

Теоретико-методологические основы ресурсно-поточкового метода (РПМ+) описания технологических цепочек

Дашут Евгений Савельевич 

Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт народнохозяйственного прогнозирования
Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
E-mail: Dashout@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ресурсно-поточковый метод, таблицы Процесс-продукт, таблицы затраты – выпуск, логарифм производительности добавленной стоимости, сметные затраты технологических процессов, технологическая цепочка, граф потенциалов

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу «узкого» места макроэкономического инструментария – это высокая степень агрегации и статичность таблиц «Затраты-выпуск». Исследуется возможность разработки модели, обеспечивающей детализацию строки таблиц «Затраты-Выпуск» до информации о натурально-стоимостных показателях технологических цепочек с собственными показателями производительности, ресурсными потоками, интеграцией агрегата технологических процессов, расчётным ядром затрат и качественным показателем оценки технологического способа – ресурсно-поточный метод. Осуществляется описание паспорта технологии по предложенному шаблону. Разработанная модель интегрируется в вышестоящую графовую модель прототехнологического пространства – Графа потенциалов. Методологически работа опирается на таблицы «Затраты-выпуск», Систему Национальных счетов, управленческий учет, теорию графовых моделей, экономическое моделирование, Справочник наилучших технологий Росстандарта. Задача решается посредством детализации ресурсных потоков на R1-R4 (R1 – основное сырье, R2 – дополнительные материалы, R3 – основная продукция, R4 – отходы / источник роста). На классифицированные ресурсные потоки накладываются агрегированные показатели технологических процессов, формируется ядро расчетных затрат, с учетом рыночных цен и производительности технологической цепочки рассчитывается добавленная стоимость (ДС), логарифмируется в качественный «показатель производительности ДС – ЛПДС. Паспортизация технологий выполняется заводским персоналом по шаблонам и не требует больших затрат для предприятий. Важно, что сам факт регистрации паспорта технологии будет а) обеспечивать начальный уровень цифровизации б) формировать прототехнологическое пространство модели графовой модели верхнего уровня – Графа потенциала. Реализация этой возможности позволит моделировать и генерировать рациональные варианты технологических цепочек на уровне стадии «Идея, эскиз». Открывается порог массовой цифровизации МСП, одновременно открывается возможность корректировки расчетных коэффициентов макроэкономического инструментария относительно данных мезоуровня. Направления будущих исследований: а) разработка и масштабирование шаблонов паспортизации технологий, б) разработка алгоритмов для внедрения ИИ в производство – графовой модели прототехнологического пространства в) реализацию задач по информационно-технологическому обслуживанию сферы производства.

JEL codes: D57, C67, O41, O31, L60

DOI: <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2026-3-76-98>

Для цитирования: Дашут, Е.С. Теоретико-методологические основы ресурсно-поточкового метода (РПМ+) описания технологических цепочек / Е.С. Дашут. – Текст : электронный // Теоретическая экономика. – 2026. – № 3. – С.76-98. - URL: <http://www.theoreticaleconomy.ru> (Дата публикации: 31.03.2026)

Введение

Фундаментальная роль технологических инноваций лежит в основе современной теории эндогенного экономического роста (Solow, Romer) – роста, основанного на внутренних факторах развития. Несмотря на негативные внешние факторы, экономика России стремится не отстать от ведущих стран в условиях резкого роста научно-технического прогресса. Правительство направляет существенные средства на развитие процесса цифровизации различных отраслей, в том числе промышленности, однако не всегда эти средства обеспечивают ожидаемый темп экономического роста. Существует множество факторов, тормозящих технологическое развитие.

В качестве ситуативного примера рассмотрим в настоящей работе процесс цифровизации промышленности. В частности, внедрение концепции Индустрия 4.0. Для этой цели выделены существенные вложения, намечены конкретные планы, но они охватывают лишь ряд крупных компаний. Выделим три момента.

Первое. Не секрет, что процесс комплексного внедрения Индустрии 4.0 может стоить от 80 до 250 млн. рублей на 2–3 года. Такая сумма недоступна для 95% малых и средних предприятий (МСП). Следовательно, процесс цифровизации по отношению к МСП, которые уже составляют значительную часть экономики, носит локальный характер по причине больших начальных затрат. В условиях внешнего давления на экономику свободных денег у МСП в таких количествах просто нет. Безусловно, этот факт не стимулирует динамику роста валового регионального продукта.

Второе. Существует ли возможность оценить динамику эффективности конкретных технологических цепочек (далее, ТЦ) после инвестирования в цифровизацию? К сожалению, прямого ответа на этот вопрос мы получить не можем, так как существующий макроинструментарий не опускается на уровень детализации ТЦ (мезоуровень), а соответствующий инструментарий на мезоуровне не существует.

Третье. Отдельной проблемой является фрагментарность технологических знаний: данные о процессах, режимах, эффектах и возможных маршрутах преобразования вещества рассредоточены по нормативной документации, отраслевым справочникам и локальным информационным системам и не сводятся в единую структуру, пригодную для системного анализа и генерации новых решений. Это сдерживает развитие распределённого производства, производственной кооперации и интеграции различных отраслей и комплексов.

Таким образом, современный макроэкономический инструментарий не подходит для применения на мезоуровне, так как существенное и объективное его ограничение – это детализация технологий отраслей до статических коэффициентов, в своей совокупности описывающих некий качественный уровень эффективности производства. Высокая степень агрегации макроэкономических моделей делает невозможным учет точных потерь, оценку эффекта от инвестиций, работу с выявлением резервов роста на мезоуровне.

На наш взгляд, недостающим и недооцененным звеном в существующей системе прогнозирования и управления промышленностью является инструментарий мезоуровня. Наличие адаптированного к макроэкономическим моделям инструментария оценки эффективности ТЦ на мезоуровне открывает широкие возможности для экономического моделирования, стимулирующего рост ВРП.

Направление исследований: предстоит проанализировать возможность разработки интеграционной модели для детализации таблиц «затраты-выпуск» на мезоуровне. При этом модель должна обеспечивать: а) начальный уровень проведения цифровизации; б) оценку эффективности технологических цепочек с выведением показателя эффективности; в) инициирование точек эндогенного роста за счет выявления внутренних резервов; г) возможность интеграции в графовую модель более высокого уровня для продуктивного использования технологических знаний как о фактической, так и о потенциально возможной конфигурации ТЦ; д) безболезненный способ внедрения в производство и низкий барьер цифровизации для МСП.

Теоретические предпосылки и постановка задачи

Существующий макроэкономический инструментарий, основанный на таблицах «затраты-выпуск» В.Леонтьева, с последующим развитием в работах исследователей (Р. Коуз, М. Портер, В. А. Ильин, Е. В. Лукин, Ю.В. Якименко, А.И. Анчишкин, В.В. Ивантер, М.Н. Узяков, А.А. Широ, М.С. Гусев и др.), позволил глубоко проанализировать структуру затрат и выпуска, выявить взаимосвязи между отраслями и оценить влияние технологических сдвигов на динамику ВВП и ресурсоёмкость экономики [11,31, 32,36].

В то же время известно, что традиционные модели «затраты-выпуск» (межотраслевые модели) имеют ряд допущений. В свою очередь, сделанные допущения формируют определенные ограничения, которые, безусловно, учитываются при анализе и прогнозировании экономического развития.

Необходимо отметить, что с точки зрения анализа реальных ТЦ таблицы «затраты-выпуск» имеют фундаментальные ограничения, которые не позволяют детализировать аналитическое пространство на мезоуровень – уровень технологических цепочек. К таким ограничениям можно отнести высокую степень агрегирования продуктов внутри отраслей и статичность.

С учетом имеющихся ограничений предпринимаются попытки прогнозирования динамики технологических коэффициентов, разрабатываются новые методы, способы, модели – расширяется инструментарий макроэкономического прогнозирования. Так, на примере ИПП РАН, одного из ведущих институтов в области макроэкономического моделирования, была разработана рекурсивная динамическая модель RIM (Узяков), выполнено ее обновление (Узяков, Широ) [33]. Далее, в развитии модели RIM для более глубокого и детального прогнозирования была разработана модель «Сonto» (Широ, Потапенко, Гусев, Савчишина, Узякова) [34]. Однако следует отметить, что несмотря на то, что исполнение этих моделей элегантно и логично, они не детализируют аналитику до мезоуровня. Модель не опирается прямо на ТЦ мезоуровня. У представленных моделей просто другое предназначение.

Развитие и поиск отвечающего современным потребностям макроэкономического инструментария применительно к ТЦ непрерывно продолжаются. Так, в последние годы разрабатываются новые теоретические и программные решения по формированию глобальных цепочек стоимости на основе международных таблиц (ICIO), участию в них стран и отраслей в экспорте [5,14,15,]. Отмеченные работы показывают важность трассировки потоков добавленной стоимости в аспекте межотраслевых связей, но они не детализируют эти цепочки до мезоуровня. Сюда же можно отнести работы, связанные с формированием глобальных и региональных цепочек создания стоимости, обеспеченные цифровизацией производственных систем [17,29]. В ряде работ подчеркивается, что возможность эффективного управления такими цепочками тесно связана с высоким уровнем прозрачности ресурсных потоков, затратами и результатами по всему протяжению цепочки [26,35]. Однако детализация от ICIO-таблиц до детальной ТЦ во всей полноте описания не просматривается.

Активно развивается направление по исследованию вопросов цифровизации и автоматизации производственных систем, внедрения ERP, MES- и других систем корпоративного управления, в том числе управления затратами [22,27,30]. Неоднозначность оценки состоит в том, что с одной стороны, эти системы повышают детальную возможность учета и планирования производства, но с другой стороны, на их внедрение требуются значительные финансовые и организационные затраты. При этом, системы ориентированы преимущественно на отложенную регистрацию операций, а не на поиск и оценку рациональных технологических маршрутов [3,10,28]. Для целей эффективного производственного планирования предлагается дополнительная APS-система (Advanced Planning and Scheduling). Она интегрируется с ERP, MES, CRM-системами, обрабатывает данные с помощью собственных алгоритмов оптимизации и выдаёт готовый план [2].

Однако даже при детальном аналитическом уровне планирования ТЦ этот класс программ не

в состоянии сравнить эффективность существующего технологического способа с альтернативным.

Следует отметить интересную работу (Сейфулин, Сафина) по развитию ресурсно-поточковых моделей применительно к ТЦ [21]. Однако развитие этой темы было остановлено, на мой взгляд, по причине низкого уровня качества промышленной сферы, отсутствия широко развитой производственной кооперации.

Необходимо отметить развитие отдельного направления по задействованию графовых моделей и теории сетей в анализе и планировании производственных цепочек и логистических систем [6,7,25]. Например, в работе D.Bronstein в графовой модели исследуются последовательности операций и варианты маршрутизации с помощью направленного ациклического графа (DAG). В работах E. de Jonge, F. Pijpers и М. с использованием взвешенного DAG показан метод формирования производственных цепочек из сложной сети межфирменных связей. Нельзя не отметить, что представленные подходы направлены на поиск наилучшей конфигурации сети при заданных потоках.

Многие направления рассматривают вопросы логистики и стоимости, тогда как более глубокие (базовые) технологические способы переработки сырья в продукцию остаются в введении технических служб без привязки их к качеству самих эксплуатируемых способов.

Несмотря на новые направления развития макроэкономического инструментария, остаются актуальными вопросы по проектированию динамики технологических коэффициентов.

Так, например, в работе над совершенствованием симметричных таблиц «затраты-выпуск», как показывают Радченко и Саяпова [18], предлагается способ, устраняющий возможность появления отрицательных коэффициентов прямых затрат, явно нереалистичных допущений о структуре технологий.

Дополнительно можно привести пример с практикой разработки межрегиональных межотраслевых моделей. Как отмечают разработчики межрегиональных межотраслевых моделей ИЭиОПП СО РАН (Суслов, Ершов, Ибрагимов), наиболее уязвимым местом классических моделей «затраты-выпуск» является агрегированное представление отраслей [24]. В работе [12] также отмечено, что возможное улучшение и расширение сферы использования прогнозных сценариев лежит в области совмещения макро- и мезоуровня.

В совокупности эти обстоятельства ограничивают применимость стандартных таблиц «затраты-выпуск» для анализа ТЦ на мезоуровне и стимулируют поиск методов, обеспечивающих одновременный учёт натуральных и стоимостных ресурсных потоков

С учетом всех перечисленных факторов возрастает интерес к более «легким» инструментам мезоуровня, позволяющим предварительно (до крупных вложений в цифровизацию) оценить эффективность задействованного технологического способа по отношению к альтернативным, потенциально возможным. Это снизит риск инвестирования в устаревшую, «отмирающую» технологию и создаст фундамент для внедрения систем полной автоматизации (при необходимости). Одновременно обеспечит возможность корректировки технологических коэффициентов макромоделей за счет компактного описания в интересующем формате ТЦ.

Рамкой для проводимых исследований, кроме основополагающих теоретических материалов по макроэкономике, можно считать принятую и утвержденную Президентом РФ «Стратегию научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. N 145 [23], а также решение конференции «Структурно-технологическая трансформация экономики России: импортозамещение и НТР» (02.10.2025), где в п.3.2 прямо говорится: «о необходимости государственной функции мониторинга научно-технических проектов и технологий, а также связанных с ними производственных цепочек» [19].

Постановка задачи

Для более эффективного использования макроинструментария, а также стимулирования роста ВРП необходимо разработать на мезоуровне интеграционную модель, опирающуюся, с одной

стороны, на реальные технологические цепочки, с другой стороны – на макроэкономический формат данных. Модель должна показывать расчетный уровень затрат, оценивать уровень эффективности ТЦ, вскрывать источники потерь/роста, легко интегрироваться как в таблицы «затраты-выпуск», так и в графовую модель более высокого уровня, а ее данные и показатели могли бы использоваться в динамических моделях.

Наличие такой модели, с одной стороны, позволило бы снять вопросы по корректировке и согласованию технологических коэффициентов, с другой стороны – позволило бы оказывать существенную помощь развитию и функционированию МСП в анализе эффективности и мониторинга существующих и альтернативных ТЦ, в том числе и инновационных.

Необходимо отметить условие простоты использования разрабатываемой модели и невысокую стоимость внедрения для массового использования модели на МСП.

Обоснование и реализация РПМ (данные и методы)

Позиционирование свойств будущей модели

Сформулированная во втором разделе потребность в разработке некой интеграционной модели на мезоуровне – это явно нетривиальная задача во многих аспектах. Первый довод можно привести по предполагаемому формату данных: дело в том, что классические таблицы «затраты-выпуск» используют исключительно стоимостной характер обрабатываемых данных. Интегрироваться на мезоуровень – это значит использовать в том числе и натуральный характер данных, т.е. физические (количественные) измерения затрат и выпуска. По сути – это натурально-стоимостной формат использования данных. Такой формат в таблицах «затраты-выпуск» ранее не применялся.

Что касается требований к модели: она, безусловно, должна иметь потребительскую ценность для производителей. Необходимо сделать так, чтобы разрабатываемая модель была не «модным» дорогим довеском, а простой и значимой программой, приносящей реальную пользу. Следовательно, необходимо усилить простоту внедрения и наглядность получения полезного эффекта от использования программы. Для реализации этих целей планируется детализировать ресурсные потоки, агрегировать технологические процессы, перевести на натурально-стоимостной формат данных таблиц «затраты-выпуск», вывести показатель эффективности технологической цепочки, интегрировать разработанную модель в сетевое представление обращения технологических знаний (граф потенциала), обеспечить возможность моделирования и генерации ТЦ.

Так теоретически заданная постановка при ее реализации набирает широкий спектр используемых источников для разработки модели в смежных областях знаний: теории микроэкономики фирмы, теории графов, Системы Национальных Счетов (СНС), управленческом учете, периодической статистике, химии, Справочнике описания наилучших доступных технологий (Росстандарт), технологической документации предприятий.

Перечисленные вводные условия для разработки модели позволили разработать и детализировать входные требования к ее конструкции и окружению, а именно:

- натурально-стоимостной формат структуры данных таблицы «Процесс–Продукт» (далее, таблицы ПП) – производственной версии модели таблиц «затраты-выпуск» – будут адаптированы под количественное отображение данных;

- полная интеграция в ресурсные потоки (предлагается классификация ресурсных потоков: R1 – основное сырье, R2 – дополнительные материалы, R3 – основная продукция, R4 – отходы/потери (источник роста);

- описание задействованных технологических процессов, анализ и выявление потенциала роста (потерь);

- полное и компактное описание ядра технологии (ее расчетной стоимости затрат), а также качественная оценка модели неким показателем эффективности (логарифм производительности добавленной стоимости (ЛПДС));

- возможность сопоставления альтернативных технологий и их оценка, в том числе в графовой

модели (DAG);

– возможность мониторинга НТП, моделирование и даже генерация новых эффективных технологий при задействовании ИИ.

Такая компактная модель могла бы называться «Паспорт технологии», а метод ее формирования – Ресурсно-потоковой метод. При этом можно представить поэтапное развитие модели: первый этап – это внедрение паспорта технологии и выявление резервов (РПМ). Дальнейшее развитие – интеграция паспорта технологии в графовую модель (РПМ+) [8].

Дополнительно: при условии реализации в разрабатываемой модели предлагаемого подхода (РПМ, РПМ+) в производственной сфере формируется потенциал для качественных изменений. Надстройка РПМ+ может считаться стимулирующим фактором эндогенного роста по следующим причинам: выявление резервов (R4) будет стимулировать поиск решения по их использованию, следовательно, снизится промежуточное потребление и увеличится выпуск, увеличится ДС и значение ЛПДС. Т.е., паспортизация технологий стимулирует развитие точек роста за счет внутренних резервов. Переход на постоянное информационно-технологическое обслуживание в графовой модели с получением информации о потенциально возможных способах улучшения производства (Граф потенциала, DAG) лишь многократно увеличит скорость развития этих важных процессов.

Таким образом, можно считать, что РПМ+, разрабатываемая надстройка к классическим таблицам «затраты-выпуск», может и должна стимулировать развитие процесса эндогенного роста.

Обоснование методологии ресурсно-потоковой модели (РПМ)

Ресурсно-потокковая модель использует и продолжает линию таблиц «затраты-выпуск», но при этом акцент со статистической модели «затраты-выпуск» переносится на динамическое восприятие производственного процесса. В основе предлагаемого подхода лежит ресурсно-потокковой метод (РПМ), который в том числе классифицирует ресурсные потоки на четыре типа: R1 – основное сырье, R2 – дополнительные материалы, R3 – основная произведенная продукция и R4 – отходы и потери. (см. рисунок 1)

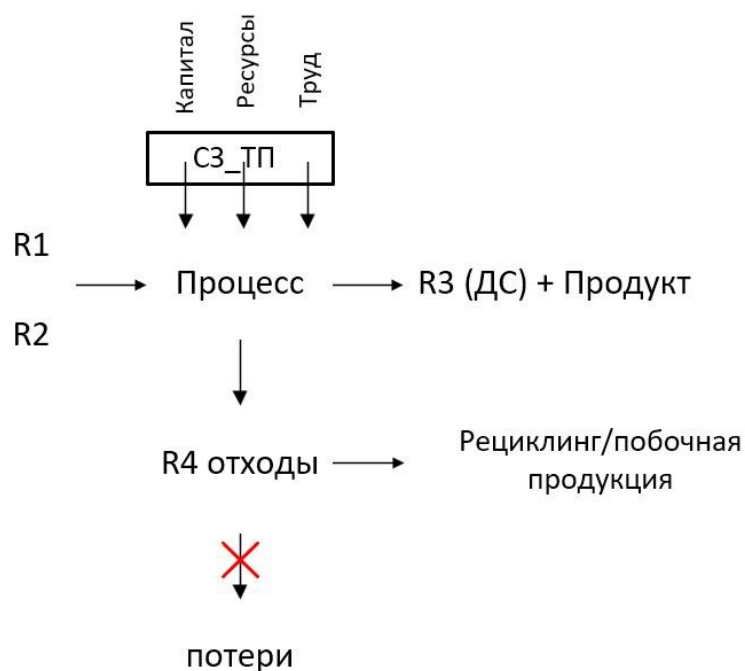


Рисунок 1 – Принципиальная схема организации РПМ

Источник – разработано автором

Необходимо отметить, что отходы в РПМ рассматриваются не как безвозвратные потери, а как потенциальные источники повышения эффективности. Принятый подход позволяет рассматривать производственный процесс как аналитическую систему взаимосвязанных потоков, позволяющую не только определить результаты, но и выявить внутренние резервы.

Теоретические основы РПМ опираются на теорию микроэкономики предприятия. В рамках данной теории выпуск продукции определяется качеством используемой технологии, а также степенью переработки сырья. Размер потока потерь, безусловно, зависит от качества используемой технологии, уровня качества подготовки менеджмента предприятия. Проведенные действия по минимизации потока R_4 при тех же R_1 и R_2 пропорционально увеличивают стоимостной размер потока R_3 , а следовательно, и добавленную стоимость (ДС). Приведенное пояснение демонстрирует, что повышение эффективности обеспечивается за счет внутренних резервов. Таким образом показано, что РПМ может легко выявить скрытые резервы и отслеживать их использование для повышения эффективности конкретной ТЦ.

В рамках РПМ добавленная стоимость рассчитывается по классической формуле: добавленная стоимость = выпуск – промежуточное потребление. Применительно к потокам это будет $ДС = R_3 - (R_1 + R_2 + \text{потребление ресурсов основными средствами технологического процесса} - \text{расход эл.энергии, услуги и т.д.})$. ДС рассчитывается с учетом производительности ТЦ за 1 час. Полученный размер ДС в час затем логарифмируется, образуя показатель логарифма производительности добавленной стоимости в час (ЛПДС). ЛПДС отражает качественную характеристику состояния технологического процесса – сколько единиц добавленной стоимости можно получить за единицу времени из единицы сырья, используя данную конструкцию технологического процесса/способа организации ТЦ. Этот же показатель будет в дальнейшем служить критерием сопоставления альтернативных технологий к анализируемой технологической цепочке. При желании можно расширить формулу введением в нее капитала – это открывает возможность оценить эффективность использования материальных и капитальных ресурсов в единой системе.

Ресурсно-потоковая модель формирует взгляд на экономический процесс. В рамках этого подхода процесс выглядит как управляемое преобразование ресурсных потоков. При этом эффективность является не заданным внешним параметром, а результатом внутреннего состояния системы. Такой способ представления позволяет отойти от традиционного «бухгалтерского» взгляда на анализ к готовой форме инженерно-экономического моделирования. При этом подходе каждый поток имеет свое функциональное значение и при минимальных затратах может быть оптимизирован.

Практическое использование РПМ предполагает разработку цифровых паспортов технологии, в том числе и в условиях внедрения Индустрии 4.0. РПМ обеспечивает компактное натурально-стоимостное описание технологических цепочек, позволяет легко выявлять резервы повышения эффективности (R_4), прогнозировать эффективность новых ТЦ и обосновывать инвестиции. Важно, что при сопоставлении альтернативных ТЦ – ЛПДС становится универсальным критерием отбора, в том числе и при интеграции в графовую модель (DAG).

Ресурсно-потоковый метод и паспорт технологической цепочки

С учетом рассмотренного в теоретической части ряда основных принципов методологии модели РПМ покажем реализацию этой модели на практическом примере, подтверждающем полноту выполнения теоретически сформулированной задачи.

Природные ресурсы – это источник формирования окружающей среды. В процессе переработки вещество меняет свойства, принимает различную форму, собирается в технические системы, которые выполняют нужные человеку функции. Обобщая, мы рассматриваем потоки вещества (ресурсные потоки), которые видоизменяются под воздействием определенных технологических процессов. Примем натурально-стоимостной формат описания. С целью увеличения аналитической области классифицируем эти потоки, воздействие технологических процессов на ресурсные потоки

соберем в агрегат – Сметные затраты технологических процессов (СЗ_ТП) и приведем к 1 часу их производительности. Количественно-стоимостное отображение данных будем делать в формате леонтьевских таблиц ПП. Подставляя рыночные цены к ресурсам, мы получим ядро расчетных затрат компактного описания условной технологии. Рассчитаем добавленную стоимость (ДС) и логарифмируем полученное значение (ЛПДС). В результате получим качественную оценку условной технологии – показатель эффективности конкретной ТЦ. ЛПДС будет отражать сколько ДС можно получить из единицы сырья за единицу времени при эксплуатации данного технологического способа (данной конструкции ТЦ). Максимальное значение ЛПДС будет критерием для выбора альтернативных технологий как в ручном варианте, так и в графовой модели с использованием DAG (направленный ациклический граф).

Для наглядности продемонстрировать подготовку и задействование РПМ будем осуществлять на промышленной технологии получения силикагеля сплавлением песка и едкого натра с дальнейшим гидролизом полученных силикатов (метод плавки).

Первый шаг: вводим ресурсные потоки в технологическую схему.

Классифицируем ресурсные потоки от R1/A4.2.1 – это вход основного сырья до R3/A4.4.3 – выпуск готовой продукции (см. рисунок 2).

Схема потоков к процессам получения $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ плавкой

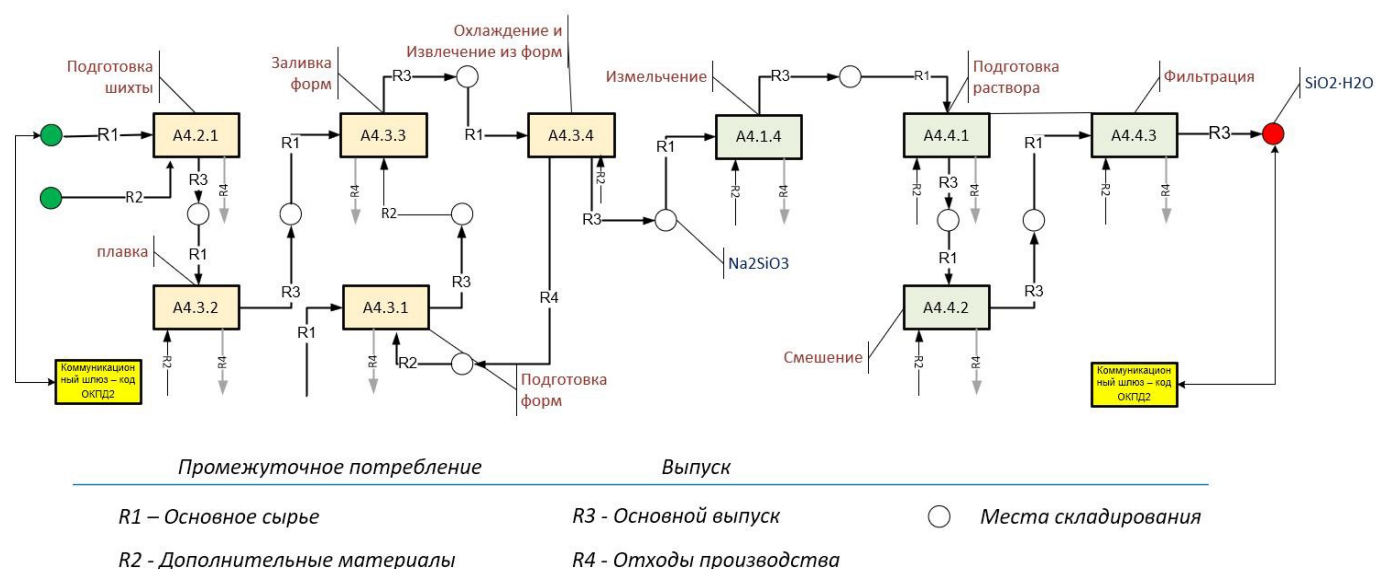


Рисунок 2 – Технологическая схема получения силикагеля с нанесением ресурсных потоков R1-R4
Источник: разработано автором

Правило для классификации ресурсных потоков: $R1+R2=R3+R4$ – оно опирается на закон сохранения массы. R1 – основное сырье, R2 – дополнительные материалы, R3 – основная продукция, R4 – отходы производства. R3/R1 – постоянная и фиксированная связь, определяющая последовательность процессов в ТЦ.

Второй шаг: формирование агрегата сметных затрат технологических процессов (СЗ_ТП).

Цель формирования агрегата СЗ_ТП – получить агрегированную оценку затрат технологического процесса, приведенную к его фактической производительности за единицу времени. Затраты описываются по группам: «Эксплуатация основных фондов», «Труд и заработная плата», «Сырье, материалы и комплектация», «Прочие расходы». Ввод данных осуществляется по шаблону заводским персоналом (собственными силами): по каждому технологическому процессу на основании технологической карты технологи определяют состав оборудования, характеристики мощности и производительности, бухгалтерия предоставляет цену, зарплату (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сводная и детальные таблицы формирования СЗ_ТП

СЗ_ТП Плавка (сводная и детальные таблицы)											
код процесса		A4.2.1	A4.3.1	A4.3.2	A4.3.3	A4.3.4	A4.1.4	A4.4.1	A4.4.2	A4.4.3	Итого
СЗ_ТП	руб.	930	470	6444	560	620	740	620	591	680	11657
в том числе материалы (э/энергия) по СЗ_ТП	руб.	489	30	6000	120	180	300	180	150	240	7689
в том числе материалы (э/энергия) по СЗ_ТП	квт. час	82	5	1050	20	30	50	30	25	40	1332
% амортизации	руб.										20,00%
% текущий ремонт	руб.										10,00%

Группы затрат	ед. изм.	кол-во	мощность (квт. час)	Баланс. Ст-ть (тыс.руб)	% амортизации (час)	аморт. (тыс. руб. час)	% текущий ремонт (час)	текущим ремонт (тыс.руб. час)	кол-во часов в году	производительность (час)	ЭММ (тыс.руб. час)	продолжительность цикла	коэфф. Задействования	расход э/энергии (квт. час)	з/плата (тыс. руб. час)	материалы	прочие
Эксплуатация Основных Фондов				7 500		0,76		0	1972		1,14			82			
Конвейерная линия подачи сырья	шт	1,00	50	3 500	20%	0,35	10%	0	1972	570	0,53	1	1,0	50			
Дозатор компонентов		1,00	15	1 200	20%	0,12	10%	0	1972	450	0,18	1	0,5	8			
Смеситель непрерывного действия	шт	1,00	30	2 800	20%	0,28	10%	0	1972	480	0,43	1	0,8	24			
Труд и заработная плата															440		
Машинист	руб														250		
помощник машиниста/оператор	руб														190		
Материалы, комплектация																	
Э/энергия (6 руб. квт. час)	руб./квт. час																489
Прочие расходы																	
Наименование/ код процесса																	
СЗ_ТП	руб.																0
Подготовка шихты														A4.2.1			
														930,14			

Источник: составлено автором

После заполнения детальной таблицы по каждому процессу (нижняя таблица) данные передаются в сводную таблицу и проставляются в строке под каждым процессом с расшифровкой отдельных позиций.

Таким образом мы имеем количественные и стоимостные затраты каждого технологического процесса, приведенные к его производительности в 1 час. Далее мы перенесем расчетное количество этих затрат на ресурсные потоки, но только строго расчетное количество, исходя из величины потока и производительности процесса. Пример: на расчетную массу переработки вещества в потоке при фактической производительности процесса требуется, например, 3,2 часа. Оставшиеся (обратное время от смены) 4,8 часа будут означать простой оборудования: простой регистрируется как источник роста в производственной кооперации.

Третий шаг: заполнение количественной таблицы «Процесс–продукт»

Классическая таблица ПП: по столбцам – задействованные технологические процессы, по строкам – перерабатываемое вещество в аналитике R1-R4. Для заполнения количественной таблицы ПП необходимы данные из технологической карты (документации), либо расчетные данные через отображение продуктов химической реакции, приведенных к метрической системе веса. Запись осуществляется: левая часть уравнения – потоки R1 + R2, правая часть – R3 + R4. Действует жесткое правило баланса.

Потоки R1,R2 вводятся с отрицательным значением, потоки R3+R4 – с положительным. Поток R4 дублируется в итоговой строке «Потери». Балансовая строка «Итого» всегда должна быть равна 0. (см. таблицу 2).

Четвёртый шаг: заполнение стоимостной таблицы «Процесс–продукт».

Процесс заполнения стоимостной таблицы дублирует предыдущий процесс, за исключением добавочной строки сверху таблицы – сводной таблицы СЗ_ТП (см. таблицу 1) и столбца с рыночной ценой ресурсов (см. таблицу 3).

Из количественной таблицы (см. Таблица 2) объем перерабатываемого вещества умножается на рыночную цену (при наличии) и в виде стоимости затрат вносится в соответствующую потоку строку с отрицательным знаком. Далее, к сумме R1 и R2 добавляется значение СЗ_ТП, соответствующего данному процессу – получается значение «Всего затрат по процессу». Далее полученная величина распределяется на потоки R3 и R4 пропорционально их массе. Значение потока R4 дублируется в строку «Потенциальные убытки», сумма R3 + R4 – в строку «Всего выпуск по процессу». Столбец «Итого» отслеживает баланс и всегда должен быть равен 0.

Таблица 2 – Количественная таблица «Процесс-продукт» приведенная к единице времени (1 час).

Таблица «Процесс-продукт» (физическое отображение за 1 час)									
Код процесса	A4.2.1	A4.3.1	A4.3.2	A4.3.3	A4.3.4	A4.1.4	A4.4.1	A4.4.2	A4.4.3
A4.2.1									
R1 (Песок)	-202,0								
R2 (NaOH)	-269,0								
R3 (Шихта) включая влагу	450,0								
R4 (Вода)	21,0								
A4.3.1									
R1 (литьейные формы б/у)									
R2 (смазка)		10,00							
R3 (подготовленные литьевые формы)									
A4.3.2									
R1 (Шихта)			-450,0						
R3 (Расплав Na ₂ SiO ₃)			420,0						
R4 (Потери)			30,0						
A4.3.3									
R1 (Расплав Na ₂ SiO ₃)				-420,0					
R3 (Отливки Na ₂ SiO ₃ в формах)				416,0					
R4 (Отходы)				4,0					
A4.3.4									
R1 (Отливки Na ₂ SiO ₃ в формах)						-416,0			
R3 (Na ₂ SiO ₃ в слитках)						412,0			
R4 (потери)						4,0			
A4.1.4									
R1 (Na ₂ SiO ₃ в слитках)							-412,0		
R3 (Na ₂ SiO ₃ в крошке)							411,0		
R4 (Потери)							1,0		
A4.4.1									
R1 (Na ₂ SiO ₃ в крошке)							-411,0		
R2 (Вода)							-172,4		
R3 Na ₂ SiO ₃ в растворе							583,4		
A4.4.2									
R1 Na ₂ SiO ₃ в растворе								-583,4	
R3 Кремнегель SiO ₂ *H ₂ O								269,0	
R4 NaOH 77% + H ₂ O								314,0	
A4.4.3									
R1 Кремнегель SiO ₂ *H ₂ O									-269,0
R2 (Вода)									-80,0
R3 (Кремнегель - Фильтрат) по сухому состоянию									207,7
R4 (Отход: вода + NaOH)									141,3
Всего потребленных ресурсов по процессу (масса)	-471,00	10,0000	-450,00	-420,0	-416,00	-412,00	-583,40	-583,40	-349,00
Всего выпуск по процессу (масса)	471,00		450,00	420,0	416,00	412,00	583,40	583,00	348,98
Потери (R4)	21,00		30,0	4,0	4,0	1,0	0	314,00	141,3
Итого	0	10	0	0	0	0	0	0	0

Источник: разработано автором

Таблица 3 – Стоимостная таблица «Процесс-продукт» приведенная к единице времени (1 час)

Таблица «Процесс-продукт» (стоимостное отображение за 1 час)										цена ресурса
Код процесса	A4.2.1	A4.3.1	A4.3.2	A4.3.3	A4.3.4	A4.1.4	A4.4.1	A4.4.2	A4.4.3	
СЗ_ТП	-930,1	-470,3	-6 000,0	-560,3	-620,2	-740,3	-620,3	-590,5	-680,3	
A4.2.1										
R1 (Песок)	-130,3									0,648
R2 (NaOH)	-22 865,0									85
R3 (Шихта)	22 995,3									0,7
R4 (Вода)	14,70									
A4.3.1										
R1 (литьейные формы б/у)										
R2 (смазка)	-1 400									140
R3 (подготовленные литьевые формы)	1 870									
A4.3.2										
R1 (Шихта)			-23 010,0							
R3 (Расплав Na ₂ SiO ₃)			27 076,0							
R4 (Потери)			1 934,0							
A4.3.3										
R1 (Расплав Na ₂ SiO ₃)				-29 010,0						
R3 (Отливки Na ₂ SiO ₃ в формах)				29 288,7						
R4 (Отходы)				281,6						
A4.3.4										
R1 (Отливки Na ₂ SiO ₃ в формах)					-29 570,3					
R3 (Na ₂ SiO ₃ в слитках)					29 900,2					
R4 (Потери)					290,3					
A4.1.4										
R1 (Na ₂ SiO ₃ в слитках)							-30 190,5			
R3 (Na ₂ SiO ₃ в крошке)							30 855,7			
R4 (Потери)							75,1			
A4.4.1										
R1 (Na ₂ SiO ₃ в крошке)							-30 930,8			
R2 (Вода)							-120,7			
R3 Na ₂ SiO ₃ в растворе							31 671,8			0,7
A4.4.2										
R1 Na ₂ SiO ₃ в растворе								-31 671,8		
R3 Кремнегель								14 886,1		
R4 NaOH 77% + H ₂ O								17 376,3		
A4.4.3										
R1 Кремнегель									-32 262,3	
R2 Вода									-56,0	0,7
R3 (Кремнегель - Фильтрат)									19 637,7	
R4 (Отход: вода + NaOH)									13 361,0	
Всего затрат по процессу	-23 925	-1 870	-29 010	-29 570	-30 191	-30 931	-31 672	-32 262	-32 999	
Всего выпуск по процессу	22 995	1 870	29 010	29 570	30 191	30 931	31 672	32 262	32 999	
Потенциальные убытки (R4)			1 934	282		75	0	17 376	13 361	
Итого	-915,44	0	0	-0,0	-0	0	0	17 376	0	33 027,97

Источник: разработано автором

Пятый шаг: Заполнение таблицы «Показатели».

Структура таблицы повторяет элементы таблицы «Ресурсы и использование». Строка «Выпуск» показывает номенклатуру производимой продукции, ее количество (соответствующий поток R3 из таблицы 3), умноженное на рыночную цену данной продукции. Строка «Промежуточное потребление» показывает потоки R1+R2 (соответствующие потоки из таблицы 2,3) с проставлением рыночной цены ресурсов (соответствующие потоки из таблицы 3). Отдельной строкой вводится электроэнергия из СЗ_ТП – она учитывается в СЗ_ТП отдельной строкой и добавляется к промежуточному потреблению. Разница между выпуском и промежуточным потреблением даёт значение ДС. Таблица отображает качественное состояние технологии – какой размер ДС может быть получен по данному технологическому способу из единицы сырья за единицу времени.

Таблица 4 – Таблица показателей ТЦ

Показатели ТП					
Наименование		объем пр-ва	цена руб	объем продаж	затраты
Выпуск					
Гель кремниевой кислоты (фильтрат)	кг	207,68	240	49 843	
Промежуточное потребление в т.ч.	руб				32 561
R1 (Песок)	кг	202,0	0,645		130,3
R2 (NaOH)	кг	269,0	85		22865,0
Смазка	кг	10,0	140		1400,0
Вода	м3	252,4	0,7		176,7
Электроэнергия из СТ_ТП	квт.час	1331,5	6		7989,0
Добавленная стоимость ДС					17 282
Показатель ЛПДС (log10)					4,237599781

Источник: разработано автором

С учетом устранения проблем с различным масштабом производства и мощностью процессов данный показатель логарифмируется и приводится к компактному значению – ЛПТЗ или log10ДС. В дальнейшем ЛПТЗ используется как критерий для сопоставления альтернативных технологий (см. далее).

Шестой шаг: Заполнение результирующей таблицы.

В результирующей таблице рассматриваются результаты описания двух (или более) альтернативных технологий (технологических способов переработки) применительно к получению заданной продукции. В данной таблице наглядно и просто сопоставляются количественно-стоимостные значения и расчетные показатели. Наиболее эффективный вариант производства выбирается по наибольшему значению ЛПДС (см. Таблицу 5).

Таблица 5 – Результирующая таблица сопоставления ТМ (ТЦ)

Наименование	характеристики ресурса		количественные показатели по ТМ		стоимостные показатели по ТМ	
	ед.изм.	цена	ТМ1	ТМ2	ТМ1	ТМ2
Выпуск	кг/час		208	414	49843	193 438
гидроксид алюминия	кг/час	681		214	-	145 462
Гель кремниевой кислоты (фильтрат)	кг/час	240	208	200	49843	47 976
Промежуточное потребление, в т.ч.	руб/час				32561	3 002
Песок мытый	кг/час	0,645	202		130	
(NaOH)	кг/час	85	269		22865	
Смазка форм	кг/час	140	10		1400	
Глина	кг/час	2		335	0	670
вода	м3/час	0,7	252	722	177	505
Электроэнергия из СТ_ТП	квт.час	6	1332	305	7989	1 827
Добавленная стоимость ДС					17 282	190 436
Показатель ЛПДС (log10)					4,2376	5,279748

Источник: разработано автором

Седьмой шаг: Сборка паспорта технологии.

Из представленного описания очевидно, что паспорт технологии представляет собой определенный перечень заполненных материалов: технологической схемы, а также приведенных к ресурсно-потоковой форме ряда таблиц, полностью описывающих и натурально-стоимостную часть, и расчетные показатели.

В состав Паспорта технологии (РПМ) входит технологическая схема в аналитике R1-R4, агрегат СЗ_ТП (сводный и детальный), текстовое описание технологических переделов, количественная и стоимостные таблицы ПП, таблица показателей с учетом ЛПДС и сравнительная таблица.

Паспорт технологической цепочки содержит в себе комплексное и краткое изложение сути и натурально-стоимостных характеристик используемой технологии для получения конкретной продукции. Паспорт является объединяющим элементом между инженерной технологией и экономическим анализом, служит инструментом поиска рациональных управленческих решений.

Интеграция с графовой моделью прототехнологического пространства (РПМ+)

Позиционирование сферы обращения технологических знаний

Выше отмечалось, что всё окружающее нас пространство (за исключением живой природы) состоит из вещества. Используя природные ресурсы, человек воздействует на вещество, в результате чего последнее меняет свои свойства и форму. Из вещества делаются детали, которые собираются в узлы, агрегаты, комплексы, изделия – технические системы, обеспечивающие выполнение заданных функций (эффектов). Кроме капитала, труда и материалов в процессе переработки вещества человек использует технологические знания – знания о том, каким образом можно преобразовать вещество в нужное состояние. Очевидно, что качество организации таких знаний формирует инновационный потенциал – важный ресурс защиты собственного технологического суверенитета.

Предлагается существующие и потенциально возможные технологические знания систематизировать в графовой модели

$$x^G = (V, E)K \quad (1)$$

где:

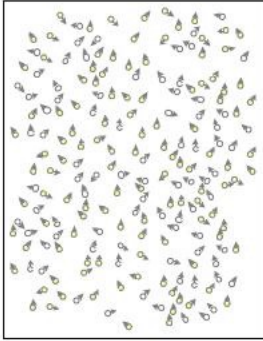
V – некое состояние вещества, E – процесс его превращения, K – коэффициент наличия и использования знаний. Такая модель, с одной стороны, формирует многомерное векторное пространство, где вектором является некий процесс – путь из вершины V_i к вершине V_{i+1} , с другой стороны, она унифицирует и систематизирует существующие и потенциально возможные технологические знания, с третьей стороны – в режиме трех локализаций пространства применительно к конкретной технологии позволяет моделировать и даже генерировать инновационные маршруты переработки с использованием DAG – направленного ациклического графа.

С введением ИИ в промышленное производство открывается возможность использования накопленных знаний в виде гида-путеводителя в процессе производства, стимулировать развитие техно-экономического творчества. Безусловно, за этой графовой моделью, обеспечивающей унификацию, систематизацию и представления и обращения технологических знаний – будущее [1].

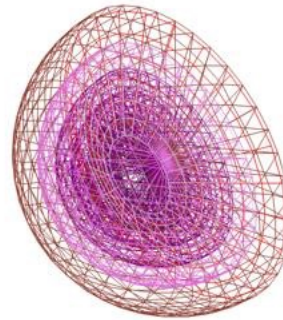
Прототехнологическое пространство — междисциплинарная область, связанная с производством. Оно аккумулирует и поддерживает цикл обращения технологически знаний (пополнение, хранение, транспорт, использование), служит основой структурного проектирования и инновационного развития. Это пространство систематизирует методы преобразования вещества в жизненный цикл технологии — от стадии «Идея, Эскиз» до промышленной реализации (см. рисунок 3).

Прототехнологическое пространство (только в расширенном варианте)

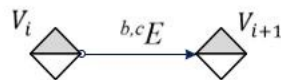
Фрагментированные
знания



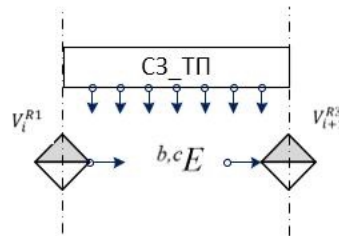
Систематизированные
знания на основе графа
 $G=(V,E)K$



Отображение связи между состоянием
вещества и процессами превращений



Тоже, применительно к ресурсным потокам
R1-R4 и СЗ_ТП



Размер фактически описанной области задаётся коэффициентом
заполнения $K \rightarrow 1$

Рисунок 3 – Прототехнологическое пространство и адаптация РПМ

Источник: разработано автором

Рассмотрим возможность интеграции модели РПМ в организованное и предлагаемое прототехнологическое пространство. Перерабатываемые ресурсные потоки можно считать вершинами V_i графа XG , а ребра E – воздействием на эти потоки соответствующих $СЗ_ТП$ (см. рисунок 1). Более того, каждый процесс преобразования мы можем представить в виде вектора, где весом вектора будет служить значение ЛПТЗ. То есть, существует возможность специальными алгоритмами (в данной работе алгоритмы не приводятся) локализовать данное пространство до интересующей области и, используя современный направленный ациклический граф (по критерию максимального значения ЛПТЗ), выбрать наиболее эффективный технологический маршрут, перестраивая DAG с интервалом в 3 месяца, обеспечить мониторинг развития НТП применительно к данной технологии.

Схема взаимодействия участников рынка

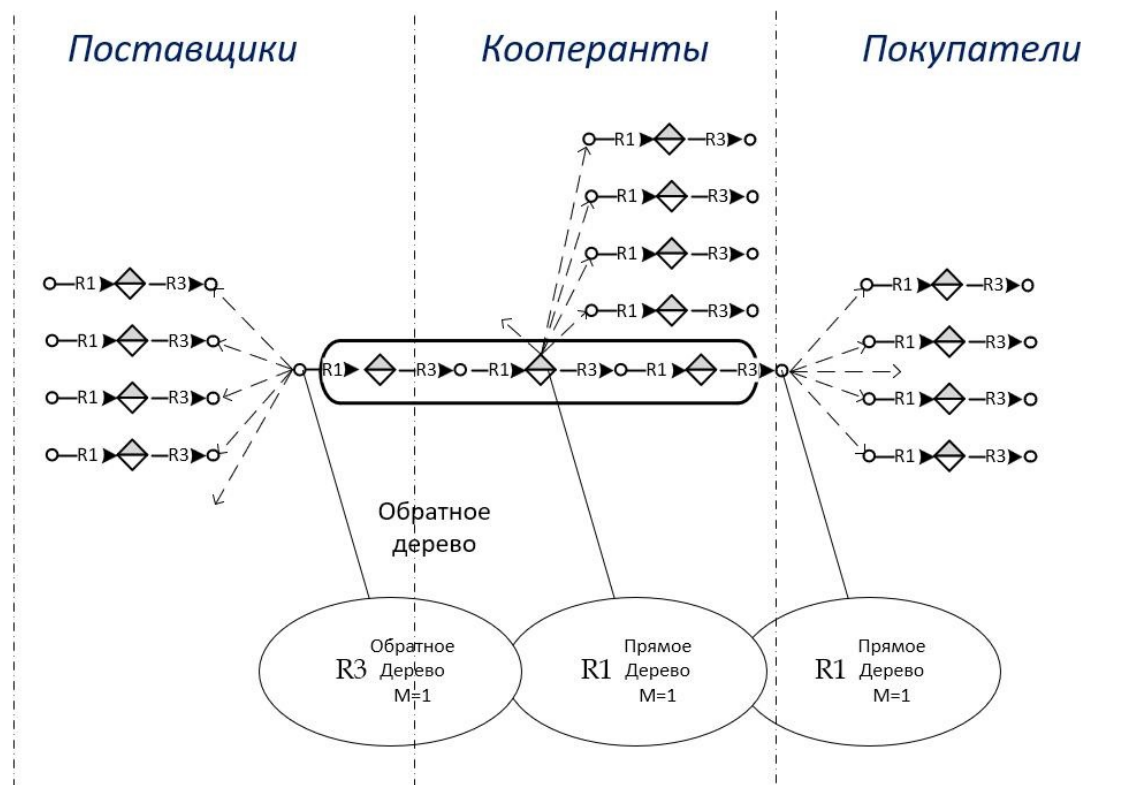


Рисунок 4 – Схема организации взаимодействия участников рынка

Источник: разработано автором

Более того, находясь в сетевом пространстве легко можно найти производителей (поставщиков) продукции, кооперантов и покупателей, оформляя из нужного узла запрос (построение дерева) по признакам «наименование потока» (R1, R3) и «код материала». Это качественно меняет производственную сферу – резко увеличивает информированность участников рынка, стимулирует к организации и использованию производственной кооперации (развитию горизонтальных связей).

Математическое обоснование предложенного метода

1. Формальное описание модели

Исходная математическая модель (1) представлена в виде взвешенного графа:

$${}^xG=({}^aV,{}^b,cE),$$

где:

V — множество вершин (материальные состояния)

E — множество рёбер (процессы превращений)

a — характеристики вещества

b — технические условия процесса

c — эффекты процесса

2. Математический аппарат

Теория графов используется для:

- Построения ориентированных ациклических графов (DAG)
 - Формирования множеств вершин и рёбер
 - Определения связей между элементами системы
- Алгоритмический базис включает:
- Алгоритмы построения корневых деревьев

- Методы поиска оптимальных путей
- Алгоритмы объединения графов

3. Оптимизационная модель

Целевая функция определяется как:

$$F = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x),$$

где:

- w_i — весовой коэффициент
- $f_i(x)$ — функция оценки критерия
- x — вектор параметров процесса

где $w_i = \text{ЛПДС}$

Критерии оптимизации:

- Технические ограничения
- Экономические показатели
- Качество конечного продукта

4. Обоснование корректности

Математическая корректность метода обеспечивается:

- Соблюдением закона сохранения массы
- Формализацией всех технологических процессов
- Использованием признанных математических методов

Практическая реализуемость подтверждается:

- Возможностью применения известных алгоритмов оптимизации
- Четкой формализацией всех этапов
- Определенностью критериев оценки

5. Выводы по математической модели

Предложенный метод имеет прочное математическое обоснование, основанное на:

- Теории графов
- Методах оптимизации
- Формализованном описании технологических процессов

Математическая модель обеспечивает:

- Единственность решения
- Возможность алгоритмической реализации
- Корректность получаемых результатов

Вывод: РПМ органично встраивается в общую графовую модель организации технологических знаний. Учитывая, что интеграция в графовую модель осуществляется посредством заполнения Паспорта технологии, то «вход» в цифровизацию для МСП является минимальным, все расчеты осуществляются в облаке. Такой подход существенным образом отличается от дорогостоящего внедрения систем Индустрии 4.0.

Назовем модель РПМ встроенную в графовую модель РПМ+.

Естественно, что предлагаемая интеграция открывает качественно новые как аналитические, так и практические возможности по росту производительности, защите собственного технологического суверенитета.

Экономическая эффективность и снижение барьеров цифровизации

Практический пример использования РПМ в анализе и моделировании технологической цепочки

Рассмотрим пример экономической эффективности на примере уже описанной технологии: из анализа таблицы №3 можно наблюдать, что по строке «Потенциальные убытки» наибольшие потери соотнесены с процессами А4.4.2 по номенклатуре «NaOH 77% + вода» в размере 17869 руб/час и процессу А4.4.3 по номенклатуре «Отход: вода + NaOH» в размере 13732 руб/час. Согласно таблице

№2 вес этой номенклатуры 314 кг и 141 кг, что в сумме дает 455 кг/час. По сути – это одни и те же отходы раствора едкого натра разной концентрации. Одновременно, по данным таблицы №2, на процесс А4.2.1 ежечасно закупается 269 кг сухого едкого натра (поток R2 процесса А4.2.1) на сумму 22865 руб/час. Такой расточительный расход материалов недопустим.

Предлагается: потоки R4 процессов А4.4.2 и А4.4.3 вместо утилизации направить на рециклинг. Простейший вариант переработки – «Выпаривание воды». С помощью рециклинга вернуть соединение NaOH в голову процесса, воду после конденсации направить потоком R2 через резервуар обратного водоснабжения в процессы А4.4.1 и А4.4.3. Закупки прекратить.

Дополнительно: для организации процесса выпаривания воды из раствора NaOH использовать рассеянное тепло остывающего силиката (~1200 С) после его разлива в форму (процесс А4.3.4). Поэтому дополнительный расход электроэнергии на организацию рециклинга не потребуется.

Потери в процессах А4.3.2 (плавка), А4.3.3 (розлив) и А4.3.4 (снятие опалубки форм) учесть. Составить план мероприятий по их устранению за счет повышения культуры производства – внедрения философии Кайдзен.

Таким образом, таблица показателей изменится и примет следующий вид (см. таблицу 6)

Таблица 6 – Таблица показателей с учетом рециклинга

Наименование		объем пр-ва	цена руб	объем продаж	затраты
Выпуск					
Гель кремниевой кислоты (фильтрат)	кг	207,68	240	49 843	
Промежуточное потребление в т.ч.					9 519
R1 (Песок)	кг	202,0	0,645		130,3
R2 (NaOH)	кг	0,0	0		0,0
Смазка	кг	10,0	140		1400,0
Вода	м3	0,0	0		0,0
Электричество из СТ_ТП	квт.час	1331,5	6		7989,0
Добавленная стоимость ДС					40 324
Показатель ДС (log10)					4,605562637

Источник: разработано автором

Из таблицы следует что за счет инженерно-экономического изменения схемы процессов (принятого на основе данных РПМ) показатели резко изменились в положительную сторону. Так промежуточное потребление сократилось за счет отказа от покупки Едкого натра (самого дорогого компонента) и воды в 3,4 раза, объем продаж остался тем же, а добавленная стоимость увеличилась на 42,86% с 17282 руб. до 40324 руб. Соответственно изменился и показатель эффективности (ЛПДС) с 4,2375 до 4,6055. Из-за ограниченности места не будем приводить дополнительные примеры.

Подобная ситуация и с задействованием технологических процессов. Агрегат СЗ_ТП учитывает агрегированные затраты к 1 часу производительности ТП, рассчитанной относительно мощности оборудования, входящего в процесс. Следовательно, на расчетное количество потока R1, R2 будет отведено только расчетное время использования СЗ_ТП, например, 3,2 часа. Оставшееся время от смены (возможно и суток, с перерывами на ТО) – это время простоя оборудования. Об этом уже было сказано – это потери! Демонстрация по процессному времени простоя даст источник потенциального убытка. Даже прямого убытка. Этот резерв повышения производительности можно заполнить исключительно развитием производственной кооперации (горизонтальных связей). Логично, что в РПМ потери мы рассматриваем как резерв повышения производительности.

Можно подчеркнуть, что выявленные резервы стимулируют производителя искать способ их устранения.

Таким образом можно подчеркнуть несколько ключевых перспектив, которые открывает РПМ

1. разработка Паспорта технологии дает ядро расчетных затрат на производство данной продукции. Не включены цеховые, заводские, плановые... только расчетные затраты

2. Паспортизацией технологической цепочки осуществляется предварительная цифровизация производства

3. Осуществляется явное выделение потерь в потоке R4, но поток рассматривается как источник повышения производительности

4. Паспортизация обеспечивает выявление потерь, в том числе в виде простоя оборудования, и стимулирует к производственной кооперации

5. Созданное расчётное ядро затрат открывает возможность ненасильственного внедрения управления по отклонениям, использования ФСА, ТРИЗ

6. Сформированное ядро расчётных затрат автоматически (не дожидаясь внедрения Индустрия 4.0) интегрируется в графовое пространство, что резко открывает возможности роста производительности, развития творческой активности персонала

Сопоставление типичных бюджетов Индустрия 4.0 с затратами на внедрение РПМ

Начнем с цитаты FT: «Не попадитесь в ловушку в погоне за модернизацией. Цифровая трансформация начинается не с запуска новой системы, а с создания фундамента, на котором она строится. Инвестируйте в этот фундамент, и путь к созданию цифрового рабочего пространства станет гораздо более предсказуемым.» [1]. По данным этого же источника ~ 70% проектов в области цифровизации проваливается, около 48% подтверждают, что видят пользу и результат. Это не значит, что цифровизацией не стоит заниматься – цифровизацией не стоит заниматься в дань моде. Хороший обзор по этой теме сделал Маркин (ЯГТУ) – его вывод: «... экономические преимущества цифровой трансформации не являются автоматическими – они зависят от множества условий и усилий по их достижению» [13]. Поддерживаю.

Выше уже отмечалось, что по экспертным оценкам порог внедрения Индустрия 4.0 в комплексе составит от 80 до 250 млн. руб. на 3-4 года. Зона риска определена (см. FT выше). Одновременно, таким порогом «входа» отсекается 95% МСП. Стоит ли такой ценой проводить цифровизацию, которая, безусловно, нужна? Необходимо отойти от «кампанейщины» и искать альтернативные, более дешевые и безрисковые варианты цифровизации.

Внедрение РПМ может осуществляться самим персоналом предприятия без приобретения сложных систем и датчиков. Пусть совокупная стоимость затрат обойдется в 1 млн. руб., но это на два порядка меньше, чем разрекламированная как самоцель Индустрия 4.0. При этом процесс внедрения РПМ+ будет проходить безболезненно, а экономический эффект безусловно проявится по закону Парето – 80% в пользу РПМ+.

Можно считать внедрение РПМ подготовительной мерой для реализации полной цифровизации с ERP/MES-систем. А возможно, и не этих систем. Ведь ERP/MES-системы не охватывают весь жизненный цикл технологии «от идеи до утилизации». Вполне возможно, что, инвестируя в ERP, мы искусственно продляем жизнь отживающей технологии, находящейся на конце S-образной кривой Форстера. Нужны не отмирающие и громоздкие, а принципиально новые системы, направленные в будущее. И такие системы будут.

Безусловно, внедрение РПМ открывает значительный потенциал для внедрения, причем развитие этого метода согласуется с прогнозированием развития структурной политики России [16,4].

Заключение

Поставленная в теоретической части задача по разработке простого и понятного инструментария по расширению макро- до мезоуровня по анализу и моделированию технологических цепочек, обеспечивающего снижение порога цифровизации МСП, а также возможность интеграции с графовой моделью прототехнологического пространства – успешно реализована в виде практического РПМ в двух вариантах:

– вариант РПМ – в виде разработки паспорта технологии, обеспечивающего расчётную себестоимость ТЦ, выявление резервов роста, оценку эффективности, внедрение системы

управления по отклонениям, использование функционально-стоимостного анализа, ТРИЗ;

– вариант РПМ+ – в виде информационно-технологического обслуживания модели в графовом пространстве (Граф потенциала), стимулирующего развитие эндогенного роста за счет повышения уровня информированности и демонстрации потенциально возможных вариантов организации эффективного функционирования, развитие производственной кооперации, мониторинг НТП применительно к ТЦ.

Оригинальность и научная новизна заключаются в том, что РПМ+ использует натурально-стоимостной формат данных в сочетании с потоками ресурсов и выходом на показатель эффективности ТЦ. Это отличает его от классических таблиц «затраты-выпуск», но именно этот фактор открывает новую аналитическую область на мезоуровне.

РПМ+ вводит явный учёт ресурсных потоков и потерь на мезоуровне, причем показывает поток «Потери» как источник внутреннего роста в отличие от статических моделей, которые фокусируются на балансах производства и спроса без учёта динамических ресурсных потерь. В этом аспекте паспорт технологии представляет собой не бухгалтерский снимок «вход-выход», а инженерно-экономическую модель возможностей повышения эффективности.

Новизну можно рассматривать в подходе к разработке паспорта технологической цепочки в натурально-стоимостном формате, обеспечивающем интеграцию с явными ресурсными потоками и поддерживающем весь жизненный цикл технологии графом потенциальных возможностей. Это представляет собой новую методику, сочетающую методы анализа таблиц «затраты-выпуск» с динамическим моделированием технологических цепочек.

Обсуждение и практический эффект: Разработанная ресурсно-потоксовая модель РПМ+ существенно расширяет возможность использования макроэкономического инструментария, предоставляя на мезоуровень реальные данные о физических потерях, качестве ресурсных потоков и эффективности ТЦ в согласованном формате.

Применение РПМ, РПМ+ можно считать предварительным шагом к полной цифровизации предприятий – паспортизация технологий резко (экспоненциально) снижает затраты на цифровизацию, обеспечивает ее бесконфликтное прохождение и упрощенное внедрение. Простой и понятный инструментарий делает полностью прозрачными ТЦ через визуализацию ресурсных потоков и потерь. Так, в разобранный выше примере ДС удалось увеличить на 46,8% посредством введения процесса рециклинга ценных ресурсов из отходов производства. По закону Парето, применительно к РПМ – 80% ликвидации потерь/источника роста можно обеспечить простым внедрением паспортизации технологий по шаблонам РПМ без внедрения дорогих и сложных информационных систем с неоднозначным конечным результатом.

Дополнительный важный аспект – масштабируемость проекта. Заполнение паспорта технологии осуществляет персонал предприятия по подготовленным шаблонам, web-шаблонам, с помощью консультантов. Сам факт привязки шаблона к глобальной базе данных говорит о начале формирования графового прототехнологического пространства.

Важно, что реализация методологии РПМ+ обеспечит основу для широкого развития производственной кооперации, организации горизонтальных связей, внедрения на внутреннем рынке системы распределенного производства «бесфабричного» товаропроизводителя [20]. Отмеченный признак, по сути, определяет качество производственной сферы и позволит при необходимости мягко проводить конверсию «оборонки», обеспечит допустимое слияние гражданской и оборонной промышленности при развитии тесной производственной кооперации.

Ограничения модели РПМ+: Модель РПМ+ ограничена доступностью детализированных данных на мезоуровне (уровне предприятий), в настоящее время охватывает преимущественно промышленные отрасли, зависит от реализации графовой модели прототехнологического пространства, развития инфраструктуры информационно-технологического сопровождения промышленной сферы. Однако в ограничениях существуют и плюсы – сам факт внедрения

паспортов технологий предприятиями (РПМ) будет формировать спрос на РПМ+, а следовательно, и последующее за ним инвестиционное предложение.

Направления дальнейших исследований: планируется выполнить пилотный проект на конкретном предприятии, отработать методологию. Есть «узкие» места, которые видны уже сейчас (недостаток классификаций, адаптация к ОКДП2 – расширенный код, цены, транспорт), и есть скрытые, которые возникнут в процессе практических работ. Однако – все вопросы решаемы, и их реализация находится в русле Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

Важным этапом будет разработка «стыковки» данных для макроэкономических моделей «затраты-выпуск». Предстоит существенная работа по задействованию ИИ-мощностей на формирование графовой модели прототехнологического пространства, разработка алгоритмов и форм для ИИ-сервисов разработки и оптимизации ТЦ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках развития диссертационного исследования автора. Автор выражает глубокую признательность доктору экономических наук М. Н. Узякову (ИНП РАН) за постановку темы и консультации; доктору экономических наук Н. И. Комкову (ИНП РАН) — за ценные советы, касающиеся представления и развития графового потенциала; доктору экономических наук М. Ю. Ксенофонтову (ИНП РАН) — за конструктивную критику и замечания. Особая благодарность моей дочери Климовой Елене Евгеньевне за моральную и финансовую поддержку исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 70 per cent of transformation projects fail - and everyone's ignoring the same fix // *Financial Times*. - 2025. - 3. - Текст : электронный. - URL: <https://www.ft.com/partnercontent/teamviewer/70-per-cent-of-transformation-projects-fail-and-everyones-ignoring-the-same-fix.html> (дата обращения: 14.09.2025).
2. Advanced Planning and Scheduling (APS). - Текст : электронный. - URL: <https://korusconsulting.ru/infohub/aps-sistemy-advanced-planning-and-scheduling/> (дата обращения: 12.02.2026).
3. Андреев В.Н., Баранов В.В., Бурдина А.А. и др. Управление устойчивым развитием промышленности в условиях цифровизации / В.Н. Андреев, В.В. Баранов, А.А. Бурдина. - Москва : Издательство «Янус-К», 2022. - 112 с. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49758009>.
4. Белоусов Д.Р., Матвеев Д.А., Ганичев Н.А. и др. Пространственный аспект научно-технологического развития: экосистемный подход и формирование межрегиональных партнерств : Научный доклад ИНП РАН / Д.Р. Белоусов, Д.А. Матвеев, Н.А. Ганичев. - Москва : Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2025. - 92 с. - ISBN 978-5-605-35924-1. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=VDMMUX>.
5. Belotti F. *icio: Economic analysis with intercountry input-output tables* / F. Belotti // *Journal of Statistical Software*. - 2021. - Vol. 99, iss. 1. - P. 1–28. - DOI: <https://doi.org/10.1177/1536867X211045573>.
6. Borenstein D. A directed acyclic graph representation of routing manufacturing flexibility / D. Borenstein // *European Journal of Operational Research*. - 2000. - Vol. 127, iss. 1. - P. 78–93. - DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00324-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00324-0).
7. de Jonge E., Pijpers F.P., Mandjes M. Deriving production chains using restricted gradient extraction / E. de Jonge, F.P. Pijpers, M. Mandjes // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. - 2025. - Vol. 35, iss. 5. - P. 053158. - DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0270180>.
8. Дашут Е.С. Информационно-технологическая инфраструктура организации и сопровождения производства: перспективный институт развития / Е.С. Дашут // *Проблемы прогнозирования*. - 2021. - № 3(186). - С. 68–77. - DOI: [10.47711/0868-6351-186-68-77](https://elibrary.ru/item.asp?id=DURDCP). - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=DURDCP>.
9. Дашут Е.С. К интеллектуальной цифровой платформе в обрабатывающей промышленности, включая область малоразмерной химии / Е.С. Дашут // *Финансовые рынки и банки*. - 2025. - № 2. - С. 37–44. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=WNJITR>.
10. Журов В.Д. Особенности межотраслевых производственных цепочек как объектов управления в современной экономике / В.Д. Журов // *Финансовый бизнес*. - 2023. - № 6(240). - С. 29–34. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54122356>.
11. Ивантер В.В., Говтвань О.Д., Гусев М.С. и др. Система мер по восстановлению экономического роста в России / В.В. Ивантер, О.Д. Говтвань, М.С. Гусев // *Проблемы прогнозирования*. - 2018. - № 1(166). - С. 3–9. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36323833>.
12. Ильин В.А., Ускова Т.В., Лукин Е.В. и др. Трансформация межрегиональных цепочек создания стоимости: проблемы и перспективы / В.А. Ильин, Т.В. Ускова, Е.В. Лукин. - Вологда : Вологодский научный центр Российской академии наук, 2021. - 244 с. - ISBN 978-5-93299-527-3. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=НМТХТВ>. - DOI: [10.17835/2076-6297.2018.10.4.058-077](https://doi.org/10.17835/2076-6297.2018.10.4.058-077).
13. Маркин М.И. Цифровая трансформация промышленных предприятий: экономический аспект / М.И. Маркин // *Теоретическая экономика*. - 2025. - № 9. - С. 80–93. - Текст : электронный. - URL: <http://www.theoreticaleconomy.ru> (дата публикации: 30.09.2025). - DOI: <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2025-9-80-93>.
14. Monfort M., Rueda-Cantuche J.M., Sousa N. The European regions in the global value chains: New results with interregional input-output tables / M. Monfort, J.M. Rueda-Cantuche, N. Sousa // *The North American Journal of Economics and Finance*. - 2024. - Vol. 69. - Art. 101086. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.101086>.
15. OECD. Cross-country intersectoral tables for policy analysis // *OECD Statistics Working Papers*. - 2021. - No. 2021/02. - P. 1–35. - DOI: <https://doi.org/10.1787/aa54eb5a-en>.

16. Перспективы развития экономики России: прогноз до 2030 года (сценарии роста, отрасли, структурные сдвиги). - Текст : электронный. - URL: <http://ecfor.ru/wp-content/uploads/misc/prognoz2030.pdf> (дата обращения: 11.02.2026).
17. Pijpers F., Manges M. Output of production chains using the limited gradient extraction method / F. Pijpers, M. Manges // *Chaos*. - 2025. - Vol. 35, iss. 5. - Art. 053158. - DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0200323>.
18. Радченко Н.А., Саяпова А.Р. Гибридный метод составления симметричной таблицы «затраты-выпуск» / Н.А. Радченко, А.Р. Саяпова // *Проблемы прогнозирования*. - 2025. - № 6(213). - С. 48–59. - DOI: 10.47711/0868-6351-213-48-59. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=SKZOTU>.
19. Решение конференции: Структурно-технологическая трансформация экономики России: импортозамещение и НТР (02.10.2025) п.3.2. - Текст : электронный. - URL: <https://ecfor.ru/publication/importozameshhenie-ntr-rossii-konferentsiya-inp-ran/> (дата обращения: 03.02.2026).
20. Руководство по измерению глобального производства / ЕЭК ООН. - Нью-Йорк и Женева, 2016. - 210 с. - Текст : электронный. - URL: https://unesco.org/DAM/stats/publications/2016/Guide_to_Measuring_Global_Production_-_RU.pdf (дата обращения: 15.02.2026).
21. Сафиуллин М.Р., Сафина А.А. Построение и экономическая оценка производственно-технологических цепочек: на примере нефтегазохимического комплекса Республики Татарстан / М.Р. Сафиуллин, А.А. Сафина. - Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2013. - 148 с. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21200472>.
22. Самсонова М.В., Федорищева О.В., Цыганова И.Ю. Особенности экономического управления промышленными предприятиями в условиях цифровизации / М.В. Самсонова, О.В. Федорищева, И.Ю. Цыганова // *Экономические науки*. - 2022. - № 213. - С. 113–119. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50079204>. - DOI: <https://doi.org/10.14451/1.213.113>.
23. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145). - Текст : электронный. - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 11.02.2026).
24. Суслов В.И., Ершов Ю.С, Ибрагимов Н.М. Проблемы информационного обеспечения межрегиональных межотраслевых моделей : видео / В.И. Суслов, Ю.С. Ершов, Н.М. Ибрагимов // Сайт ИНИП РАН : VI-я Всероссийская научно-практическая конференция «Анализ и прогнозирование развития экономики России», 21–24 марта 2024, Томск. - Текст : электронный. - URL: <https://ecfor.ru/publication/razrabotka-regionalnyh-mezhotraslevyh-balansov/> (дата обращения: 11.02.2026).
25. Таран В.Н., Маковейчук К.А. и др. Разработка новых информационных технологий задач управления и принятия решений в отраслях цифровой экономики / В.Н. Таран, К.А. Маковейчук. - Симферополь : Издательство «Типография «Ариал»», 2023. - 198 с. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59457361>.
26. Tian K., Lin K., Zhang I., Wang S., Chen V., Yang C. Digital data on supply, use and intersectoral balance for China from 2000 to 2020 / K. Tian, K. Lin, I. Zhang, S. Wang, V. Chen, C. Yang // *Scientific Data*. - 2025. - Vol. 12. - Art. 123. - DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-025-06146-7>.
27. Федько Н.В. Трансформация цифровых каналов товароснабжения потребительского рынка: роль и значение маркетплейсов / Н.В. Федько // *Экономические и гуманитарные науки*. - 2025. - № 12(407). - С. 103–114. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=87887305>. - DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7424-2025-407-12-103-114>.
28. Hegde A.S., Bhargava A. Harmonizing BOM, routing, and serialization data for advanced manufacturing genealogy analysis / A.S. Hegde, A. Bhargava // *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences (IJIRMP)*. - 2021. - Vol. 9, iss. 1. - P. 10–16. - URL: <https://www.ijirmps.org/papers/2021/1/232841.pdf> (дата обращения: 22.01.2026).
29. Hagemeyer J., Michalek J.J., Szczygielski K. EU enlargements, Brexit and value-added trade: A structural gravity analysis / J. Hagemeyer, J.J. Michalek, K. Szczygielski // *World Bank Economic Review*. - 2025. - Ahead of print. - DOI: <https://doi.org/10.1093/wber/lhaf017>.

30. Шабаева С.В., Шабаев А.И. Риски внедрения цифровых платформ как отраслевой аспект стратегирования / С.В. Шабаева, А.И. Шабаев // Стратегирование: теория и практика. - 2024. - Т. 4, № 2(12). - С. 193–209. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65656215>. - DOI: <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2024-4-2-193-209>.
31. Широ́в А.А., Белоусов Д.Р., Блохин А.А. Посткризисное восстановление экономики и основные направления прогноза социально-экономического развития России на период до 2035 г. : научный доклад / А.А. Широ́в, Д.Р. Белоусов, А.А. Блохин. - Москва : Наука, 2020. - 152 с. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44269104>. - DOI: <https://doi.org/10.47711/srl-2020>.
32. Широ́в А.А., Гусев М.С., Саяпова А.Р., Янтовский А.А. Научно-технологическая компонента макроструктурного прогноза / А.А. Широ́в, М.С. Гусев, А.Р. Саяпова, А.А. Янтовский // Проблемы прогнозирования. - 2016. - № 6(159). - С. 3–17. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28174291>.
33. Широ́в А.А., Янтовский А.А. Межотраслевая макроэкономическая модель RIM - развитие инструментария в современных экономических условиях / А.А. Широ́в, А.А. Янтовский // Проблемы прогнозирования. - 2017. - № 3(162). - С. 3–18. - EDN: <https://www.elibrary.ru/zaflpn>.
34. Широ́в А.А., Янтовский А.А. Межотраслевая макроэкономическая модель как ядро комплексных прогнозных расчетов / А.А. Широ́в, А.А. Янтовский // Проблемы прогнозирования. - 2014. - № 3(144). - С. 18–31. - EDN: <https://www.elibrary.ru/trpdeb>.
35. Wang Ch. Process improvement in the context of the reference price effect / Ch. Wang // European Journal of Operational Research. - 2025. - Vol. 322, iss. 3. - P. 937–948. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.10.037>.
36. Узяков Р.М. Использование межотраслевого инструментария в анализе динамики российской экономики в 1991–2013 гг. / Р.М. Узяков // Проблемы прогнозирования. - 2018. - № 3(168). - С. 13–27. - EDN: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36408034>.

Theoretical and Methodological Foundations of the Resource-Flow Method (RFM+) for Describing Technological Chains

Dashut Evgeny Savelyevich

Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher,

Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

E-mail: Dashout@yandex.ru

KEYWORDS

resource-flow method, Process-product tables, input-output tables, logarithm of added value productivity, estimated costs of technological processes, technological chain, graph of potentials

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of the «bottleneck» of the macroeconomic toolkit – a high degree of aggregation and static Input-output tables. The possibility of developing a model that provides details of the Input-Output table row to information about the natural cost indicators of technological chains with their own performance indicators, resource flows, integration of the technological process unit, the calculated cost core and a qualitative indicator of the evaluation of the technological method – the resource-flow method (RFM). The description of the technology passport is carried out according to the proposed template. The developed model is integrated into a higher-level graph model of the prototechnological space, the Graph of Potentials. Methodologically, the work is based on Input-output tables, the System of National Accounts, management accounting, graph model theory, economic modeling, and the Rosstandart Handbook of Best Technologies. The problem is solved by detailing resource flows into R1-R4 (R1 – main raw materials, R2 – additional materials, R3 – main products, R4 – waste / source of growth). Aggregated indicators of technological processes are superimposed on the classified resource flows, the core of estimated costs is formed, taking into account market prices and the productivity of the technological chain, value added (VA) is calculated, and logarithmed into a qualitative «performance indicator VA – LVAP. Certification of technologies is carried out by factory personnel according to templates and does not require high costs for enterprises. It is important that the very fact of registration of the technology passport will a) provide the initial level of digitalization b) form the proto-technological space of the top-level graph model - the Graph of Potential. The implementation of this feature will make it possible to model and generate rational variants of technological chains at the level of the «Idea, sketch» stage. The threshold of mass digitalization of SMEs is opening up, while at the same time it opens up the possibility of adjusting the calculated coefficients of the macroeconomic toolkit relative to the meso-level data. Areas of future research: a) development and scaling of technology certification templates, b) development of algorithms for introducing AI into production – a graph model of the proto-technological space, c) implementation of tasks for information technology services in the production sector.
