэффициент детерминации (R^2) [5].

2.2 Связь моделей

Для выбора наилучшей модели по совокупности метрик в работе применяется метод TOPSIS — техника упорядочивания альтернатив по схожести с идеальным решением [6]. Этот метод позволяет сбалансированно учитывать все три метрики и принять решение, основанное не на одной, а на совокупной оценке качества.

В работе была разработана модель системной динамики, учитывающая как прямые, так и обратные связи между переменными. Она позволяет автоматически рассчитывать коэффициенты, адаптируя модель под особенности объекта.

Механизм прогнозирования воспроизводит поведение сложной системы с учётом временных задержек, обратных связей и кумулятивных эффектов, что позволяет понимать причины изменений, а не просто экстраполировать тенденции. Это делает модель полезной для анализа отклонений и принятия управленческих решений.

3 Разработка программы

3.1 Обзор существующих решений

В обзоре рассматриваются наиболее популярные программы для вычисления коэффициентов множественной регрессии с акцентом на функциональные возможности.

Microsoft Excel с надстройкой Analysis ToolPak позволяет выполнять регрессионный анализ и выводит основные статистические показатели, однако он устарел, имеет ограниченную точность и не поддерживает современные методы.

MATLAB — мощная среда для численных вычислений, поддерживающая регрессию через встроенные функции, такие как `mvregress` и `polyval`. Однако это коммерческий продукт с высокой стоимостью, требующий времени на освоение и не всегда эффективный при работе с большими данными.

Gretl — бесплатная программа для эконометрического анализа, поддерживающая линейную регрессию, проверку гипотез и диагностику моделей. Она удобна в использовании, но может испытывать трудности с производительностью при обработке больших или сложных наборов данных.

3.2 Предварительный анализ данных

Цель данного анализа — определить форму взаимосвязей между переменными, прежде чем приступить к формализации модели.

В первую очередь рассмотрим взятые для анализа данные. Согласно Указу Президента Российской Федерации №400 от 2 июля 2021 года «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» (далее — Указ) [7] одним из целевых показателей, достижение которого необходимо для поддержания экономической безопасности страны, является расширение производства лекарственных средств и медицинских изделий.

Как следует из приложения к Стратегии развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 июня 2023 г. №1495–р (далее — Стратегия) [8] данный целевой показатель определяется следующими индикаторами:

$Z_1(t)$ — объем рынка лекарственных средств для медицинского применения в Российской Федерации (млрд. упаковок);

$Z_2(t)$ — доля лекарственных средств для медицинского применения, про-

изведенных на территории Российской Федерации, в суммарном объеме потребления в натуральном выражении (процентов).

На основании анализа рассмотренных ранее нормативных документов, а именно Указа и Стратегии, была следующая группа внешних воздействий на целевые индикаторы $Z_1(t)$, $Z_2(t)$:

$Y_1(t)$ — процент средств федерального бюджета на медицинские исследования;

$Y_2(t)$ — экспорт из РФ, млн. долл. США;

$Y_3(t)$ — курс доллара США, руб.

Значения корреляции между признаками Y_1 , Y_2 , Y_3 и целевыми показателями Z_1 , Z_2 представлены в табл. 1.

	Y_1	Y_2	Y_3
Z_1	-0.124	-0.471	-0.765
Z_2	0.680	0.001	0.791

Таблица 1 – Корреляция между признаками и целевыми показателями

Значения коэффициентов корреляции подтверждают возможность использования линейной модели множественной регрессии для анализа зависимости между переменными. Вместе с тем, низкая или умеренная связь некоторых признаков указывает на возможную недостаточность линейного подхода, что требует проверки альтернативных моделей — экспоненциальных и квадратичных.

3.3 Описание разработанной программы

3.3.1 Общая архитектура приложения

Разработанная утилита представляет собой настольное приложение, предназначенное для вычисления коэффициентов модели системной динамики на основе исходных табличных данных и последующего предсказания динамики переменных. Основная задача, которую решает разработанная программная утилита, заключается в автоматизации вычислений, связанных с построением модели системной динамики.

При разработке утилиты использован ряд современных технологий и библиотек, проверенных в научной и инженерной практике:

- Python выбран в качестве языка программирования;
- PyQt — фреймворк для создания графических интерфейсов;

- pandas и numpy — библиотеки, обеспечивающие удобные структуры данных и эффективные средства для численного моделирования, предобработки и аналитики;
- openpyxl — инструмент для взаимодействия с Excel-файлами;
- json — стандартный формат сериализации данных, используемый для хранения моделей и последующего восстановления состояния программы.

3.3.2 Загрузка и предварительная обработка данных

На этапе подготовки данных выполняется их загрузка, базовая очистка и структурирование, необходимое для дальнейших вычислений. Компонент Data Provider инкапсулирует все операции ввода-вывода, облегчая повторное использование кода. Для обеспечения качества загружаемых данных используется класс Data Validator. Класс Analytics Data Provider служит основным посредником между пользовательским интерфейсом и ядром вычислений. Он инкапсулирует логику загрузки, хранения и валидации данных, а также управления результатами предсказаний. Он формирует единый интерфейс для работы с данными и результатами моделей, способствуя разделению ответственности между компонентами приложения.

3.3.3 Построение и оценка моделей множественной регрессии

На данном этапе система выполняет построение моделей множественной регрессии на основе обучающих данных. Итоговая модель строится только на значимых признаках, что улучшает её обобщающую способность и уменьшает переобучение. Основная логика построения модели реализована в классе Multiple Regression Model Creator. Для каждого типа модели — линейной, экспоненциальной, квадратичной — создаётся соответствующая трансформация данных, осуществляемая с помощью класса Analytics Data Preparer. В результате создаётся объект класса Multiple Regression Model, который сохраняет тип модели, список использованных признаков и матрицу коэффициентов для каждой целевой переменной.

После получения прогнозов каждая модель проходит этап количественной оценки с использованием метрик. Оценка реализована в классе Multiple Regression Model Evaluator, который усредняет значения метрик по всем целевым переменным. Алгоритм выбора реализован в компоненте Best Model Identifier. Также на этом этапе выполняется уточнённый отбор признаков на

основе уже обученной модели.

3.3.4 Построение модели системной динамики

Класс System Dynamic Model Creator предназначен для создания модели системной динамики на основе входных временных рядов признаков (факторов) и целевых переменных. Построенная модель представлена в виде экземпляра класса System Dynamic Model.

Для более глубокого анализа была разработана расширенная версия модели — Extended System Dynamic Model, создаваемая с помощью класса Extended System Dynamic Model Creator. В отличие от базовой реализации, здесь учитываются не только связи между признаками и целевыми переменными, но и возможные взаимодействия между самими признаками, что приближает модель к реальной структуре сложных систем.

3.3.5 Графический интерфейс пользователя

В программе был реализован графический интерфейс с использованием библиотеки PyQt, которая предоставляет богатый инструментарий для создания кроссплатформенных интерфейсов на языке Python. Внешний вид интерфейса утилиты можно увидеть в приложениях данной магистерской работы.

3.4 Результаты моделирования

В результате вычислений, выполненных на основе рассмотренных ранее данных, была сформирована модель системной динамики, отражающая взаимосвязи между ключевыми переменными в процессе, подлежащем анализу [1](#).

$$\begin{aligned} Z_1(t+1) &= 8 - 0.1 Y_1(t) - 0.002 Y_2(t) - 0.05 Y_3(t) + 0.02 Z_2(t) \\ &\quad + 0.001 Y_1^2(t) + 0.00001 Y_2^2(t) + 0.0003 Y_3^2(t) - 0.0001 Z_2^2(t) \\ Z_2(t+1) &= 40 + 2 Y_1(t) - 0.01 Y_2(t) - 0.1 Y_3(t) - 0.5 Z_1(t) \\ &\quad - 0.05 Y_1^2(t) + 0.00002 Y_2^2(t) + 0.0005 Y_3^2(t) + 0.003 Z_1^2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

По итогам численного моделирования и последующего анализа построенной модели системной динамики были получены следующие показатели точности: средняя абсолютная ошибка (*MAE*) составила 0.176, взвешенная абсолютная процентная ошибка (*WAPe*) — 0.02, а коэффициент детерминации R^2 достиг значения 0.9342.

В упомянутой ранее Стратегии заданы целевые значения $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$, на основе которых была проведена обратная генерация значений остальных переменных модели. В результате вычислений, основанных на разработанной модели системной динамики, получены прогнозные значения переменных $Y_1(t)$, $Y_2(t)$ и $Y_3(t)$ на период 2024—2027 годов.

В рамках проведённого моделирования был рассмотрен один из возможных сценариев достижения установленных целевых показателей $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$ на период 2024–2027 гг., с использованием разработанной модели системной динамики. Целью данного сценария являлось определение таких траекторий изменения ключевых управляемых факторов, которые обеспечат достижение заданных ориентиров в сфере фармацевтического рынка.

В тоже время был смоделирован сценарий, при котором целевые значения показателей не были достигнуты. В рассматриваемом сценарии показатель $Y_1(t)$, отражающий долю средств федерального бюджета, направляемых на медицинскую науку, снижается на 3% по сравнению с уровнем 2023 года — с 7,2% до 6,984%. При таком сценарии объём рынка лекарственных средств в натуральном выражении демонстрирует снижение с 5,07 млрд упаковок до 4,90 млрд, что соответствует сокращению на 8,24% от целевых значений. Ещё более выраженное негативное влияние фиксируется по показателю $Z_2(t)$, отражающему долю отечественных препаратов в общем объёме потребления. При снижении $Y_1(t)$ всего на 3%, $Z_2(t)$ резко падает с 66,4% до 42,7%, что составляет снижение на 32,5% от целевых значений.

3.5 Практическое применение модели

Разработанная модель системной динамики, основанная на результатах множественной регрессии, обладает потенциалом для широкого применения в сфере государственного управления, стратегического планирования и аналитики. Прежде всего, она может быть полезна различным органам власти, исследовательским институтам и аналитическим центрам, занимающимся оценкой и прогнозированием социально-экономических процессов. Кроме того, модель может быть интегрирована в состав более сложных цифровых платформ поддержки управленческих решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана программа для моделирования динамики показателей развития отрасли на основе данных о поведении рассматриваемых внешних факторов. Программа представляет собой инструмент, позволяющий анализировать текущие тенденции и строить сценарии развития отрасли, что актуально в условиях неопределённости.

В рамках работы были решены следующие ключевые задачи:

1. исследованы современных публикаций по вопросам фармацевтического рынка и импортозамещения в РФ;
2. изучены особенности построения моделей системной динамики и множественной регрессии;
3. разработана и протестирована программа для построения моделей множественной регрессии и системной динамики;
4. проведены вычислительные эксперименты для моделирования различных сценариев динамики рассматриваемых показателей и сделаны выводы о важности финансирования научных исследований в медицинской отрасли, лежащих в основе разработки инновационных препаратов и технологий.

Разработанная модель позволила описать взаимосвязи между основными переменными, характеризующими состояние рынка, и построить уравнения, отражающие его поведение во времени.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований, а также как инструмент поддержки принятия решений в сфере государственного регулирования, стратегического планирования и инвестиционной оценки в фармацевтическом секторе. Разработанная утилита может быть адаптирована для анализа других отраслей экономики, в которых также актуальны задачи устойчивого развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Овод, А. И. Проблема импортозависимости на фармацевтическом рынке РФ / А. И. Овод, А. В. Евстратов, А. А. Мамаев // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. — 2022. — Т. 1, № 3. — С. 99–105. — URL: <https://tinyurl.com/yc6yar5b> (Дата обращения: 15.05.2025).
- 2 Доскальева, Б. Б. Теоретические аспекты импортозамещения: многообразие подходов и противоречия / Б. Б. Доскальева, Д. А. Торжанова // *Вестник РУК*. — 2020. — Т. 42, № 4. — URL: <https://tinyurl.com/yc5rnh6z> (Дата обращения: 20.05.2025).
- 3 Костанян, А. А. Анализ государственного регулирования импортозамещения на фармацевтическом рынке Российской Федерации / А. А. Костанян, М. И. Ивлева // *Бизнес. Образование. Право*. — 2023. — Т. 64, № 3. — С. 98–104.
- 4 Ибрагимова, Ф. А. Множественная регрессия / Ф. А. Ибрагимова, З. А. Отемуратова // *Интернаука*. — 2020. — Т. 172, № 43-1. — С. 13–14.
- 5 Armstrong, J. S. Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons / J. S. Armstrong, F. Collopy // *International Journal of Forecasting*. — 1992. — Vol. 8, no. 1. — Pp. 69–80.
- 6 Chen, C.-T. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making / C.-T. Chen, C.-L. Hwang. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. — UK: Springer, 2004.
- 7 Указ Президента РФ от 02.07.2021 №400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. — URL: <https://tinyurl.com/3386z5na> (Дата обращения 10.05.2025). Загл. с экр. Яз. рус.
- 8 Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. — URL: <https://tinyurl.com/4s8b7zjn> (Дата обращения 10.05.2025). Загл. с экрана. Яз. рус.