УДК 658.5

DOI: http://doi.org/10.25728/pu.2020.6.4

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТОКА НОВЫХ ПРОЕКТОВ

Л.А. Мыльников

Аннотация. В условиях постоянного появления новой инновационной продукции возникает необходимость осуществления более эффективного планирования и управления деятельностью производственных систем с помощью повышения уровня формализации при описании процессов, связанных с формированием производственного портфеля производственной системы. Цель статьи заключается в решении задачи объемно-календарного планирования и определении требований к потоку и проектам, которые позволяют производственной системе эффективно функционировать в условиях неопределенности внешней среды. Применены методы имитационного моделирования, системного анализа, статистической обработки полученных результатов с целью их обобщения и машинного обучения для поиска и классификации проектов и траекторий возможного развития производственных систем. В результате исследования получена модель, которая позволяет эмпирическим путем определить проекты и траектории развития производственных систем при заданных характеристиках проектов, которые приведут к эффективному функционированию систем на основе использования исторических данных о реализованных проектах для учета специфики рассматриваемой системы. Сформулирован ряд утверждений, позволяющих конкретизировать рассмотренную в статье задачу и обозначить границы применимости описанного подхода. Полученные знания о потоке проектов и самих проектах позволят сформулировать требования к проектам и деятельности, связанной с поиском и разработкой новых продуктов. Наибольшая ценность описанного исследования заключается в том, что полученные результаты показывают снижение значимости экспертных оценок при выборе проектов и определении целевых показателей, а также возможность перехода к формальным методам, что приводит к повышению объективности получаемых оценок.

Ключевые слова: производственная система, инновационный проект, поток проектов, модель, моделирование, объемно-календарное планирование, экономическая эффективность, поток Пуассона.

ВВЕДЕНИЕ

Выпуск инновационной продукции представляет собой механизм, способствующий быстрому развитию предприятия. При этом неудачное внедрение инновационных проектов может привести к разорению при неэффективной организации производства. Это связано с тем, что рынок, на котором работают современные производственные системы, особенно ориентированные на выпуск инновационной продукции, — чрезвычайно динамичный. Поэтому производство такой продукции требует синхронизации выбора выпускаемой продукции с динамикой изменения потребительского спроса, предъявляет повышенные требования к скорости принятия решений и их качеству. К тому же, инновационная продукция, как правило, обладает более коротким жизненным циклом, бо́льшим числом модификаций (можно наблюдать переход к мелкосерийному или штучному производству под нужды заказчика), большей наукоемкостью и конструктивной сложностью, требует большего количества средств для организации производства и повышенной организационной и технологической гибкости производственных систем. В связи с этим эффективность управления и ошибки, связанные с управлением и планированием в таких производственных системах, обретают эффект, непосредственно влияющий на их жизнеспособность.

Можно выделить три фактора, которые оказывают непосредственное влияние на эффективность производственной системы: множество проектов, из которого формируется портфель проектов, реализуемых производственной системой; синхронизацию объема выпуска с потоком заказов; оптимизацию процесса организации производства в соответствии с потребностями рынка с учетом особенностей выпускаемого портфеля продуктов. В таких условиях применение эффективных интеллектуальных методик принятия решений и управления становится необходимостью, особенно если предприятия-конкуренты уже пользуются такими методами.

Если рассматривать в качестве внешней среды множество рынков и проектов, возникает необходимость учета высокого уровня вариативности и динамики протекающих процессов вкупе с инертностью производственных систем, что накладывает ограничения на применимость методов, на которых могут базироваться теории и концепции управления производственными системами [1]. Например, применение таких подходов, как управление по фактическим данным, рефлексивное управление, целевое управление без учета динамики изменения среды, в которой функционирует производственная система, приводит к задержкам в реализации решений и проявляется в ошибках управления, которые, в свою очередь, приводят к несогласованности действий подсистем, и нарушениях производственных циклов во времени.

Принципы управления, которыми руководствуются лица, принимающие решения, могут базироваться на разных стратегиях поведения. При взаимодействии производственных систем с рынком и инновационными проектами они могут искать оптимальные для себя стратегии, исходя из сложившейся или складывающейся (по прогнозным оценкам) ситуации, а могут заниматься выработкой воздействий на внешнее окружение, которые приведут к желаемому для конкретной производственной системы состоянию.

Вопросам, связанным с эффективной реализацией инновационных проектов, процессам повышения эффективности производственных систем (ПрС) с помощью внедрения новых проектов, посвящено большое число работ, в которых авторы учитывают различные аспекты управления, особенности организации ПрС, а также среды, в которой они функционируют. Различия подходов и методов связаны с уровнем формализации набором факторов и аспектов, которые они учитывают [2]. Большинство работ, связанных с управлением инновационными проектами и ПрС, рассматривают единичные проекты или группы проектов, а также динамику функционирования систем при их реализации. Очевидно, что внедрение единичных проектов и рассмотрение групп проектов окажет эффект, ограниченный во времени. Для стабильной работы предприятия необходим непрерывный поток новых проектов. Для прогнозной оценки числа новых проектов и спроса на отдельные проекты применяются различные теоретические и эмпирические методы оценки и моделирования систем [3]: трендовые модели и прогнозирование значений числа новых проектов [4], объемов продаж и цены; методы популяционной динамики, получившие развитие на основе метода системной динамики [5] и дискретно-событийного моделирования; теория игр и игровых подходов в принятии решений [6]; подходы на основе диффузных явлений [7]; модели системного анализа в динамической постановке на основе данных прогнозирования, экономические модели.

Применение этих подходов ориентировано на поиск управленческих решений для того, чтобы выработать наилучшее для ПрС решение в предсказываемых условиях в рамках информационного управления ПрС. Развитием приведенных подходов служит выработка решений с учетом неопределенности динамики внешней среды. В практике управления проектами и ПрС, внедряющими инновационные проекты, для оценки неопределенности применяют оценки риска [8], которые получают на основе дисперсии, вероятностных оценок, экспертных оценок, ранжирования возможных решений и матрицы рисков, на основе имитационного моделирования и метода Монте-Карло.

Для эффективной работы ПрС в течение длительного времени возникает задача управления портфелем проектов [9] и определения параметров потока проектов, при котором обновление производственного портфеля будет на достаточном для эффективной работы ПрС уровне, и не будет вызывать ее перегрузки.

Определение требований к потоку проектов позволит сформулировать стратегию поведения ПрС при поиске и разработке новых проектов с учетом особенностей каждой ПрС. Такое исследование позволяет установить связь между методами экономико-математического моделирования, рассматривающего обобщенные характеристики, и методами управления и планирования, ориентированными на организацию производственной деятельности, с учетом особенностей и предпочтений ПрС в рамках кибернетического подхода [10].

Принятие решения всегда связано с выбором и обоснованием выбора решения. Большую группу составляют методы, позволяющие ранжировать возможные варианты. Среди них наиболее широкое распространение при управлении ПрС получили: теория портфелей [11], теория ожидаемой

полезности [12] и теория перспектив [13], методы анализа иерархий и анализа сетей [14, 15], множество методов работы с мультикритериальными задачами — VIKOR, TOPSIS [16], ELECTRE [17], PROMETHEE [18], методы сценариев [19].

В настоящее время при управлении ПрС недостаточно рассматривать только набор состояний и переходы между ними. Необходимо рассматривать последовательности состояний согласно принципу оптимальности Беллмана, что требует применения методов эвристического поиска для достижения поставленной лицом, принимающим решение, цели.

Современные исследования показывают, что процесс поддержки принятия управленческих решений не сводится к поиску оптимальных или хороших решений, а является итерационным процессом, который сам требует формализации процессов обоснования выбора того или иного решения во времени в связи с тем, что движение к целевым показателям представляет собой не одношаговый процесс, а траекторию взаимозависимых состояний. Целевые показатели изменяются во времени и могут представлять собой множество величин, связанных различными типами отношений [20], особенно это касается проектов, которые реализуются в конкурентной рыночной среде и имеют приоритет (проекты, необходимые для существования ПрС и влияющие на скорость их развития) [21]. В результате, процесс управления проектами в производственных системах рассматривается как процесс пересмотра и обновления списка реализуемых проектов и ресурсов, выделяемых на их реализацию [22], а задача управления проектами в производственных системах становится связанной с задачей управления производительностью и эффективностью производственной системы. Цель при этом становится переменной величиной, так как в процессе движения к ней меняются условия, в которых функционирует система и приоритеты лиц, принимающих решение. Кроме того, могут наступать события, которые не были предусмотрены при планировании. Учесть эти особенности в рамках таких известных подходов к управлению, как проектное управление, программно-целевое управление и планирование, ресурсно-целевое управление, информационное и рефлексивное управление, предиктивное управление, адаптивное управление, ситуативное управление можно, только если производить планирование на коротком интервале времени. Однако при рассмотрении процесса управления в динамике как непрерывного процесса необходимо говорить о программно-ситуативном управлении.

Исходя из сказанного, процесс управления и планирования производственной системой имеет смысл рассматривать в рамках процессного подхода, который, по мнению современных ученых, характеризуется ограниченным набором действий, перечнем возможных начальных условий и результатов. К хорошо изученным процессам можно отнести: процессы, протекающие в производственных системах, продолжающиеся длительное время и не имеющие жестко определенного описания и конечного результата; хорошо формализованные и автоматизированные производственные процессы; продолжающиеся процессы управления и бизнес-процессы.

В отличие от процессов, реализацию проектов в производственных системах рассматривают, как правило, как разовую инициативу, которая затрагивает множество подсистем производственной системы и фокусируется на специфических целях (срочных, междисциплинарных, критических или особо важных), которые не могут быть достигнуты в сложившейся управленческой структуре и требуют специального контроля, что делает каждый проект уникальным. Однако при рассмотрении процессов управления внедрение и управление новыми инновационными проектами и портфелем проектов в целом можно формализовать до уровня процессного подхода, имеющего обозначенную лицом, принимающим решение, цель.

1. МЕТОДОЛОГИЯ

Для постановки задачи моделирования и исследования влияния параметров потока проектов на деятельность ПрС введем переменные: β — поток проектов; w — проект; i — шаг расчета/планирования/время изменения плана производства; $W^{(i)}$ — производственная корзина на i-м шаге; α_w — спрос на товар w; $\tau_{w^{(i)}}$ — время, необходимое для внесения изменений в работу ПрС при изменении производственного плана, связанного с внедрением/снятием/изменением объема выпуска товара w на шаге i; t_w — время жизни проекта w и сформулируем

Предположение 1. *Для каждой ПрС существует такое значение величины потока проектов* β*, а также характеристики проектов и системы* $\tau_{w^{(i)}}$, t_w *и рынка* α_w, $\forall w \in W^{(i)}$*, при которых система перестанет быть экономически эффективной и перестанет обрабатывать все проекты, поступающие на ее вход. Тогда* ***существует*** *такое* β*, при котором для заданных характеристик проектов и системы* $\tau_{w^{(i)}}$ *и* $t_{w^{(i)}}$, $\forall w \in W^{(i)}$*, система остается экономически эффективной (ее чистый дисконтированный доход* $NPV > 0$).

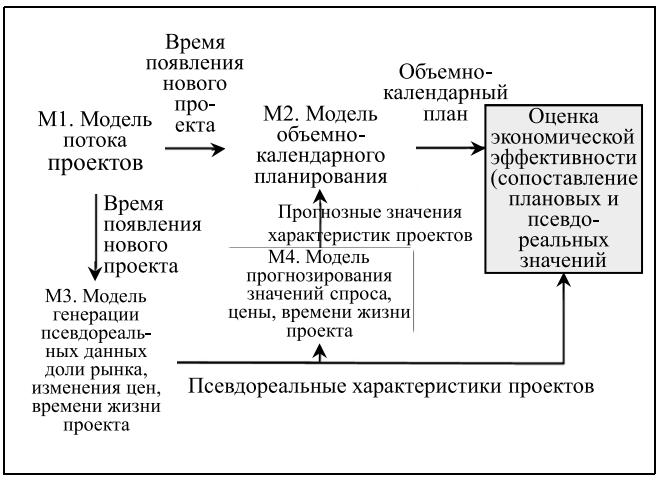

Рис. 1. Структура модели

Это предположение выступает обобщением таких явлений, как экономическая несостоятельность ПрС при отсутствии проектов и инновационный регресс при чрезмерном числе внедряемых новых проектов.

Для проверки предположения построим модель, структура которой приведена на рис. 1. На данный момент нет информации о том, каким случайным процессом должна описываться модель М1. Можно предположить, что в зависимости от предметной области описания могут быть различными. При планировании деятельности ПрС обычно выделяют различные уровни планирования в зависимости от временн*ы*х горизонтов: оперативное (обычно 7—10 дней), тактическое (месяц или квартал), стратегическое (год и более). При решении задач оперативного и тактического планирования важной характеристикой представляется число новых проектов, рассматриваемых в эти интервалы времени, а не моменты времени, в которые они появляются. Эти диапазоны времени выступают как накопители в системах массового обслуживания (СМО). Тогда для функционирования ПрС наиболее важной характеристикой становится частота появления новых проектов. Жизненный цикл ПрС описывается инновационными кривыми. Однако у крупных ПрС он сильно растянут во времени и на этапе зрелости представляет собой линию с некоторыми колебаниями, сгладить и исключить переход к спаду которых стремится управленческий персонал с помощью повышения эффективности ПрС; при этом время появления новых проектов — случайная величина, которая выступает в качестве характеристики потока проектов β. Поэтому для исследования характеристик потока проектов будем рассматривать поток Пуассона. Данные об объеме спроса, сопоставляемые каждому проекту, как известно, описываются S-образной или инновационной кривыми [23], а отклонения подчиняются нормальному закону распределения (в некоторых особых случаях описываются несимметричными вариантами нормального закона) [24]. Данные о цене и времени жизни могут быть сгенерированы на основе нормального закона распределения с заданным средним значением, которое соответствует типовым значениям для выпускаемых групп товаров рассматриваемой ПрС. В качестве прогнозных значений (М4) будем рассматривать базовые значения, используемые для генерации отклонений в модели М3. Такой подход позволяет избавиться от ошибок, связанных с прогнозированием, и тем самым повысить точность эксперимента для проверки предположения 1.

Модель объемно-календарного планирования (М2) в простейшей постановке без учета ограничений потребности материалов может быть описана так:

$$\sum_{i=0}^{\Gamma}\left(\sum_{w=1}^{w^{(i)}}\left(C_w^{(i+1)}x_w^{(i+1)} - \mathbb{I}_w^{(i+1)}\right) - \right.$$

$$\left. - \sum_{w_1=1}^{w^{(i)}}\sum_{w_2=1}^{w^{(i)}}\left(m_{w_1,w_2}\theta(x_{w_1}^{(i)},\ x_{w_2}^{(i+1)})\right)\right) - P^{(i)} \to \max,$$

$$0 \le x_w^{(i+1)} \le \alpha_w^{(i+1)}, \quad \forall w,$$

$$\sum_{w=1}^{W^{(i)}} u_w x_w^{(i)} \le U^{(i)},$$

где $x_w^{(i+1)}$ — объем выпуска товара w на шаге i; $P^{(i)}$ — величина постоянных затрат, приходящихся на период времени, соответствующий шагу i; u_w — потребность производственного ресурса на единицу товара w; U — объем производственного ресурса в рассматриваемой ПрС; $C_w^{(i)}$ — стоимость товара w на шаге i; $\mathbb{I}_w^{(i)}$ — объем производственных затрат, необходимых для организации выпуска товара w на i-м шаге; Г — горизонт планирования (соответствует числу шагов работы модели); m_{w_1,w_2} — объем затрат, необходимый для переориентации производства с одного вида товара w_1 на другой w_2; $\theta\left(x_{w_1}^{(i)},\ x_{w_2}^{(i+1)}\right)$ — булева функция, которая принимает значения согласно условию:

$$\theta\left(x_{w_1}^{(i)},\ x_{w_2}^{(i)}\right) = \begin{cases} 1, \left(\left(x_{w_1}^{(i)} = 0\right) \wedge \left(x_{w_2}^{(i+1)} > 0\right)\right), \\ 0, \text{ в остальных случаях.} \end{cases}$$

Для простоты будем считать, что:

— каждый шаг расчета i соответствует периоду времени, равному $\max(\tau_{w^{(i)}}, \forall w \in W^{(i)}$, которое включает, при необходимости, время на переналадку оборудования (в результате шаг расчета i в реальности соответствует разным интервалам времени);

— все новые проекты сразу попадают в производственную корзину ПрС и исключаются из нее через время t_w.

Такие параметры, как β, α_w вносят неопределенность. Если влияние потока проектов β мы будем исследовать путем многократного моделирования, то такие параметры, как α_w, C_w и t_w мы определяем на основе прогнозирования и пользуемся для этого данными статистики. Строя функции для интервалов времени, для которых известна статистика, можно определить, каким законом распределения будут описываться отклонения (при постановке рассматриваемой в статье задачи мы пользовались нормальным распределением) и тогда перевести на основе этих распределений прогнозы в нечеткую форму. Для нечетких функций, заданных трапециевидными функциями принадлежности, известны методы решения оптимизационных задач [25]. Перевод в трапециевидную форму осуществим, если принять за бо́льшие границы значения $\pm 2\sigma$, а меньшие границы $\pm\sigma$, где σ — доверительный интервал (в нашем случае для критерия Пирсона). Это позволит оценить диапазоны возможных отклонений при решении задачи объемно-календарного планирования.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ОБЪЕМНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Результатом моделирования будет множество моментов времени появления новых проектов, их характеристик, а также объемно-календарный план производства. Если считать, что в начальном положении система не имеет проектов в производственной корзине, то значение критерия на каждом шаге расчета будет представлено функцией принадлежности, тогда изменение значение критерия можно увидеть на рис. 2. Моменты появления новых проектов отмечены черными точками, реальные значения критерия иллюстрирует черная сплошная кривая. Как видно из иллюстрации, возможный диапазон может уходить в отрицательные значения. Тогда задача сводится к поиску таких характеристик, при которых ПрС окажется экономически эффективной. В качестве таких характеристик выступают вероятность появления нового проекта (непосредственно влияет на частоту появления новых проектов), средняя цена, время жизни проектов и их доверительные интервалы.

Получаем комбинаторную задачу, в которой параметры цены и времени жизни можно принять, исходя из характеристик реализуемых проектов, а доверительные интервалы — на основе статистики реализуемых ПрС проектов. Таким образом, проверку гипотезы о наличии граничных значений проверим только при изменении вероятности появления проектов. При этом, так как процесс носит вероятностный характер, требуется множественное

Таблица 1

Значения, полученные после 100 повторений моделирования на интервале в 1000 шагов

Вероятность появления проекта	Число проектов	Число внедрений	Число повторных запусков	Прибыль (у. е.)
0,01	8,9 дисперсия 0,42	8,8 дисперсия 0,43	5,58 дисперсия 11,72	−17 511 484,25 дисперсия 748 139,05
0,02	20,34 дисперсия 0,095	20,03 дисперсия 0,067	27,27 дисперсия 10,667	17 143 805,35 дисперсия 1 097 300,039
0,05	49,44 дисперсия 0,777	47,06 дисперсия 0,595	96,8 дисперсия 4,354	86 844 718,98 дисперсия 2 314 833,277
0,1	94,89 дисперсия 0,984	80,9 дисперсия 1,249	195,92 дисперсия 1,4067	157 103 519,81 дисперсия 436 698,49
0,2	182,17 дисперсия 2,175	115,51 дисперсия 2,170	294,42 дисперсия 3,521	232 092 926,03 дисперсия 948 859,189
0,3	258,35 дисперсия 2,570	126,19 дисперсия 0,038	342,82 дисперсия 1,641	278 637 237,250 дисперсия 1 173 966,081
0,4	329,26 дисперсия 3,906	132,37 дисперсия 1,260	386,57 дисперсия 3,750	312 672 823,45 дисперсия 6 996 049,981
0,6	451,79 дисперсия 3,50	141,65 дисперсия 2,35	461,32 дисперсия 5,558	35 0205 995,63 дисперсия 4 933 983,117
0,9	592,22 дисперсия 5,675	147,31 дисперсия 2,124	575,55 дисперсия 4,980	380 804 571,34 дисперсия 8 234 122,756

моделирование (применение метода Монте-Карло). Число экспериментов при этом будем определять, опираясь на центральную предельную теорему [26], из которой следует, что среднее случайных величин есть величина неслучайная (табл. 1).

Из приведенных расчетов видно, что эффективность системы зависит от числа проектов и частоты их появления. При этом можно наблюдать, с одной стороны, ситуацию недостатка проектов, когда система показывает отрицательную эффек-

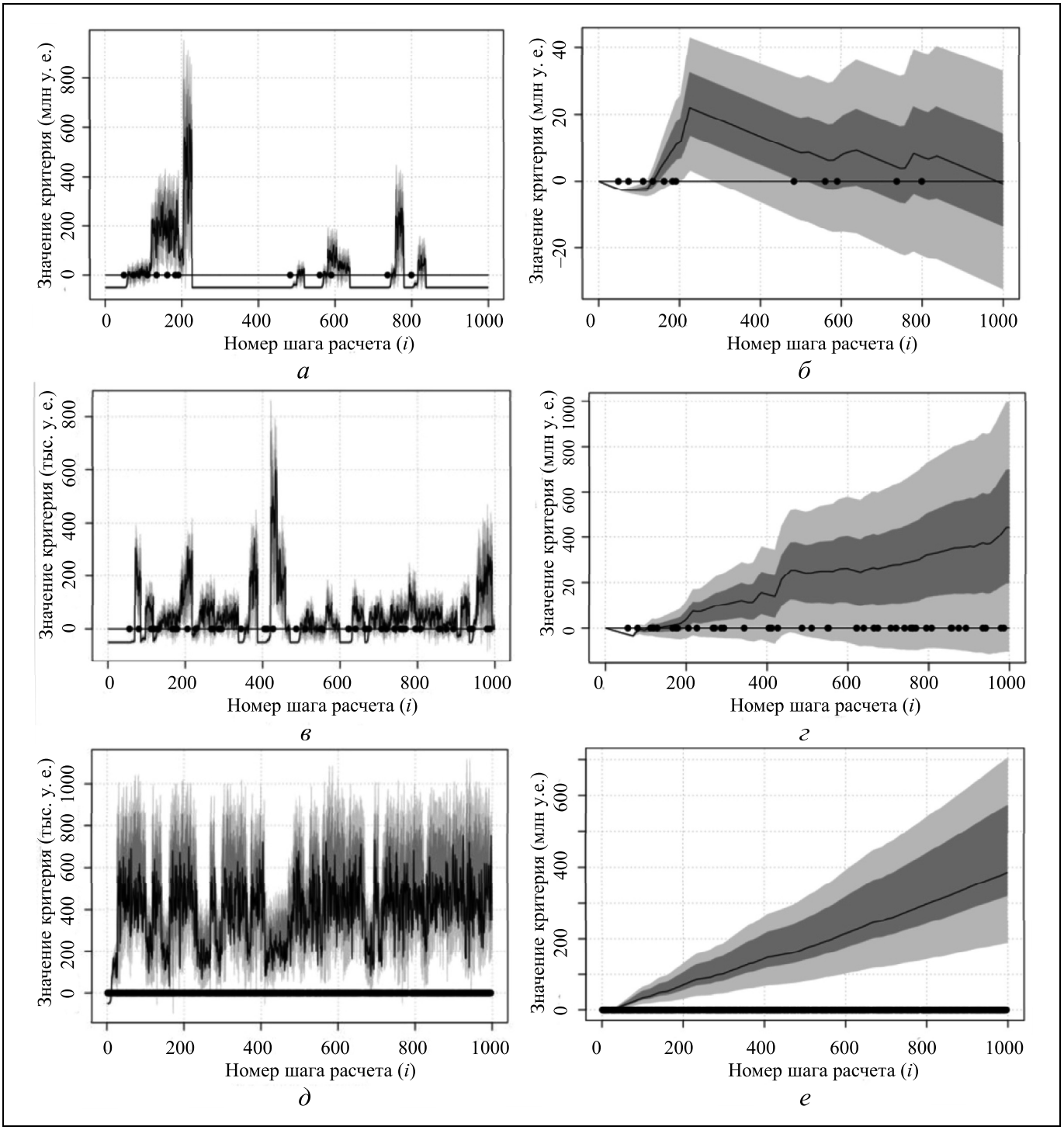

Рис. 2. Примеры решения задачи объемно-календарного планирования: моментальные значения критерия (*а*, *в*, *д*), значения критерия накопительным итогом (*б*, *г*, *е*); для значения вероятности появления проекта, равному 0,01 (*а*, *б*), 0,05 (*в, г*), 0,9 (*д*, *е*)

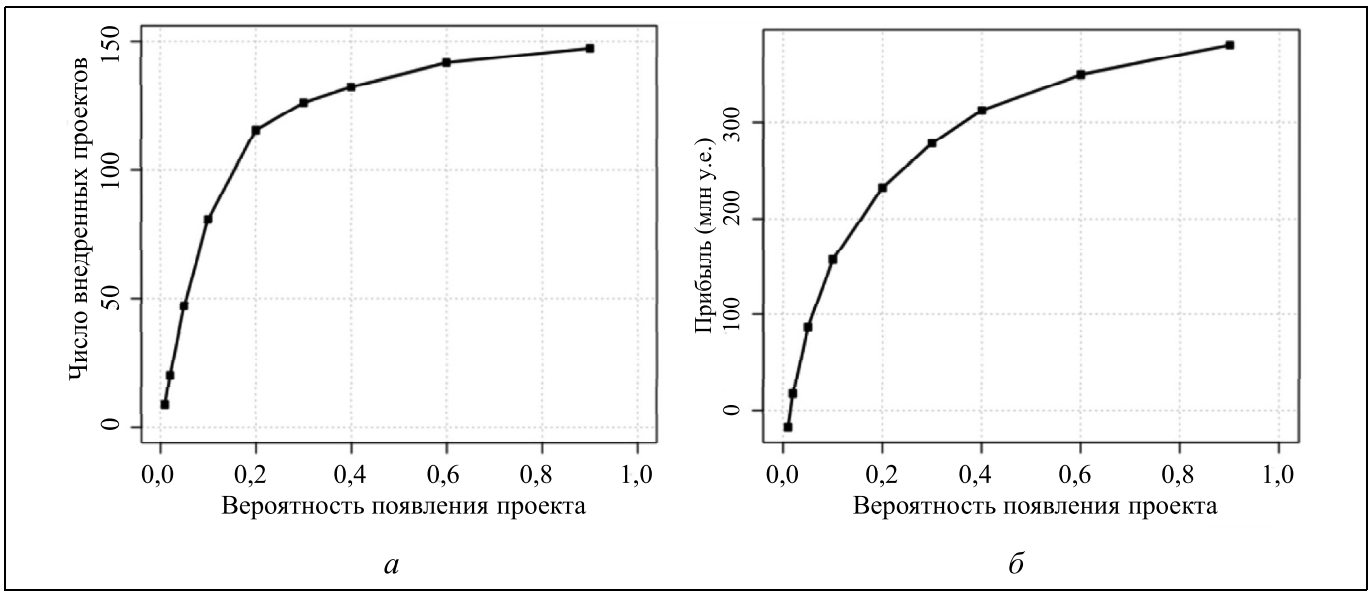

Рис. 3. Характеристические кривые рассматриваемой системы: зависимость числа внедренных проектов от вероятности их появления (*а*) и зависимость объема прибыли от вероятности появления проектов (*б*)

тивность (ситуация для вероятности появления проектов, равной 0,01 на рис. 2 и в табл. 1), а с другой стороны — ситуацию, связанную с насыщением проектами, когда большая часть проектов не внедряется и рост числа проектов не приводит к росту экономической эффективности (ситуация для вероятности появления проектов, равной 0,2 на рис. 2 и в табл. 1).

При этом каждая ПрС имеет некоторые предельные значения (значения, к которым она асимптотически приближается) числа проектов, которые она может внедрить, и объем средств, которые она сможет заработать при реализации этих проектов (соответствующие характеристические кривые для рассматриваемой системы изображены на рис. 3).

Решая сформулированную задачу в моменты времени, когда в системе происходят изменения (принцип особых состояний), получим нечеткую функцию от времени, заданную таблично. Использование нечетких чисел приводит к тому, что критерий и ограничения переходят в нечеткую форму и могут в некоторых случаях нарушаться. Это будет сигнализировать о необходимых изменениях ПрС.

Согласно теореме Байеса, вероятность успешного перехода в новое состояние будет зависеть от предыдущего состояния (состояния, в котором находится объект/система управления). Поэтому при реализации полученного плана необходимо проводить мониторинг реакции системы. В этом случае можно будет идентифицировать отклонения и осуществить корректирующие действия. В качестве отклонений можно рассматривать недостаточную или чрезмерную частоту появления новых проектов.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматриваемый в статье подход имеет широкое применение в СМО, им традиционно пользуются при моделировании материальных потоков ПрС. Он подходит для случаев, когда ПрС работает на медленно меняющихся рынках, выпускает продукцию с длинным жизненным циклом, невысокой долей инновационной составляющей.

Тенденции, наблюдающиеся на рынках продукции и ПрС, связаны с тем, что оборудование становится все более универсальным, продукция более технологичной, ее время жизни сокращается, стоимость и объем средств для организации внедрения увеличиваются. Это приводит к увеличению рисков, связанных с реализацией каждого отдельного проекта. При этом сам факт вывода нового проекта на рынок не является целью, так как при постоянном необоснованном внедрении инновационных проектов может возникать такое явление, как инновационный регресс. Отсутствие необходимости обязательного внедрения новых проектов подтверждается и насыщением ПрС проектами, показанным в результате моделирования. Однако функционирование ПрС в таких условиях не должно быть зависимым только от удачи. В условиях, когда сам проект становится товаром для ПрС, определение параметров, связанных с этими товарами и их количеством, становится необходимым условием успешного развития ПрС. Уже появились организации, ориентированные на проектную работу [27]. Может показаться, что решение

задачи объемно-календарного планирования устраняет проблему выбора проектов. Однако такой подход только смещает риски из области планирования в область внутренней организации ПрС. Каждая ПрС имеет опыт реализации проектов, которые менеджмент квалифицирует как удачные или неудачные. В этом случае можно выдвинуть предположение 2 о том, что проекты перед включением их в производственную корзину могут быть предварительно квалифицированы как такие, реализация которых в конкретной ПрС будет удачна либо нет. Таким образом, можно выполнить прореживание проектов-кандидатов на включение в производственную корзину, а задачу формирования потока проектов свести к формированию потока потенциально успешных проектов.

Предположение 2. *Пусть задано множество проектов W, характеризующееся множеством значений параметров P_w, $\forall w$. Тогда* ***выбор проектов*** *для рассматриваемой ПрС заключается в определении категорий для значений из подмножества S_u и нахождении функции отображения F посредством описания преобразования сущностей из множества W в категории множества S, $F: W \to S$, $\forall w$.*

Очевидно, что разные ПрС ориентированы на выпуск различной продукции. Существуют предприятия с длинным производственным циклом и длительным периодом жизни изделий (например, в авиастроении), средним жизненным циклом продукции (в автомобильной отрасли сменяемость моделей происходит в течение 3—5 лет), малые инновационные предприятия ориентированы на выпуск продукции с коротким жизненным циклом; к тому же, ПрС делятся по отраслям, имеют специализацию, связанную с видами работ, стоимостью реализуемых проектов, их технологической сложностью и пр. Таким образом исходное множество проектов можно сузить, в результате чего сформируется множество проектов-кандидатов, наилучшим образом подходящих рассматриваемой ПрС.

Первичный отбор проектов и выведение проектов из производственной корзины может быть осуществлено с помощью фильтрации. Входной и выходной фильтры включают в себя оценку NPV и экспертную оценку.

Для включения проекта w в производственную корзину необходимо провести оценку NPV на среднесрочную перспективу:

$$\sum_{j=i}^{\Gamma}\left(\frac{\sum_{w=1}^{w^{(j)}} C_w^{(j)} x_w^{(j)} - \mathbb{I}_w^{(j)}}{(1+d)^{(j-i)}}\right) > 0,$$

где d — ставка дисконтирования.

Для проектов, претендующих на исключение из производственной корзины на i-м шаге, необходимо выполнение условий:

— эффективный объем производства должен быть равен нулю ($x_w^{(j)} = 0$, $\forall j$: $i < j \le \Gamma$, для проекта w);

— вложенные в его реализацию средства уже были возвращены:

$$\sum_{j=i}^{i}\left(\frac{\sum_{w=1}^{w^{(j)}} C_w^{(j)} x_w^{(j)} - \mathbb{I}_w^{(j)}}{(1+d)^{(j)}}\right) \ge 0.$$

Решение задачи классификации проектов будет сводиться к определению множества значимых параметров P_w, $\forall w$. Очевидно, что набор таких параметров для разных ПрС и отраслей может быть разным. Однако достоверность предположения можно проверить на сгенерированных для рассмотренного эксперимента данных (прогноз спроса, цены, времени жизни проекта и данные о потребностях в мощностях). Для этого в качестве успешных проектов, рекомендуемых для внедрения, разметим проекты, которые были внедрены в производство.

Для проведения эксперимента будем выполнять несколько прогонов: первый — для генерации обучающей выборки и обучения классификатора, последующие — для проверки влияния фильтрации проектов на экономическую эффективность ПрС. Выбор классификатора представляется отдельной задачей, так как, согласно теореме [28], нет одного метода, который во всех условиях будет показывать хорошие результаты. На рис. 4 приведено

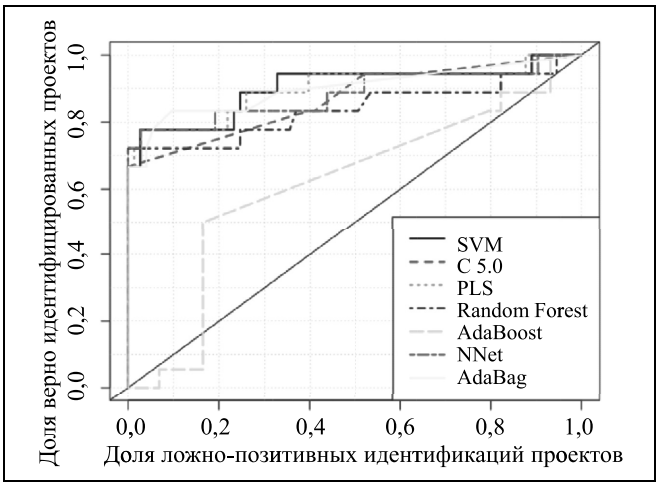

Рис. 4. ROC-кривые соответствующие различным примененным методам классификации

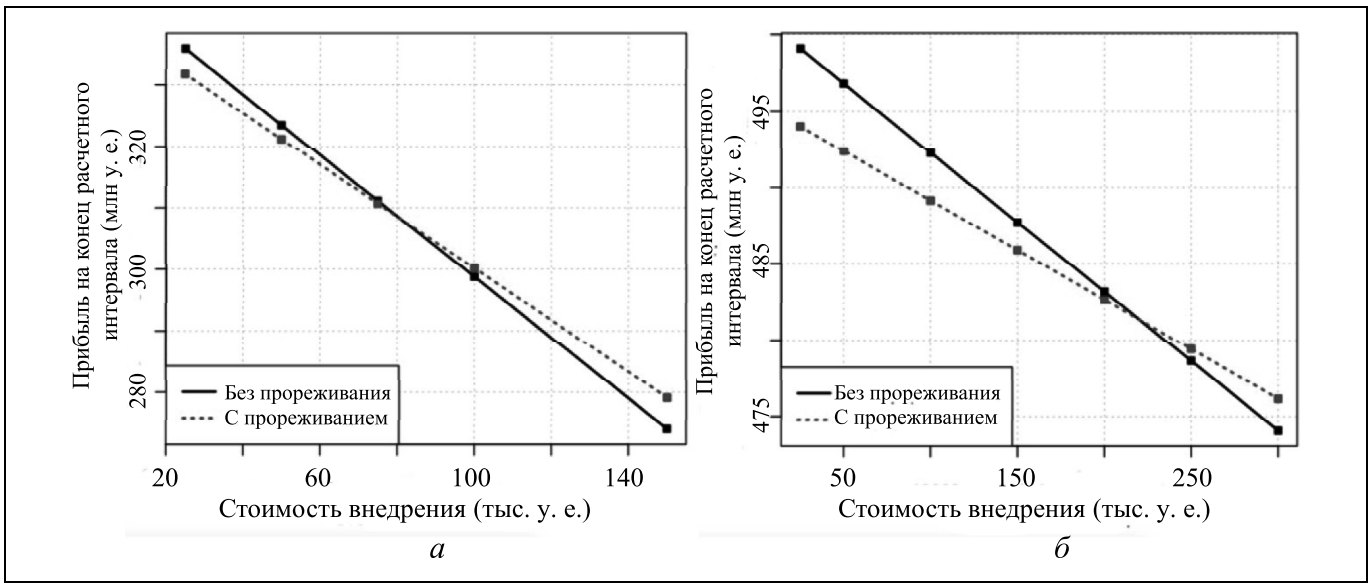

Рис. 5. Зависимость прибыли от стоимости внедрения проекта: один вариант потока, 386 проектов (*а*); другой вариант потока, 363 проекта (*б*)

сравнение методов для рассматриваемой задачи на основе ROC-кривой (англ. *Receiver Operating Characteristic*, рабочая характеристика приемника) при размере обучающей выборки, полученной при генерации 1000 значений в течение пяти циклов расчета с вероятностью появления проекта 0,5, и тестовой выборке, полученной в течение одного цикла при генерации 1000 значений.

Для классификации проектов при проверке гипотезы будем применять метод SVM (англ. *Support Vector Machine*, метод опорных векторов). Несмотря на то, что качество классификатора может быть лучше, фильтрация проектов позволяет снизить нагрузку на ПрС. Это способствует повышению экономической эффективности при превышении определенной величины стоимости внедрения проектов. На рис. 5 изображены графики, позволяющие сравнить зависимость прибыли от стоимости внедрения проекта в ПрС с прореживанием и без прореживания потока проектов на интервале в 1000 шагов при вероятности появления проектов 0,5.

При этом численное моделирование показывает, что генерация нового потока проектов смещает значения величин стоимости внедрения и разницы в стоимостях проектов в производственной корзине, однако находится точка, при которой прореживание проектов приводит к повышению эффективности ПрС. Возможность нахождения такой точки подтверждается множественным моделированием [26], которое показывает, что при увеличении вероятности появления проекта наблюдается увеличение прибыли; при прореживании и уменьшении значения вариации (разницы между значениями) прибыли между проектами при решении задачи планирования с учетом всех проектов и при реализации только тех проектов, которые останутся после прореживания (например, при вероятности появления проектов 0,8 и стоимости внедрения 500 000 у. е. прореживание позволяет увеличить прибыль в среднем на 492 317,2976 у. е. при вариации этого значения, равной 4,42660724).

Таким образом последовательность появления проектов в производственной корзине и интервалы между их появлением оказывают существенное влияние на эффективность функционирования ПрС. Это говорит от том, что эти параметры характеризуют не только саму ПрС, но и поток проектов и корзину проектов, с которой ПрС работает. Это подтверждает мнение, что важен не только проект, но и время, когда он появляется. Численный эксперимент подтверждает возможность прореживания проектов и повышения за счет этого экономической эффективности ПрС. При этом если учитывать, что ПрС для обучения классификатора может задействовать опыт успешной и неуспешной реализации проектов, то это приведет еще и к снижению рисков, связанных с реализацией проектов.

Можно ожидать, что дальнейшее исследование этого вопроса позволит сформировать формализованные требования к проектам и времени их появления. Такое знание, без сомнения, снизит величину влияния слабо формализуемых факторов, связанных с применением экспертных оценок при разработке и поиске новых проектов под конк-

ретную ПрС, их адаптации и внедрении, и может рассматриваться как отдельная область исследований [29].

Описанная модель не рассматривает как функциональную зависимость переменные затраты, связанные с функционированием ПрС. Однако величина этих затрат может оказывать существенное влияние на ее эффективность. В работе [7] показано, что существуют факторы, которые могут изменить планы по реализации инновационной продукции. Тогда плавный вывод товаров на рынок и учет при построении прогнозов факторов, связанных с диффузией проектов, приводящей к удовлетворению части прогнозируемого спроса конкурентами, позволяет снизить расходы ПрС за счет уменьшения величины переменных затрат. При этом происходит и снижение рисков, связанных с выводом нового товара на рынок.

В результате мы получаем два типа вариантов формирования возможных траекторий развития ПрС с помощью управления портфелем проектов: варианты наполнения портфеля во времени (время и типы появления проектов в производственной корзине ПрС) и варианты реализации портфеля в форме объемно-календарного плана с учетом диффузных явлений и без.

4. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА РЕШЕНИЯ ОБ ОБЪЕМАХ ВЫПУСКА НА НЕСКОЛЬКО ШАГОВ ПЛАНИРОВАНИЯ

При реализации портфеля проектов существуют различные траектории его реализации, имеющие различную прибыльность и риски для ПрС. Как и в ситуации с проектами, можно предположить, что особенности ПрС могут обусловливать дополнительные особенности способа реализации, исходя из опыта, организационной структуры и предпочтений ПрС.

Предположение 3. *Пусть задано множество наборов последовательностей состояний (траекторий), которое необходимо структурировать:* $J = J_l \cup S_u$, $J_l \cap J_u = \varnothing$. *Определенное значение класса из множества известных классов* S_l *поставлено в соответствие траекториям в* J_l. *Траектории в подмножестве* J_u *не размечены.* S_l *— неизвестное подмножество классов из полной коллекции:* $S = S_l \cup S_u$, $S_l \cap S_u = \varnothing$. *Тогда* ***ранжирование решений*** *заключается в определении категорий для значений из подмножества* S_u *и нахождении функции отображения F посредством описания преобразования сущностей из множества J в категории множества S,* $F: J \to S, \forall J$.

Каждая ПрС, реализуя проекты, придерживается определенного плана, связанного с плавностью наращивания объемов производства и вывода продуктов из производства, периодичностью в выпуске определенных изделий и переналадки для этого производственных линий. Часто такие особенности в организации производства представляют собой отражение опыта и квалификации управленческого персонала, принципов организации труда, возможностей оборудования. Используя статистические данные о работе ПрС, можно учитывать такие особенности при составлении производственной программы.

Для выбора траектории необходимо формирование множества траекторий при решении задачи объемно-календарного планирования и формирование обучающей выборки с учетом динамики изменения значений за рассматриваемый период планирования. Формирование обучающей выборки можно осуществлять на основе экспертной оценки поведения производственной системы в прошедшие периоды и формирования на их основе размеченного множества траекторий (обучающей выборки), согласно схеме, приведенной на рис. 6. Для учета фактора времени при обучении и применении классификатора значение, соответствующее каждому моменту времени, рассматривается как отдельная переменная. Такой подход учета времени успешно применяется в технических системах (например, при предсказании аварийной работы на основе данных вибродиагностики [30]). При отсутствии данных о реализации проектов ПрС в качестве данных для обучения модели можно пользоваться целевыми данными программ развития. В этом случае будет выбираться вариант, позволяющий реализовать заложенные в программу показатели развития.

Наиболее сложной задачей при такой постановке представляется формирование достаточного для обучения и тестирования множества размеченных решений. Сложность связана еще и с тем, что изменение среды, в которой функционирует ПрС, налагает ограничение на глубину выборки в прошлое, которую можно задействовать. Для увеличения объема выборки в рамках группы предприятий, имеющих аналогичную структуру, можно пользоваться данными других ПрС, а также при наличии альтернативных планов, которые были рассчитаны, но не реализованы, рассматривать их как неразмеченные данные, которые могут быть классифицированы и добавлены в обучающую выборку [31].

Применение методов машинного обучения позволяет решить задачу классификации в вероятностной форме, т. е. найти вероятность принадлежности траектории к классу успешно реализуемых производственных программ. Такое решение позволяет ранжировать рассматриваемые траектории,

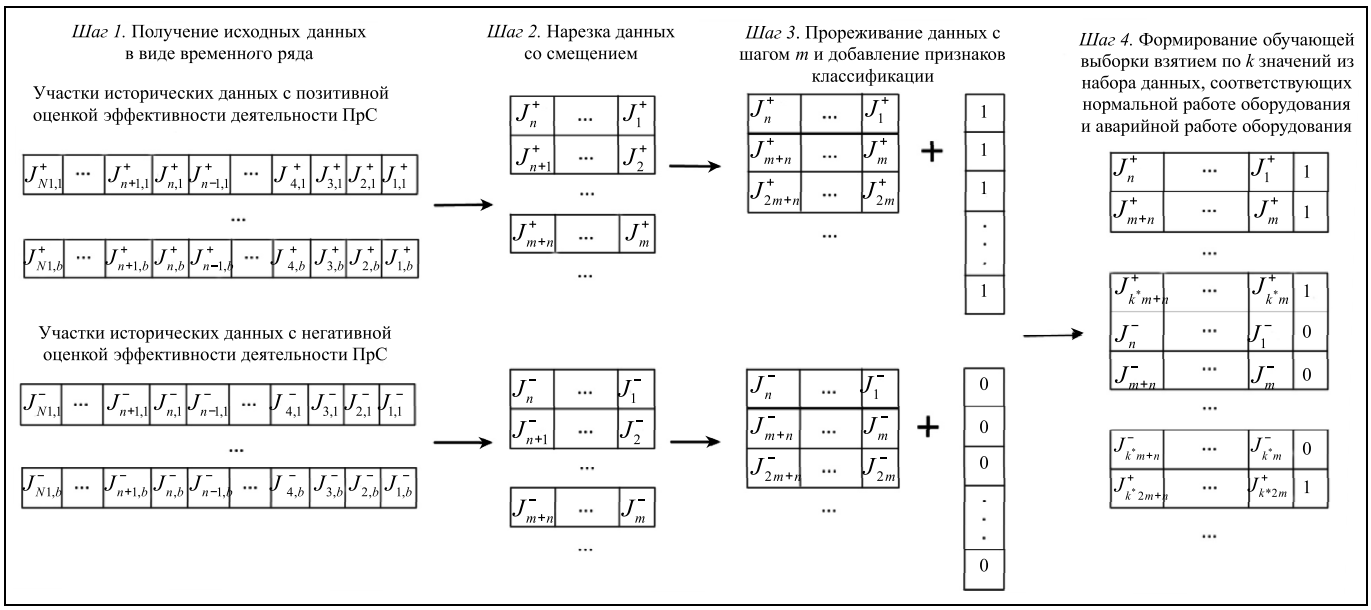

Рис. 6. Принцип формирования обучающей и тестовой выборок для решения задачи выбора траекторий развития ПрС

связанные с реализацией производственного портфеля.

Сформировав множество возможных траекторий на основе имеющихся вариантов появления проектов, их типов и моментов реализации, рассмотрим каждый момент времени в будущем (до горизонта планирования Г) как множество возможных состояний. Если при рассмотрении появления проектов во времени существуют моменты, когда в разных вариантах производственной корзины имеются аналогичные проекты, возможен переход с одной траектории на другую (соответствующую другой последовательности реализации проектов). Такая ситуация возникает, например, при рассмотрении реализации одного и того же производственного портфеля с учетом явления диффузии и без. Вероятности того, что система попадет в каждое из состояний, определяются функцией принадлежности. Вероятность реализации траектории целиком определяется цепным правилом:

$$P(X^{(0)}, ..., X^{(\Gamma)}) = \prod_{i=1}^{\Gamma} P(X(i)|X^{(i-1)}, ..., X^{(1)}).$$

Таким образом, каждой траектории в соответствие ставятся вероятность ее реализации и вероятность ее принадлежности к классу успешно реализуемых, тем самым мы формируем область выбора и множество решений, выбор из которых будет осуществлять эксперт (рис. 7).

Каждому решению будет соответствовать график выпуска продукции на рассматриваемом горизонте планирования (рис. 8).

В основе описанного подхода лежит предположение, что рассматриваемые траектории представляются значимыми для задач классификации. Если бы это было не так, то добавление новых данных в выборки приводило бы не к повышению качества классификации, а его снижению [33].

Подход, связанный с решением задачи классификации, базируется на предположении об однородности данных.

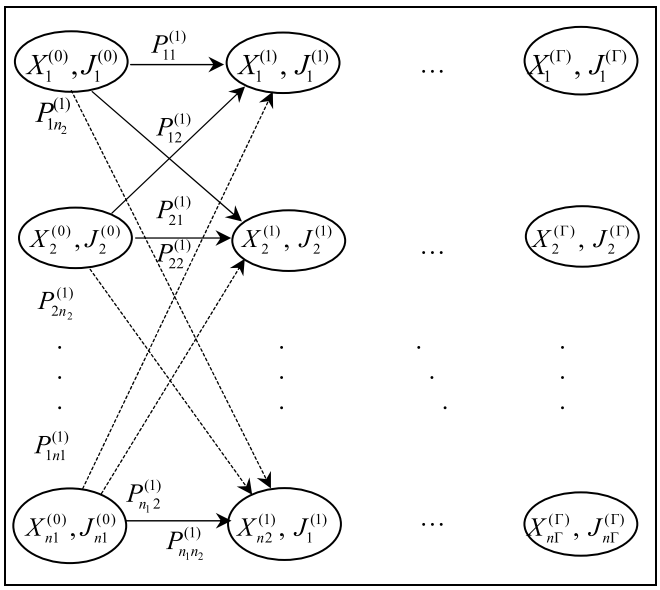

Рис. 7. Область выбора решений задачи объемно-календарного планирования

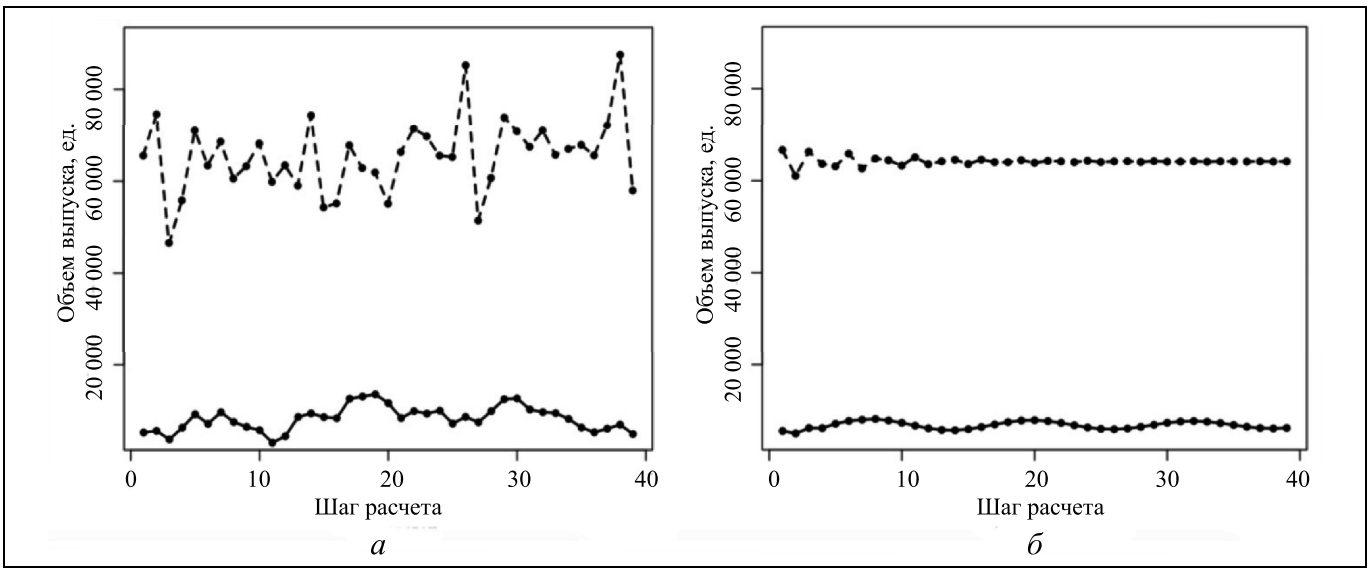

Рис. 8. Пример объемно-календарного плана для производственной корзины из двух товаров при выборе: *а* — одной траектории; *б* — другой траектории развития

Предположение 4. *Если две траектории J_1 и J_2 расположены близко друг к другу, тогда должны быть соответствующие им выходы S_1, S_2, находящиеся в тех же отношениях.*

Это свидетельствует о том, что если в пространстве данных существует движение к какому-либо классу, то можно делать обобщения в рамках модели. Иначе говоря, если данное предположение верно, то получив объемно-календарный план в нечеткой форме при отклонении значений прогнозов, используемых при решении задачи в пределах доверительного интервала, можно не производить перерасчет модели, так как отклонения значений целевой функции также окажутся в пределах доверительного интервала и ее значения будут иметь те же тенденции к изменению (т. е. к уменьшению или увеличению).

Исходя из сказанного, можно сделать вывод о том, что при рассмотрении траекторий реализации производственных проектов возможны отклонения, которые, однако, не будут приводить к значительным изменениям в объемах производства и значении критерия. Эти отклонения описываются функциями принадлежности при решении задачи объемно-календарного планирования в нечеткой форме.

Возможность ранжирования объемно-календарных планов исходя из характеристик потока проектов позволяет сформировать производственную программу на время горизонта планирования. Ранжирование при этом осуществляется на основе решения задачи классификации в вероятностной постановке. Мерой будет выступать вероятность успешной реализации рассматриваемого объемно-календарного плана.

Для рассмотрения вариантов для каждого из проектов-кандидатов необходимо рассчитать бизнес-план при реализации в рассматриваемой ПрС. Таким образом мы получим характеристики проектов и, моделируя время их реализации с помощью потока проектов, получим множество вариантов, которые могут быть ранжированы.

В качестве примера реализации производственной программы можно рассмотреть создание малых инновационных предприятий (МИП) университетами. Университет рассматривает каждый МИП как отдельный инновационный проект в рамках достижения целевых показателей при выполнении программы развития. Таким образом, на примере университета можно промоделировать ситуацию с потоком проектов, отбором лучших из них и выбора для них лучшего времени реализации. При этом к 2010 г., когда университетам на законодательном уровне было разрешено формировать вокруг себя пояс инновационных предприятий, накопился избыток проектов-кандидатов, и такая ситуация сохранялась с 2010 г. по 2014 г. В этот период через МИП в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) было реализовано 17 проектов согласно графику, приведенному в табл. 2.

Успешная реализация программы подтверждается интегральными характеристиками доходов, которые постоянно росли (рис. 9) [7]. За рассматриваемый период число проектов-кандидатов со-

ставило 50, из них 11 было рекомендовано к безусловной реализации, 13 отклонено, а по оставшимся 26 однозначное решение не было принято (их реализация могла быть осуществлена при удачной рыночной конъюнктуре) [7]. В результате анализа на модели было реализовано 17 проектов.

Основной сложностью, связанной с применением методов моделирования, представляется проблема наличия необходимых данных. Сбор данных становится основной задачей. При этом задачу упрощает знание о том, какие именно данные необходимы, что может быть учтено при разработке корпоративных информационных систем и поиске потенциальных проектов для реализации.

Таблица 2

Статистическая информация о МИП, созданных с участием Пермского национального исследовательского политехнического университета по состоянию на начало 2015 г.

Название	Дата создания
ООО «Вулкан-Плазма»	13.01.2010
ООО «Институт Инновационных ИТ-решений»	03.11.2010
ООО «Научно-производственный центр «Энергия»	20.08.2010
ООО «Малое инновационное предприятие «ИНТЕЛЛЕКТ»	27.05.2011
ООО «Математические модели сплошных сред»	05.07.2011
ООО «Институт Стратегических Материалов и Технологий»	30.06.2011
ООО Малое Инновационное Предприятие «Техноресурс»	04.06.2011
ООО «Международная исследовательская группа»	01.06.2011
ООО «Научно-производственная компания «Новые технологии»	26.12.2011
ООО «Малое инновационное предприятие «Реализация инженерно-технических целей порошковой металлургии»	20.02. 2012
ООО «Смарт-Ап»	01.03.2012
ООО «Центр инженерного консалтинга»	23.06.2012
ООО «Центр ЭЛТ»	15.04.2013
ООО МИП «ИНТЭК»	11.09.2013
ООО «НТЦ Электротехники»	24.09.2013
ООО «ЭКОПОТЕНЦИАЛ»	21.02.2014
ООО «МИП «Прогноз РНМ»	17.07.2014

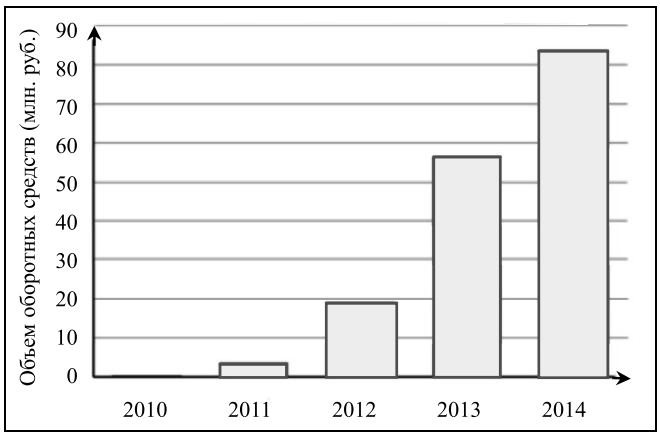

Рис. 9. Статистические данные об оборотах реализованных проектов через МИП ПНИПУ

Рис. 10. Цикл реализации и корректировки производственной программы в условиях динамики внешней среды

Информационные системы смогут быть активным элементом при принятии решений, а не только выполнять роль поддержки управленческих концепций, реализуемых в ПрС. Кроме этого, в условиях динамики внешней среды и непрерывных внутренних изменений цели ПрС тоже меняются, что накладывает особые условия на применение моделей и реализацию решений, получаемых на моделях в практической деятельности (рис. 10).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлена модель, позволяющая определять характеристики потока проектов для ПрС и проектов, позволяющих системе находиться в экономически эффективном состоянии. Приведенное исследование системы позволяет обосновывать управленческие решения, связанные с изменениями в деятельности ПрС, расширением или сокращением производственных мощностей, сменой типа выпускаемой продукции, необходимостью ее модернизации, проводить сравнение ПрС и типов проектов для реализации на основе оценок их экономической эффективности. Получаемые результаты показывают не только предполагаемый итог, но и возможные отклонения. Таким образом может быть решен широкий круг производственно-экономических задач, связанный с определением стратегии поведения ПрС [33, 34].

Учитывая, что внедрение инновационных проектов сопряжено с повышенными рисками, особенно в условиях глобального рынка, при появлении кризисных явлений и перестройки структуры рынка повышение уровня объективности принимаемых решений становится существенным конкурентным преимуществом при управлении ПрС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chuvaev, A., Khayrullina, M., Kislitsyna, O.* Production Systems Continuous Improvement Modelling // Quality Innovation Prosperity. — 2015. — Vol. 19, no. 2. — P. 73—86.
2. *Tirrole, J.* The Theory of Industrial Organisation. — Cambridge: MIT, 1988. — 479 p.
3. *Ouyang, M.* Review on Modeling and Simulation of Interdependent Critical Infrastructure Systems // Reliability Engineering & System Safety. — 2014. — Vol. 121. — P. 43—60.
4. *Koedela, C., Mihalyb, K., Rockoffc, J.E.* Value-Added Modeling: A Review // Economics of Education Review. — 2015. — Vol. 47. — P. 180—195.
5. *Forrester, J.W.* Industrial Dynamics // Journal of the Operational Research Society. — 1997. — Vol. 40, no. 10. — P. 1037—1041.
6. *Schlagenhaufer, C., Amberg, M.* A Descriptive Literature Review and Classification Framework for Gamification in Information Systems // ECIS 2015 Completed Research Papers. — 2015. — P. 1—15.
7. *Мыльников Л.А.* Управление и внедрение результатов инновационных проектов в условиях динамики внешней среды и диффузии проектов // Инновации. — 2019. — № 12 (254). — С. 104—112. [*Mylnikov, L.A.* Management and Implementation of Innovation Project Outcomes under Environment Dynamics and Project Diffusion // Innovations. — 2019. — No. 12 (254). — P. 104—112. (In Russian)]
8. *Olson, D.L., Wu, D.* Enterprise Risk Management Models. — Berlin: Springer, 2015. — 224 p.
9. *Мыльников Л.А.* Вопросы эффективного управления динамическим портфелем инновационных проектов производственных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2019. — Т. 46, № 2. — С. 10—21. [*Mylnikov, L.A.* Project Portfolio Management of Dynamic Innovation Projects in Production Systems // The Caspian Journal: Management and High Technologies. — 2019. — Vol. 46, no. 2. — P. 10—21. (In Russian)]
10. *Новиков Д.А.* Комплексные модели системной оптимизации производственно-экономической деятельности предприятия // Управление большими системами: сборник трудов. — 2017. — Вып. 65. — С. 118—152. [*Novikov, D.A.* Integrated Models of System Optimization of the Enterprise Activity // Large-Scale Systems Control. — 2017. — Iss. 65. — P. 118—152. (In Russian)]
11. *Markowitz, H.* Portfolio Selection // The Journal of Finance. — 1952. — Vol. 7, no. 1. — P. 77—91.
12. *Von Neumann, J., Morgenstern, O.* Theory of Games and Economic Behavior: 60th Anniversary Commemorative Edition. — Woodstock: Princeton University Press, 2007. — 776 p.
13. *Tversky, A., Kahneman, D.* Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty // Journal of Risk and Uncertainty. — 1992. — Vol. 5, no. 4. — P. 297—323.
14. *Saaty, T.L.* The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. — New York, London: McGraw-Hill International Book Co., 1980. — 287 p.
15. *Saaty, T.L., Oezdemir, M.S.* The Encyclicon: a Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process. — Pittsburgh. PA: RWS Publications, 2005. — 292 p.
16. *Walczak, D., Rutkowska, A.* Project Rankings for Participatory Budget Based on the Fuzzy TOPSIS Method // European Journal of Operational Research. — 2017. — Vol. 260, no. 2. — P. 706—714.
17. *Van der Heijden, K.* Scenarios: The Art of Strategic Conversation. — Chichester, West Sussex, Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2005. — 382 p.
18. *Avdeev, V.P., Kiseleva, T.V., Burkov, V.N.* Multivariant Active Systems // Automation and Remote Control. — 2001. — Vol. 62, no. 10. — P. 1645—1650.
19. *Wooldridge, M.J.* An introduction to Multiagent systems. — Chichester, U.K: John Wiley & Sons, 2009. — 484 p.
20. *Mia, L., Winata, L.* Manufacturing Strategy and Organisational Performance: The Role of Competition and MAS Information // Journal of Accounting & Organizational Change. — 2014. — Vol. 10, no. 1. — P. 83—115.
21. *Kaschny, M., Nolden, M., Schreuder, S.* Innovationsmanagement im Mittelstand: Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele. — Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. — 419 p.
22. *Buchmann, J.* Valuing the Innovation Potentials of Firms: What Theory Suggests, Practitioners Do, and Both Implies for Existing Theory. — Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. — 239 p.
23. *Мыльников Л.А., Алькдироу Р.Х.* Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов // Управление большими системами: сборник трудов. — 2009. — Вып. 27. — С. 293—307. [*Mylnikov, L.A., Alkdirou, R.H.* Method for Investment Projects Lifecycle Forecasting // Large-Scale Systems Control. — 2009. — Iss. 27. — P. 293—307. (In Russian)]
24. *Sadiakhmatov, M.* Production Planning Model in the Conditions of Changing Demand with a Stochastic Component: Master Thesis. — Koethen: HS Anhalt, 2018. — 38 p.
25. *Villacorta, P.J, Rabelo, C.A., Pelta, D.A., Verdegay, J.L.* FuzzyLP: An R Package for Solving Fuzzy Linear Programming Problems. Granular, Soft and Fuzzy Approaches for Intelligent Systems. — Cham: Springer International Publishing. — 2017. — P. 209—230.
26. *Doyle, P.G.* Grinstead and Snell's Introduction to Probability. — American Mathematical Society, 2006. — 518 p.
27. *Gemuenden, H.G., Lehner, P., Kock, A.* The Project-Oriented Organization and Its Contribution to Innovation // Interna-

tional Journal of Project Management. — 2018. — Vol. 36, no. 1. — P. 147—160.
28. *Wolpert, D.H., Macready, W.G.* No Free Lunch Theorems for Optimization // IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1997. — Vol. 1, no. 1. — P. 67—82.
29. *Holahan, P.J., Sullivan, Z.Z., Markham, S.K.* Product Development as Core Competence: How Formal Product Development Practices Differ for Radical, More Innovative, and Incremental Product Innovations // The Journal of Product Innovation Management. — 2013. — Vol. 31, no. 2. — P. 329—345.
30. *Мыльников Л.А., Ефимов Н.А.* Идентификация аварийного режима работы динамического оборудования на основе данных вибродиагностики и методов машинного обучения // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф. Т. 4. — Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2020. — С. 9—13. [*Mylnikov, L.A., Efimov, N.A.* Detection of the dynamic equipment fault mode based on vibration diagnosis data and machine learning methods // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh: sb. tr. mezhdunar. nauch. konf. T. 4. — Saratov: Saratov Gosudarstveniy Tekhn. un-t im. Gagarina Yu.A., 2020. — P. 9—13. (In Russian)]
31. *Constrained* Clustering: Advances in Algorithms, Theory, and Applications. / Ed. S. Basu, I. Davidson, K.L. Wagstaff. — Boca Raton: CRC Press, 2009. — 441 p.
32. *Мыльников Л.А., Краузе Б., Кютц М.* и др. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы). — М.: Издательский дом «БИБЛИО-ГЛОБУС», 2017. — 334 с. [*Myl'nikov, L.A., Krause, B., Kuetz, M.,* et al. Intellektual'nyi analiz dannykh v upravlenii proizvodstvennymi sistemami (podkhody i metody). — Moscow: Izdatel'skii dom «BIBLIO-GLOBUS», 2017. — 334 s. (In Russian)]
33. *Mezhov, S., Mylnikov, L.* Specifics of Project Management on Industrial Innovation // Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — Koethen (Anhalt), Germany, 2018. — Vol. 6, no. 1. — P. 103—108.
34. *Tavakoli, A., Schlagwein, D., Schoder, D.* Open Strategy: Literature Review, Re-analysis of Cases and Conceptualisation as a Practice // The Journal of Strategic Information Systems. — 2017. — Vol. 26, no. 3. — P. 163—184.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Клочковым.

Поступила в редакцию 20.05.2020, после доработки 23.07.2020.
Принята к публикации 31.07.2020.

Мыльников Леонид Александрович — канд. техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
✉ leonid.mylnikov@pstu.ru.

MANAGING ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION SYSTEMS IN A FLUENT FLOW OF NEW PROJECTS

L.A. Mylnikov

Perm National Research Polytechnic University, Russia
✉ leonid.mylnikov@pstu.ru

Abstract. In conditions when new innovative products appear constantly, there is a need for implementing more effective planning and production systems activity management by means of formalization level increase while describing the processes related to formation of production portfolio of a production system. The aim of the article is to solve the scheduling problem and to define requirements for the projects and their flow, which allow the production system to function effectively in conditions of environment uncertainty. The methods of simulation modeling, system analysis, statistical processing of the received results are applied for the purpose of their generalization and machine learning for search and classification of projects and routes of the possible development of production systems. As a result of the research, the model has been obtained, that allows determining empirically the projects and trajectories of the production systems development for the given characteristics of the projects, which will lead to the effective functioning of the systems on the basis of using historical data about the implemented projects to take into account the specifics of the considered system. A number of statements have been formulated that allow us to specify the problem considered in the article and to designate the described approach applicability limits. Knowledge received about the stream of projects and the projects themselves will allow formulating requirements for projects and activities connected with the search and development of new products. The greatest value of the described research lies in the fact that the obtained results show a decrease in the significance of expert assessments when choosing projects and setting targets, as well as a possibility of transition to formal methods, which leads to increasing the objectivity of the obtained assessments.

Keywords: production system, innovation project, project flow, model, simulation, scheduling, economic efficiency, Poisson point process.