

Моделирование структуры импортозамещения на базе модели системы оптимального распределения

Ф.Н. Абу-Абед
С.А. Жиронкин

Ссылка для цитирования

Абу-Абед Ф.Н., Жиронкин С.А. Моделирование структуры импортозамещения на базе модели системы оптимального распределения // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. № 4. С. 644–653. doi: 10.15827/0236-235X.142.644-653

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.08.2023

После доработки: 11.09.2023

Принята к публикации: 13.09.2023

Аннотация. Предметом данного исследования является модель системы оптимального распределения инвестиций в экономике, испытывающей потребность в импортозамещении в условиях внешних шоков и санкций. Необходимо построить математическую модель, связывающую отраслевую структуру инвестиций и выпуска, с учетом технологических ограничений. В настоящей статье исследуются возможности применения моделей структуры и динамики экономики для целей импортозамещения, использования в этих целях производственной функции, динамических стохастических моделей общего равновесия и байесовских векторных авторегрессий. Авторский метод, представленный в статье, основан на построении дерева решений для перебора циклов обхода – вариантов маршрута с отсечением. Метод может быть модифицирован для сокращения времени его работы. Рекомендуемая технология построения модели структуры импортозамещения сводится первоначально к построению ее целевой функции и представлению в виде графа. Впоследствии на основе структуры данных, позволяющих строить маршруты, авторами был представлен алгоритм, который является основой для реализации оптимального распределения инвестиций в отраслевой структуре и контроля их соответствия обозначенным требованиям импортозамещения. На базе данного алгоритма разработаны архитектура и структура программного средства с соответствующими классами, которое обеспечивает выходные данные в виде соответствия «инвестиции–отрасль». Полученные результаты необходимы для разработки программного средства, позволяющего решить важную отраслевую задачу моделирования структуры импортозамещения на основе распределения инвестиций по отраслям и продуктам, а также прогнозировать воздействие на этот процесс новых внешних шоков и технологических ограничений, изменения производительности труда и уровня загрузки производственных мощностей.

Ключевые слова: модель оптимального распределения, теория графов, алгоритмы оптимизации, неявный перебор, математическая модель, система, импортозамещение

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01423, <https://rscf.ru/project/23-28-01423/>

Введение. В условиях усиления внешних санкций и шоков моделирование структуры импортозамещения становится все более актуальным. Эти модели должны послужить при разработке специализированного ПО для сценарного прогнозирования выпуска на внутреннем рынке.

Поиск по базе Единого реестра российских программ для ЭВМ и БД показал отсутствие программ, позволяющих моделировать различные аспекты импортозамещения. В отечественной и зарубежной литературе преобладают подходы к моделированию импортозамещения с позиции изменения экономической динамики, основанной на производственных функциях [1–3], которая является следствием, а не причиной структурных изменений. В свою очередь, в работах, посвященных моделированию структуры экономики [4, 5], практически не уделяется внимания импортозамещению. Модели импортозамещения, учитывающие структурные преобразования – фундамент устойчивого насыщения внутреннего рынка отечествен-

ной продукцией, за редким исключением не получили должного развития [6].

В публикациях, посвященных алгоритмам и ПО для моделирования отраслевых процессов в экономике, импортозамещению уделяется крайне мало внимания. Усилия авторов, как правило, сконцентрированы на анализе возможностей внутреннего рынка программных продуктов [7].

В целом в условиях усиления внешнего санкционного давления, ухудшающего структурные пропорции, моделирование импортозамещения с позиции экономической динамики теряет свою эффективность. Поэтому в данной работе предлагается моделировать импортозамещение на основе его структуры с помощью модели оптимального распределения факторов производства и отраслевого выпуска.

Для построения структурных моделей выпуска широко применяются известные динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE) [8], а также байесовские векторные авторегрессии (BVAR) [9].

Задача моделирования структуры импортозамещения

Авторы исходили из необходимости моделирования импортозамещения как выпуска j -го количества продукции для внутреннего рынка в объеме Q в i -м количестве отраслей I . Таким образом, структура импортозамещения представлена как множество продуктов (конечным числом m) $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_m\}$ и множества отраслей (конечным числом n) $I = \{I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n\}$.

Целевая функция модели построена на основе BVAR:

$$C(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^j \lambda C_{ij} + (1-\lambda)\tau_{ij}\pi_{ij} X_{ij} \rightarrow \max,$$

где C_{ij} – инвестиции в выпуск j -го продукта для внутреннего рынка в i -й отрасли; X_{ij} – доля j -го продукта i -й отрасли на внутреннем рынке; λ_{ij} – часть прироста выпуска j -го продукта i -й отрасли, связанная с технологическими инновациями; τ_{ij} – производительность труда по выпуску j -го продукта i -й отрасли для внутреннего рынка; π_{ij} – прирост занятости для выпуска j -го продукта i -й отрасли для внутреннего рынка.

Система ограничений, отражающая требования, предъявляемые к решению целевой функции модели, построена следующим образом.

Качественные ограничения, характерные для структурных моделей выпуска, рассмотренных выше, включают в себя постоянный объем сделок с каждым продуктом при замещении импорта внутренним производством, а весь объем необходимых инвестиций покрывается внутренними российскими источниками капитала. Количественные ограничения, связанные с максимальной производительностью труда, будут следующими:

$$\tau_{ij} = 1, \text{ если } \frac{C_{ij}}{C_{Q, \min}} \geq 1, \frac{\tau_{ij}}{\tau_{Q, \text{дир}}} \geq 1, \frac{r_{ij}}{r_{Q, \min}} \geq 1,$$

$$\frac{P_{ij}}{P_{Q, \min}} \geq 1,$$

где $\frac{C_{ij}}{C_{Q, \max}} \geq 1$ гарантирует, что заявленный

объем инвестиций C_{ij} в выпуск j -го продукта в i -й отрасли превысит минимальный уровень, установленный в рамках структурной политики $C_{Qj \min}$; $\frac{\tau_{ij}}{\tau_{Q, \text{дир}}} \geq 1$ – производительность

труда по выпуску j -го продукта в i -й отрасли превысит директивное значение, определяемое

Индустрией 4.0 ($\tau_{Qj \text{ дир}}$); $\frac{r_{ij}}{r_{Q, \min}} \geq 1$ – ресурсов r_{ij}

для выпуска j -го продукта в i -й отрасли достаточно для производства в объеме импортозамещения

$r_{Qj \min}$; $\frac{P_{ij}}{P_{Q, \min}} \geq 1$ – необходимый уровень загрузки производственных мощностей p_{ij} выше минимального уровня имеющегося на данный момент $p_{Qj \min}$.

Требование обеспечения минимального объема инвестиций и учет возможности предприятий по освоению капиталовложений в установленные сроки приводят к необходимости учета дополнительных санкционных ограничений в финансовой и технологической сферах. В формализованном виде учет дальнейших санкций можно записать как

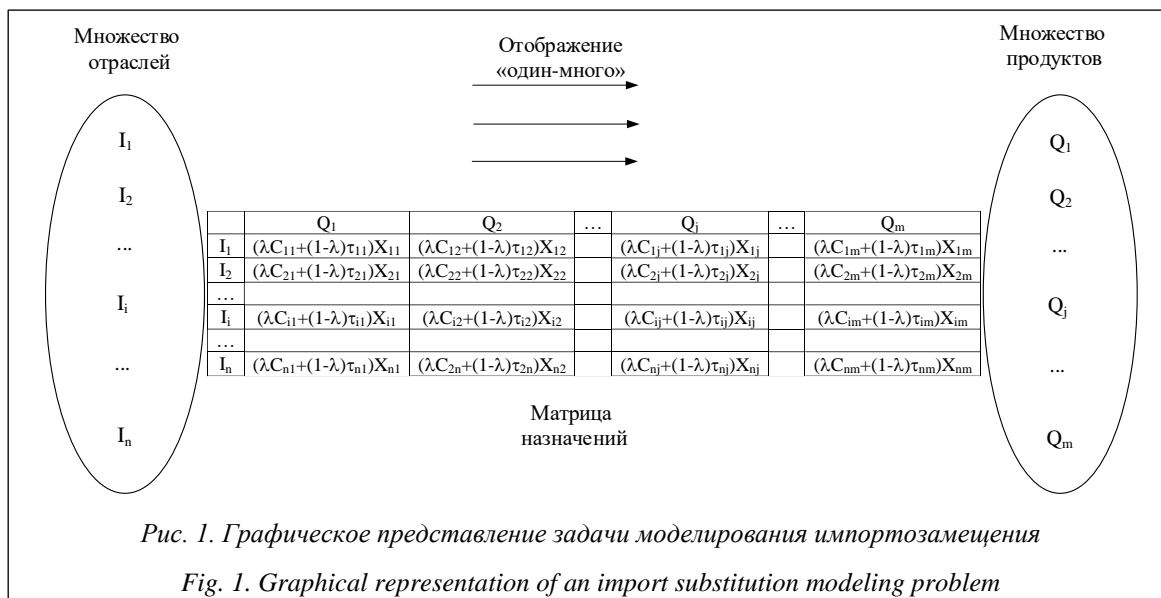
$$C_i^{\min} \leq \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \leq C_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где C_i^{\min} – минимально необходимый объем инвестиций в отрасли i с учетом максимального уровня санкционных финансовых ограничений; C_i^{\max} – максимально возможный объем инвестиций в отрасли i при ослаблении санкций до их полной отмены.

Задача моделирования импортозамещения представлена на рисунке 1.

Из большого числа методов решения поставленной задачи выделим те, которые в значительной степени ей соответствуют: эвристические и генетические алгоритмы, метаэвристика, методы восхождения, ветвей и границ, полного перебора.

Наиболее емкими в плане машинного времени являются методы полного перебора, ветвей и границ. В свою очередь, генетические алгоритмы не гарантируют достижения желаемого результата при поиске оптимального решения, что может затруднить решение задачи нахождения различий оптимального и наилучшего распределений инвестиций между отраслями i и продуктами j . Это особенно важно с учетом дополнительных ограничений, заявленных в данном исследовании, которые необходимо учесть при обосновании выбора алгоритмических решений. Ограничения связаны с обязательным наличием минимального объема инвестиций в отрасли i , максимального уровня санкционных ограничений, а также минимально эффективного выпуска продукта j .



Алгоритм оперирования данными по импортозамещению

Алгоритмы нелинейной оптимизации, будучи частью численных итеративных методов, обладают определенными недостатками, ограничивающими их применение. Главным недостатком является вероятность заикливания при поиске локального экстремума при решении задачи нахождения условного экстремума.

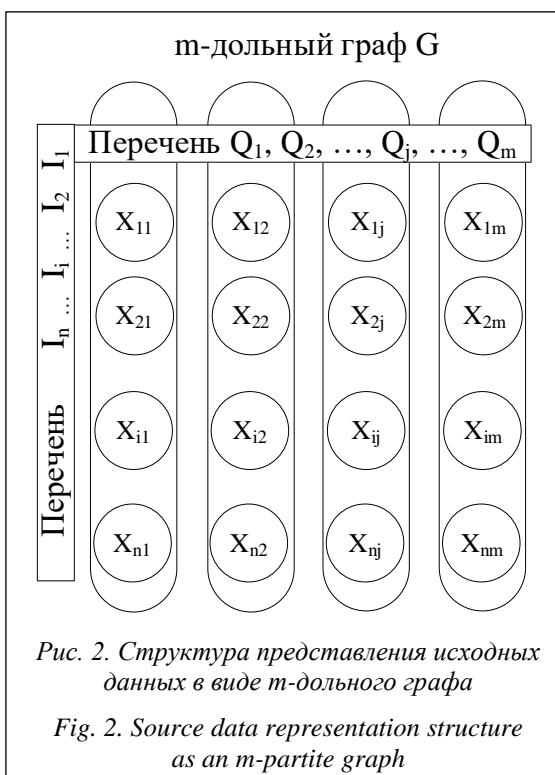
Поэтому при решении задачи моделирования оптимального распределения инвестиций целесообразно использовать алгоритмы, базирующиеся на графах и комбинаторике [10]. В рамках целочисленного программирования наиболее эффективной формой построения алгоритма оперирования входными данными с учетом ограничений видится представление множества отраслевых объемов выпуска каждого продукта в форме *m*-дольного графа.

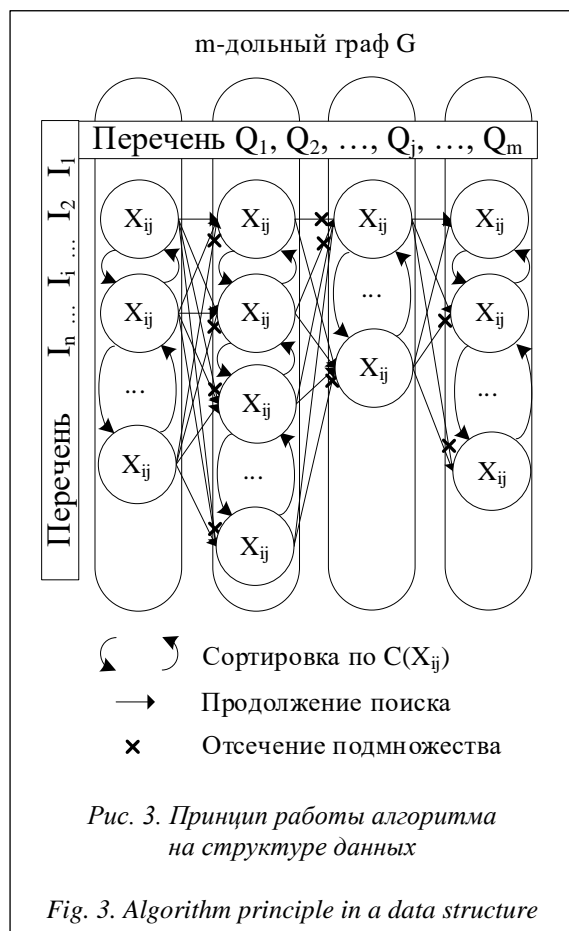
Такой граф, у которого вершины каждой доли представляют собой объемы выпуска каждого продукта *Q_j* для внутреннего рынка в рамках импортозамещения, в общем виде представлен на рисунке 2.

Принцип работы поискового алгоритма, основанного на представлении исходных данных в виде *m*-дольного графа, отражен на рисунке 3.

Первый этап работы алгоритма – определение множества допустимых решений благодаря такому построению операторов, которое позволит отбрасывать бесперспективные начальные значения вариантов и всего множества их продолжений, за счет чего можно достичь значительной экономии вычислительных затрат.

Второй этап – сортировка списка отраслей – вершин *m*-дольного графа по каждому производимому продукту в целях импортозамещения. Такая вершина характеризуется следующим набором данных: наименование продукта *I_i*, требуемый объем инвестиций *C(X_{ij})*, показатель производительности труда $\tau(X_{ij})$, уровень загрузки производственных мощностей *P(X_{ij})*. Сортировка производится по увеличению объемов инвестиций. Если наиболее оптимальные варианты распределения отсутствуют, то опре-





деляются межотраслевые пропорции с более высоким уровнем инвестирования в обрабатывающих отраслях, в наибольшей степени задействованных в импортозамещении.

Третий этап – поиск в графе допустимых распределений производимых продуктов по отраслям (маршрутов) с учетом всех ограничений. В частности, ускорение поиска в глубину осуществляется обходом графа по стратегии DFS [11], что позволяет рассмотреть выпуск продуктов сначала в каждой отрасли с минимальными инвестициями, затем – находящиеся в конце отсортированного списка по объему инвестиций.

При формировании алгоритма были использованы следующие вспомогательные структуры: стек для запоминания не обработанных ранее объемов выпуска, выборки продуктов, текущий формируемый список продуктов.

Поиск должен осуществляться в соответствии с графом, представленным на рисунке 3. По его окончании формируется список импортозамещающих продуктов по отраслям.

При помощи данного алгоритма дерево решений для перебора вариантов маршрута мож-

но построить методом ветвей и границ. Сам алгоритм возможно модифицировать, отсекая частично построенные маршруты, длина которых превышает длину полного наилучшего маршрута (построенного ранее). В результате сокращается время работы алгоритма. Модифицированный таким образом алгоритм отображен на рисунке 4.

Программная реализация системы и взаимодействие с программным средством

В соответствии с требованием построения архитектуры программного средства совокупность принципов и зависимостей поведения объектов предметной области, их взаимодействие с уровнем пользовательского интерфейса и прочими сервисами приложения носят модульный характер [12].

Структура программы представляет собой несколько взаимодействующих подсистем, функции и задачи которых сведены в таблицу.

При конструировании и детальном описании структуры применяется упрощенная концепция MVC, Model-View, в которой View дополнительно выполняет задачи контроллера для реализации функционала по обработке действий пользователя, соответствующим образом меняющего модель и представление.

В качестве модели, описывающей внутреннюю структуру, используется подсистема внутреннего представления данных [13]. В роли представления выступает интерфейсная подсистема.

Таким образом, разработанное программное средство имеет модульную архитектуру, основные элементы которой представлены на рисунке 5.

Обоснование выбора практического инструментария

Реализация программного средства ведется на основании общих, функциональных, пользовательских, нефункциональных, системных и прочих требований, предъявляемых к конечному программному продукту.

Для разработки программного средства использован следующий инструментарий: кроссплатформенный фреймворк Qt, интегрированная среда разработки (IDE) Qt Creator, язык программирования C++, язык описания формата и структуры файла для хранения данных XML.

Функции модулей программного средства

Functions of software modules

Подсистема	Функция	Задача
Интерфейсная	Управление вводом данных; управление предоставлением входных и выходных данных; управление работой АС; поддержка диалога с пользователем; настройка внешнего вида	Визуальное отображение введенных и результирующих данных; предоставление форм ввода и редактирования данных; запуск и останов вычислительных процессов; настройка режимов и конфигурирование; вывод предупреждений об ошибках и недопустимых действиях; информирование о текущем состоянии АС
Сохранения и загрузки данных	Сохранение данных; загрузка данных	Построение DOM дерева для XML-формата; запись данных в файл; парсинг данных; анализ на предмет ошибок; построение внутренней структуры данных
Внутреннего представления данных	Представление данных в памяти ЭВМ	Представление данных с использованием соответствующих структур; предоставление интерфейсов доступа к данным
Анализа данных и поиска решений	Анализ соответствия отраслевого выпуска продукции потребностям импортозамещения; поиск допустимых и оптимальных назначений	Проверка соответствия отраслевого распределения капитала и рабочей силы между отраслями финансовым и технологическим секционным ограничениям; проверка технологических и инвестиционных возможностей отраслевых производств; поиск возможных назначений, удовлетворяющих ограничениям и критериям отбора, и оптимальных решений

Подход ООП и программная реализация

В соответствии с нотацией объектно-ориентированного программирования все подсистемы, модули и сущности, отражающие понятийный аппарат предметной области, приводятся в виде множества объектов, каждый из которых представляет собой экземпляр отдельного класса, а классы формируют иерархию наследования [14].

Такой подход позволяет обеспечить прозрачную декомпозицию структуры разрабатываемой системы, гибкость ее архитектуры, простоту модификации и сопровождения.

Элементы структуры программного приложения представлены следующими классами:

- Project – класс инвестиционного проекта, предназначенного для импортозамещения;
- Executor – класс, описывающий отрасль, принимающую участие в импортозамещении;
- Request – продукт, замещающий импортный аналог;

- Assignment – класс перевода отрасли на выпуск конкретного импортозамещающего продукта;

- Promodel – модель концепции MVC, обеспечивающая подсистему внутреннего представления данных об инвестиционных проектах;

- Exemodel – модель концепции MVC, обеспечивающая подсистему внутреннего представления данных об отраслях;

- Reqmodel – модель концепции MVC, обеспечивающая подсистему внутреннего представления данных о продуктах, производимых в определенных отраслях;

- Assignmodel – модель концепции MVC, обеспечивающая подсистему внутреннего представления данных о переводе отрасли на выпуск конкретного импортозамещающего продукта;

- Docwrite – класс, обеспечивающий реализацию подсистемы сохранения данных;

- Docread – класс, обеспечивающий реализацию подсистемы загрузки данных;

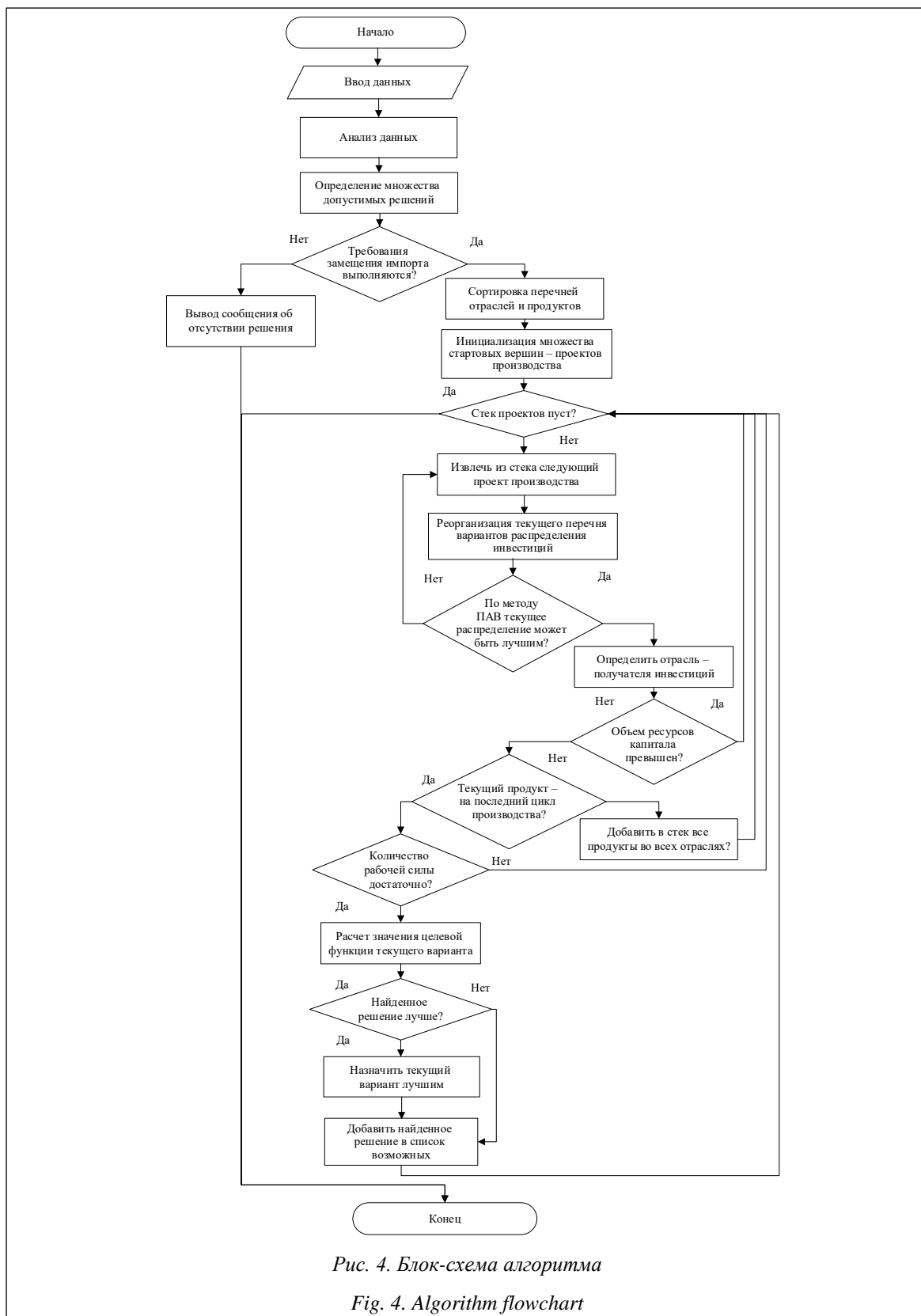


Рис. 4. Блок-схема алгоритма

Fig. 4. Algorithm flowchart

– Solutionalgorithm – класс, реализующий подсистему анализа данных и поиска решения;

– Formeditor – класс интерфейсной подсистемы, предоставляющий редактирование данных по инвестиционным проектам;

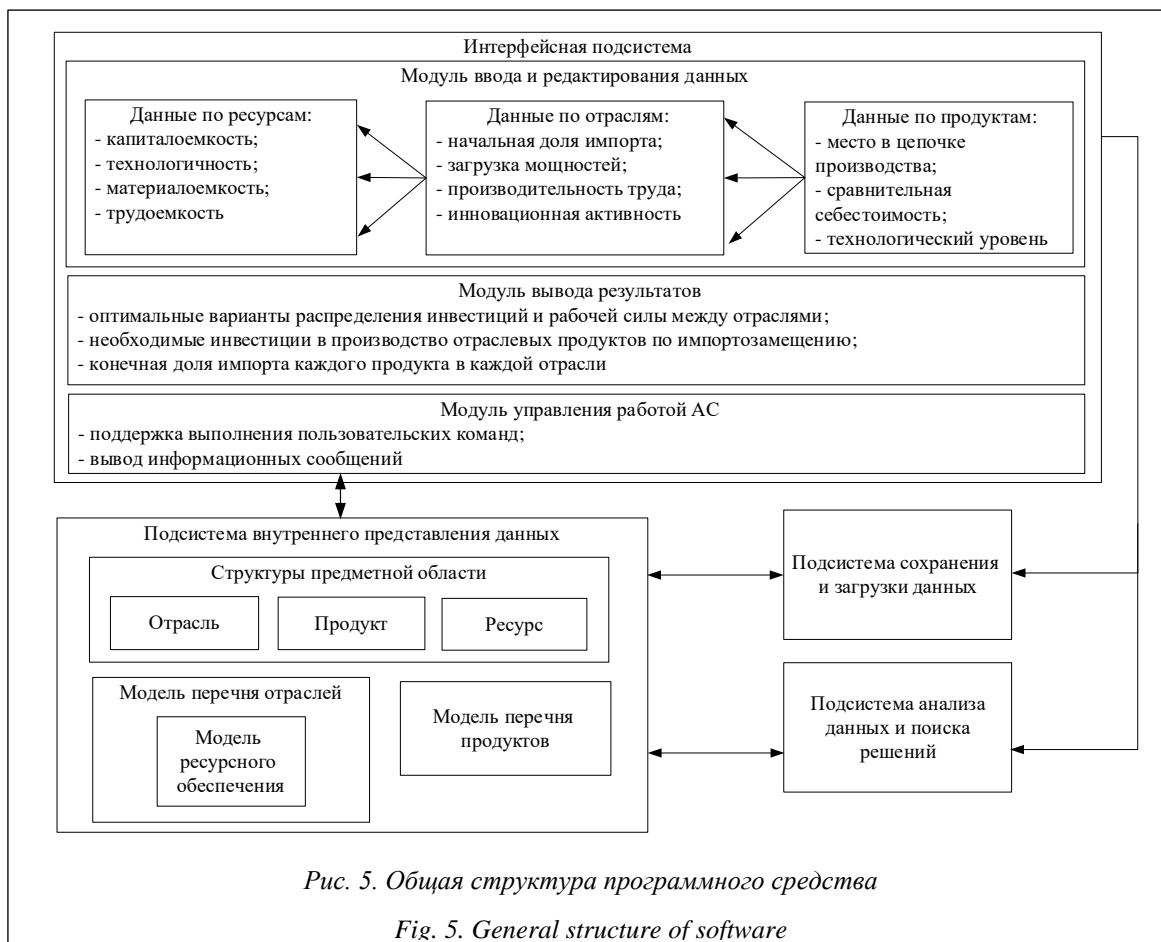


Рис. 5. Общая структура программного средства

Fig. 5. General structure of software

- Formexe – класс интерфейсной подсистемы, предоставляющий редактирование данных по отраслям и продуктам;
- TableView – модель концепции MVC и класс интерфейсной подсистемы, обеспечивающий отображение данных и поддерживающий возможности ввода и редактирования;
- Settings – класс интерфейсной подсистемы, предоставляющий форму с настройками процесса поиска решения;
- другие классы, относящиеся к интерфейсной подсистеме и обеспечивающие формы ввода, отображения и контроль правильности вводимых данных (Calendardelegate, Tabledelegate, Projectscombodelegate, Multilinedelegate).

При помощи программного средства можно решать ресурсозатратные задачи по производству сложных вычислений. Приемлемое быстродействие программного приложения определяется разделением поисковых вычислительных процессов, с одной стороны, и взаимодействием приложения с пользователем, с другой. Создание многопоточного приложения с деконпозицией потоков для поиска решения и взаимодействия программы с пользователем –

наиболее эффективный подход к решению поставленной задачи [15].

При запуске процесса поиска решения оптимизационной задачи экземпляр класса Solutionalgorithm, выполняющий данные вычисления, запускается в отдельном потоке. По завершении его работы вызываются соответствующие обработчики, дальнейшие действия происходят уже в главном потоке.

Описание разработанного программного средства

Программное приложение предоставляет пользователю интерфейс главной формы, из меню которой осуществляются настройка всех параметров системы и вызов дочерних форм редактирования и ввода данных. По завершении процесса поиска оптимальных вариантов распределений пакета проектов между исполнителями на главной форме отображаются результаты.

Выходные данные наглядно представляются в виде соответствия «инвестиции–отрасль», указывается расчетная совокупная оценка долей разных отраслей в инвестициях,

производительности труда и загрузки производственных мощностей.

Если таковые отсутствуют, выводится соответствующее сообщение. Внизу окна также отображается статусная строка, сообщающая о состоянии процесса решения задачи (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2023-4/3.jpg>).

Настройки параметров осуществляются в форме, доступной через меню и панель элементов управления. Предоставляется возможность задания приоритетов в зависимости от желаемого результата – максимизация инвестиций в импортозамещающие отрасли или максимизация выпуска. Также можно задать длительность поиска оптимальных вариантов, по истечении указанного времени будут выведены все найденные решения (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2023-4/4.jpg>).

Ввод и редактирование информации выполняются через специальные формы, содержащие элементы управления, контролирующие формат вводимых данных и обеспечивающие удобство и быстроту работы (наличие выпадающих списков подстановок, календаря и др.). Табличная форма представления обеспечивает наглядность и возможность модификации области просмотра (сдвига, расширения и сужения диапазона и др.).

Сохранение и загрузка введенных данных доступны через верхнее меню главного окна или панель инструментов. При этом открывается стандартное диалоговое окно сохранения файла с возможностью выбора пути сохранения и имени.

Запуск процесса поиска оптимальных распределений осуществляется через соответствующий пункт меню. При необходимости можно принудительно прервать процесс моделирования, не выходя из программного приложения или нажав на соответствующий значок на панели инструментов.

Приложение информирует пользователя о совершении недопустимых операций: невозможности открыть, сохранить файл, работать с файлами, не созданными в данном ПО.

Предложенное ПО позволяет контролировать соответствие объемов инвестиций отрас-

левому выпуску с учетом требований импортозамещения и целевому уровню насыщенности технологиями, находить оптимальные распределения инвестиций в зависимости от приоритетов (рыночных, технологических, временных) и, как следствие, снижать экономические издержки на реализацию инвестиционных проектов импортозамещения.

Заключение

Построение математической модели структуры импортозамещения, основанного на системе оптимального распределения инвестиций между отраслями, призвано преодолеть ограничения существующих моделей, не учитывающих воздействие шоков и санкций. Применение модели в прогнозировании импортозамещения требует учета многих факторов, в том числе доступности технологий, загрузки производственных мощностей, производительности труда. Для этого предложен подход к построению алгоритма отраслевого распределения инвестиций, основанный на графах и комбинаторике, применительно к предложенной целевой функции, объединяющей инвестиции в выпуск импортозамещающей продукции, отраслевую структуру производства и технологий.

Разработанный алгоритм позволяет создать программное средство для оптимального распределения инвестиций, в структуру которого входят классы отраслей, импортозамещающих инвестиционных проектов, производимых продуктов, классы процесса поиска решения, подсистем интерфейса и работы с данными. Данное программное средство может быть использовано в отраслевом планировании и прогнозировании импортозамещающих инвестиций с учетом изменяющихся внешних шоков и санкций, доступа к национальным и зарубежным технологиям.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку программного средства, позволяющего найти оптимальное распределение продуктов по отраслям и проконтролировать соответствие инвестиций обозначенным требованиям импортозамещения.

Список литературы

1. Оленев Н.Н. Идентификация производственной функции с предельным возрастом мощностей // Математическое моделирование. 2019. Т. 31. № 11. С. 47–60. doi: 10.1134/S0234087919110042.
2. Kirilyuk I., Senko O. Verification of the returns to scale of production type for the Russian Federation regions. EPJ Web Conf. Proc. MNPS, 2019, vol. 224, art. 06011. doi: 10.1051/epjconf/201922406011.
3. Heikkinen T. A study of degrowth paths based on the von Neumann equilibrium model. J. of Cleaner Production, 2020, vol. 251, art. 119562. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119562.

4. Леонов Е.А., Полбин А.В. Численный поиск глобального решения в модели двухрежимной экономики с исчерпаемым запасом углеводородов // Математическое моделирование. 2021. Т. 33. № 8. С. 42–58. doi: 10.20948/mm-2021-08-03.
5. Gong D., Zheng K., Liu Y. Application of mathematical models in economic variable input and output models under the scientific visualization. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 1, art. 6269358, pp. 1–10. doi: 10.1155/2022/6269358.
6. Уразаева Л.Ю., Галимов И.А. Математическое моделирование импортозамещения // Вестн. Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3. С. 1–9.
7. Горелиц Н.К., Гукова А.С., Краснощеков Д.В. Анализ российского программного обеспечения для поддержки жизненного цикла разработки бортовых систем в условиях политики импортозамещения // Тр. ИСП РАН. 2020. Т. 32. № 2. С. 175–190 (in Eng.). doi: 10.15514/ISPRAS-2020-32(2)-14.
8. Drautzburg T. A structural approach to combining external and DSGE model forecasts. *FRB of Philadelphia Working Paper*, 2023, no. 23-10, pp. 1–34. doi: 10.21799/frbp.wp.2023.10.
9. Kuschnig N., Vashold L. BVAR: Bayesian vector autoregressions with hierarchical prior selection in *R. J. of Statistical Software*, 2021, vol. 14, pp. 1–27.
10. Dabrowski K., de Werra D., Lozin V., Zamaraev V. Combinatorics and algorithms for augmenting graphs. *Graphs and Combinatorics*, 2016, vol. 32, no. 4, pp. 1339–1352. doi: 10.1007/s00373-015-1660-0.
11. Пронина Е.А., Лебединская А.А., Шурхаленко П.Г. Компьютерная реализация поиска в глубину // *Мировая наука*. 2018. № 11. С. 234–237.
12. Елизаров Д.Э. Алгоритмизация решения задачи о размещении на основе модификации метода ветвей и границ // Вестн. ВГТУ. 2016. Т. 12. № 5. С. 42–48.
13. Кордюков Р.Ю., Домира Р.В., Иванова А.В., Абу-Абед Ф.Н., Мартынов Д.В. Модель и алгоритмизация оптимизационной задачи о назначениях в условиях дополнительных ограничений // Программные продукты и системы. 2016. Т. 29. № 2. С. 16–22. doi: 10.15827/0236-235X.114.016-022.
14. Abu-Abed F.N. Automation of work distribution in the management of mining enterprises. *E3S Web of Conf.*, 2021, vol. 278, art. 01008. doi: 10.1051/e3sconf/202127801008.
15. Abu-Abed F.N., Ostanin O.A. Tools for forming an effective industry structure of mining region. *E3S Web of Conf.*, 2021, vol. 315, art. 04022. doi: 10.1051/e3sconf/202131504022.

Software & Systems

doi: 10.15827/0236-235X.142.644-653

2023, vol. 36, no. 4, pp. 644–653

Russian import-substitution structure based on an optimal distribution system model

Fares N. Abu-Abed
Sergey A. Zhironkin

For citation

Abu-Abed, F.N., Zhironkin, S.A. (2023) ‘Russian import-substitution structure based on an optimal distribution system model’, *Software & Systems*, 36(4), pp. 644–653 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.142.644-653

Article info

Received: 29.08.2023

After revision: 11.09.2023

Accepted: 13.09.2023

Abstract. The study focuses on a model of an optimal distribution system of economy investments that requires import substitution due to external shocks and sanctions. It is necessary to build a mathematical model that links a sectoral structure of investment and output in terms of technological limitations. This paper explores possibilities of using economic structure and dynamics models for import substitution purposes; using a production function for this purposes, dynamic stochastic general equilibrium models and Bayesian vector autoregressions. This paper presents author's method based on constructing a decision tree for enumerating bypass cycles – route options with a cut. The proposed method can be modified to reduce its running time. The recommended technology for constructing an import substitution structure model is initially reduced to constructing its objective function and presenting it in a graph form. Subsequently, based on a data structure for building routes, the authors present an algorithm that is a basis for implementing optimal distribution of investments in an industry structure and for monitoring their compliance with the designated import substitution requirements. This algorithm

is a basis for a software tool architecture and structure with corresponding classes, which provides output as an investment-industry correspondence. The results obtained are necessary for developing a software tool that can solve the important industry problem of modeling an import substitution structure based on investment distribution by industries and products, as well as predict the impact of new external shocks and technological restrictions on this process, changes in labor productivity and a production capacity utilization level.

Keywords: optimal distribution model, graph theory, optimization algorithms, implicit enumeration, mathematical model, system, import substitution

Acknowledgements. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01423, <https://rscf.ru/project/23-28-01423/>

References

1. Olenev, N.N. (2019) 'Identification of a production function with age limit for production capacities', *Math. Models and Comput. Simulations*, 31(11), pp. 47–60 (in Russ.). doi: 10.1134/S0234087919110042.
2. Kirilyuk, I., Senko, O. (2019) 'Verification of the returns to scale of production type for the Russian Federation regions', *EPJ Web Conf. Proc. MNPS*, 224, art. 06011. doi: 10.1051/epjconf/201922406011.
3. Heikkinen, T. (2020) 'A study of degrowth paths based on the von Neumann equilibrium model', *J. of Cleaner Production*, 251, art. 119562. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119562.
4. Leonov, E.A., Polbin, A.V. (2021) 'Numerical search for the global solution in the two-regime model with exhaustible resources', *Math. Models and Comput. Simulations*, 33(8), pp. 42–58 (in Russ.). doi: 10.20948/mm-2021-08-03.
5. Gong, D., Zheng, K., Liu, Y. (2022) 'Application of mathematical models in economic variable input and output models under the scientific visualization', *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1, art. 6269358, pp. 1–10. doi: 10.1155/2022/6269358.
6. Urazzaeva, L.U., Galimov, I.A. (2022) 'Mathematical modeling of import substitution', *The Eurasian Sci. J.*, 14(3), pp. 1–9 (in Russ.).
7. Gorelits, N.K., Gukova, A.S., Krasnoschekov, D.V. (2020) 'Analysis of Russian software supporting onboard systems development lifecycle in the context of import substitution policy', *Proc. of ISP RAS*, 32(2), pp. 175–190. doi: 10.15514/ISPRAS-2020-32(2)-14.
8. Drautzburg, T. (2023) 'A structural approach to combining external and DSGE model forecasts', *FRB of Philadelphia Working Paper*, (23-10), pp. 1–34. doi: 10.21799/frbp.wp.2023.10.
9. Kuschnig, N., Vashold, L. (2021) 'BVAR: Bayesian vector autoregressions with hierarchical prior selection in R', *J. of Statistical Software*, 14, pp. 1–27.
10. Dabrowski, K., de Werra, D., Lozin, V., Zamaraev, V. (2016) 'Combinatorics and Algorithms for Augmenting Graphs', *Graphs and Combinatorics*, 32(4), pp. 1339–1352. doi: 10.1007/s00373-015-1660-0.
11. Pronina, E.A., Lebedinskaya, A.A., Shurkhalenko, P.G. (2018) 'Computer implementation of search into the depth', *World Sci.*, (11), pp. 234–237 (in Russ.).
12. Elizarov, D.E. (2016) 'Algorithmization the problem of placement solution on the basis of branch and bound method modification', *Vestn. of the VSTU*, 12(5), pp. 42–48 (in Russ.).
13. Kordyukov, R.Yu., Dopira, R.V., Ivanova, A.V., Abu-Abed, F.N., Martynov, D.V. (2016) 'A model and algorithmization of the assignment problem under additional constraints', *Software & Systems*, 29(2), pp. 16–22 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.114.016-022.
14. Abu-Abed, F.N. (2021) 'Automation of work distribution in the management of mining enterprises', *E3S Web of Conf.*, 278, art. 01008. doi: 10.1051/e3sconf/202127801008.
15. Abu-Abed, F.N., Ostanin, O.A. (2021) 'Tools for forming an effective industry structure of mining region', *E3S Web of Conf.*, 315, art. 04022. doi: 10.1051/e3sconf/202131504022.

Авторы

Абу-Абед Фарес Надимович¹,

к.т.н., доцент, декан,
aafares@mail.ru

Жиронкин Сергей Александрович²,

д.э.н., профессор, zhironkin@tpu.ru

Authors

Fares N. Abu-Abed¹, Cand. of Sci. (Engineering),

Associate Professor, Dean,
aafares@mail.ru

Sergey A. Zhironkin², Dr.Sc. (Economics),

Professor, zhironkin@tpu.ru

¹ Тверской государственный технический университет, г. Тверь, 170026, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, 634050, Россия

¹ Tver State Technical University, Tver, 170026, Russian Federation

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russian Federation