

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 005.93, 65, 519.25, 004.896

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ПОРТФЕЛЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Статья поступила в редакцию 30.04.2019, в окончательном варианте – 18.05.2019.

Мыльников Леонид Александрович, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Российская Федерация, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, кандидат технических наук, доцент, e-mail: leonid.mylnikov@pstu.ru

Реализация и управление проектами в производственных системах связана с повышенными рисками. При планировании выпуска инновационной продукции они могут приводить к несвоевременному или неверному принятию управленческих решений в связи с меньшим временем жизненного цикла такой продукции, слабо предсказуемым спросом на нее, большей наукоемкостью, конструктивной сложностью и ресурсоемкостью разработки и производства. Целью статьи является рассмотрение вопросов повышения эффективности планирования и управления реализацией для портфеля инновационных проектов. Эта цель достигается за счет учета фактора времени и синхронизации внутренних процессов производственной системы с внешними по отношению к ней процессами. Исследование основано на построении и использовании адаптивных моделей, получаемых на основе ретроспективных данных о функционировании системы. В результате проведения исследования получена методика, позволяющая сужать область поиска решений и строить адаптивные модели для поиска и ранжирования области возможных решений в задачах управления и планирования производственных процессов. Кроме того, эффективность полученной модели была проверена на ретроспективных данных. Практическая значимость проведенного исследования связана с возможностью сокращения времени, необходимого для планирования и реализации проекта; возможным повышением количества (доли) успешно реализованных проектов; сокращением затрат на реализацию проектов при работе на открытый рынок со слабо предсказуемым спросом; с увеличением дохода, получаемого производственными системами.

Ключевые слова: модель, инновационный проект, портфель проектов, производственная система, управление, планирование, поддержка принятия решений, информационные технологии

Графическая аннотация (Graphical annotation)



PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT OF DYNAMIC INNOVATION PROJECTS IN PRODUCTION SYSTEMS

The article was received by editorial board on 30.04.2019, in the final version – 18.05.2019.

Mylnikov Leonid A., Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail leonid.mylnikov@pstu.ru

In production systems, the implementation and management of projects is connected with high risks which lead to inaccurate and late managerial decisions. Such mistakes occur while by planning the release of innovation projects due to their lower life cycle, weakly predicted demand, science and resource intensive character, and challenging construction. The aim of the paper is to enhance the efficiency of planning and managing innovation project portfolio by taking into account the time factor and bringing internal processes of production system into synchronization with its external processes. In the study, we design and use adaptive models, which are obtained on the base of retrospective data about system performance. The outcome of the study is a methodology that allows to narrow decision selection area and develop adaptive models for selecting and ranging the area of potential decisions in management tasks and production environment planning. The efficiency of the developed methodology was successfully tested on retrospective data. In practice, the conducted study allows to decrease project implementation time, increase the number of successfully implemented projects, cut implementation expenses for open market-oriented projects with weakly predicted demand and in the situation, when the income of production systems is increasing.

Keywords: model, innovation project, project portfolio, production system, management, planning, decision making support

Введение. Вопросы повышения эффективности функционирования производственных систем в условиях динамики внешней и внутренних сред стали изучаться вместе с появлением промышленного производства. Жизнеспособность современных производственных систем связана с необходимостью постоянного повышения их эффективности за счет выпуска инновационной продукции и повышения результативности функционирования самих производственных систем (ПрС) которую связывают с тремя факторами: 1) множество проектов, из которого формируется портфель продукции, выпускаемой в каждый момент времени. Отсюда вытекает задача оптимального формирования и управления таким портфелем; 2) синхронизация объема выпуска с потоком заказов; 3) оптимизация процесса организации производства под потребности рынка с учетом особенностей портфеля проектов и номенклатуры выпускаемой продукции. Экономическая эффективность является конкурентным преимуществом, которое получает та или иная ПрС на некоторое время. С появлением более эффективных методов управления и планирования преимущество переходит к тем системам, которые первыми удачно применили новые подходы на время, пока не появятся новые еще более совершенные методы или пока аналогичные методы не начнут использовать организации-конкуренты. Таким образом, появление адаптивных методов и моделей позволяет продлить время их эффективного использования за счет решения задач согласованности действий всех элементов производственного процесса и обеспечения адаптивности к изменяющимся внешним условиям. Эти вопросы в существующих публикациях исследованы недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является попытка исправить существующее положение.

Общая характеристика проблематики по теме работы. Особая значимость повышения эффективности производственной деятельности связана с внедрением программ Industry 4.0 (<https://www.plattform-i40.de>), Made in China 2025 (<http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/>), Advanced Manufacturing (<https://www.manufacturing.gov>). Кроме того, вопросы повышения эффективности функционирования ПрС за счет использования актуальных данных и интеллектуальных методов отмечены в программе Национальной технологической инициативы РФ (<http://www.nti2035.ru>) и др.

Механизмом обеспечения особенно быстрого развития предприятия является выпуск инновационной продукции. При этом неудачное внедрение инновационных проектов может привести к разорению предприятия при неэффективной организации производства. Это связано с тем, что рынок, на котором работают современные производственные системы (особенно ориентированные на выпуск инновационной продукции), является чрезвычайно динамичным и конкурентным. Поэтому ошибки, связанные с управлением и планированием такими производственными системами, обретают эффект, непосредственно влияющий на их жизнеспособность.

Понятие проекта как чего-то нового и требующего активного изменения обстановки, в которой они реализуются, было сформировано Дж. Шумпетером [33]. Он ввел такое понятие, как «креативное разрушение», обратив тем самым внимание на то, что внедрение новых технологий требует перестройки устоявшихся технологических процессов в ПрС. Помимо этого, новая, современная продукция обладает все большей и большей наукоемкостью, конструктивной и технологической сложностью, большим количеством модификаций и даже индивидуальным производством под потребности конкретных заказчиков. Уникальные особенности реализации инновационных проектов рассматриваются в рамках устоявшихся в производственных системах процессов. Они отражены во многих работах, посвященных инструментальным методам исследования инновационного потенциала, экономическому и математическому моделированию инновационного планирования комплексного характера. Среди них необходимо выделить работы Ж. Тириля [35], М.А. Аль-Фаузана [10], О.Г. Голиченко [18], Э. фон Хиппеля [17], Г.Г. Гемюндена [30].

Управление процессом планирования и выпуска проектов на практике оказывается сложно реализуемым, так как не на всех этапах процесс в достаточной степени формализован. На ранних этапах риски, связанные с реализацией проектов, крайне велики и не поддаются количественной оценке. При

рассмотрении задачи управления на удаленные во времени горизонты они увеличиваются еще больше. Среди методов управления экономической эффективностью ПрС в условиях ограниченных объемов данных и неопределённости стоит выделить такие работы, как теория портфелей, которую разработал Г. Марковиц [20]; теория ожидаемой полезности [27]; теория перспектив [36]; метод анализа иерархий [31]; множество методов и подходов для работы с мультикритериальными задачами (такие как VIKOR, TOPSIS, ELECTRE [32], PROMETHEE [11]); методы сценариев.

Разработанные методы и подходы управления ПрС имеют существенные ограничения применимости, так как не позволяют планировать во времени процесс реализации в них новых инновационных проектов. Использование таких подходов, как «управление по фактическим данным», «рефлексивное управление», «целевое управление» без учета динамики изменения среды, в которой функционирует ПрС, приводит к запаздыванию в реализации решений и проявляется в ошибках управления, приводящих к несогласованности действий подсистем и нарушениям производственных циклов во времени. На необходимость решения этой проблемы обратил внимание В.Н. Бурков [2], который ввел понятие «активный элемент» и разработал на его основе теорию активных систем. Ее развитием стал принцип открытого управления и теория организационных систем Д.А. Новикова [8]. Другими подходами, в рамках которых рассматривается указанная проблема, являются следующие: теория мультиагентных систем, которую применительно к управлению проектами впервые использовал Л. Пепалл [28]; теория производственных функций, заметный вклад в развитие которой внесли Ч. Кобб, П. Дуглас, Р. Аллен, Р. Солоу, Й. Хилхорст [9]; подходы, основанные на структурировании процессов управления и характеризующей их информации, которые связаны с именами Д. Россса, Э. Йордона [37], Г. Буча [12], М. Портера [29].

Развитие теории управления в ПрС привело к созданию методологии планирования и управления Just-in-time, метода OPT (Optimised Production), концепции компьютеризированного интегрированного производства CIM (Computer Integrated Manufacturing), методологий [1] Agile, Scrum, LEAN, Kanban, появлению стандартов управления проектами в рамках ISO/IEC, DIN и ГОСТ, рекомендаций PMI (Project Management Institute) и IPMA (International Project Management Association), появлению систем поддержки процессов управления производственными системами (MIS); контроля и управления производственными процессами (SCADA, MES); поддержки процессов поставок (SCM); сбыта и обеспечения производственных процессов (ERP, MRP, CRM); организации производства под известных потребителей (CSRP); управления жизненным циклом продукции (CALS) и процессом производства (WFMS).

В последнее время произошел резкий рост накапливаемых эмпирических данных, что дает преимущество методам машинного обучения. Последние позволяют строить модели на основе данных и, тем самым, учитывать специфические особенности рассматриваемых систем [3].

Современные исследования показывают, что процесс поддержки принятия управленческих решений не сводится к поиску оптимальных или хороших решений. Он является итерационным процессом, который сам требует формализации процессов обоснования выбора того или иного решения во времени. Это связано с тем, что движение к целевым показателям не является одношаговым процессом, а представляет собой траекторию взаимозависимых состояний. Целевые показатели изменяются во времени и могут представлять собой множество величин, связанных различными типами отношений [22]. Особенно это касается проектов, которые реализуются в конкурентной рыночной среде и являются приоритетными (проекты, необходимые для существования ПрС и влияющие на скорость их развития) [19]. В результате, процесс управления проектами в ПрС рассматривается как процесс пересмотра и обновления списка реализуемых проектов и ресурсов, выделяемых на их реализацию [13]. При этом задача управления проектами в производственных системах становится связанной с задачей управления производительностью и эффективностью производственных систем.

Использование прогнозов повышает эффективность производственной деятельности за счет подстройки динамики работы предприятия под внешние факторы рынка (поток заказов и новые проекты), а также синхронизации с ними загрузки оборудования, поставок материалов, комплектующих и оснастки для станков, учета изменений в продолжительности производственных процессов, инертности системы при оказании на нее управляющих воздействий, превентивного изготовления продукции при неравномерной загрузке под будущий спрос, точного планирования энергопотребления и т.д.

Достижимые при этом экономические эффекты связаны с уменьшением величины связанных средств за счет уменьшения складских запасов готовой продукции и материалов, уменьшения величины закладываемых средств на неотложные нужды за счет использования плавающих периодов обслуживания оборудования и учета его особенностей при производстве, обеспечения равномерности загрузки производственных ресурсов.

Наибольшие экономические эффекты от управления объемами выпуска продукции наблюдаются на таких типах предприятий: имеющих в своем портфеле нефиксированную долю заказа продукции; работающих на открытый рынок. На тех предприятиях, на которых высоко влияние внешней среды на процессы производства, имеется зависимость работы оборудования и протекания технологических процессов от фактора времени.

Методология решения задачи. Постановка задачи. Представим целевые показатели вектором P_a , а текущее состояние ПрС – вектором P_p . В результате получим измеримую метрику (P_p, P_a) , характеризующую отклонение текущей позиции ПрС от целевой. Эта метрика позволяет оценить степень успешности реализации плана (окончания реализации, $|P_p - P_a| \leq \varepsilon$, где ε – точность). Другие параметры задачи управления могут быть описаны для шага управления i следующими группами параметров: 1) параметрами, характеризующими текущее состояние $(P_p^{(i)})$; 2) управляющим воздействием $A^{(i)}$ в состоянии $q^{(i)}$; 3) целевым состоянием $(P_a^{(i+1)})$; 4) результатом деятельности системы по переходу из состояния $P_p^{(i)}$ в $P_p^{(i+1)}$ для моментов времени $T^{(i)}$ (точки принятия решений).

Управляющее воздействие будем искать для производственной системы Ψ [16], которую представим в виде кортежа: $\Psi = \{Y, P_p, P_a, T, W, q\}$, где $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ – вектор проектов; Y – модель системы по группе параметров ($Y = Y^{(1)} \cup \dots \cup Y^{(i)} \cup \dots \cup Y^{(m)}$), где m – количество параметров модели; P_p – конечное множество состояний системы; P_a – вектор целевых состояний системы; T – вектор точек принятия решений (время); q – состояние системы [23].

Задача поиска решения для кортежа Ψ является разрешимой, если множества значений параметров Y, P_p, P_a, T, W, q и их дополнения перечислимы. Это возможно, если на каждом шаге i работать с ограниченным множеством проектов Π , рассматривать ограниченное множество состояний P_p и P_a , ограниченный набор моделей для поиска каждого шага Y , дискретное время T с заданным горизонтом планирования и ограниченное множество состояний производственной системы.

Тогда задача управления портфелем проектов сводится к построению модели производственной системы для формирования конечного множества возможных состояний, формирования множества проектов для продуктовой корзины, определения точек принятия решений и горизонта планирования. Ниже эти подзадачи рассматриваются последовательно.

Построение модели производственной системы. Реализация модели (ее структура) и получение решения определяются особенностями производства и процесса принятия решений на конкретном предприятии. Собственно реализация состоит из задач планирования и обеспечения производственной деятельности. Учитывая требование перечислимости получаемого множества решений, получаем ограничение на способ формализации задач. Наиболее распространенным подходом для работы с множеством состояний и поиска множества оптимальных решений (Парето оптимального множества) являются методы системного анализа.

Учитывая тот факт, что организация производства начинается с решения задачи планирования на различные горизонты по времени, задача объемно-календарного планирования в постановке, учитывающей фактор времени и изменения в портфеле проектов, может выступать в качестве ключевой. Примем, что для производства единицы продукции w требуется $V_{l,w}$ материала типа l , а стоимость перехода с выпуска товара w_1 на товар w_2 равна m_{w_1, w_2} . Тогда задача нахождения продуктового портфеля для производственной организации на шаге $i + 1$ на основе продуктового портфеля для шага i может выглядеть следующим образом:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W ((C_w(i+1) - Y_w(i+1)) \cdot x_{k,w}(i+1)) - \sum_{k=1}^K \sum_{w_1=1}^W \sum_{w_2=1}^W (m_{w_1, w_2} \cdot H(x_{k, w_1}(i) \wedge x_{k, w_2}(i+1))) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W x_{k,w}(i+1) \cdot V_{l,w} \leq V_l(i), \forall l,$$

$$x_{k,w}(i+1) \leq U_{k,w}(i+2), \forall w, k,$$

$$\sum_{k=1}^K x_{k,w}(i) \leq Z_w(i+2), \forall w,$$

$$CF_1(i+1) + CF_2(i+1) + CF_3(i+1) = \sum_{w=1}^W Y_w(i+1),$$

$$CF_4(i+2) = \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W C_w(i+1) \cdot x_{k,w}(i+1),$$

$$x_{k,w}(i+1) \geq 0, \forall w, k,$$

где V_l – объем материала l на складе (если снять это ограничение, то, исходя из найденного $x_w(i+1)$, можно определить потребность); $H(x)$ – единичная функция; Z_w – прогноз потока заказов; k – номер производственной линии; $U_{k,w}$ – максимальная производственная мощность для товара w на линии k ; $Y_w(t)$ – стоимость производства единицы товара w , если товар уже выпускался, или объем инвестиций, необходимый для организации его выпуска (перехода на его выпуск).

Реализация проектов оказывается связанной с решением задач обеспечения производственной деятельности ресурсами (рис. 1).

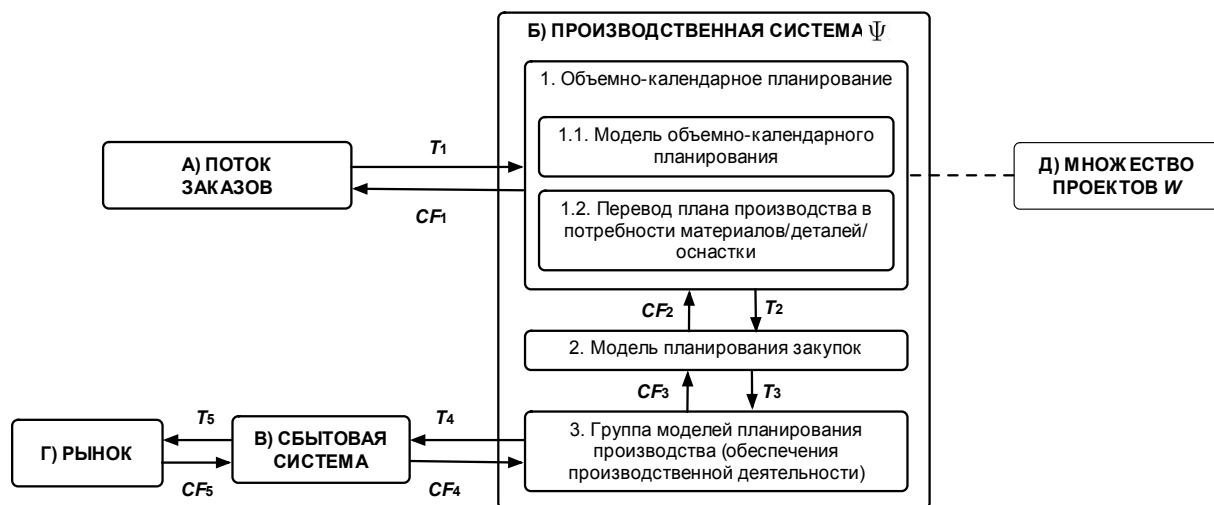


Рисунок 1 – Схема учета времени протекания процессов при прохождении проекта по производственной цепочке (T_1 – время, необходимое для разработки плана реализации проекта; T_2 – время, необходимое для поставки необходимых комплектующих и материалов; T_3 – время, необходимое для производства; T_4 – время, необходимое для вывода на рынок; T_5 – время, необходимое для продажи; CF_1 – затраты на внедрение в производство (инвестиции [21]); CF_2 – средства на комплектующие и материалы; CF_3 – производственные расходы; CF_4 – средства, полученные производственной системой; CF_5 – средства от продажи на рынке)

Тогда решение вышеприведенной задачи определения объема производства по каждому из типов продукции будет выступать как исходные данные для решения других связанных задач (организации производства, закупок и т.д.). При этом для синхронизации процессов необходимо получение этих значений на величину шага по времени, опережающего сроки поставки материалов (сырья), комплектующих и оснастки оборудования; времени переналадки технологического оборудования, отправки заявок на потребление энергии и т.п.

Такое использование прогнозов позволяет произвести объединение моделей в виде рекуррентной зависимости на основании общих переменных:

$[X(0)]$ = текущие значения параметров и переменных,

$$[X(i+1)] = -([A][M(X(i))][A]^T)^{-1}[A][M][E],$$

где $[X]$ – матрица значений параметров управления; $[A]$ – матрица инцидентности, показывающая взаимосвязи между элементами модели; $[M]$ – матрица используемых внутри общей модели субмоделей; $[E]$ – единичная матрица или матрица дополнительных воздействий и отклонений (моделирующая форс-мажорные ситуации).

Множество возможных состояний производственной системы. Процесс управления и планирования производственной системой стоит рассматривать в рамках процессного подхода, который, по мнению современных ученых, характеризуется ограниченным набором действий, перечнем возможных начальных условий и результатов.

Решением задачи в этом случае становится множество возможных взаимосвязанных состояний развития (траекторий) производственной системы:

$$q^{(i)} \xrightarrow{I^{(i)}, P^{(i)}, R^{(i)}} q^{(i+1)} \xrightarrow{I^{(i+1)}, P^{(i+1)}, R^{(i+1)}} q^{(i+2)} \xrightarrow{I^{(i+2)}, P^{(i+2)}, R^{(i+2)}} q^{(i+3)} \rightarrow \dots,$$

где i – номер шага планирования/время до горизонта планирования Γ ; I – множество ресурсов (инвестиций), необходимое для осуществления перехода (складывается из CF_1 , CF_2 и CF_3); R – оценка риска, связанная с осуществлением перехода; P – потенциальная прибыль (выгоды), ожидаемая от реализации перехода.

Множество проектов. Формирование множества потенциальных проектов и возможных модификаций на данный момент не может быть автоматизировано и происходит в ручном режиме путем проведения НИОКР, мониторинга рынка новых инновационных проектов через конкурсы и заявки в фонды. Таким образом, данное множество априори является исчислимым.

Точки (моменты) принятия решений и горизонт планирования. Между элементами системы и внешней обстановкой может возникнуть эффект запаздывания. Преодолеть этот эффект можно использованием прогнозов при решении задач планирования, т.е. реализацией принципа Just-in-Time на основании прогнозов. Устранение разрывов между действиями подсистем производственной системы

становится возможным, если при составлении планов выбрать «нулевую» точку (например, текущий момент и задачу, соответствующую ему – например «1» на рисунке 1). Тогда становится понятно, на какой период необходимо прогнозирование (например, для рынка этот период должен быть удален во времени от текущего момента не менее чем на $T_2 + T_3 + T_4 + T_5$).

Решение задачи управления во времени предполагает корректировку целевых показателей и самой цели, так как в процессе движения к ней меняются условия, в которых функционирует система, наблюдается изменение приоритетов у лиц, принимающих решения. Могут наступать события, которые не были предусмотрены при планировании. Тогда при рассмотрении процесса управления в динамике как непрерывного процесса необходимо говорить о программно-ситуативном управлении и планировании на переменный горизонт планирования, т.е. на время, которое будет зависеть от состояния внешней среды и данных, с которыми связаны уже реализованные управленческие решения.

Особенностью, связанной со временем, является то, что шаг времени Δt между шагами планирования i является переменной величиной (т.е. $\Delta t(i) = T^{(i+1)} - T^{(i)}$ – функция от времени, значения которой определяются особыми точками на параметрах управления X).

Шаг по времени является величиной, зависимой от тех параметров, которые не подвержены управлению субъекта управления. Такими параметрами являются внешние по отношению к производственной системе факторы, связанные с рынком по каждому из типов продукции в продуктовом портфеле ($T_{1,w}, T_{2,w}, T_{3,w}, T_{4,w}$ см. рисунок 1) и проектами (появление новых проектов/вариантов продукции), а также требования регламентов к протекающим внутренним процессам (регламенты технического обслуживания оборудования, выходы оборудования из строя, недополучение ресурсов); особенностям изменения характеристик; дополнительной информации, характеризующей текущее состояние системы $q^{(i)}$.

Сам факт принятия решения об изменениях в работе производственной системы не означает немедленного изменения всех процессов, протекающих в ней, так как ПрС обладает инертностью, связанной с изменением работ, выполняемых на предприятии. Это является ограничением для слишком частого изменения плана производства, даже если это экономически обосновано. Минимальный горизонт планирования Γ должен быть не меньше времени, необходимого для осуществления изменений τ , а оптимальное время оперативного планирования может быть получено из выражения [4]:

$$J(\Delta t) = \arg \max_{t \leq \Delta t \leq T} \int_t^{t+\Delta t} (J(t + \Delta t) - (t + \Delta t)) d\Delta t,$$

где T – горизонт времени рассматриваемого процесса; t – текущее время; $J(t)$ – критерий.

Решение задачи. Общая схема решения задачи управления. Учитывая предъявленные требования к формализации процесса принятия решения при управлении портфелем проектов производственной системы, структура и последовательность работы модели с учетом перечисленных выше факторов примет вид, приведенный на рисунке 2.

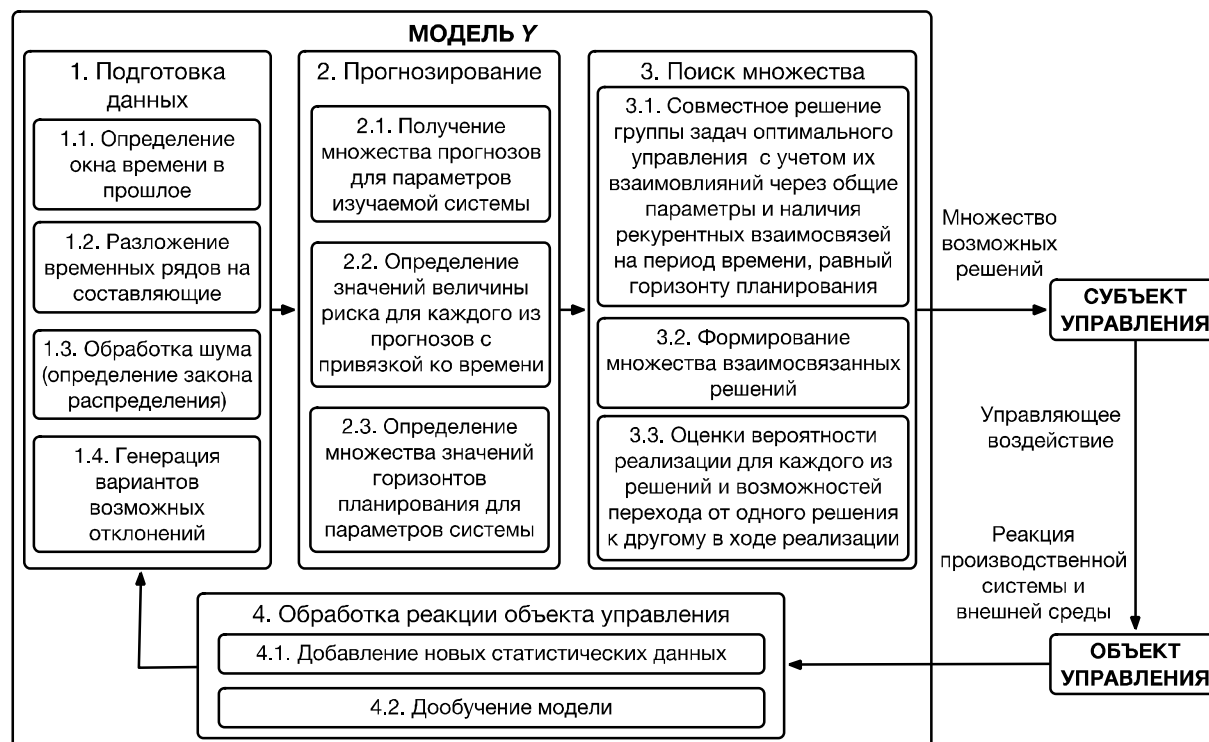


Рисунок 2 – Структурная схема модели для решения задачи управления инновационными проектами в ПрС

Решение задачи прогнозирования. Значение прогнозируемого параметра будем искать в виде $\hat{y}_i$, где f – функция, которой мы будем заменять статистические данные и использовать для предсказания их значений в будущие периоды для i -го параметра; σ – величина ошибки.

Значения временного ряда могут быть разложены на периодическую, трендовую и остаточную составляющие:

Каждая из этих составляющих прогнозируется отдельно. Для построения модели используются ретроспективные данные и окно времени T_j (рис. 3а). Периодическая составляющая прогнозируется с помощью рядов Фурье, вейвлет-анализа или рекуррентных методов (авторегрессия, рекуррентные методы машинного обучения), тренды – с помощью специальных методов, учитывающих особенности их изменения (например, для экономических параметров – это инновационная и S-образная кривые [5]), а остаток (не описываемый периодической и трендовой составляющими) [14] – с помощью методов регрессии или машинного обучения.

Для описания величины $\hat{y}_i$ проводим проверку ее соответствия одному из законов распределения (нормальное, гамма, Лапласа и т.п.). Каждому из распределений соответствует функция принадлежности. Следовательно, задачу можно перевести в нечеткую форму [6], взяв условно за достоверное значение прогнозного значения и построив функцию распределения вокруг него.

При соответствии нормальному закону распределения для перевода данных прогнозов в нечеткую форму (фазификации) можно использовать Гауссову функцию:

$\mu_i = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \hat{y}_i)^2}{2\sigma^2}\right)$, где μ_i – функция принадлежности; $\hat{y}_i$ – значение прогноза для i -го параметра; σ – диапазон отклонений прогнозируемой величины.

Решение задачи определения горизонта планирования. Разобьем статистическую выборку на два участка – тренировочный и тестовый, построим модель прогнозирования на тренировочном участке и проверим ее работу на тестовом. В результате может быть вычислена оценка риска R_j , где $\hat{y}_i$ – прогнозное значение; y_i – точное (ретроспективное значение). Рассматривая прогноз как последовательность значений с шагом Δt , можно получить интегральное значение величины оценки риска. В этом случае величина риска становится зависимой от величины риска на предыдущих этапах: $R_j = R_{j-1} + \Delta t \cdot R_j$, где j – номер оцениваемого параметра.

Оценка риска есть функция вероятности [15], которая показывает вероятность выхода запланированных значений за доверительный интервал. Ее можно трактовать как $R_j = P(y_i \notin [\hat{y}_i - \sigma, \hat{y}_i + \sigma])$.

Тогда риск достижения предельных значений функции риска, заданной таблично, нужно рассматривать как цепочку взаимосвязанных событий. Учитывая то, что вероятность для взаимосвязанных событий/состояний R_j и R_{j-1} при условии, что R_{j-1} наступает после R_{j-2} , будет равна $R_j = R_{j-1} \cdot R_j$ получаем

Определение такой величины риска (накопительным итогом) позволяет выбрать величину горизонта планирования, опираясь на значение величины оценки риска, которая в определенный момент начинает резко расти (рис. 3б).

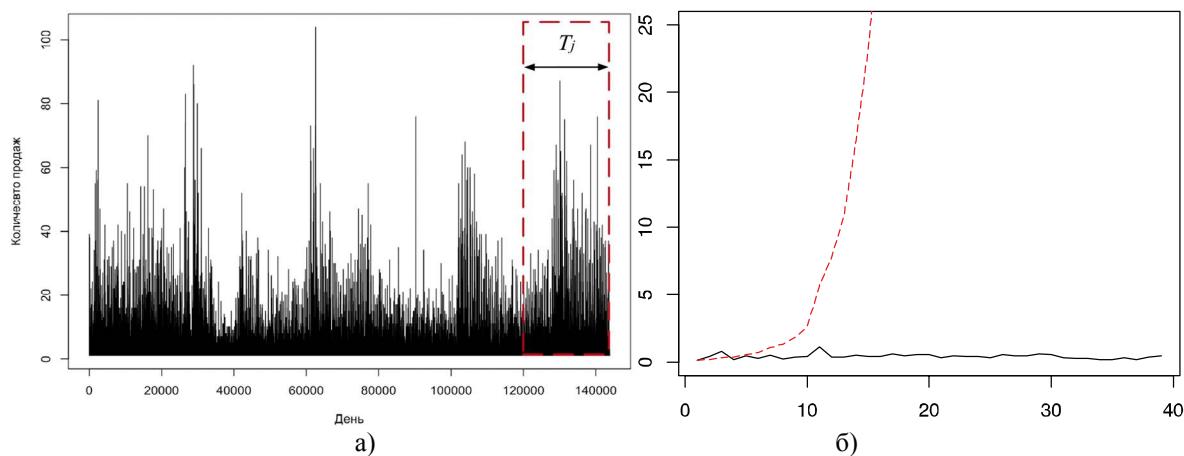


Рисунок 3 – Решение задачи объемно-календарного планирования: а) пример прогнозируемых значений и окно времени (набор ретроспективных данных), используемое для прогноза; б) оценка значения величины риска (сплошная линия – моментальные значения, пунктирная линия – накопительная, зависимая от предыдущего значения оценки) [24]

Формирование множества решений. Перевод в нечеткую форму данных прогнозирования позволяет учитывать неопределенности, связанные с прогнозированием значений, и исключить необходимость исследования модели управления на ее зависимость от ошибок прогнозирования (проведения многочисленных расчетов). Отсутствие допущений и упрощений в ходе решения позволяет определить каждое значение как функцию принадлежности. В свою очередь это позволяет определять отдельные значения и диапазоны значений, появление которых наиболее вероятно, исходя из точности прогнозирования. Получение результатов подобным образом наиболее ценно в ПрС, в которых управляющее воздействие формируется человеком на основании данных анализа возникающей ситуации и ее динамики.

Решая сформулированную задачу с использованием шага по времени (принцип) в нечеткой форме, получим функцию от времени, заданную таблично (рис. 4а). Анализ возможных отклонений в производственном плане позволяет определить диапазон возможных отклонений потребностях в деталях и комплектующих (рис. 4б). При этом при сравнении с ретроспективными данными (сплошная линия на рисунке 4а) можно увидеть повышение эффективности работы ПрС при горизонте планирования в 10 шагов по времени (, рис. 3б) от 15 % при пессимистичном варианте до 37 % при оптимистичном варианте.

Практическая апробация на ретроспективных данных ПрС показала повышение эффективности функционирования за счет планирования производственной деятельности на 10–30 %.

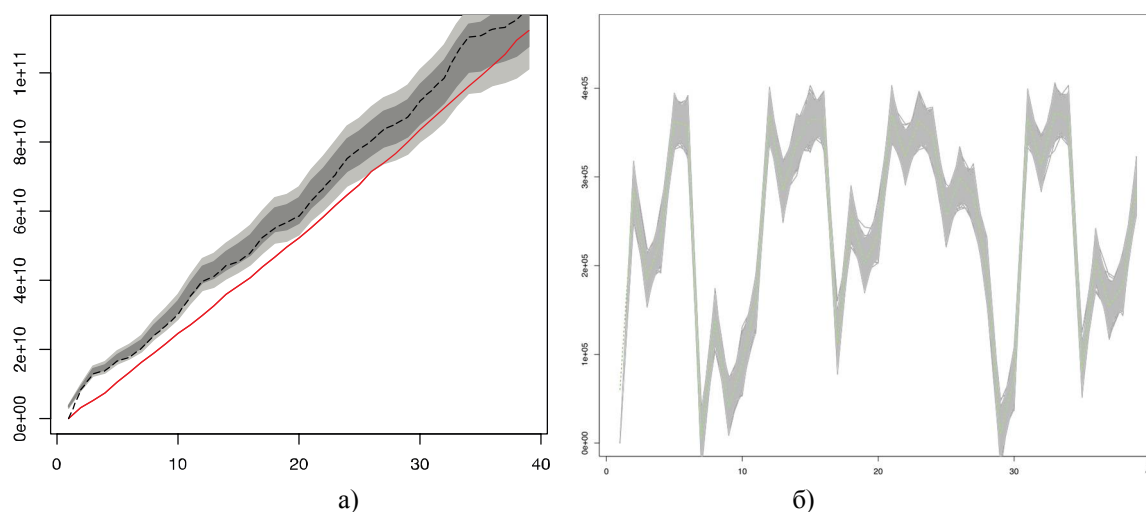


Рисунок 4 – Оценка диапазона возможных отклонений значений при решении задачи объемно-календарного планирования [6]: а) значения критериальной функции, полученной с использованием прогнозов – черная пунктирная линия; значения критериальной функции, полученные при использовании нечетких чисел – серая область (темно-серая область – наиболее вероятная область значений); реальные ретроспективные значения – красная сплошная линия; б) значения возможного изменения в потребностях одного из ресурсов при решении задачи объемно-календарного планирования производства

Использование нечетких чисел приводит к тому, что критерий и ограничения переходят в нечеткую форму и могут в некоторых случаях нарушаться. Это будет сигнализировать о необходимости проведения изменений производственной базы, в некоторых случаях графика поставок, периодов технического обслуживания оборудования и т.п. Переход в нечеткую форму исключает необходимость проведения дополнительных исследований, связанных с коридором возможных отклонений, так как это учитывается в самой форме задания и методе решения. Кроме того, в связи с тем, что ограничения переходят в нечеткую форму, они заменяются барьерными функциями. Такая замена осуществляется на основе функций принадлежности, которые начинают резко увеличивать свое значение в случае превышения граничного значения при решении задачи на минимизацию или уменьшать свои значения при решении задачи на максимизацию. Поэтому такие ограничения могут быть добавлены в критериальную функцию.

При решении задач оптимального управления ответ будет представлять собой таблично заданную функцию. Согласно теореме Байеса, вероятность успешного перехода в новое состояние будет зависеть от предыдущего состояния (состояния, в котором находится объект/система управления). Для выбора траектории развития ПрС (выработки управляющего воздействия) целесообразно формировать множество возможных решений (Парето-оптимальное множество [34]), из которых и осуществлять выбор. В этом случае решением задачи будет множество траекторий развития, которые условно можно представить в виде дерева для каждого из искомых значений параметров. Это дерево можно рассматривать как байесовскую сеть (табл.). Приведенная таблица была получена при множественном решении за-

дачи планирования выпуска двух видов насосов (турбомолекулярного насоса и криогенного насоса) [25] на общей производственной базе. Полученные решения соответствуют комбинациям объемов выпуска изделий (мы применили для 20 шагов времени 100 расчетов в каждый момент времени).

Таблица – Матрица вероятностей состояний для шагов времени без учета их взаимозависимости во времени с ограничением средств производства согласно плану роста объема производства, полученного в результате бизнес планирования [25] (темно-серой заливкой выделены наиболее вероятные состояния, светло-серой – результаты, полученные в результате бизнес-планирования).

Номер шага (i)																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вероятность, с которой система попадет в состояние $q^{(i)}$																			
0,95	0,93	0,91	0,85	0,82	0,01	0,01	0,71	0,75	0,69	0,65	0,53	0,54	0,64	0,02	0,02	0,52	0,02	0,01	0,01
0,03	0,03	0,01	0,04	0,01	0,80	0,77	0,02	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,52	0,45	0,01	0,02	0,43	0,48
0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
-	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,48	0,03	0,02
-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03
-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
-	-	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
-	-	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03
-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Количество возможных состояний на шаге																			
3	5	9	11	11	15	18	20	20	22	27	39	34	26	35	39	39	35	39	41

В результате расчетов могут возникать ситуации, когда при изменении ограничений на ресурсы/средства производства выпуск единиц продукции существенно меняется. Например, сначала выпускается только один вид изделия, а затем мы начинаем выпуск еще и другого. Однако при наложении ограничений оптимальным становится выпуск только одного вида продукции. Такая ситуация говорит о важности правильного запуска процесса изменения с точки зрения процессов, происходящих внутри ПрС (показывает неэффективность частой смены производственных планов и важность получения точных прогнозов). Решением указанной ситуации может быть использование обратного подхода на основе выбранного плана на заданную дату – составление плана выхода на рынок на базе задачи объемно-календарного планирования и проведения маркетинговых исследований с опорой на неё. Также это позволяет ставить задачу выбора конкретного решения (траектории развития), основываясь на её выборе с учетом вероятностей осуществления реализации траекторий (табл.), и рассматривать ее подбор как задачу выбора на основе принципа оптимальности Беллмана. При этом в ходе реализации выбранного решения будут появляться новые данные о состоянии ПрС и обстановки, в которой она функционирует. Поэтому данные прогнозов будут уточняться, что потребует повторного решения задачи планирования и получения нового множества возможных траекторий развития. Таким образом, рассмотренная задача будет пересчитываться в точках принятия решений i и будет носить итерационный характер.

Разобранная в статье модель может быть усложнена путем совместного решения группы задач планирования и управления технологическими процессами с учетом фактора времени (см. блок 3 на рисунке 1). Тогда эффект от предложенного в статье подхода может быть увеличен за счет большей согласованности действий и учета запаздывания реакции одних процессов на изменения в других (например, см. учет инерции систем обеспечения паром, теплоснабжения [4], совместной работы единиц оборудования [26] и т.п.).

Заключение. Предложенный в статье подход связан с использованием прогнозов в задачах планирования, что позволяет учитывать фактор времени. Сформулированная методология не выдвигает требований к способу формализации модели, а опирается только на используемые параметры, данные прогнозирования и статистические данные, применяемые для построения моделей прогнозирования.

В статье рассмотрен способ учета взаимодействия ПрС, характеризующийся ограниченным набором действий и множеством состояний, с проектами и рынком на основе эмпирических моделей с учетом специфики ПрС, проектов и среды, в которых они развиваются. Учет специфики осуществляется на основе данных статистики, которые используются для построения прогнозов и ограничений сформулированной задачи объемно-календарного планирования.

На основе рассмотренной задачи предложен механизм управления портфелем инновационных проектов как множеством взаимосвязанных вариативных многофакторных процессов в ПрС на базе метода проведения сценарных расчетов траекторий развития проектов из портфеля ПрС и оценки эффекта от их портфельной реализации.

Таким образом, решается задача учета фактора времени и изменчивости ПрС и среды, в которой они функционируют. Это позволяет в задачах планирования и управления производственной деятельностью учитывать недетерминированные риски при реализации инновационных проектов на базе ПрС.

Предложенный в статье подход, связанный с использованием прогнозов в задачах планирования и управления и учетом оценок рисков в этих задачах, является развитием идей, заложенных такими учеными, как Ж. Тироле, Г. Марковицем, Ж. Линтером, Ж. Моссиным. Однако в отличие от их работ предложенный подход позволяет учитывать фактор времени и определять горизонт планирования [7].

Библиографический список

1. Брумштейн Ю. М. Сравнительный анализ функциональности программных средств управления проектами, распространяемых по модели SaaS / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 34–51.
2. Бурков В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – Москва : Синтег, 1999. – 128 с.
3. Мыльников Л. А. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы) / Л. А. Мыльников, Б. Краузе, М. Кютц, К. Баде, И. А. Шмидт. – Москва : БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. – 334 с.
4. Мыльников Л. А. Использование динамических предиктивных моделей для управления техническими системами с инертностью / Л. А. Мыльников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 26. – С. 77–91.
5. Мыльников Л. А. Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов / Л. А. Мыльников, Р. Х. Алкдиру // Управление большими системами. – 2009. – № 27. – С. 293–307.
6. Мыльников Л. А. Использование нечетких чисел в динамических предиктивных моделях для решения задач управления производственными системами / Л. А. Мыльников, М. В. Садахматов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – № 1. – С. 562–565.
7. Мыльников Л. А. Способ выбора метода прогнозирования и горизонта планирования параметров с использованием оценки риска / Л. А. Мыльников, А. Б. Селедкова // Информационные технологии. – 2018. – № 2 (24). – С. 97–103.
8. Новиков Д. А. Комплексные модели системной оптимизации производственно-экономической деятельности предприятия / Д. А. Новиков // Управление большими системами : сборник трудов. – 2017. – № 65. – С. 118–152.
9. Туккель И. Л. Управление инновационными проектами / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
10. Al-Fawzan M. A. A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling / M. A. Al-Fawzan, M. Haouari // International Journal of Production Economics. – 2005. – № 2 (96). – P. 175–187.
11. Behzadian M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications / M. Behzadian [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2010. – № 1 (200). – P. 198–215.
12. Booch G. Object-oriented analysis and design with applications / G. Booch. – 2nd ed. – Redwood City, Calif : Benjamin/Cummings Publ. Co, 1994. – 589 p.
13. Buchmann J. Valuing the innovation potentials of firms: what theory suggests, practitioners do, and both implies for existing theory / J. Buchmann. – Wiesbaden : Springer Gabler, 2015. – 239 p.
14. Cleveland R. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess / R. Cleveland [et al.] // Journal of Official Statistics. – 1990. – № 1 (6). – P. 3–33.
15. Esposito F. P. Multiple Hypothesis Testing of Market Risk Forecasting Models: MHT of Market Risk Forecasting Models / F. P. Esposito, M. Cummins // Journal of Forecasting. – 2016. – № 5 (35). – P. 381–399.
16. Faizrahmanov R. A. The foundations of modeling management processes for innovation projects in production-economics systems / R. A. Faizrahmanov, L. A. Mylnikov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2016. – № 3 (50). – P. 84–90.
17. Gault F. The Prevalence of User Innovation and free Innovation Transfers / F. Gault, E. von Hippel // Implications for Statistical Indicators and Innovation Policy. MIT Sloan School of Management Working Paper #4722-09. – 2009.

18. Golichenko O. G. The National Innovation System: From Concept to Research Methodology / O. G. Golichenko // Problems of Economic Transition. – 2016. – № 5 (58). – P. 463–481.
19. Kaschny M. Innovationsmanagement im Mittelstand: Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele / M. Kaschny, M. Nolden, S. Schreuder. – Wiesbaden : Springer Gabler, 2015. – 419 p.
20. Markowitz H. Portfolio Selection / H. Markowitz // The Journal of Finance. – 1952. – № 1 (7). – P. 77–91.
21. Mezhev S. Specifics of Project Management in Industrial Innovation / S. Mezhev, L. Mylnikov // Proceedings of International Conference on Applied Innovations in IT. – 2018. – № 1 (6). – P. 103–108.
22. Mia L. Manufacturing strategy and organisational performance: The role of competition and MAS information / L. Mia, L. Winata // Journal of Accounting & Organizational Change. – 2014. – № 1 (10). – P. 83–115.
23. Mylnikov L. Production planning with parameters on the basis of dynamic predictive models: Interconnection and the inertness of their interaction / L. Mylnikov, R. Fayzrakhmanov // European Research Studies Journal. – № 2 (21). – P. 256–281.
24. Mylnikov L. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor / L. Mylnikov, M. Kuetz // European Research Studies Journal. – 2017. – № 3 (20). – P. 291–310.
25. Mylnikov L. The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release Planning in Discrete Production Systems / L. Mylnikov, D. Vershinin, D. Fatkhullin. – 2018. – P. 67–75.
26. Mylnikov L. A. The selection of optimal control of the operation modes of heterogeneous duplicating equipment based on statistical models with learning / L. A. Mylnikov, M. V. Kulikov, B. Krause // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 9 (9). – P. 1516–1526.
27. Neumann J. von, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior / J. von Neumann, O. Morgenstern. – 60th anniversary ed. – Princeton, N.J. ; Woodstock : Princeton University Press, 2007. – 739 p.
28. Peppal L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model / L. Peppal // Economica. – 1997. – № 254 (64). – C. 265–279.
29. Porter M. E. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance: with a new introduction / M. E. Porter. – 1st Free Press ed. – New York : Free Press, 1998. – 557 p.
30. Ritter T. Network competence / T. Ritter, H. G. Gemünden // Journal of Business Research. – 2003. – № 9 (56). – P. 745–755.
31. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation / T. L. Saaty. – New York ; London : McGraw-Hill International Book Co, 1980. – 287 p.
32. Saracoglu B. O. An Experimental Research Study on the Solution of a Private Small Hydropower Plant Investments Selection Problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting / B. O. Saracoglu // Advances in Decision Sciences. – 2015. – P. 1–20.
33. Schumpeter J. A. Capitalism, socialism and democracy / J. A. Schumpeter, R. Swedberg. – Transferred to digital print-e, edition. – London : Routledge, 2005. – 437 p.
34. Taha H. A. Operations research: an introduction / H. A. Taha. – 7th ed-e, edition Upper Saddle River. – N.J. : Prentice Hall, 2003. – 830 p.
35. Tirole J. The theory of industrial organization / J. Tirole. – Cambridge, Mass : MIT Press, 1988. – 479 p.
36. Tversky A. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty / A. Tversky, D. Kahneman // Journal of Risk and Uncertainty. – 1992. – № 5(4). – P. 297–323.
37. Mainstream objects: an analysis and design approach for business / ed. by E. Yourdon. – Upper Saddle River. – NJ : Yourdon Press, Prentice Hall Building, 1995. – 331 p.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Dudikov I. A. Sravnitelnyy analiz funktsionalnosti programmnykh sredstv upravleniya proektami, rasprostranjeniya po modeli SaaS [The comparative analysis of opportunities project management system distributed by SaaS model]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 4, pp. 34–51.
2. Burkov V. N., Novikov D. A. *Teoriya aktivnykh sistem: sostoyaniye i perspektivy* [Active systems theory: state and prospects]. Moscow, Sinerg, 1999.
3. Mylnikov L. A., Krause B., Kuetz M., Bade K., Shmidt I. A. (2017). *Intellektualnyy analiz dannykh v upravlenii proizvodstvennyimi sistemami (podhody i metody)* [Intelligent data analysis in production system management (approaches and methods)]. Moscow, BIBLIO-GLOBUS, 2017. 334 P.
4. Mylnikov L. A., Gergel N. A., Kychkin A. V., Krause B. Ispolzovanie dinamicheskikh prediktivnykh modeley dlya upravleniya tekhnicheskimi sistemami s inertnostyu [Use of dynamic predictive models to control inert technical systems]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technologies, Control Systems], 2018, no. 26, pp. 77–91.
5. Mylnikov L. A., Alkdirow R. H. Podkhod k prognozirovaniyu razvitiya i upravleniya zhiznennym tsiklom investitsionnykh proektov [Approach to predicting the development and life cycle management of investment projects]. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Large System Management], 2009, no. 27, pp. 293–307.
6. Mylnikov L. A., Sadiakhmatov M. V. Ispolzovanie nechetkikh chisel v dinamicheskikh prediktivnykh modelyakh dlya resheniya zadach upravleniya proizvodstvennyimi sistemami [Use of fuzzy numbers of dynamic predictive models to solve production system control problems]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam* [International Conference on Soft Computing and Measurement], 2018, no. 1, pp. 562–565.

7. Mylnikov L. A., Seledkova A. B. Sposob vybora metoda prognozirovaniya i gorizonta planirovaniya parametrov s ispolzovaniem otsenki riska [Method of choice of forecasting method and parameter planning horizon using risk assessment]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2018, no. 24 (2), pp. 97–103.
8. Novikov D. A. Kompleksnye modeli sistemnoy optimizatsii proizvodstvenno-ekonomicheskoy deyatel'nosti predpriyatiya [Complex models of system optimization of production and economic activity of the enterprise]. *Upravlenie bolshimi sistemami : sbornik trudov* [Large System Management : Proceedings], 2017, no. 65, pp. 118–152.
9. Tukkel I. L., Surina A. V., Kultin N. B. *Upravlenie innovatsionnymi proektami* [Innovation project management]. St Petersburg, BHV-Peterburg, 2011.
10. Al-Fawzan M. A., Haouari M. A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling. *International Journal of Production Economics*, 2005, no. 96 (2), pp. 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.04.002>
11. Behzadian M., Kazemzadeh R. B., Albadvi A., Aghdasi M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 2010, no. 1 (200), pp. 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
12. Booch G. *Object-oriented analysis and design with applications*. 2nd ed. Redwood City, Calif, Benjamin/Cummings Publ. Co., 1994.
13. Buchmann J. *Valuing the innovation potentials of firms: what theory suggests, practitioners do, and both implies for existing theory*. Wiesbaden, Springer Gabler, 2015.
14. Cleveland R., Cleveland W., McRae J., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*, 1990, no. 1 (6), pp. 3–33.
15. Esposito F. P., Cummins, M. Multiple Hypothesis Testing of Market Risk Forecasting Models: MHT of Market Risk Forecasting Models. *Journal of Forecasting*, 2016, 35(5), pp. 381–399. <https://doi.org/10.1002/for.2381>
16. Faizrahmanov R. A., Mylnikov L. A. The foundations of modeling management processes for innovation projects in production-economics systems. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2016, no. 50 (3), pp. 84–90. <https://doi.org/10.3103/S000510551603002X>
17. Gault F., von Hippel E. The Prevalence of User Innovation and free Innovation Transfers. *Implications for Statistical Indicators and Innovation Policy*. MIT Sloan School of Management Working Paper #4722-09, 2009.
18. Golichenko O. G. The National Innovation System: From Concept to Research Methodology. *Problems of Economic Transition*, 2016, no. 58 (5), pp. 463–481. <https://doi.org/10.1080/10611991.2016.1225452>
19. Kaschny M., Nolden M., Schreuder S. *Innovationsmanagement im Mittelstand: Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele*. Wiesbaden, Springer Gabler, 2015.
20. Markowitz H. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 1952, no. 7 (1), p. 77. <https://doi.org/10.2307/2975974>
21. Mezhov S., Mylnikov L. Specifics of Project Management in Industrial Innovation. *Proceedings of International Conference on Applied Innovations in IT*, 2018, no. 6 (1), pp. 103–108. <https://doi.org/10.13142/kt10006.32>
22. Mia L., Winata L. Manufacturing strategy and organisational performance: The role of competition and MAS information. *Journal of Accounting & Organizational Change*, 2014, no. 10 (1), pp. 83–115. <https://doi.org/10.1108/JAOC-10-2011-0048>
23. Mylnikov L., Fayzrahmanov R. Production planning with parameters on the basis of dynamic predictive models: Interconnection and the inertness of their interaction. *European Research Studies Journal*, no. 21 (2), pp. 256–281.
24. Mylnikov L., Kuetz M. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor. *European Research Studies Journal*, 2017, no. 20 (3), pp. 291–310.
25. Mylnikov L., Vershinin D., Fatkhullin D. *The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release Planning in Discrete Production Systems*, 2018. <https://doi.org/10.13142/kt10006.27>
26. Mylnikov L. A., Kulikov M. V., Krause B. The selection of optimal control of the operation modes of heterogeneous duplicating equipment based on statistical models with learning. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, no. 9 (9), pp. 1516–1526.
27. Neumann J. von, Morgenstern, O. *Theory of games and economic behavior*. 60th anniversary ed. Princeton, N.J. ; Woodstock, Princeton University Press, 2007.
28. Peppal, L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model. *Economica*, 1997, no. 64 (254), pp. 265–279. <https://doi.org/10.1111/1468-0335.00077>
29. Porter M. E. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance: with a new introduction*. New York, Free Press, 1998, p. 557.
30. Ritter T., Gemünden H. G. Network competence. *Journal of Business Research*, 2003, no. 56 (9), pp. 745–755. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(01\)00259-4](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(01)00259-4)
31. Saaty T. L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York ; London, McGraw-Hill International Book Co., 1980.
32. Saracoglu B. O. An Experimental Research Study on the Solution of a Private Small Hydropower Plant Investments Selection Problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting. *Advances in Decision Sciences*, 2015, no. 1–20. <https://doi.org/10.1155/2015/548460>
33. Schumpeter J. A., & Swedberg R. *Capitalism, socialism and democracy* (Transferred to digital print). London, Routledge, 2005.
34. Taha H. A. *Operations research: an introduction*. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 2003. 830 p.
35. Tirole J. *The theory of industrial organization*. Cambridge, Mass, MIT Press, 1988.
36. Tversky A., Kahneman D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, no. 5(4), pp. 297–323.
37. Yourdon E. (ed.) *Mainstream objects: an analysis and design approach for business*. Upper Saddle River, NJ, Yourdon Press, Prentice Hall Building, 1995.