Bibliographic list

1. *Artamonov, B.* Marketing complex 7P as development of marketing-mix concept // Scientific Bulletin of MSTU GA. — 2006. — № 104. — P. 12–16.

2. *Bondarenko, V. A.* State marketing in development of inbound medical tourism in Russia // Marketing in Russia and abroad. — 2020. — № 5. — P. 44–51.

3. *Bondarenko, V. A., Przhedetskaya, N. V., Przhedetsky, Yu. V.* Contribution of medical services exports to international competitiveness in pandemic: global experience and management recommendations // State and Municipal Management : scient. notes. — 2021. — № 4. — P. 65–70.

4. *Bushueva, I. V., Vapnyarskaya, O. I., Platonova, N. A.* Conceptual provisions of servicology // Service plus. — 2011. — № 1. — P. 4–11.

5. Share of services in GDP of Top-20 economies of the world [Electronic resource]. — Mode of access: https://credinform.ru/ru-RU/Publications/Article/6d99e95b11d8.

6. *Dubova, Yu. I., Yechka, E. M.* Concept of marketing mix of regional marketing // Bulletin of Samara State University. — 2015. — № 8 (130).

7. *Kuznetsov, N. G., Fedko, V. P., Ganus, S. M.* Infrastructure complex of trade as element of integral social system of region's economy: problems of formation // Bulletin of RSUE. — 2005. — № 4. — T. 3. — P. 77–84.

8. *Lipovskaya, N. I.* Serving as phenomenon of development of modern society // Theoretical Economics. — 2018. — № 1. — P. 122–127.

9. *Lobanova, A. V.* Use of marketing tools in framework of managing the interaction of regional authorities, business structures and civil society // UEkS. — 2014. — № 9 (69).

10. *Novatorov, E. V.* Services marketing: theory and technology. — SPb., 2015. — P. 18–19.

11. Russia in Numbers 2017 [Electronic resource]. — Mode of access: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/rusfig/rus17.pdf.

12. *Russkova, D. A., Pisareva, E. V.* Role of marketing in service sector // Universum: Economics and law. — 2018. — № 6 (51).

13. World Bank statistics [Electronic resource]. — Mode of access: www.worldbank.org.

14. The structure of Russia's GDP 2022 by industry [Electronic resource]. — Mode of access: https://bankiros.ru/wiki/term/struktura-vvp-rossii-po-otraslam.

15. *Tultaev, T. A.* Marketing of services. — M. : INFRA-M, 2012.

16. *Ting Ting, E.* Is servicization a win-win strategy for sustainable biz? [Electronic resource]. — Mode of access: http://blog.kenan-flagler.unc.edu/is-servicization-a-win-win-strategy-for sustainability.

17. *Sen, A. K.* Collective Choice and Social Security. — San Francisco : Holden Day and London Oliver and Boyd, 1985.

DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.17.63.014

А. Ф. Шориков, Е. В. Буценко

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕПИТА

Аннотация

Общественное питание — одна из важнейших форм хозяйственной деятельности, которая обслуживает потребности значительной части населения и гостей любого государства и интенсивно развивается в последние десятилетия. Статья посвящена вопросам развития и применения экономико-математических моделей управления инвестиционными проектами общепита на основе использования принципа обратной связи. Методология исследования базируется на основополагающих и прикладных научных исследованиях российских и зарубежных авторов в области инвестиционного проектирования, сетевых

методов управления, методов оптимизации управления, методов экономико-математического моделирования, методов и алгоритмов адаптивного управления. Цель статьи — оптимизировать процессы управления инвестиционными проектами общепита с помощью методов адаптивной оптимизации сетевого экономико-математического моделирования. Целевой функцией задачи выступает величина длительности реализации инвестиционного проекта, которую требуется минимизировать. Для этого формируется класс возможных стратегий адаптивного управления процессом реализации конкретного инвестиционного проекта на основе использования сетевого экономико-математического моделирования и наличия информации о ходе его выполнения. В пределах этих стратегий определяется способ достижения наилучшего самонастраивающегося управления инвестиционным проектом, рассчитывается лучшее время выполнения и график реализации проекта. Уникальность исследования заключается в применении новой экономико-математической модели оптимизации на основе адаптивного управления инвестиционным проектом по обновлению концепции предприятия общепита. Это позволяет адаптировать процесс управления предприятием общепита с учетом влияния различных возмущений и обеспечивает минимизацию возможных негативных последствий.

Ключевые слова

Инвестиционный проект, общепит, адаптивное управление, оптимальное управление, стратегия управления, экономико-математическое моделирование, сетевая модель, управление с обратной связью.

A. F. Shorikov, E. V. Butsenko

OPTIMIZATION METHODOLOGY FOR ADAPTIVE CONTROL OF INVESTMENT PROJECTING PROCESSES FOR CATERING ENTERPRISES

Annotation

Public catering is one of the most important forms of economic activity that serves the needs of significant part of population and guests of any state and has been intensively developing in recent decades. Article is devoted to the development and application of economic and mathematical models for control catering investment projects based on the use of feedback principle. Research methodology is based on fundamental and applied scientific research by Russian and foreign authors in the field of investment projecting, network control methods, control optimization methods, methods of economic and mathematical modeling, methods and algorithms of adaptive control. Purpose is to optimize the control processes of catering investment projects using methods of adaptive optimization of network economic and mathematical modeling. Target function of task is value of duration of investment project, which is required to be minimized. To do this, class of possible strategies for adaptive control of process of implementing a specific investment project is formed based on the use of network economic and mathematical modeling and availability of information on progress of its implementation. Within these strategies, way to achieve the best self-tuning management of investment project is determined, the best lead time and project schedule are calculated. Uniqueness of work lies in application of new economic and mathematical optimization model based on adaptive control of investment project to update the concept of catering enterprise. This allows adapting the process of control a catering enterprise, taking into account the influence of various disturbances and minimizing possible negative consequences.

Keywords

Investment project, public catering, adaptive control, optimal control, control strategy, economic and mathematical modeling, network model, feedback control.

Введение

Современные условия развития экономики требуют поиска новых решений для возникающих проблем. Анализ происходящих изменений может продемонстрировать заметное влияние на технологии, качество жизни, хозяйственные уклады, доходы и потребление, а также инвестиционную политику субъектов хозяйствования.

В инвестиционной деятельности происходят значительные изменения. В условиях замедления экономики в регионах и городах инвестиционные вложения резко сократились. Результатом произошедших социально-политических и экономических изменений станет необходимость модернизации экономики всего государства в целом и инвестиционной деятельности в частности. Гипотеза состоит в том, что для инвестиционного проектирования необходимы новые инструменты, которые будут менять его процессы в новых условиях хозяйствования.

Цель статьи — усовершенствовать процессы управления инвестиционными проектами в сфере общепита с помощью методов оптимизации адаптивного управления на основе сетевой экономико-математической модели.

Насколько глубоким окажется снижение ВВП и промышленного производства, спад объема операций международной торговли, рост безработицы, сокращение потребления и уменьшение объема инвестиций, мы сумеем понять только через несколько лет. Наглядные изменения в инвестиционной деятельности уже произошли, и на рисунке 1 представлены трансформации в инвестиционной активности для отрасли общепита Уральского федерального округа РФ.

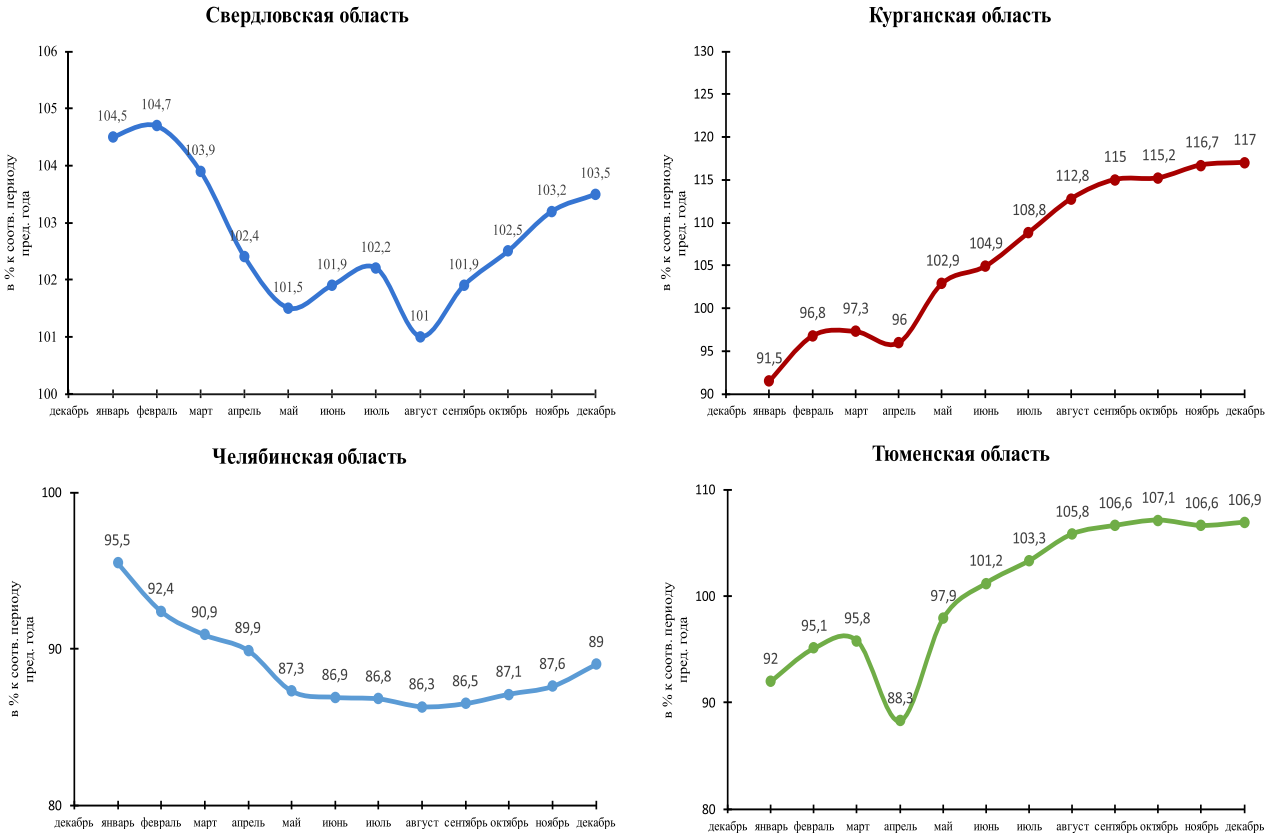


Рисунок 1 — **Изменения в объеме инвестиций отрасли общепита УрФО (по состоянию на конец II полугодия 2021 г.)***

** Составлен по данным источников: https://sverdl.gks.ru, https://chelstat.gks.ru/investment, https://tumstat.gks.ru.*

Анализируя имеющиеся данные можно заметить большую неоднородность в изменении инвестиций в сферу общепита, что, скорее всего, связано с преобладанием вложений в характерные для каждого региона сферы деятельности, производящие максимальный ВВП (в УрФО это — машиностроительная, металлообрабатывающая, металлургическая и нефтегазовая отрасли).

Также основными факторами, отрицательно влияющими на объем инвестиций в предприятия общепита, являются: недостаток финансовых средств, сложность с получением кредитов, конкуренция со стороны других предприятий данной сферы, высокий процент коммерческого кредита, существующий уровень налогообложения [1].

По объему инвестиций в общепит Екатеринбург стоит на третьем месте в стране после Москвы и Санкт-Петербурга.

Разница в количестве предприятий общепита мегаполисов представлена на рисунке 2.

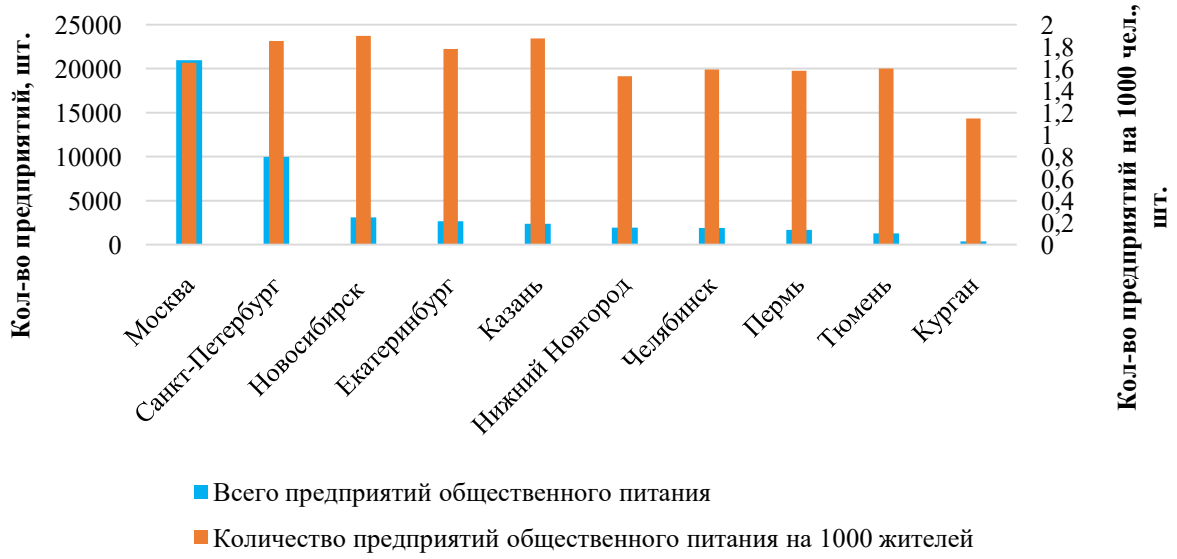


Рисунок 2 — **Количество предприятий общепита мегаполисов РФ (по состоянию на конец II полугодия 2021 г.)***

** Составлен по данным источников: https://gks.ru, https://2gis.ru.*

Несмотря на высокое место по наличию предприятий общепита, количество предприятий Екатеринбурга в данной сфере в целом и на 1000 жителей в частности уступает Новосибирску и Казани.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что имеется острая необходимость в развитии существующих методик и инструментов оптимизации управления инвестициями в общепите. Одним из способов может стать создание и практика применения адаптивных методик для оптимизации инвестиционного проектирования, которые основаны на приспособлении рассматриваемого объекта управления к изменяющимся внешним и внутренним условиям.

Методы и модели

Модели сетевого планирования и управления известны и используются с 40-х гг. XX века. Большой вклад в их создание и разработку внесли ученые разных стран. Это, например, Х. Таха, А. Кофман, Г. Дебазей, В. Скурихин, В. Забродский, Ю. Копейченко и много других. В разработанных ими методах и моделях результаты расчетов оптимизируют рассматриваемый процесс по априорным данным, которые не учитывают их возможные изменения в процессе реа-

лизации. При этом отсутствует формальная модель, необходимая для алгоритмизации с целью компьютерной реализации. В терминах теории управления (см., например, [21]) такие модели оптимизации реализуют «программное» управление, не используя возможности поступления фактической информации о реализации проекта, т. е. не используя обратную связь. В известной российской и зарубежной научной литературе по сетевому моделированию отсутствуют работы, за исключением [10], которые бы являлись сетевыми экономико-математическими моделями, формализующими оптимизацию управления проектами с использованием принципа обратной связи. Предложенные экономико-математические формализации оптимизации адаптивного управления на основе сетевого моделирования формируют конкретные стратегии оптимизации управления проектами, позволяющие автоматизировать процессы принятия решений с целью разработки соответствующих интеллектуальных информационных систем. Используя эту методологию, в статье разработана методика для оптимизации управления проектом с целью оптимизации временных параметров, т. к. в школьном общепите через тендеры отбираются проекты уже с оптимальной ценой, и при реализации важнейшим показателем является выполнение договорных обязательств в минимальные сроки.

Методика исследования

Подробно адаптивные системы и модели, их применение, а также описание механизма приспособления рассматривались в работах [2–9]. В работе [10] представлен новый *рекуррентный метод адаптивного оптимального управления проектами* на принципах сетевого экономико-математического моделирования, который является базовым для данного исследования и разработки конкретной методики адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием для сферы регионального общепита.

Суть представляемой методики адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием для конкретного регионального предприятия общепита кратко можно описать следующим образом.

Осуществляется сетевое экономико-математическое моделирование [11–14] для конкретного инвестиционного проекта, на основе значений его параметров формируются критический путь, определяющий априорное минимальное время реализации проекта, календарный график исполнения всех процессов инвестиционного проектирования, описываемых соответствующими работами-операциями, а также множество допустимых позиций процессов инвестиционного проектирования, соответствующих конкретному периоду управления, определяемому событием критического пути, и множество всех возможных стратегий адаптивного управления инвестициями, соответствующих фиксированной позиции [15]. В соответствии с правилами построения стратегии адаптивного оптимального управления проектами [10], на каждом шаге реализации управления процессами инвестиционного проектирования, который определяется начальным событием соответствующего критического пути, осуществляется мониторинг (оценка) качества фактической реализации входящих в него работ-операций на основе предписанной длительности их исполнения и данных текущего календарного графика. Затем определяется расхождение плановых значений параметров от их фактических реализаций и в случае, если имеется отклонение, осуществляется коррекция параметров модели для ее оптимизации по времени, необходимом при реализации инвестиционного проекта в целом. Далее формируются новый критический путь и новый календарный график на дальнейший промежуток времени, и такая рекуррентная процедура адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием повторяется до реализации инвестиционного проекта в целом.

Инвестиционное проектирование в сфере общепита предполагает вложение средств в открытие новых предприятий, реконструкцию имеющихся предприятий, изменение/расширение меню, применение новых технологий приготовления блюд и другие направления [1]. На рисунке 3 представлены все основные этапы процесса открытия нового предприятия общепита.

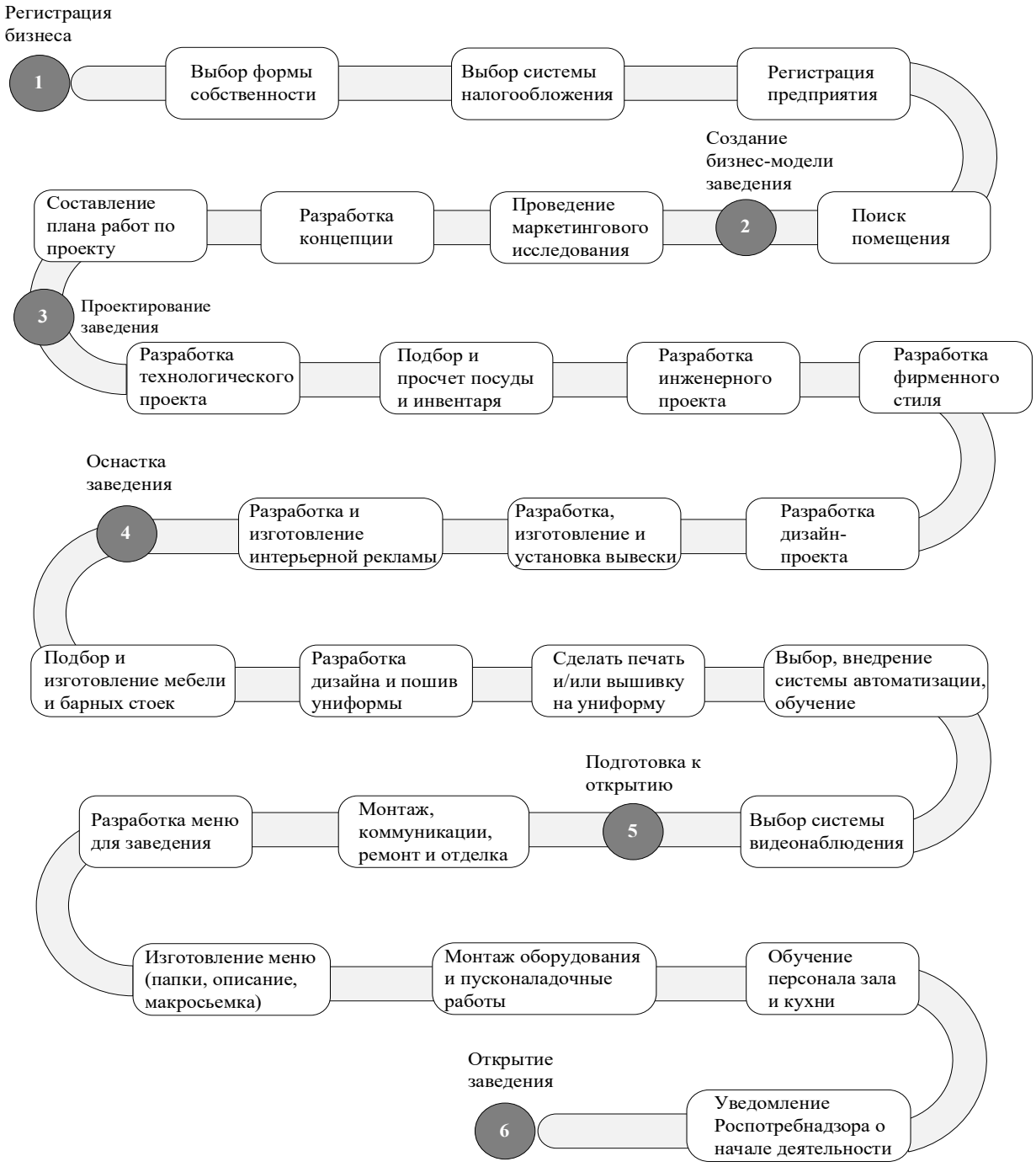


Рисунок 3 — **Основные этапы открытия предприятия общественного питания**

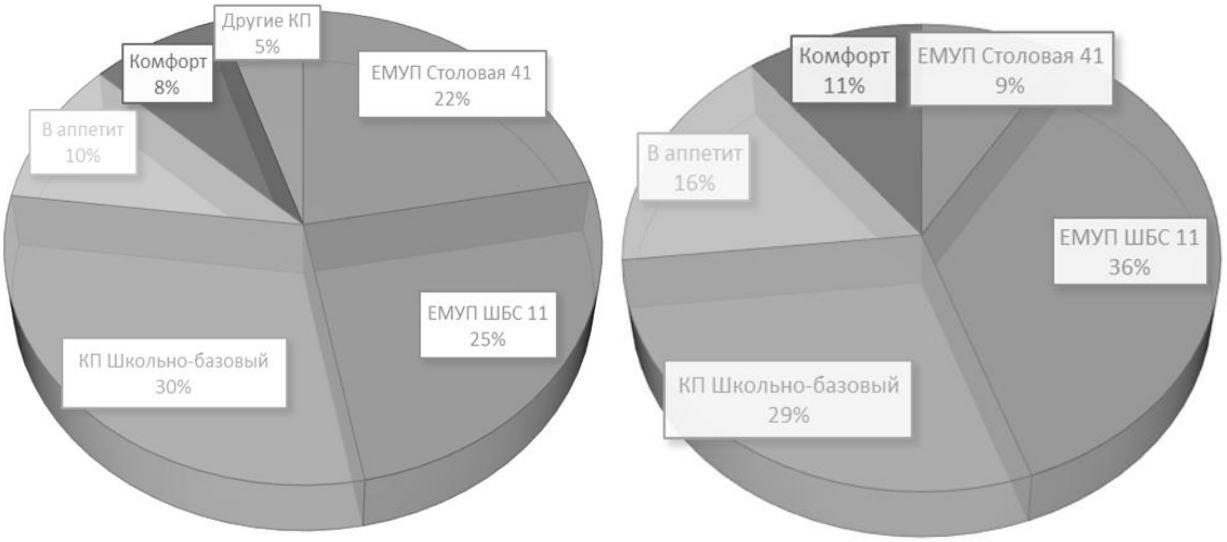
Результаты исследования

В нашей стране вопросам питания детей школьного возраста всегда уделяется особое внимание, и выделяются значительные финансовые ресурсы, и в г. Екатеринбурге это направление также постоянно поддерживается различными программами и проектами. Проводятся

конференции технологов, круглые столы, выставки дегустаций блюд школьных завтраков и обедов, тематические выставки блюд и изделий школьного меню операторов школьного питания для директоров учебных заведений, представителей администрации, родительских комитетов, общественников и депутатов гордумы. Поэтому оптимизация инвестиционного проектирования для комбинатов питания, являющихся операторами школьного питания, является важной задачей отрасли общепита не только Урала, но и всех субъектов РФ.

При изучении всех доступных государственных контрактов по организации питания муниципальных школ Екатеринбурга за 2019–2021 гг. определено пять крупных хозяйствующих субъекта. Три из них частных, это ООО «Комбинат питания «Школьно-базовый», ООО «Комфорт», ООО «В аппетит». Остальные — муниципальные: ЕМУП «Школьно-базовая столовая № 11», ЕМУП «Столовая № 41».

Учитывая объем заключенных муниципальных контрактов на питание в школах в 2019–2021 гг., рынок школьного питания можно представить так, как продемонстрировано на рисунке 4а (https://zakupki.gov.ru). Если исходить из выручки, то ситуация немного другая — рисунок 4б (https://www.spark-interfax.ru).



а б

Рисунок 4 — **Рынок школьного питания: а — по количеству контрактов, б — по выручке**

Примерный объем рынка школьного питания в Екатеринбурге — более 1 млрд рублей ежегодно. Из диаграммы, изображенной на рисунке 4а, видно, что больше половины рынка принадлежит частным компаниям.

Инвестиционный проект по реорганизации комбината школьного питания ЕМУП ШБС 11 предполагает применение способов выпуска и доставки продуктов с помощью нового оборудования (пароконвектоматов и котлов с перемешивающим устройством) для первичного приготовления блюд без больших потерь по вкусовым показателям. Хранение и транзит заготовок на территорию школ предполагается производить с помощью холодильного оборудования интенсивного охлаждения, термоконтейнеров и вакуумной упаковки. На месте потребления по мере необходимости осуществляется доготовка (доработка) полуфабрикатов.

Основная идея проекта состоит в реализации модернизации производства путем введения нового направления деятельности комбината школьного питания по доставке готовых полуфабрикатов в школы города.

Рассмотрим описание и применение методики адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием на основе сетевого экономико-математического моделирования для комбината школьного питания.

Выполнение исследуемого инвестиционного проекта по реорганизации комбината школьного питания предусматривает реализацию следующих основных процессов (табл. 1).

Таблица 1 — **Входные данные инвестиционного проекта**

Номер работы	**Содержание работы**	**Длительность работы, недель**	**Предыдущие работы**
$R_1(0)$	Ремонт помещения	$\Delta_1(0)$ =4	–
$R_2(0)$	Замена оборудования (выбор, оплата)	$\Delta_2(0)$ =1	–
$R_3(0)$	Монтаж и установка пароконвектомата и бласт-фризера	$\Delta_3(0)$ =1	$R_1(0), R_2(0)$
$R_4(0)$	Монтаж и установка котлов с перемешивающим устройством и другого оборудования	$\Delta_4(0)$ =1	$R_1(0), R_2(0)$
$R_5(0)$	Запуск оборудования	$\Delta_5(0)$ =1	$R_1(0), R_2(0),$ $R_3(0), R_4(0)$
$R_6(0)$	Установка линии раздачи питания для разогрева охлажденной продукции в школьной столовой	$\Delta_6(0)$ =1	$R_2(0)$
$R_7(0)$	Приобретение функциональных гастроемкостей (тары для доставки и раздачи готовой пищи в столовых-раздаточных)	$\Delta_7(0)$ =1	$R_2(0)$
$R_8(0)$	Приобретение транспортных средств специального назначения, оборудованных термоконтейнерами и другой специальной тарой, позволяющих сохранить полезные свойства пищи	$\Delta_8(0)$ =2	$R_2(0)$
$R_9(0)$	Обучение персонала	$\Delta_9(0)$ =1	$R_5(0), R_6(0),$ $R_7(0), R_8(0)$
$R_{10}(0)$	Установка нового программного обеспечения	$\Delta_{10}(0)$ =1	$R_5(0), R_6(0)$
$R_{11}(0)$	Создание сайта для заказов и доставки	$\Delta_{11}(0)$ =2	–

Первый шаг разработанной авторами методики предусматривает формирование исходных данных о пронумерованных процессах инвестиционного проектирования.

Для каждой работы установлена длительность ее исполнения, определены все предшествующие работы, все последующие работы и работы, которые могут выполняться параллельно, а также имеющиеся логические условия на выполнение работ проекта.

Для периода времени $\tau = 0$, соответствующего событию 1, формируются исходный массив работ $\boldsymbol{R}(0) = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{n_0}(0)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\} = \boldsymbol{R}_0 \ (n_0 = 11)$ и соответствующий ему массив длительности проведения работ $\boldsymbol{\Delta}(0) = \{\Delta_1(0), \Delta_2(0), \ldots, \Delta_{n_0}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_0$.

Второй этап методики состоит в формировании сетевой модели реализации процессов инвестиционного проек-

тирования для данного проекта и присвоении значениям параметров $\tau := 0$ и $s := 0$.

На основании массивов данных $\boldsymbol{R}(\tau) = \boldsymbol{R}(0) = \boldsymbol{R}_0$, $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \boldsymbol{\Delta}(0) = \boldsymbol{\Delta}_0$ и существующих логических правил следования для всех работ рассматриваемого инвестиционного проекта, реализуется построение его сетевой модели $\boldsymbol{WM}_{\tau}^{(e)}(\boldsymbol{R}(\tau)) = \boldsymbol{WM}_{0}^{(e)}(\boldsymbol{R}_0) \in \boldsymbol{WM}_0(\boldsymbol{R}_0)$ в виде сетевого планаграфика, показанного на рисунке 5 ($\boldsymbol{WM}_0(\boldsymbol{R}_0)$ — множество всех допустимых сетевых моделей, соответствующих массиву $\boldsymbol{R}_0$). Исходным событием сети служит событие под номером 1, конечным — событие под номером 10. В сформированной сетевой модели проекта также отмечены фиктивные работы $F_i(0)$, $i \in \overline{1,6}$, не имеющие затрат времени и ресурсов.

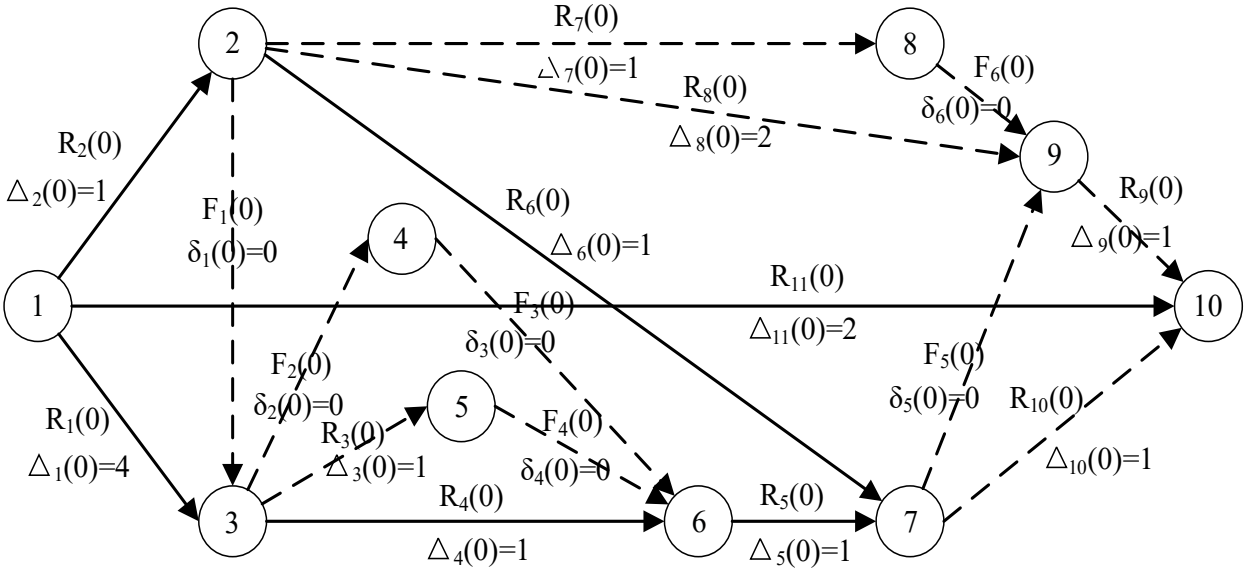


Рисунок 5 — **Сетевая модель инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания**

На третьем этапе реализуемой методики, для построенной сетевой модели осуществляется оптимизация адаптивного управления инвестиционным проектированием. Исходя из имеющихся данных, которые содержат: исходный набор работ $\boldsymbol{R}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau), \ldots, R_{n_\tau}(\tau)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\} = \boldsymbol{R}_0$, набор длительностей работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} = \{\Delta_1(0), \Delta_2(0), \ldots, \Delta_{11}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_0$, а также сетевую модель проекта $\boldsymbol{WM}_{\tau}^{(e)}(\boldsymbol{R}(\tau)) = \boldsymbol{WM}_{\tau}^{(e)}(\boldsymbol{R}_0)$, надо оптимизировать сетевую модель по параметру времени, т. е. решить задачу календарного планирования на основе стандартных расчетов, например, из [16–18].

Для созданной сетевой модели инвестиционного проекта спроектировано 4 критических пути, которые выделены серым цветом и жирными линиями (рис. 6). Каждый путь имеет длительность 7 недель.

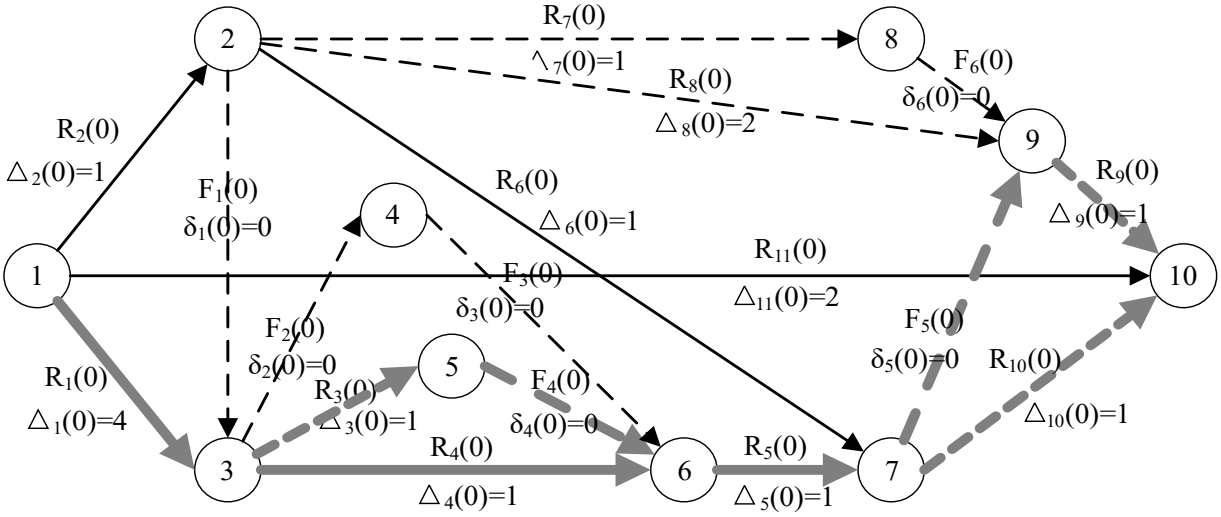


Рисунок 6 — **Критические пути в сетевой модели выполнения инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания, соответствующие периоду** $\tau = 0$

Для дальнейших действий выбран первый из них (рис. 7), который состоит из набора работ: $\{R_1(\tau),\ R_4(\tau),\ R_5(\tau),\ R_{10}(\tau)\} = \{R_1(0), R_4(0),\ R_5(0), R_{10}(0)\}$. Тогда сформированный критический путь полностью описывается следующим набором критических работ-операций: $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau) = \{R_1^{(кр.)}(\tau;\tau_1), R_2^{(кр.)}(\tau_1;\tau_2),\ldots, R^{(кр.)}_{n_\tau^{(кр.)}}(\tau_{n_\tau^{(кр.)}-1};\tau_{n_\tau^{(кр.)}})\} = \boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)} = \{R_1^{(кр.)}(0;3), R_2^{(кр.)}(3;4), R_{53}^{(кр.)}(4;6), R_{10}^{(кр.)}(6;7)\} = = R^{(кр.)}(0) = R_0^{(кр.)}$, где $n_\tau^{(кр.)} = 4$.

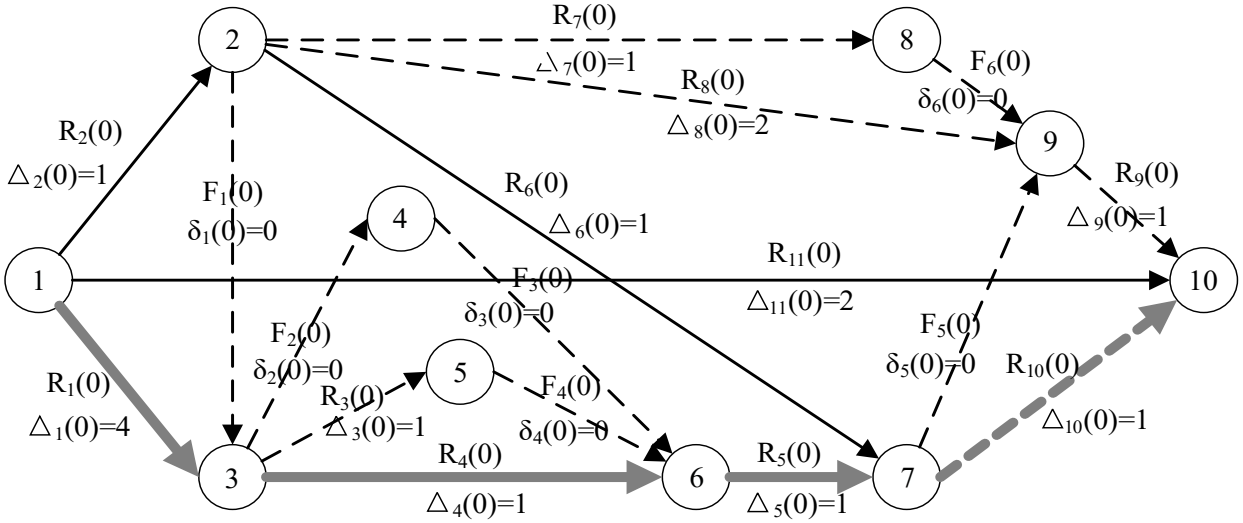


Рисунок 7 — **Используемый критический путь сетевой модели инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания, соответствующий периоду** $\tau = 0$

Длительность реализации критического пути $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau) = \boldsymbol{R}^{(кр.)}(0)$ формирует критическое время $T_\tau^{(e)} = T_0^{(e)} = 7$, которое необходимо для реализации всех

работ инвестиционного проекта и является *минимальным*. Отметим, что задержка выполнения даже одной работы критического пути приводит к увеличению времени выполнения всего инвестиционного проекта.

Далее, в соответствии с предлагаемой методикой, определяется целочисленный массив $\boldsymbol{T}_\tau = \{\tau_k\}_{k\in\overline{0,n_\tau^{(кр.)}}} = \boldsymbol{T}_0 = \{\tau_k\}_{k\in\overline{0,4}} = \{\tau_0,\tau_1,\ldots,\tau_4\} = \{0;4;5;6;7\}$, отвечающий событиям $\{1;3;6;7;10\}$ критического пути $\boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)} = \{R_1^{(кр.)}(0;4), R_2^{(кр.)}(4;5); R_3^{(кр.)}(5;6), R_4^{(кр.)}(6;7)\} = \{R_1(0), R_4(0), R_5(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_0^{(кр.)}$, в состав которого входят самые ранние даты выполнения работ, исходящих из события, и самые поздние сроки завершения работ, входящих в событие спроектированного критического пути.

Для построенной сетевой модели $\boldsymbol{WM}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}(\tau)) = \boldsymbol{WM}_0^{(e)}(\boldsymbol{R}_0)$ на основе спроектированного критического пути $\boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)} = \{R_1^{(кр.)}(0;4), R_2^{(кр.)}(4;5), R_3^{(кр.)}(5;6), R_4^{(кр.)}(6;7)\} = \boldsymbol{R}_0^{(кр.)}$ и требуемого массива длительности работ проекта — $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau),\ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau = \{\Delta_1(0), \Delta_2(0),\ldots, \Delta_2(0),\ldots, \Delta_{11}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}(0) = \boldsymbol{\Delta}_0$, происходит формирование календарного графика $\boldsymbol{TG}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}(\tau)) = \boldsymbol{TG}_0^{(e)}(\boldsymbol{R}_0)$ с расчетом возможных дат реализации работ, определяемых набором $\boldsymbol{R}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau),..., R_{n_\tau}(\tau)\} = \boldsymbol{R}_\tau = \{R_1(0), R_2(0),\ldots, R_{11}(0)\} = \boldsymbol{R}(0) = \boldsymbol{R}_0$.

Календарный график реализации работ инвестиционного проекта в виде диаграммы Ганта представлен на рисунке 8.

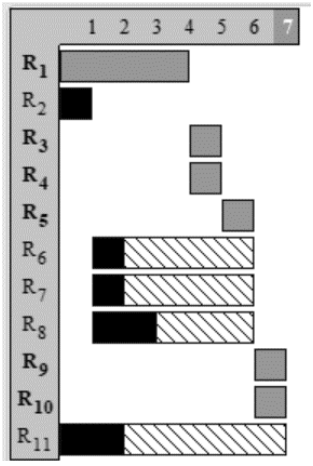


Рисунок 8 — **Календарный график инвестиционного проекта для периода времени** $\tau = 0$

Продолжительность выполнения работ проекта в неделях отмечена по оси абсцисс; их номер — по оси ординат; *некритические работы* проекта обозначены прямоугольниками с черным цветом; *критические работы* обозначены прямоугольниками с серым цветом; *свободные резервы времени* выполнения работ обозначены прямоугольниками со штрихом.

Выполнение расчетов показывает, что оптимальное время для завершения данного инвестиционного проекта составляет 7 недель и это решение отражено в договоре подряда. Подрядчику необходимо использовать такой способ управления реализацией всех работ проекта, который берет во внимание все возможные запаздывания при его выполнении. Для

уменьшения представления процедуры оптимизации адаптивного управления сделано допущение о том, что во время исполнения рассматриваемого проекта все некритические работы реализуются в наименее ранние сроки, предусмотренные текущим календарным планом.

Исходя из того, что в начальный период при $\tau = 0$ отсутствует задержка операций, для которых самым поздним сроком реализации считается время $\tau_1 = 4$, то в соответствии с используемым методом оптимизации адаптивного управления проектами [10], формируется τ_1-позиция ($\tau_1 = 4$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, где $\boldsymbol{P}(\tau_1)$ — множество всех возможных τ_1-позиций, а набор работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_6(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ есть множество, состоящее из 6-ти работ, т. е. $m_{\tau_1} = 6 < n_0 = 11$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_6(\tau_1)\}\} = p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_6^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, т.к. набор работ $\{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_6(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ состоит из таких и только таких работ, которые и должны быть реализованы к периоду времени $\tau_1 = 4$ — в наименее ранний срок, предусмотренный текущим календарным планом.

На основании стратегии оптимизации адаптивного управления инвестиционным проектированием $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ для реализовавшейся τ_1-позиции $p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$ полагаем:

$$U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = \boldsymbol{R}^{(e)}(\tau_1) = \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) =$$
$$= \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{n_0}(0)\} \setminus \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_{m_{\tau_1}}^{(e)}(\tau_1)\} =$$
$$= \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\} \setminus \{R_1(0), R_2(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\} =$$
$$= \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \ldots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \ldots, R_5(\tau_1)\} =$$
$$= \{R_3(0), R_4(0), R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1}, \qquad (1)$$

где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 11 - 6 = 5$;
$\overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_6^{(e)}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_6(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ – набор работ, отвечающий τ_1-позиции $p^{(e)}(\tau_1)$ и состоящий из 6-ти работ. С учетом, что $\boldsymbol{R}^{(e)}(\tau_1) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \ldots, R_5(\tau_1)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1} \neq \varnothing$, определяем: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$; на основании данных массива $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_{11}(\tau)\} = \{\Delta_1(0), \Delta_2(0), \ldots, \Delta_{11}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$, определяется соответствующий массиву работ $\boldsymbol{R}_{\tau_1}$ новый массив длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau_1) = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1), \ldots, \Delta_5(\tau_1)\} = \{\Delta_3(0), \Delta_4(0), \Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_{\tau_1}$ для нового периода τ_1; полагаем $\tau := \tau_1 = 4$. Далее при $\tau := \tau_1 = 4$ для τ-позиции $p^{(e)}(\tau) = \{\tau, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\}$,

где $\overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau|\boldsymbol{R}_0,\boldsymbol{T}_\tau) =$ $\{R_1^{(e)}(\tau), R_2^{(e)}(\tau),\ldots, R_6^{(e)}(\tau)\} =$ $\{\overline{R}_1(\tau), \overline{R}_2(\tau),\ldots, \overline{R}_6(\tau)\} = \{R_1(0),$ $R_2(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$, и соответствующих ей массива работ $\boldsymbol{R}^{(e)}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau),\ldots, R_{n_\tau}(\tau)\} =$ $\{R_1(\tau), R_2(\tau),\ldots, R_5(\tau)\} =$ $\{R_3(0), R_4(0), R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} =$ $\boldsymbol{R}_\tau$ и массива длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau),\ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} =$ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau),\ldots, \Delta_5(\tau)\} =$ $\{\Delta_3(0), \Delta_4(0), \Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$, формируются: сетевая модель $\boldsymbol{WM}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$; критический путь $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau) = \{R_1^{(кр.)}(\tau;\tau_1), R_2^{(кр.)}(\tau_1;\tau_2),\ldots,$ $R^{(кр.)}_{n_\tau^{(кр.)}}(\tau_{n_\tau^{(кр.)}-1};\tau_{n_\tau^{(кр.)}})\} = \{R_1^{(кр.)}(4;5),$ $R_2^{(кр.)}(5;6), R_3^{(кр.)}(6;7)\} =$ $\{R_4(0), R_5(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)}$; критическое время $T_\tau^{(e)} = 7$; массив периодов времени $\boldsymbol{T}_\tau = \{\tau_k\}_{\overline{k\in 0, n_\tau^{(кр.)}}} = \boldsymbol{T}_0 = \{\tau_k\}_{k\in\overline{0,3}} =$ $\{\tau_0,\tau_1,\tau_2,\tau_3\} = \{4;5;6;7\}$ $(\tau_0 = \tau = 4)$; календарный график $\boldsymbol{TG}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$.

При выполнении работы $R_4(\tau) = R_4(0)$ (Монтаж и установка котлов с перемешивающим устройством) произошла первая задержка исполнения проекта. По плану на ее осуществление была запланирована 1 неделя. Дистрибьюторская компания ООО «Абат-Урал», которая является региональным представителем завода ОАО «Чувашторгтехника» торговой марки «Абат» в Уральском Федеральном округе, вовремя доставила и произвела монтаж котла пищеварочного опрокидывающегося КПЭМ-160-ОМР-В с миксером. По запросу ЕМУП ШБС №11 также было заказано изготовление варочного сосуда из кислотостойкой нержавеющей стали марки AISI316. Этот процесс задержался на 1 неделю в связи с эпидемическими условиями работы и обращением к другому поставщику, поэтому для исполнения работы $R_4(\tau) = R_4(0)$ потребовалось 2 недели.

Между событиями под номерами 3 и 6 введем дополнительное событие под номером А3, соответствующее периоду времени $\tau_1 = 5$, и отвечающее завершению задержки исполнения работы-операции $R_4(\tau) = R_4(0)$ (рис. 9).

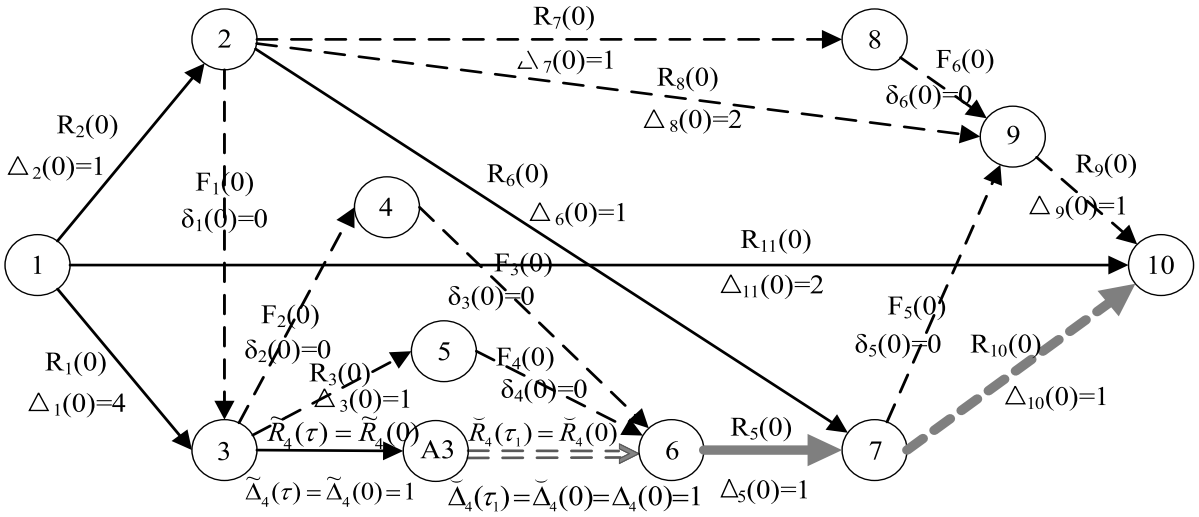


Рисунок 9 — **Критический путь сетевой модели инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания для периода времени** $\tau = 4$

Календарный график реализации инвестиционного проекта, соответствующий периоду времени $\tau = 4$, представлен на рисунке 10.

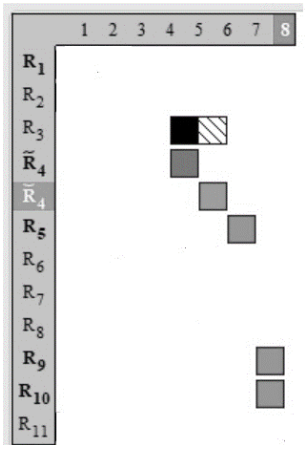


Рисунок 10 — **Календарный график реализации инвестиционного проекта для периода времени** $\tau = 4$

Тогда учитывая, что работа $R_4(\tau) = R_4(0)$ к завершению периода времени $\tau = 4$, т.е. к началу периода времени $\tau_1 = 5$, выполнена только частично, т.е. выполнена только ее часть $\widetilde{R}_4(\tau) = \widetilde{R}_4(0) \subset R_4(0)$, на которую затрачено время $\widetilde{\Delta}_4(\tau) = \widetilde{\Delta}_4(0) = 1$ (неделя), то для реализации оставшейся ее части $\breve{R}_4(\tau_1) = \breve{R}_4(0) \subset R_4(0)$, с учетом задержки длительностью $\widetilde{\Delta}_4(\tau) = 1$ (неделя), необходим период времени длительностью $\breve{\Delta}_4(\tau_1) = \breve{\Delta}_4(0) = \Delta_4(0) = 1$ (неделя), где $R_4(\tau) = \widetilde{R}_4(\tau) \bigcup \breve{R}_4(\tau_1) = \widetilde{R}_4(0) \bigcup \breve{R}_4(0) = R_4(0)$. На рис. 9 работа $\widetilde{R}_4(\tau) = \widetilde{R}_4(0)$, выполненная к началу периода времени $\tau_1 = 5$ и являющаяся частью работы $R_4(\tau) = R_4(0)$, обозначена ребром, выходящим из события под номером 3 и входящим в дополнительное событие под номером А3, а работа $\breve{R}_4(\tau_1) = \breve{R}_4(0)$, которая является оставшейся для выполнения частью работы $R_4(\tau) = R_4(0)$, обозначена двойным направленным отрезком из события А3 в событие 6.

Принимая во внимание возникшую задержку при выполнении работы $R_4(\tau) = R_4(0)$, на основе используемого метода оптимизации адаптивного управления проектами, для $\tau_1 = 5$ формируется τ_1-позиция проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, где $\boldsymbol{P}(\tau_1)$ — множество всех допустимых τ_1-позиций, а множество работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из 8 элементов, т. е. $m_{\tau_1} = 8 < n_0 = 11$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\}\} \neq p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_8^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, т.к. в наборе работ $\{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ к началу периода времени $\tau_1 = 5$ работа $\overline{R}_4(\tau_1) = R_4(0)$ выполнена только

частично, а именно выполнена только ее часть $\widetilde{R}_4(0)$, где $\overline{R}_4(\tau_1) = \widetilde{R}_4(0) \bigcup \breve{R}_4(0) = R_4(0)$; $\breve{R}_4(0)$ — оставшаяся для выполнения часть работы $\overline{R}_4(\tau_1) = R_4(0)$. Пусть $\breve{\boldsymbol{R}}(\tau_1) = \{\breve{R}_1(\tau_1), \breve{R}_2(\tau_1), ..., \breve{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\breve{R}_1(\tau_1)\} = \{\breve{R}_4(0)\} = \breve{\boldsymbol{R}}_{\tau_1}$, где $l_{\tau_1} = 1$.

На основании стратегии оптимизации адаптивного управления инвестиционным проектированием $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ для реализовавшейся τ_1-позиции $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \{\boldsymbol{P}(\tau_1) \setminus p^{(e)}(\tau_1)\}$ полагаем:

$$U_a^{(e)}(p(\tau_1)) = \boldsymbol{R}(\tau_1) = \breve{\boldsymbol{R}}(\tau_1) \bigcup \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) =$$
$$= \{\breve{R}_1(\tau_1), \breve{R}_2(\tau_1), \ldots, \breve{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} \bigcup \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{n_0}(0)\} \setminus$$
$$\setminus \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\breve{R}_4(0)\} \bigcup \{R_1(0), R_2(0), ..., R_{11}(0)\} \setminus$$
$$\setminus \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\} = \{\hat{R}_1(\tau_1), \hat{R}_2(\tau_1), \ldots, \hat{R}_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} =$$
$$\{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), R_3(\tau_1), R_4(\tau_1)\} = \{\breve{R}_4(0), R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1}, \qquad (2)$$

где $l_{\tau_1} = 1$;
$n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} + l_{\tau_1} = 11 - 8 + 1 = 4$;
$\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ – набор работ, отвечающий τ_1-позиции $p(\tau_1)$ и содержащий 8 работ.
Имея в виду, что $\boldsymbol{R}(\tau_1) = \{\breve{R}_4(0), R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1} \neq \varnothing$, устанавливаем: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p(\tau_1)$; на основе данных массива $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_5(\tau)\} = \{\Delta_3(0), \Delta_4(0), \Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$ и известного значения $\breve{\Delta}_4(0) = 1$, равного длительности исполнения работы $R_1(\tau_1) = \breve{R}_4(0)$, определяем отвечающий массиву работ $\boldsymbol{R}_{\tau_1}$ новый массив длительности $\boldsymbol{\Delta}(\tau_1) = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1), \Delta_3(\tau_1), \Delta_4(\tau_1)\} = \{\breve{\Delta}_4(0), \Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_{\tau_1}$ для периода времени τ_1; устанавливаем: $\tau := \tau_1 = 5$.

Изменяя аналогичным образом все работы, реализующие процессы инвестиционного проектирования, можно корректировать их реализацию и принимать необходимые управленческие решения.

Далее, при $\tau := \tau_1 = 5$ для τ-позиции $p(\tau) = \{\tau, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\}$, где $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ и соответствующих ей массива работ $\boldsymbol{R}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau), \ldots, R_{n_\tau}(\tau)\} = \{R_1(\tau), R_2(\tau), R_3(\tau), R_4(\tau)\} = \{\breve{R}_4(0), R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_\tau$ и массива длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \Delta_3(\tau), \Delta_4(\tau)\} = \{\breve{\Delta}_4(0), \Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$, формируются:

сетевая модель $\boldsymbol{WM}_{\tau}^{(e)}(\boldsymbol{R}_{\tau})$; критический путь $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau)=\{R_1^{(кр.)}(\tau;\tau_1),R_2^{(кр.)}(\tau_1;\tau_2),\ldots,R_{n_\tau^{(кр.)}}^{(кр.)}(\tau_{n_\tau^{(кр.)}-1};\tau_{n_\tau^{(кр.)}})\}=\{R_1^{(кр.)}(5;6),R_2^{(кр.)}(6;7),R_3^{(кр.)}(7;8)\}=\{\breve{R}_4(0),R_5(0),R_{10}(0)\}=\boldsymbol{R}_{\tau}^{(кр.)}$ (рис. 11); критическое время $T_{\tau}^{(e)}=8$; массив периодов времени $\boldsymbol{T}_{\tau}=\{\tau_k\}_{\overline{k\in 0,n_\tau^{(кр.)}}}=\boldsymbol{T}_0=\{\tau_k\}_{k\in\overline{0,3}}=\{\tau_0,\tau_1,\tau_2,\tau_3\}=\{5;6;7;8\}$ $(\tau_0=\tau=5)$; календарный график $\boldsymbol{TG}_{\tau}^{(e)}(\boldsymbol{R}_{\tau})$.

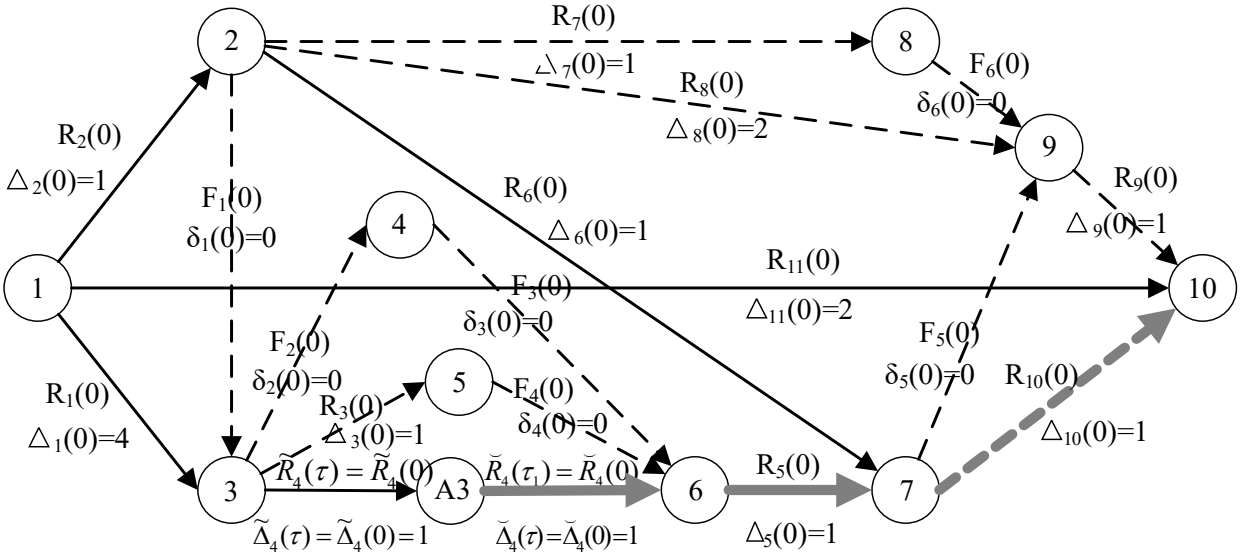


Рисунок 11 — **Критический путь сетевой модели инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания для периода времени $\tau=5$**

Вследствие того, что в период времени $\tau=5$ не случается задержки работ, для которых наиболее поздним сроком их исполнения является время $\tau_1=6$, то в соответствии с используемым методом оптимизации адаптивного управления проектами, формируется τ_1-позиция $(\tau_1=6)$ проекта $p(\tau_1)=\{\tau_1,\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1|\boldsymbol{R}_0,\boldsymbol{T}_{\tau})\}\in\boldsymbol{P}(\tau_1)$, где $\boldsymbol{P}(\tau_1)$ — множество всех допустимых τ_1-позиций, а множество работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1|\boldsymbol{R}_0,\boldsymbol{T}_{\tau})=\{\overline{R}_1(\tau_1),\overline{R}_2(\tau_1),\ldots,\overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\}=\{\overline{R}_1(\tau_1),\overline{R}_2(\tau_1),\ldots,\overline{R}_8(\tau_1)\}=\{R_1(0),R_2(0),R_3(0),R_4(0),R_6(0),R_7(0),R_8(0),R_{11}(0)\}$ есть множество из 8-и работ, т.е. $m_{\tau_1}=8<n_0=11$. При этом $p(\tau_1)=\{\tau_1,\{\overline{R}_1(\tau_1),\overline{R}_2(\tau_1),\ldots,\overline{R}_8(\tau_1)\}\}=p^{(e)}(\tau_1)=\{\tau_1,\{R_1^{(e)}(\tau_1),R_2^{(e)}(\tau_1),\ldots,R_8^{(e)}(\tau_1)\}\}=\{\tau_1,\overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1|\boldsymbol{R}_0,\boldsymbol{T}_{\tau})\}\in\boldsymbol{P}(\tau_1)$, т.к. набор работ $\{\overline{R}_1(\tau_1),\overline{R}_2(\tau_1),\ldots,\overline{R}_8(\tau_1)\}=\{R_1(0),R_2(0),R_3(0),R_4(0),R_6(0),R_7(0),R_8(0),R_{11}(0)\}$ состоит только из таких работ, которые и должны быть исполнены к периоду времени $\tau_1=6$.

После этого аналогично действиям, выполненным для периода времени $\tau=0$ в соответствии с формулой (1), осуществляется реализация стратегии оптимального адаптивного управления инвестиционным проектированием

$U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ для τ_1-позиции $p^{(e)}(\tau_1)$, где $\tau_1 = 6$. А именно, формируется множество $U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = R^{(e)}(\tau_1) = \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \ldots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), R_3(\tau_1)\} = \{R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1}$, где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 11 - 8 = 3$; учитывая, что $\boldsymbol{R}_{\tau_1} \neq \varnothing$, то полагается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$. Также формируется соответствующий массиву работ $\boldsymbol{R}_{\tau_1}$ новый массив длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau_1) = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1), \ldots, \Delta_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1), \Delta_3(\tau_1)\} = \{\Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_9(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_{\tau_1}$ для периода времени τ_1; полагается $\tau := \tau_1 = 6$.

Далее, при $\tau := \tau_1 = 6$ для τ-позиции $p^{(e)}(\tau) = \{\tau, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\}$, где $\overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_8(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_6(0), R_7(0), R_8(0), R_{11}(0)\}$ и соответствующих ей массива работ $\boldsymbol{R}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau), \ldots, R_{n_\tau}(\tau)\} = \{R_1(\tau), R_2(\tau), R_3(\tau)\} = \{R_5(0), R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_\tau$ и массива длительности исполнения работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} = \boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \Delta_3(\tau)\} = \{\Delta_5(0), \Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$, формируются: сетевая модель $\boldsymbol{WM}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$; критический путь $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau) = \{R_1^{(кр.)}(\tau;\tau_1), R_2^{(кр.)}(\tau_1;\tau_2), \ldots, R_{n_\tau^{(кр.)}}^{(кр.)}(\tau_{n_\tau^{(кр.)}-1};\tau_{n_\tau^{(кр.)}})\} = \{R_1^{(кр.)}(6;7), R_2^{(кр.)}(7;8)\} = \{R_5(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)}$ (рис. 12); критическое время $T_\tau^{(e)} = 8$; массив периодов времени $\boldsymbol{T}_\tau = \{\tau_k\}_{\overline{k \in 0, n_\tau^{(кр.)}}} = \boldsymbol{T}_0 = \{\tau_k\}_{k \in \overline{0,2}} = \{\tau_0, \tau_1, \tau_2\} = \{6;7;8\}$ $(\tau_0 = \tau = 6)$; календарный график $\boldsymbol{TG}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$.

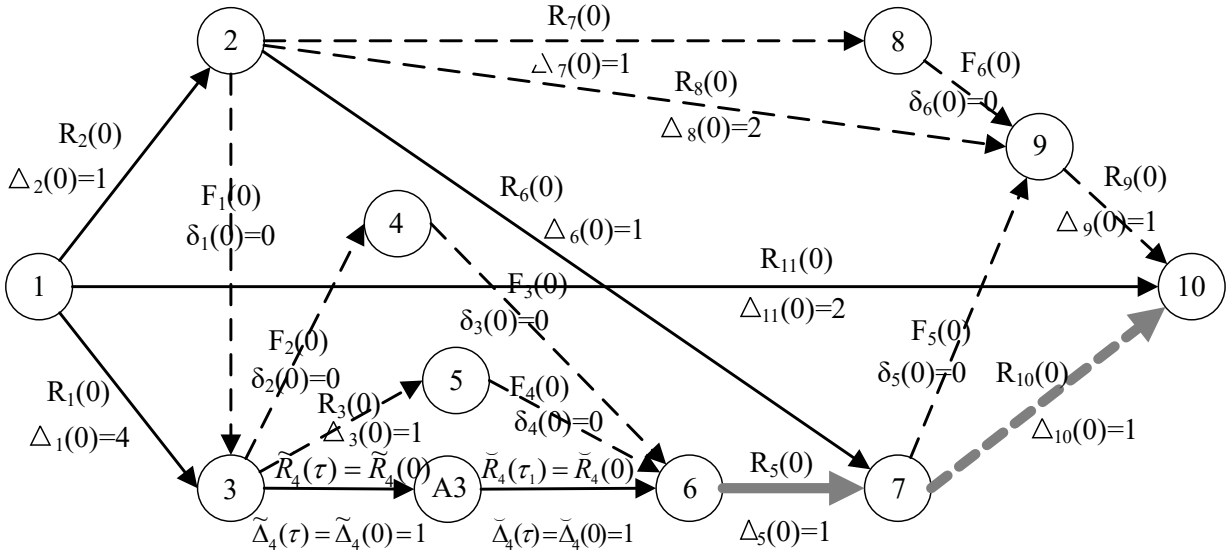


Рисунок 12 — **Критический путь сетевой модели инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания для периода времени** $\tau = 6$

В период времени $\tau = 6$ также отсутствует задержка выполнения работ, для которых самым поздним сроком их исполнения является время $\tau_1 = 7$. Тогда в соответствии с используемым методом оптимизации адаптивного управления проектами, формируется τ_1-позиция ($\tau_1 = 7$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, где $\boldsymbol{P}(\tau_1)$ — множество всех допустимых τ_1-позиций, а множество работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_9(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_8(0), R_{11}(0)\}$ есть множество, состоящее из 9-ти работ, т.е. $m_{\tau_1} = 9 < n_0 = 11$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_9(\tau_1)\}\} = p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_9^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, т.к. набор работ $\{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_9(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_8(0), R_{11}(0)\}$ состоит из таких, и только таких работ, которые и должны быть реализованы к периоду времени $\tau_1 = 7$ — в наименее ранний срок, предусмотренный текущим календарным планом.

Тогда аналогично действиям, выполненным для периодов времени $\tau = 0$ и $\tau = 6$, в соответствии с формулой (1), осуществляется реализация стратегии оптимального адаптивного управления инвестиционным проектированием $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ для τ_1-позиции $p^{(e)}(\tau_1)$, где $\tau_1 = 7$. А именно, формируется множество $U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = \boldsymbol{R}^{(e)}(\tau_1) = \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{R_1(\tau_1), R_2(\tau_1), \ldots, R_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_1(\tau), R_2(\tau)\} = \{R_9(0), R_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1}$, где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 11 - 9 = 2$; учитывая, что $\boldsymbol{R}_{\tau_1} \neq \varnothing$, то полагается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$. Также формируется соответствующий массиву работ $\boldsymbol{R}_{\tau_1}$ новый массив длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau_1) = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1), \ldots, \Delta_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\Delta_1(\tau_1), \Delta_2(\tau_1)\} = = \{\Delta_9(0), \Delta_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_{\tau_1}$ для периода времени τ_1; полагается $\tau := \tau_1 = 7$.

Выполнение работы R_{10} (Установка нового программного обеспечения) позволяет использовать следующие решения: для оперативного, бухгалтерского и налогового учета 1С: Предприятие 8. Общепит, а для работы с подразделениями — программный продукт РестАрт. При установке программного обеспечения произошла задержка, связанная с ошибкой выгрузки данных из Общепита в РестАрт (ошибка обмена).

Решение возникшей проблемы с подразделением поддержки пользователей заняло еще одну неделю, т. е. для надлежащего исполнения работы R_{10} потребовалось две недели.

Между событиями под номерами 7 и 10 введем дополнительное событие под номером А7, соответствующее периоду времени $\tau_1 = 8$, и отвечающее завершению задержки исполнения работы-операции $R_{10}(\tau) = R_{10}(0)$ (рис. 13).

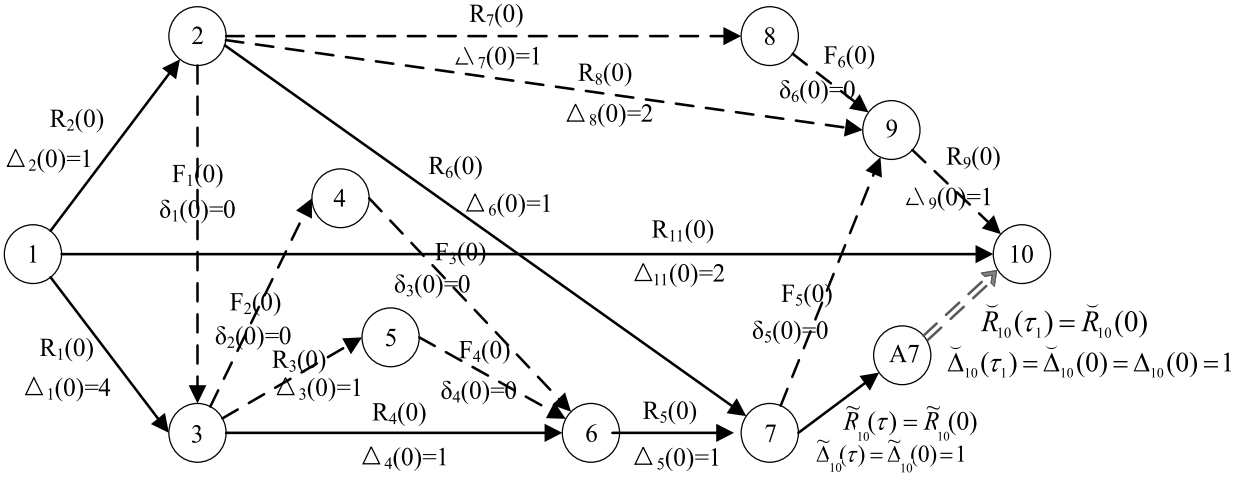


Рисунок 13 — **Критический путь сетевой модели инвестиционного проекта реорганизации комбината школьного питания для периода времени** $\tau = 8$

Тогда учитывая, что работа $R_{10}(\tau) = R_{10}(0)$ к завершению периода времени $\tau = 7$, т.е. к началу периода времени $\tau_1 = 8$, выполнена только частично, т.е. выполнена только ее часть $\widetilde{R}_{10}(\tau) = \widetilde{R}_{10}(0) \subset R_{10}(0)$, на которую затрачено время $\widetilde{\Delta}_{10}(\tau) = \widetilde{\Delta}_{10}(0) = 1$ (неделя), то для реализации оставшейся ее части $\breve{R}_{10}(\tau_1) = \breve{R}_{10}(0) \subset R_{10}(0)$, с учетом задержки длительностью $\breve{\Delta}_{10}(\tau) = 1$ (неделя), необходим период времени длительностью $\breve{\Delta}_{10}(\tau_1) = \breve{\Delta}_{10}(0) = \Delta_{10}(0) = 1$ (неделя), где $R_{10}(\tau) = \widetilde{R}_{10}(\tau) \bigcup \breve{R}_{10}(\tau_1) = \widetilde{R}_{10}(0) \bigcup \breve{R}_{10}(0) = R_{10}(0)$.

На рисунке 13 работа $\widetilde{R}_{10}(\tau) = \widetilde{R}_{10}(0)$, выполненная к началу периода времени $\tau_1 = 8$ и являющаяся частью работы $R_{10}(\tau) = R_{10}(0)$, обозначена ребром, выходящим из события под номером 7 и входящим в дополнительное событие под номером A7, а работа $\breve{R}_{10}(\tau_1) = \breve{R}_{10}(0)$, которая является оставшейся для выполнения частью работы $R_{10}(\tau) = R_{10}(0)$, обозначена двойным направленным отрезком, выходящим из события A7 и идущим в финальное событие 10.

В силу возникшей задержки при выполнении работы $R_{10}(\tau) = R_{10}(0)$, на основе предлагаемого метода оптимизации адаптивного управления проектами, для $\tau_1 = 8$ формируется τ_1-позиция проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, где $\boldsymbol{P}(\tau_1)$ — множество всех допустимых τ_1-позиций, а набор работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из 11 элементов, т.е. $m_{\tau_1} = 11 = n_0 = 11$. При этом $p(\tau_1) = \{\tau_1, \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\}\} \neq p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_{11}^{(e)}(\tau_1)\}\} = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, т.к. в наборе работ $\{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\}$ к началу периода времени $\tau_1 = 8$ работа $\overline{R}_{10}(\tau_1) = R_{10}(0)$ выполнена только частично, а именно выполнена только ее

часть $\widetilde{R}_{10}(0)$, где $\overline{R}_{10}(\tau_1) = \widetilde{R}_{10}(0) \bigcup \breve{R}_{10}(0) = R_{10}(0)$; $\breve{R}_{10}(0)$ — оставшаяся для выполнения часть работы $\overline{R}_{10}(\tau_1) = R_{10}(0)$. Пусть $\breve{\boldsymbol{R}}(\tau_1) = \{\breve{R}_1(\tau_1), \breve{R}_2(\tau_1), ..., \breve{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\breve{R}_1(\tau_1)\} = \{\breve{R}_{10}(0)\} = \breve{\boldsymbol{R}}_{\tau_1}$, где $l_{\tau_1} = 1$.

На основании стратегии оптимального адаптивного управления инвестиционным проектированием $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ для реализовавшейся τ_1-позиции $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \{\boldsymbol{P}(\tau_1) \setminus p^{(e)}(\tau_1)\}$ и аналогично формуле (2), полагаем:

$$U_a^{(e)}(p(\tau_1)) = \boldsymbol{R}(\tau_1) = \breve{\boldsymbol{R}}(\tau_1) \bigcup \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) =$$

$$= \{\breve{R}_1(\tau_1), \breve{R}_2(\tau_1), \ldots, \breve{R}_{l_{\tau_1}}(\tau_1)\} \bigcup \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{n_0}(0)\} \setminus$$

$$\setminus \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\breve{R}_{10}(0)\} \bigcup \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\} \setminus$$

$$\setminus \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\} = \{\hat{R}_1(\tau_1), \hat{R}_2(\tau_1), \ldots, \hat{R}_{n_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{R_1(\tau_1)\} = \{\breve{R}_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1},$$

где $l_{\tau_1} = 1$;

$n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} + l_{\tau_1} = 11 - 11 + 1 = 1$;

$\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\}$ – набор работ, отвечающий τ_1-позиции $p(\tau_1)$ и содержащий 11 работ. С учетом того, что $\boldsymbol{R}(\tau_1) = \{\breve{R}_4(0)\} = \boldsymbol{R}_{\tau_1} \neq \varnothing$, устанавливаем: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1$; $p_a^{(e)}(t_s) := p(\tau_1)$; на основе известного значения $\breve{\Delta}_4(0) = 1$, соответствующего длительности исполнения работы $R_1(\tau_1) = \breve{R}_{10}(0)$, определяем отвечающий массиву работ $\boldsymbol{R}_{\tau_1}$ новый массив длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau_1) = \{\Delta_1(\tau_1)\} = \{\breve{\Delta}_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_{\tau_1}$ для периода времени τ_1; полагаем: $\tau := \tau_1 = 8$.

Далее, при $\tau := \tau_1 = 8$ для τ-позиции $p(\tau) = \{\tau, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\}$, где $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\}$ и соответствующих ей массива работ $\boldsymbol{R}(\tau) = \{R_1(\tau), R_2(\tau), \ldots, R_{n_\tau}(\tau)\} = \{R_1(\tau)\} = \{\breve{R}_{10}(0)\} = \boldsymbol{R}_\tau$ и массива длительности работ $\boldsymbol{\Delta}(\tau) = \{\Delta_1(\tau), \Delta_2(\tau), \ldots, \Delta_{n_\tau}(\tau)\} = \{\Delta_1(\tau)\} = \{\breve{\Delta}_{10}(0)\} = \boldsymbol{\Delta}_\tau$, формируются: сетевая модель $\boldsymbol{WM}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$; критический путь $\boldsymbol{R}^{(кр.)}(\tau) = \{R_1^{(кр.)}(\tau;\tau_1), R_2^{(кр.)}(\tau_1;\tau_2), \ldots, R_{n_\tau^{(кр.)}}^{(кр.)}(\tau_{n_\tau^{(кр.)}-1};\tau_{n_\tau^{(кр.)}})\} = \{R_1^{(кр.)}(8;9)\} = \{\breve{R}_{10}(\tau)\} = \boldsymbol{R}_\tau^{(кр.)}$ (рис. 15); критическое время $T_\tau^{(e)} = 9$; массив периодов времени $\boldsymbol{T}_\tau = \{\tau_k\}_{k \in \overline{0, n_\tau^{(кр.)}}} = \boldsymbol{T}_0 = \{\tau_k\}_{k \in \overline{0,1}} = \{\tau_0, \tau_1\} = \{8;9\}$ $(\tau_0 = \tau = 8)$; календарный график $\boldsymbol{TG}_\tau^{(e)}(\boldsymbol{R}_\tau)$.

После этого в период $\tau = 8$ не возникает задержки работ, для которых наиболее поздним сроком исполнения считается критическое время $T_\tau^{(e)} = \tau_1 = 9$. Тогда после выполнения к началу периода времени $\tau_1 = 9$ полностью или частично работ, для которых наименее ранним сроком исполнения является время $\tau_1 = 9$ недель, аналогично процедуре, описанной для периода вре-

мени $\tau = 0$, и согласно формуле (1) конструируются следующие элементы решения:

1) τ_1-позиция ($\tau_1 = 9$) проекта $p(\tau_1) = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$, где множество работ $\overline{\boldsymbol{R}}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{m_{\tau_1}}(\tau_1)\} = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{\boldsymbol{R}}_{38}(\tau_1)\}$ есть множество, состоящее из 11 элементов, т.е. $m_{\tau_1} = 11 = n_0 = 11$. При этом $p(\tau_1) = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\} = p^{(e)}(\tau_1) = \{\tau_1, \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_{11}^{(e)}(\tau_1)\}\} = = \{\tau_1, \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} \in \boldsymbol{P}(\tau_1)$;

2) выходной массив реализации стратегии оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)}(p^{(e)}(\tau_1)) = \boldsymbol{R}^{(e)}(\tau_1) = \{\boldsymbol{R}_0 \setminus \overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \hat{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau) = = \{\hat{R}_1^{(e)}(\tau_1), \hat{R}_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, \hat{R}_{n_{\tau_1}}^{(e)}(\tau_1)\} = \varnothing = \boldsymbol{R}_{\tau_1}$, где $n_{\tau_1} = n_0 - m_{\tau_1} = 11 - 11 = 0$.

Тогда для стратегии оптимального адаптивного управления $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ и на основе того, что $\overline{\boldsymbol{R}}^{(e)}(\tau_1 | \boldsymbol{R}_0, \boldsymbol{T}_\tau)\} = \{R_1^{(e)}(\tau_1), R_2^{(e)}(\tau_1), \ldots, R_{11}^{(e)}(\tau_1)\} = = \{\overline{R}_1(\tau_1), \overline{R}_2(\tau_1), \ldots, \overline{R}_{11}(\tau_1)\} = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)\}$, т.е. $m_{\tau_1} = n_0 = 11$ и $\boldsymbol{R}^{(e)}(\tau_1) = \boldsymbol{R}_{\tau_1} = \varnothing$, следует, что к периоду $T_\tau^{(e)} = \tau + 1 = \tau_1 = 9$ исполнены все работы инвестиционного проекта. Исходя из этого, процесс осуществления стратегии $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ считается выполненным, устанавливается: $s := s + 1$; $t_s := \tau_1 = 9$; $p_a^{(e)}(t_s) := p^{(e)}(\tau_1)$ и происходит обращение к оформлению выходных результатов.

На четвертом этапе формируется выходная информация оптимизации адаптивного управления инвестиционным проектом по реорганизации комбината школьного питания, т.е. происходит описание реализовавшейся стратегии $U_a^{(e)} \in \boldsymbol{U}_a$ на основе следующих результатов: $\boldsymbol{R}_a^{(e)} = \boldsymbol{R}(0) = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{n_0}(0)\} = \boldsymbol{R}_0 = \{R_1(0), R_2(0), \ldots, R_{11}(0)$ – входной набор работ; $\boldsymbol{WM}_a^{(e)} = \boldsymbol{WM}_0^{(e)}(\boldsymbol{R}_0)$ – *оптимальная сетевая модель*; $p_a^{(e)}(t_k)$ — набор t_k-позиций $k \in \overline{1, s}$, соответствующих *стратегии* $U_a^{(e)}$ *оптимизации адаптивного управления* инвестиционным проектом; $\boldsymbol{T}_a^{(e)} = T_\tau^{(e)} = T_8^{(e)} = 9$ — *оптимальное время* осуществления инвестиционного проекта для стратегии $U_a^{(e)}$.

Обсуждение результатов

Если не применять предлагаемую методику адаптивного оптимального управления проектом, например, в периоды времени $\tau = 4$ и $\tau_1 = 5$ когда происходит исполнение в полном объеме работы $R_4(\tau) = R_4(0)$, то исполнение работ в соответствии с календарным планом, сформированным для исходного периода $\tau = 0$, повлечет за собой пересечение времени реализации входящей в проект работы $R_5(\tau_1) = R_5(0)$, с работой $\breve{R}_4(\tau_1) = \breve{R}_4(0)$, которая является оставшейся для исполнения частью исходной работы $R_4(\tau) = R_4(0)$, т.к. в период времени $\tau = 4$ выполнена только ее часть $\widetilde{R}_4(\tau) = \widetilde{R}_4(0)$, а оставшаяся часть $\breve{R}_4(\tau_1) = \breve{R}_4(0)$ выполняется в период времени $\tau_1 = 5$, где $R_4(\tau) = \widetilde{R}_4(\tau) \bigcup \breve{R}_4(\tau_1) = \widetilde{R}_4(0) \bigcup \breve{R}_4(0) = R_4(0)$, что является неприемлемым по условиям реализации проекта (исполнение работы $R_4(0)$ должно обязательно предшествовать ис-

полнению работы $R_5(0)$) и приведет к неисполнению инвестиционного проекта в целом.

Рассмотренное решение задачи инвестиционного проектирования по реорганизации комбината школьного питания делает возможным вывод о необходимости использования представленной методики адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием в сфере общепита. Использование данного подхода позволяет достичь оптимального времени выполнения проекта в целом, при наличии по ходу его реализации непредвиденных ситуаций, и тем самым избежать негативных последствий как его заказчикам, так и исполнителям.

Выводы

Кризисы прошлого существенно отражались на экономических процессах всех стран. Требовалось решение новых задач во всех сферах жизнедеятельности для снижения негативных кризисных последствий и формирования новых фундаментальных основ инвестиционного проектирования, позволяющих количественно оценить события при управлении ими.

В данной статье описывается новая методика адаптивного оптимального управления инвестиционным проектированием в сфере регионального общественного питания, которая дает возможность создать необходимые интеллектуальные системы поддержки принятия решений.

В практическом отношении значимость исследования заключается в способе использования полученных результатов для оптимального управления инвестиционным проектированием в сфере общепита в изменившихся экономических условиях. Полученные результаты дают возможность приспособить современные инвестиционные проекты под теорию и практику, разработанную под влиянием кризисных моментов, чтобы снизить негативные последствия катаклизмов для всей экономики.

Недостаток априорной информации компенсируется использованием адаптивных методов, использование которых содействует существенному сокращению влияния неопределенности на качество модели и процессов управления.

Дальнейшее совершенствование оптимизации инвестиционного проектирования общепита может быть на основе создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений при разработке и реализации инвестиционных проектов в данной отрасли хозяйствования. Разработка системы возможна путем моделирования имеющихся знаний на базе продукционных правил, нейронных сетей и моделей машинного обучения [19, 20].

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-28-01868 «Разработка агент-ориентированной модели сетевого промышленного комплекса в условиях цифровой трансформации»).

Библиографический список

1. *Милл, Р. К.* Управление рестораном. — М. : Юнити-Дана, 2018.

2. *Astolfi, A.* Nonlinear and Adaptive Control, Tools and Algorithms for User. — London : Imperial College Press, 2006.

3. *Astroem, K. J., Wittenmark, B.* Adaptive control. — 2nd ed. — 2008.

4. *Draper, C. S., Li, Y. T.* Principles of Optimalizing Control Systems and Application to Internal Combustion Engine // American Society of Mechanical Engineers (ASME) Publ. — 1951. — P. 160–168.

5. *Farrell, J. A., Polycarpou, M. M.* Adaptive Approximation Based Control // Unifying Neural, Fuzzy and Traditional Adaptive Approximation Approaches. John Wiley. — 2006.

6. *Landau, I. D., Lozano, R., M'Saad, M., Karimi, A.* Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications. — London : Springer, 2011.

7. *Latrech, Ch., Kchaou, M., Guéguen, H.* Networked non-fragile H∞ static output feedback control design for vehicle dynamics stability: A descriptor approach // European Journal of Control. — 2018. — Vol. 40. — P. 13–26.

8. *Ma, H.* Infinite horizon optimal control of mean-field forward-backward delayed systems with Poisson jumps // European Journal of Control. — 2019. — Vol. 46. — P. 14–22.

9. *Скурихин, В. И., Забродский, В. А., Копейченко, Ю. В.* Проектирование систем адаптивного управления производством. — Харьков, 1984.

10. *Шориков, А. Ф.* Сетевая экономико-математическая модель адаптивного управления проектами // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем : сб. материалов XIII Межд. школы-симпозиума АМУР-2019 / под общ. Ред. А. В. Сигала. — Симферополь, 2019. — С. 425–428.

11. *Шориков, А. Ф., Буценко, Е. В.* Метод сетевого экономико-математического моделирования оптимизации адаптивного управления инвестиционным проектированием // Journal of Applied Economic Research. — 2020. — Т. 19. — № 1. — С. 97–123.

12. *Шориков, А. Ф., Буценко, Е. В.* Сетевое моделирование оптимизации процессов инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. — 2016. — Т. 15. — № 6. — С. 926–943.

13. *Tsien, H. S., Serdengecti, S.* Analysis of peak-holding optimalizing control // Journal of Aeronautical Sciences. — 1955. — № 22 (8). — P. 561–570.

14. *Benner, A. H., Drenick, R.* Adaptive servo system // IRE Convention Record. — 1955. — Pt. 4. — P. 8–14.

15. *Deng, L., Chen, Y.* Optimal control of uncertain systems with jump under optimistic value criterion // European Journal of Control. — 2017. — Vol. 38. — P. 7–15.

16. *Кофман, А., Дебазей, Г.* Сетевые методы планирования и их применение. — М. : Прогресс, 1968.

17. *Таха, Х. А.* Введение в исследование операций. — 7-е изд. — М. : Вильямс, 2005.

18. *Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К.* Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е изд. — М. : Вильямс, 2011.

19. *Nazarov, D.* Causality: intelligent valuation models in digital economy // Mathematics. — 2020. — Т. 8. — № 12. — P. 1–16.

20. *Shorikov, A. F., Butsenko, E. V., Tyulyukin, V. A.* Intelligent software system for optimizing adaptive control of investment projecting processes // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: AIP Conf. Proc. — 2020.

21. *Машунин, Ю. К.* Векторная оптимизация. Т. 3. Векторная оптимизация в экономике. — М., 2022.

Bibliographic list

1. *Mill, R. K.* Restaurant management. — M. : Iuniti-Dana, 2018.

2. *Astolfi, A.* Nonlinear and Adaptive Control, Tools and Algorithms for User. — London : Imperial College Press, 2006.

3. *Astroem, K. J., Wittenmark, B.* Adaptive control. — 2nd ed. — 2008.

4. *Draper, C. S., Li, Y. T.* Principles of Optimalizing Control Systems and Application to Internal Combustion Engine // American Society of Mechanical Engineers (ASME) Publ. — 1951. — P. 160–168.

5. *Farrell, J. A., Polycarpou, M. M.* Adaptive Approximation Based Control // Unifying Neural, Fuzzy and Traditional Adaptive Approximation Approaches. John Wiley. — 2006.

6. *Landau, I. D., Lozano, R., M'Saad, M., Karimi, A.* Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications. — London : Springer, 2011.

7. *Latrech, Ch., Kchaou, M., Guéguen, H.* Networked non-fragile H∞ static output feedback control design for vehicle dynamics stability: A descriptor approach // European Journal of Control. — 2018. — Vol. 40. — P. 13–26.

8. *Ma, H.* Infinite horizon optimal control of mean-field forward-backward delayed systems with Poisson jumps // European Journal of Control. — 2019. — Vol. 46. — P. 14–22.

9. *Skurikhin, V. I., Zabrodskii, V. A., Kopeichenko, Iu. V.* Design of systems for adaptive production control. — Kharkov : Vishcha shkola, 1984.

10. *Shorikov, A. F.* Network economic and mathematical model of adaptive project management // AMUR-2019. — Simferopol, 2019. — P. 425–428.

11. *Shorikov, A. F., Butsenko, E. V.* Method of network economic-mathematical modeling of adaptive control optimization investment projecting // Journal of Applied Economic Research. — 2020. — Vol. 19. — № 1. — P. 97–123.

12. *Shorikov, A. F., Butsenko, E. V.* Network modeling of optimization processes of investment projecting in the presence of multiple technologies // Bulletin of UrFU. Ser. Economics and management. — 2016. — Vol. 15. — № 6. — P. 926–943.

13. *Tsien, H. S., Serdengecti, S.* Analysis of peak-holding optimalizing control // Journal of Aeronautical Sciences. — 1955. — № 22 (8). — P. 561–570.

14. *Benner, A. H., Drenick, R.* Adaptive servo system // IRE Convention Record. — 1955. — Pt. 4. — P. 8–14.

15. *Deng, L., Chen, Y.* Optimal control of uncertain systems with jump under optimistic value criterion // European Journal of Control. — 2017. — Vol. 38. — P. 7–15.

16. *Kofman, A., Debazei, G.* Network planning methods and their application. — M. : Progress, 1968.

17. *Taha, H. A.* Introduction to Operations Research. — 7th ed. — M. : Vilyams, 2005.

18. *Cormen, T., Leiserson, Ch., Rivest, R., Stein, K.* Algorithms: construction and analysis. — 2th ed. — M. : Vilyams, 2011.

19. *Nazarov, D.* Causality: intelligent valuation models in digital economy // Mathematics. — 2020. — T. 8. — № 12. — P. 1–16.

20. *Shorikov, A. F., Butsenko, E. V., Tyulyukin, V. A.* Intelligent software system for optimizing adaptive control of investment projecting processes // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: AIP Conf. Proc. — 2020.

21. *Mashunin, Yu. K.* Vector optimization. Vol 3. Vector optimization in economics. — M., 2022.

РАЗДЕЛ 3. ФИНАНСОВО-КРЕДИТНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ

DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.45.95.015

Г. А. Батищева, М. И. Журавлёва

ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация

В современных условиях цифровизации экономики миграция населения остается важнейшей компонентой формирования и реализации трудового потенциала региона. В статье проведен обзор существующих направлений исследования миграционных процессов методами математического моделирования, представлены авторские результаты исследования миграции населения в Южном федеральном округе и в его регионе — Ростовской области, позволившие выявить ключевые факторы, влияющие на развитие экономики региона.

Ключевые слова

Математическое моделирование, законы миграции населения, модели миграционных потоков, теория факторов миграции, факторы «притяжения-выталкивания», эконометрическое моделирование.

G. A. Batishcheva, M. I. Zhuravliova

STUDY OF POPULATION MIGRATION BY METHODS OF MATHEMATICAL MODELING

Annotation

In modern conditions of digitalization of the economy, migration of the population remains the most important component of formation and realization of labor potential of the region. Article provides an overview of the existing research directions of migration processes using mathematical modeling methods, presents the author's results of the study of population migration in Southern Federal District and its region − Rostov region, which allowed to identify the key factors affecting the development of the regional economy.

Keywords

Mathematical modeling, laws of population migration, models of migration flows, theory of migration factors, «pull-push» factors, econometric modeling.

Введение

Математическое моделирование является важнейшим методом исследования миграционных процессов. Одним из первых известных ученых, занимавшихся исследованием миграции населения, считается английский ученый Равенштейн, который в конце XIX века, а точнее в 1885−1889 гг., сформулировал законы миграции населения [8], в основе которых лежат следующие положения:

– подавляющее большинство мигрантов переезжают на короткие расстояния;

– на большие расстояния в основном наблюдаются миграции в крупные города;