

УДК 004.02; 658.5

Формальная модель обеспечения информационной безопасности при управлении ресурсами на производствах

Заколдаев Д. А., Гришенцев А. Ю.

Постановка задачи: автоматизация промышленных областей и производств, усиление взаимозависимости и интеграции между производствами и отраслями при одновременном росте доступных вычислительных мощностей обуславливает актуальность автоматизации управления производственно-технологическими процессами и повышения уровня их безопасности на всех уровнях системного функционирования. Известные способы требуют существенной доработки и пока не существует общего решения задачи автоматизации управления производствами и отраслями. **Целью работы** является формализация управления ресурсами на основе отображения производственно-технологических процессов в фазовое пространство для обеспечения информационной безопасности. **Используемые методы:** решение задачи отображения производственно-технологических процессов в фазовое пространство решается за счёт декомпозиции производственно технологического процесса на группы и этапы последовательных и параллельных управляемых преобразований ресурсов; на основе прогнозирования и анализа движения ресурсов в фазовом пространстве производится выработка оптимальной контролируемой траектории движения ресурсов в области приемлемых и управляемых рисков. **Новизна:** элементами новизны представленного решения является объединение ранее известных моделей межотраслевого баланса и отображения технологических процессов в фазовое пространство с моделями информационной безопасности на основе предлагаемой концепции обеспечения информационной безопасности при управлении ресурсами с помощью моделирования и анализа движения и преобразования ресурсов. **Результатом** работы является предлагаемый подход к формализации, детализированный на уровне достаточном для практического применения. **Практическая значимость** заключается в выработке инструментария моделирования, анализа и прогнозирования принятия управленческих решений, обеспечивающих поддержку информационной безопасности на предприятиях и в отраслях, и позволяющих осуществлять процесс управления производственно-технологическими процессами в области приемлемых и управляемых рисков.

Ключевые слова: информационная безопасность, управление, принятие решения, векторное пространство.

Актуальность

Характерным примером развития технологического процесса является техпроцесс производства полупроводниковых микросхем, если рассматривать процесс эволюции с 1970-х гг. при линейном разрешении литографического оборудования от ≈ 3 мкм, до 3 нм технологии, презентованной в 2018 г. [1]. Таким образом, приблизительно за пятьдесят лет, технологическое повышение плотности по линейным размерам составило 10^3 раз, по площадным 10^6 раз, при этом максимальная объемная плотность прирастает как произведение площадной плотности и плотности слоистых структур полупроводника, зависящих от

Библиографическая ссылка на статью:

Заколдаев Д. А., Гришенцев А. Ю. Формальная модель обеспечения информационной безопасности при управлении ресурсами на производствах // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 1. С. 33-61. DOI: 10.24411/2410-9916-2021-10102.

Reference for citation:

Zakoldaev D. A., Grishentsev A. Y. Formal model of information security in the management of resources in production. *Systems of Control, Communication and Security*, 2021, no. 1, pp. 33-61 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2021-10102.

технологии напыления (осаждения) и обработки поверхности слоистых структур, качества структуры кристаллической решётки полупроводника. Данный пример является показательным, т. к. на основе полупроводниковой техники реализуются все современные информационные технологии. При этом ожидается значительный прорыв в информационных технологиях, за счёт техники реализуемой на базе квантовых вычислительных и коммуникационных систем. Развитие информационной отрасли не случайно и определяет синергетический эффект информационного изменения во всех регионах планеты Земля и ближнем космосе. Следствием и оборотной стороной развития информационных технологий является процесс глобализации, как концентрация средств управления и укрупнение производственных цепочек в мировом масштабе [2]. При этом возникает комплекс задач, сложно-связных [3] между собой общей идеологией эффективного [4], устойчивого, безопасного информационного управления [5, 6] направленного на удовлетворение нужд растущего числа потребителей при ограниченных ресурсах, в условиях распределения и вероятных противоречий интересов источников управления. Сложившаяся ситуация влияет и изменяет уровень и формат абсолютно всех взаимодействий, в том числе в борьбе за ресурсы на глобальной мировой арене. Одни из первых решений задачи статистики и оптимизации, сырьевого и ресурсного баланса, эффективного управления и передачи информации в стремительно меняющихся условиях были предложены, В. К. Дмитриевым [7], В. В. Леонтьевым [8], И. Р. Пригожиным [9, 10], В. А. Котельниковым [11], Г. Найквистом [12], К. Э. Шенноном [13]. Решение данных задач, можно совокупно объединить как: развитие методов управления и передачи управляющих воздействий. Значительный вклад в анализ эволюционных процессов цивилизации и связи этих процессов с природой внёс В. И. Вернадский [14].

Значительный интерес и актуальность представляет гармонизация процессов управления, проектирования [15, 16], прогнозирования состояния сложных систем [17], автоматизации управления [18, 19], оптимального управления [20].

Приоритетность информационных процессов [21], в управлении, а значит и в реализации этого управления вполне очевидна. Не случайно современная экономика носит название цифровой, в основе цифра – как информационная единица интерпретации некоторых процессов реального или виртуального мира в форматах современных технических средств обработки и передачи информации. При этом конфиденциальность, доступность и целостность информации в процессах управления, определяют дееспособность субъектов и объектов управления в пространстве управления [22]. С концепцией цифровой экономики тесно связано понятие киберфизических систем (КФС). В частности, к ним следует отнести системы индустриального производства, управляемые с помощью вычислительных платформ и систем (computer-integrated manufacturing) CIM [23], системы виртуализации производства [24–26]. Подобные индустриально-компьютерные комплексы породили стремление к построению виртуальных цифровых моделей, известных также под названием «цифровые двойники» (digital twins) [27–29]. Излагаемая в статье формальная модель, в некото-

рой степени является альтернативой упомянутому тренду, позволяющей учитывать не только качество производственного функционала, но и вопросы информационной безопасности индустриальных КФС.

Целью работы является формализация управления ресурсами на основе отображения производственно-технологических процессов в фазовое пространство для обеспечения информационной безопасности.

Предпосылки к разработке формальной модели

Будем называть ресурсами: сырьё; промежуточные объекты в технологической цепочке являющиеся продуктом производства одних технологических процессов и продуктом потребления других; станки, машины и механизмы; вычислительные мощности; труд людей; производственные площади; научные и инженерно-исследовательские разработки; различные виды энергии (электроэнергия, тепловая энергия, энергия потока воды, ветра и проч.), применяемые в технологических процессах. Дополнительно, ресурсы можно разделить на: материальные и информационные [30]. Процесс упорядоченного преобразования одних ресурсов в другие, которые могут быть конечным продуктом потребления или ресурсом других преобразований, является производственным процессом или производственно-технологическим процессом. Математическая формализация производственно-технологического процесса есть математическое моделирование реальных явлений на основе накопленного опыта инженерной и управленческой интуиции и знаний. Выявление структуры, анализ и оптимизация информационных потоков управления, сохранение конфиденциальности, целостности и доступности управляющей информации необходимый фактор обеспечения работоспособности производства и интеграции отдельных производств в отраслевые направления, и экономику в целом.

Определение производственно-технологического пространства и постановка задачи оценки рисков управления

В основе построения конечномерного векторного производственно-технологического пространства $V^{N+1} \subset \mathbb{R}^{N+1}$ с метрикой L^2 лежит ортонормированный базис $e_1, e_2, \dots, e_N, e_{N+1}$ образованный единичными векторами потребляемых ресурсов и производимой продукции e_1, e_2, \dots, e_N , и времени e_{N+1} , где $N+1$ – мерность пространства $V^{N+1} \subset \mathbb{R}^{N+1}$. Пусть точка $a^p \in V^{N+1}$, где p – индекс временных отсчётов, с координатами $a^p = (x_1^p, x_1^p, \dots, x_N^p, x_{N+1}^p)$, определяет доступные ресурсы для реализации некоторого процесса производства чего-либо или другими словами начальное положение производственного процесса в производственно-технологическом пространстве (ПТП), точка $a^{p+1} \in V^{N+1}$ с координатами $a^{p+1} = (x_1^{p+1}, x_1^{p+1}, \dots, x_N^{p+1}, x_{N+1}^{p+1})$, определяет конечное положение производственного процесса в том же пространстве V^{N+1} , причём x_{N+1}^p есть время начала и x_{N+1}^{p+1} – время завершения реализации производственного процесса, будем называть точки подобные точкам a^p и a^{p+1} , опорными. Определим векторы управления технологическим процессом $v^p \in V^{N+1}$ и $v^{p+1} \in V^{N+1}$, как радиус векторы, проведённые из начала системы координат пространства V^{N+1} в опорные точки a^p и

a^{p+1} , соответственно. Определим разностный вектор $\Delta v^p = v^{p+1} - v^p = \sum_{n=1}^{N+1} e_n (x_n^{p+1} - x_n^p) = \sum_{n=1}^{N+1} e_n \Delta x_n^p$, $\Delta v^p \in V^{N+1}$, как вектор технологического процесса.

Пример опорных точек, векторов управления и вектора технологического пространства, в производственно-технологическом пространстве V^{2+1} , отображены на рис. 1.

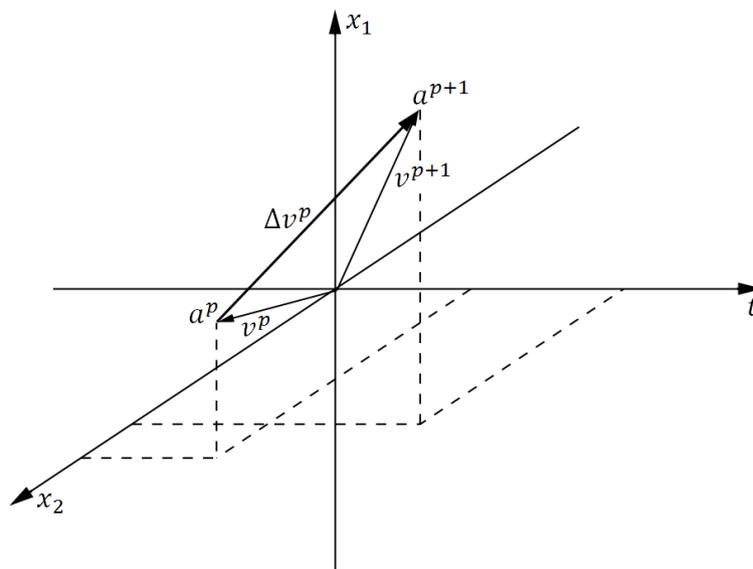


Рис. 1. Векторы управления $v^{p+1}, v^p \in V^{2+1}$ и производственно-технологического процесса $\Delta v^p = v^{p+1} - v^p \in V^{2+1}$ в V^{2+1}

В случае если задающий пространство $V^{N+1} \subset \mathbb{R}^{N+1}$ набор базисных векторов $\tilde{e}_1, \tilde{e}_2, \dots, \tilde{e}_N, \tilde{e}_{N+1}$ не является ортонормированным, необходимо выполнить его ортогонализацию и нормирование известным способом Грамма-Шмидта. Физический смысл ортогонализации ПТП заключается в том, что в рамках данного производственно-технологического процесса, реализуемого в реальных физических условиях, можно произвести декомпозицию некоторого продукта и/или сырья по базисным элементам $\tilde{e}_1, \tilde{e}_2, \dots, \tilde{e}_N, \tilde{e}_{N+1}$ векторного пространства V^{N+1} .

Например, если некоторое предприятие (или цех) занимается сборкой редукторов и формализует свой производственный цикл, то редуктор и процесс его сборки, можно представить в пространстве отдельных сборочных компонентов и считать различные компоненты ортогональными, т. е. не представляемыми в виде линейной комбинации других компонентов, т. к. например, невозможно в рамках сборочного процесса ввести операции фрезерования зубчатых колёс, т. к. данные операции не входят в процесс операций сборки реализуемых на данном предприятии (цехе). В результате, при заданном уровне детализации любое ПТП всегда будет конечномерным, при этом для сложных, наукоёмких производственно-технологических процессов мерность ПТП может быть достаточно велика.

Пространство V^{N+1} позволяет произвести декомпозицию сложного производственно-технологического процесса на относительно элементарные производственно-технологические операции, а также получить опорные точки пере-

хода $a^p = (x_1^p, x_1^p, \dots, x_N^p, x_{N+1}^p)$ от одних операций (технологических процессов) к другим, как было сказано ранее радиус векторы v^p из начала координат пространства V^{N+1} в точки a^p являются векторами управления.

Пусть в ПТП при помощи опорных точек, без параллелизма, определен некоторый производственно-технологический процесс $a^p, a^{p+1}, \dots, a^{p+M+1}$, назовём такой процесс векторная цепь. Начальная точка, точка входа в производственно-технологический процессе есть точка a^p , точка завершения процесса есть a^{p+M+1} , тогда по правилу сложения векторов, сложный производственно-технологический процесс можно представить как векторную сумму последовательных во времени элементарных технологических процессов, в пространстве V^{N+1} , т. е.:

$$\Delta v = v^{p+M+1} - v^p = \sum_{m=1}^M \Delta v^{p+m}. \quad (1)$$

Отметим, что физически параллелизм производственно-технологических процессов возможен только по временной компоненте, т. е. по e_{N+1} .

Необходимо учитывать, что при параллельном потреблении ресурсов, в производственно-технологическом процессе будут образовываться параллельные векторные маршруты, к которым векторная сумма вида (2) не применима. Следует отметить, что в общем виде производственно-технологический процесс может иметь несколько точек входа и несколько точек выхода. Таким образом, сложный производственно-технологический процесс имеющий параллельные цепи, множественные точки входа и выхода, характеризуется множеством ${}^d\Delta v$, где d – индексы множества ПТ цепей не имеющих кратных (параллельных) маршрутов векторов Δv^{p+m} . В общем случае для описания подобных технологических процессов, содержащих кратные (параллельные) маршруты, может быть эффективно применена теория графов, что так же способствует наглядности визуализации.

При заданных условиях существуют следующие причины невозможности или ошибки реализации общего Δv и частных Δv^{p+m} , векторов производственно-технологических процессов: ошибка в производственно-технологическом процессе, ошибка вектора управления.

Пусть заданы опорные точки $a^p, a^{p+1}, b^p, b^{p+1} \in V^{N+1}$ и вектора $v^{p+1}, v^p, \Delta v^p \in V^{N+1}$, где $\Delta v^p = v^{p+1} - v^p$, тогда возможны следующие виды ошибок:

- *ошибка оценки начального положения*, когда начальное положение в ПТ пространстве оценивается не как фактическое в точке a^p , а как ошибочное в точке b^p , будем называть вектор расстояния между точками $b^p - a^p = \Delta \varepsilon^p$, вектором ошибки оценки начального положения;
- *ошибка производственно-технологического процесса*, есть ошибка конечного положения, когда фактическое конечное положение в ПТП есть точка b^{p+1} вместо заданного вектором управления v^{p+1} в точке a^{p+1} , будем называть вектор расстояния между точками $b^{p+1} - a^{p+1} = \Delta \varepsilon^{p+1}$, вектором ошибки производственно-технологического процесса;
- *ошибка вектора управления* v^{p+1} , определяется некорректным управлением, или ошибкой в канале передачи управляющей информации, в

случае некорректного управления корректное положение, т. е. опорная точка a^{p+1} неопределенна, в случае ошибки в канале передачи информации, корректное положение a^{p+1} известно, следовательно, может быть вычислен вектор апостериорной ошибки $b^{p+1} - a^{p+1} = \Delta\varepsilon^{p+1}$, а сама ошибка может быть сведена к ошибке производственно-технологического процесса.

Следует отметить, что при нарушении корректной реализации производственно-технологического процесса, в том числе в случае отсутствия управляющей реакции на изменения доступных ресурсов, может образовываться ошибка производственно-технологического процесса, устранение такой ошибки возможно за счёт корректировки вектора управления v^{p+1} и a^{p+1} , соответственно, при необходимости, создания дополнительной опорной точки, обозначим $a^{p+0.5} \in V^{N+1}$, при этом для оценки положения новой опорной точки, необходим вектор управления $v^{p+0.5} \in V^{N+1}$.

Не исключено и совместное проявление ошибок.

Начальное положение, в частности, и текущее положение в целом оценивается при управлении с помощью обратных связей, вектор управления есть внешнее, а вектор технологии внутренне воздействие на производственный процесс, оба этих вектора могут содержать ошибки, при не исправлении которых, возможно нарушение производственно-технологического процесса (рис. 2).

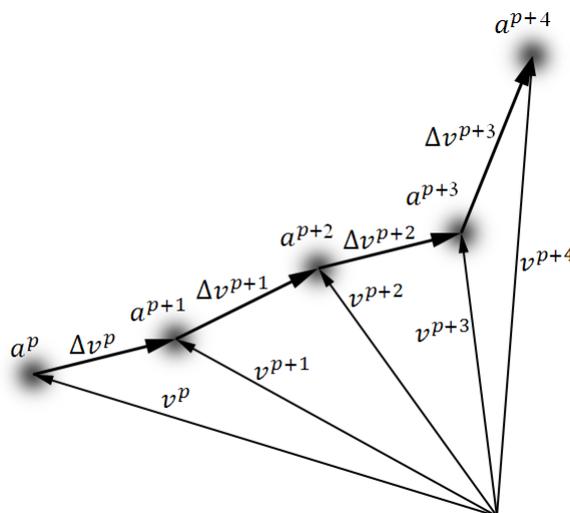


Рис. 2. Векторы управления $v^p, v^{p+1}, v^{p+2}, v^{p+3}, v^{p+4} \in V^{N+1}$ и опорные точки $a^p, a^{p+1}, a^{p+2}, a^{p+3}, a^{p+4} \in V^{N+1}$ в цепочке производственно-технологического процесса $\Delta v^p, \Delta v^{p+1}, \Delta v^{p+2}, \Delta v^{p+3} \in V^{N+1}$. Размытие опорных точек отображает возможную вероятность ошибки в реализации производственно-технологического процесса и управления

Все перечисленные виды ошибок могут быть классифицированы как информационные ошибки в результате нарушения принципов конфиденциальности, целостности и доступности информации, в первую очередь целостности и доступности информации как неполучение или недостаточная обработка ин-

формации и извлечение знаний о состоянии системы и необходимом принятии решений и действий корректного управления.

Повышение эффективности использования ресурсов, является одной из приоритетных задач любого предприятия. К неэффективному использованию ресурсов возможно отнести следующие явления: ошибки оценки спроса и планирования производства приводящее к затовариванию складов и одновременной неспособности удовлетворить реальный запрос потребителя, недостаток и/или неэффективный расход сырья и простой оборудования, отсутствие эффективной загрузки для трудового коллектива. Все эти виды ошибок сводятся к ошибке управления (на уровне элементарных производственно-технологических процессов и их цепочек), неспособного учесть динамичное изменение ситуации на рынке и изменение доступности ресурсов. Таким образом, решение приоритетной задачи повышение эффективности использования ресурсов сводится к задаче повышения качества управления.

Выработка и передача конечному потребителю производственно-технологического процесса и вектора управления является информационным взаимодействием. *Выработка технологии, а соответственно, и управляющего вектора является отдельным технологическим процессом, в котором так же присутствуют управляющие векторы. Поэтому управление будет доминировать над технологией, в смысле причинности, но технология может влиять на выработку управляющего воздействия и в этом проявляется обратная связь определяющая устойчивую и возможно предопределённую эволюцию индустрии.*

Следует отметить, что по утверждению А. И. Фурсова эволюционная логика сложных систем всегда предопределена [31]. При этом технологии, безусловно, являются системообразующим фактором сложных систем.

В случае, если вид функции распределения $W(v|\mathcal{G})$ вектора управления $v \in V^{N+1}$ известен, а векторный параметр \mathcal{G} является одним из векторов V^{N+1} , будем говорить, что это параметрический случай. Если же известно, что функции распределения $W(v)$ принадлежит классу множеств всех непрерывных функций распределения, то случай будет непараметрическим. В соответствии с принципами информационной безопасности рассмотрим случай потери целостности и/или доступности управляющей информации, формирующей вектор управления. Вопрос конфиденциальности в данной работе не рассматривается (по крайней мере на данном этапе). В результате ошибки в управляющей информации может произойти полное или частичное нарушение технологического процесса. В статистической теории информации для оценки рисков потери информации используют функцию вида:

$$R(\gamma, \mathcal{G}) = \int_{V^{N+1}} \Pi(\gamma(v), \mathcal{G}) W(v|\mathcal{G}) dv, \quad (2)$$

где \mathcal{G} – параметр оценки; $\gamma(v)$ – класс функций оценки риска распознавания вектора управления, т. е. определения координат точки a для параметра \mathcal{G} ; $\Pi(\gamma(v), \mathcal{G})$ – функция потерь, учитывающая последствия выбора решения;

$P(\gamma(v), \vartheta)$ – условная функция распределения v при заданном параметре оценки ϑ [32].

Таким образом, зная последовательность технологического процесса и распределение вероятностей вектора управления, при фиксированном значении параметра оценки ϑ , можно отыскивать оптимальное решение $\hat{\gamma}(v)$ которое соответствует минимальному значению условного риска в заданном классе функций $\gamma(v)$. Возможные методы выбора решения, при заданных условиях, хорошо известны, например, из теории статистической радиотехники и определяются следующими критериями: критерий минимакса; критерий максимума апостериорной вероятности; критерий максимального правдоподобия.

Категоризация рисков

Произведём обобщённое определение области поиска управленческих решений определения траектории производственных процессов в ПТП (таблица 1).

Таблица 1 – Категоризация реализации рисков и определение области поиска

	Управляемые риски	Неуправляемые риски
Приемлемые риски	область оптимальной контролируемой траектории управления (1.1)	область потери устойчивости по управлению (1.2)
Неприемлемые риски	область критических потерь: разрушения технологических процессов и ресурсов (2.1)	область потери устойчивости по управлению и разрушения технологических процессов и ресурсов (2.2)

Поиск решения оптимальной контролируемой траектории осуществляется в области управляемых и приемлемых рисков.

Баланс непрерывного производства как баланс управления

Как известно многие производственно-технологические процессы в ходе своей реализации производят некоторую продукцию, которую частично или полностью потребляют сами, в частности подобные процессы, потребления продукта собственного производства, учтены в известной модели межотраслевого баланса Леонтьева. В предложенной выше модели производственно-технологических процессов (цифровом двойнике) отсутствует возможность учёта потребления продукта собственного производства. Поэтому исследуем модель баланса непрерывного производства, допускающую потребление продукта собственного производства, для этого введём понятие скорости

$c_n^p(t) = \frac{\partial x_n^p(t)}{\partial t}$ изменения ресурса $x_n^p(t)$. В случае замкнутого производственно-технологического процесса скорость изменения ресурса $e_n, n=1...N$ будет образована двумя составляющими, скоростью потребления ресурса $-\frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} \leq 0$, и

скоростью производства ресурса $\frac{\partial y_n^p(t)}{\partial t} \geq 0$. Таким образом, можно записать:

$c_n^p(t) = \frac{\partial x_n^p(t)}{\partial t} = \frac{\partial y_n^p(t)}{\partial t} - \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t}$. Общее изменение объёмов ресурса в процесс реали-

зации производственно-технологического процесса Δv^p , для $n = 1 \dots N$, будет:

$$\int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} c_n^p(t) dt = \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial x_n^p(t)}{\partial t} dt = \int_{t_0^p + \tau_n^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial y_n^p(t)}{\partial t} dt - \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} dt, \quad (3)$$

где τ_n^p – время задержки производства ресурса e_n от момента $t_0^p = x_{N+1}^p$ начала наблюдения производственно-технологического процесса до момента завершения наблюдения $t_0^p + T^p$, где $T^p = x_{N+1}^{p+1} - x_{N+1}^p$ – интервал времени работы исследуемого производственно-технологического процесса. Уравнение (3), есть уравнение баланса потребления/производства ресурса e_n отдельно взятым замкнутым ПТ процессом.

Если $\int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} c_n^p(t) dt < 0$, то происходит потребление ресурса e_n больше, чем

производство, если $\int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} c_n^p(t) dt > 0$, то производство ресурса e_n больше, чем по-

требление. Если некоторый производственно-технологический процесс непрерывен и мы производим его разбиение на интервалы $\dots, T^{p-1}, T^p, T^{p+1}, \dots$, то физической задержки τ_n^p производства ресурса e_n , наблюдаться не будет, но при этом некоторые ресурсы от предыдущего производственно-технологического процесса длительностью T^p будут наследоваться последующим производственно-технологическим процессом длительностью T^{p+1} . В результате, возможно непрерывного, и длительного наследования, такие наследуемые ресурсы могут быть скрытыми от управления ресурсами их фактическая оценка в, некоторых случаях, может быть затруднена.

В случае если исследуется весь производственно-технологический процесс, то $T = x_{N+1}^{p+1} - x_{N+1}^p$, то можно записать:

$$\int_{t_0^p}^{t_0^p + T} c_n^p(t) dt = x_n^{p+1} - x_n^p = \Delta x_n^p. \quad (4)$$

Если ввести цену q^n потребляемого ресурса e_n , то можно вычислить затраты производственно-технологического процесса, как:

$$\sum_{n=1}^N q^n \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} dt, \quad (5)$$

из которой возможно оценить необходимую цену реализации производимых ресурсов. Средняя стоимость единицы времени производственно-технологического процесса может быть оценена как:

$$\frac{\sum_{n=1}^N q^n \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} dt}{T^p}.$$

В случае открытого производственно-технологического процесса, т. е. такого процесса, в ходе реализации которого доступные ресурсы могут изменяться извне, например, приобретаться у внешних поставщиков или перераспределяться между другими, параллельными, процессами и/или производствами, а также утрачиваться в силу различных обстоятельств, уравнения (3, 4) общего баланса и изменения ресурсов будут иметь вид:

$$\Delta x_n^p = \int_{t_0^p + \tau_n^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial y_n^p(t)}{\partial t} dt - \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} dt + \tilde{y}_n^p - \tilde{z}_n^p, \quad (6)$$

где \tilde{y}_n^p – внешнее пополнение ресурса e_n , \tilde{z}_n^p – внешнее потребление ресурса e_n , в процессе реализации открытого производственно-технологического процесса Δv^p , причём $\Delta x_n^p \geq 0$.

Таким образом, уравнение (6) позволяет учесть суммарное изменение (потребление/производство) ресурсов от момента $t_0^p = x_{N+1}^p$, начала наблюдения ПТ процесса до момента завершения наблюдения $t_0^p + T^p = x_{N+1}^{p+1}$, в том числе, предприятиями реализующими параллельные производственно-технологические процессы. При этом изменение ресурса e_n производственно-технологическими процессами ${}^D\Delta v^p$ (D – множество индексов параллельных производственно-технологических процессов) параллельными наблюдаемому процессу ${}^d\Delta v^p, d \notin D$, интерпретируется как один из видов внешнего изменения \tilde{y}_n^p или \tilde{z}_n^p .

Для минимизации затоваривания производимым ресурсом e_n складов или простаивания на складах потребляемого ресурса e_n , опорные точки $a^p, a^{p+1}, \dots, a^{p+M+1} \in V^{N+1}$ по координате ресурса e_n должны располагаться по возможности ближе к началу координат. При этом следует учитывать, что на большинстве реальных предприятий реализуется параллельное потребление ресурсов множеством производственно-технологических процессов ${}^d\Delta v$, что может существенно увеличить суммарное потребление ресурса. С другой стороны, если предприятие заинтересованно в наращивании запаса некоторого ресурса, например, в рамках планирования расширения производства, то напротив, предпочтительным является удаление от начала координат по координате ресурса $e_n, n = 1 \dots N$.

Во многих случаях рассмотрение в едином пространстве ПТП ресурсов потребляемых и производимых может быть недостаточно информативно. Поэтому, кроме общего ПТП, предлагается использовать дополнительные производственно-технологические пространства: пространство прироста (производства, приобретения, добычи) ресурса (ППР) образованного компонентами (6)

$\int_{t_0^p + \tau_n^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial y_n^p(t)}{\partial t} dt + \tilde{y}_n^p$ и пространство убыли (самопотребления, реализации, потерь)

ресурса (ПУР) – $\int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_n^p(t)}{\partial t} dt - \tilde{z}_n^p$. При этом все сформулированные ранее прин-

ципы построения ПТП и анализа остаются в силе, причём:

- 1) размерности пространств ПТП, ППР, ПУР, совпадают;
- 2) в пространствах задаются опорные точки следующим образом:

- общее ПТП: $a^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_N^p, t^p)$;

- прирост ресурсов ППР: $a_{ППР}^p = (y_1^p, y_2^p, \dots, y_N^p, t^p)$;

- убыль ресурсов ПУР: $a_{ПУР}^p = (z_1^p, z_2^p, \dots, z_N^p, t^p)$;

причём $x_n^p = y_n^p - z_n^p, n = 1 \dots N$;

3) если возможен переход от дискретного задания координат опорных точек $a^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_N^p, t^p)$, $a_{ППР}^p = (y_1^p, y_2^p, \dots, y_N^p, t^p)$ и $a_{ПУР}^p = (z_1^p, z_2^p, \dots, z_N^p, t^p)$ к непрерывным функциям $a(x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t), t)$, $a_{ППР}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t), t)$ и $a_{ПУР}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t), t)$, то он осуществляется за счёт $\Delta t \rightarrow 0$, где $\Delta t = t^{p+1} - t^p$.

В некоторых случаях может быть полезным отдельный анализ потребления ресурсов собственного производства, в этом случае необходимо использовать расщепление пространства ПУР на пространство внутреннее (потребление ресурсов собственного производства, потери) и пространство внешнего потребления (реализации).

Алгоритмизация обеспечения информационной безопасности при управлении технологическими процессами и ресурсами

Практически важным вопрос практической реализации предлагаемой методологии обеспечения информационной безопасности при управлении ресурсами. Накопленный опыт показал, что наиболее удобным является способ визуального моделирования (разработка исполняемых блок-схем) с помощью средств графического программирования, например, на основе программ: Simulink (MatLab) [33], LabView [34], SimInTech [35] и других. Наглядность создания последовательных и параллельных технологических процессов, следования и трансформации ресурсов, замечательно отображается с помощью средств графического программирования. Рассмотрим некоторые базовые элементы необходимые для реализации исполняемых блок-схем рисунок 3. Источник и приёмник ресурса (рис. 3а), необходимы для построения целостного технологического процесса в заданных границах, источник и приёмник ресурсов определяют потоки ресурсов за пределы рассматриваемого одного или нескольких технологических процессов. Физически источник и приёмник ресурсов реализуется в виде вектора данных. Технологический процесс (рис. 3б), получает на вход ресурсы x_1, \dots, x_n , на выходе выдаёт ресурсы x_{n+1}, \dots, x_N , реализует функцию движения и преобразования (трансформации, накопления, транспортировки) ресурсов. Следует отметить, что параметр x_n определяет изменение (потребле-

ние или производство ресурса), т. к. $x_n = y_n - z_n, n=1...N$. В общем случае все элементы исполняемых блок-схем должны быть реализованы так, чтобы в случае необходимости были доступны все параметры $x_n, y_n, z_n, n=1...N$. Физически блок технологического процесса реализуется в виде алгоритмизированной последовательности действий программного модуля, определяющей технологический процесс. Блок блок-сумматор (рис. 3в), производит суммирование (или вычитание) ресурса x_n , он необходим в случае разделения или слияния ресурсов и может производить вычисление суммы или разности ресурсов, например, для различных вычислений в соответствии с уравнением: $x_n = y_n - z_n$.

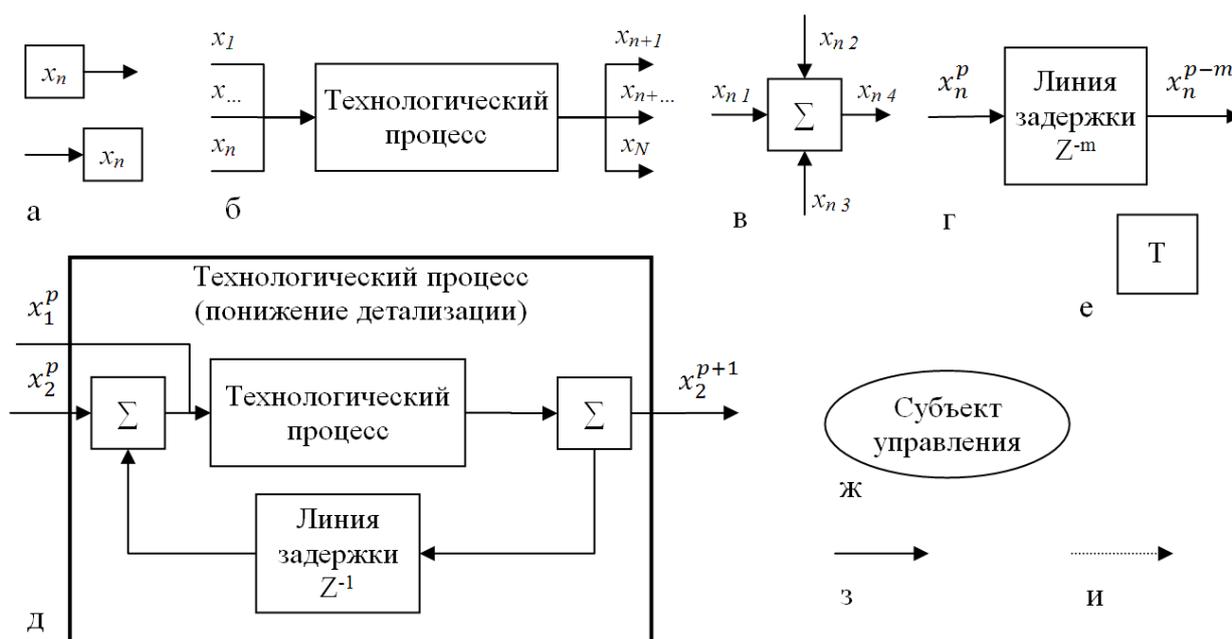


Рис. 3. Базовые конструкционные элементы исполняемых блок-схем реализации технологических процессов: а – источник и приёмник ресурса; б – технологический процесс получает на вход ресурсы x_1, \dots, x_n , на выходе выдаёт ресурсы x_{n+1}, \dots, x_N ; в – блок-сумматор, производит суммирование (или вычитание) ресурса x_n ; г – линия задержки, реализует задержку ресурса, необходимую, например, для реализации обратных связей и др.; д – понижение детализации, объединение технологического процесса в укрупнённый модуль; е – задающий временные интервалы таймер; ж – решатель; з – канал распространения ресурсов; и – информационный канал мониторинга и управления

Линия задержки (рис. 3г), необходима для задержки следования ресурса по заданной траектории. Она используется, например, для создания обратных связей, задержек (по различным причинам) ресурса на траектории движения и пр. Линия задержки может быть полезна, например, для моделирования транспортных задержек поступления ресурса, при этом время задержки определяется изменяемым параметром m . Понижение детализации технологического процесса с помощью объединения «внутренних» элементов технологического процес-

са (рис. 3д), обратим внимание, что приведённый в качестве примера «внутренний» технологический процесс, содержит обратную связь по ресурсу x_2 , т. е. самопотребление производимого ресурса x_2 , причём ресурс x_2 поступает в технологический процесс как из вне, так и в результате собственной работы, подобная ситуация может быть, например, в практике работы электростанции, когда для запуска электростанции необходима внешняя электроэнергия, а после запуска электростанция работает в режиме потребления на технологические нужды части электроэнергии собственного производства. Тактовый задающий генератор или таймер (рис. 3е), необходим для синхронизации процессов. В связи с тем, что в технологических процессах могут учувствовать процессы с различной скоростью протекания, для корректной работы исполняемой блок-схемы и оптимального расходования вычислительных ресурсов (памяти и процессорных мощностей) может понадобиться несколько различных тактовых сигналов, особенно при наличии обратных связей, отдельный тактовый сигнал может понадобиться для формирования опорных точек. Физически каналы распространения тактовых импульсов не обозначаются на блок схеме, тактовые импульсы могут быть доступны как глобальные переменные из любого модуля. Субъект управления (СУ) (рис. 3ж), подсистемой, осуществляющей мониторинг, управление и моделирование. В качестве СУ может выступать эксперт, экспертный совет, некоторая автоматическая или автоматизированная система обученная производить моделирование, оптимизацию, перебор возможных траекторий технологического процесса, определение оптимальных траекторий по заданным параметрам. СУ имеет возможность доступа и изменения параметров технологических процессов, например, реализованных в виде глобальных переменных или с помощью открытых методов реализации технологических процессов (в случае объектно-ориентированного подхода); СУ должен иметь возможность доступа и изменения векторов ресурсов, т.е у СУ имеются все необходимые права для моделирования и синтеза различных траекторий технологического процесса, обмен информацией между СУ и объектом управления осуществляется с помощью информационных каналов. Канал распространения ресурсов (рис. 3з), предназначен для ресурсной связности исполняемой блок-схемы. Информационный канал мониторинга и управления (рис. 3и), предназначен для реализации функций мониторинга и управления объектами исполняемой блок-схемы, в том числе для внутреннего информационного обмена (может дублировать обратные связи), по информационным каналам может передаваться только ресурс только одного вида: информация.

Оценка нарастающего ущерба и сужение диапазона приемлемых рисков

Рассмотрим следующий пример. Пусть имеется цепочка технологических процессов последовательного преобразования ресурсов (рис. 4) $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_4$, так же в процессе преобразования учувствуют дополнительные ресурсы x_5, x_6, x_7, x_8 . Для наглядности и исключения множественных альтернативных путей поступления ресурсов, допустим, что цепочка технологических процессов

не может получать ресурсы x_2, x_3, x_4 , никаким другим образом, кроме собственно-го производства, ресурсы, произведённые технологическим процессом P_1 потребляются только процессом P_2 и произведённые процессом P_2 потребляются только P_3 . Если существуют внешние потребители производимых ресурсов, то их так же можно учесть, включив в рассмотрение как элементы системы. Рассмотрим изменение диапазонов приемлемых рисков допустимых значений доступных ресурсов x_1, x_2, x_3, x_4 . Пусть для технологического процесса $x_2 = P_1(x_1, x_5)$ по производству ресурса x_2 допустимый диапазон изменения доступности ресурса $x_1 \in (x_{1,\min}, x_{1,\max})$, причём, для технологического процесса P_1 объём производства ресурса x_2 будет определяться доступностью ресурсов x_1, x_5 и возможностями технологического процесса P_1 . Так же и для технологического процесса, $x_3 = P_2(x_2, x_6, x_7)$ объём производства ресурса x_3 будет определяться доступностью ресурсов x_2, x_6, x_7 и возможностями технологического процесса P_2 . Следовательно, доступность ресурса x_1 , влияет на производство ресурса x_3 , при том, что ресурс x_1 не участвует непосредственно в технологическом процессе P_2 по производству ресурса x_3 . Аналогично, доступность ресурса x_1 , влияет на производство ресурса x_4 , технологического процесса P_3 . Следует отметить, что нижняя граница $x_{1,\min}$, определяет непосредственно реализацию функций последовательных преобразований $x_4 = P_3(P_2(P_1(x_1, x_5), x_6, x_7), x_8)$, верхняя граница $x_{1,\max}$ определяет живучесть технологического процесса P_1 , а следовательно возможность реализации всей цепочки. Например, превышение допустимого значения ресурса может поглотить весь оборотный капитал, остановив производство, или превышение допустимого трафика в сети может привести к выходу из строя узла связи (например, в результате «падения» сервера).

Задав допустимые риски в условных денежных единицах, и используя уравнение (6) оценки стоимости реализации технологического процесса, можно оценить диапазон допустимых значений ресурса. Так интервале от t_0^p до $t_0^p + T^p$ получим.

1. Для технологического процесса P_1 :

$$S(P_1^p) = q^1 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_1^p(t)}{\partial t} dt + q^5 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_5^p(t)}{\partial t} dt .$$

2. Для технологического процесса P_2 :

$$\begin{aligned} S(P_2^p) &= q^2 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_2^p(t)}{\partial t} dt + q^6 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_6^p(t)}{\partial t} dt + q^7 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_7^p(t)}{\partial t} dt = \\ &= q^1 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_1^p(t)}{\partial t} dt + q^5 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_5^p(t)}{\partial t} dt + q^6 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_6^p(t)}{\partial t} dt + q^7 \int_{t_0^p}^{t_0^p + T^p} \frac{\partial z_7^p(t)}{\partial t} dt. \end{aligned}$$

3. Для технологического процесса P_3 :

$$\begin{aligned}
 S(P_3^p) &= q^3 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_3^p(t)}{\partial t} dt + q^8 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_8^p(t)}{\partial t} dt = \\
 &= q^1 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_1^p(t)}{\partial t} dt + q^5 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_5^p(t)}{\partial t} dt + \\
 &+ q^6 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_6^p(t)}{\partial t} dt + q^7 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_7^p(t)}{\partial t} dt + q^8 \int_{t_0^p}^{t_0^p+T^p} \frac{\partial z_8^p(t)}{\partial t} dt
 \end{aligned}$$

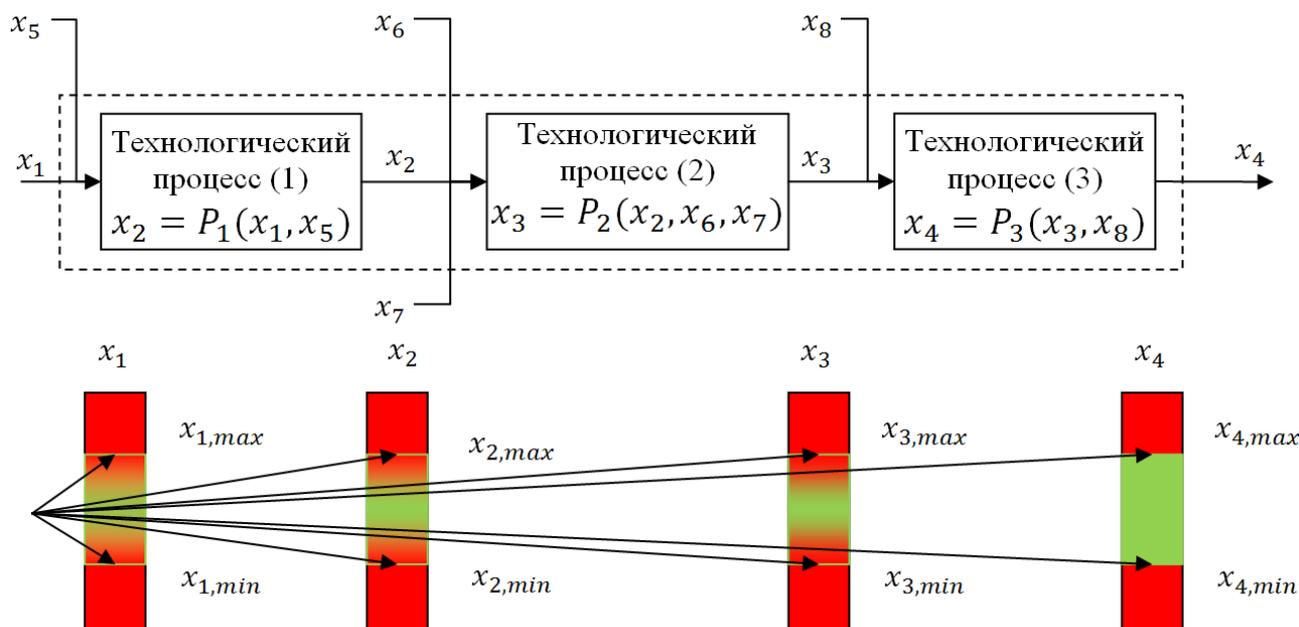


Рис. 4. Цепочка технологических процессов и диапазоны приемлемых рисков допустимых значений доступности ресурсов

Для анализа допустимых границ доступности ресурса $x_1 \in (x_{1,min}, x_{1,max})$, зададим и зафиксируем значения ресурсов x_5, x_6, x_7, x_8 , тогда величины стоимости реализации технологических процессов $S(P_1^p)$, $S(P_2^p)$ и $S(P_3^p)$, на заданном интервале времени от t_0^p до $t_0^p + T^p$ будут зависеть только от параметра x_1 . В результате добавленной стоимости, вносимой каждым технологическим процессом, вклад ресурса x_1 в каждый последующий процесс в цепочке производственных процессов $x_4 = P_3(P_2(P_1(x_1, x_5), x_6, x_7), x_8)$ будет возрастать, а следовательно, при заданных допустимых рисках в условных денежных единицах, допустимые границы доступности ресурса $x_1 \in (x_{1,min}, x_{1,max})$, будут сужаться. Таким образом, производя последовательный анализ допустимых границ доступности различных ресурсов можно сформировать «коридор» траекторий с допустимыми рисками.

Дополнительные условия определения конфигурации сложных технологических процессов и допустимых границ доступности каждого ресурса будут определять условия функционирования технологических процессов, например,

существуют такие процессы, которые недопустимо останавливать или время остановки которых строго ограничено. Например, остановка прокачки охлаждающего агента (воды) через контуры охлаждения атомного реактора недопустима, и нарушение питания насосов, в результате перебоя электропитания, может привести к необратимой потере устойчивости по управлению, разрушению технологических процессов и ресурсов. В таких случаях необходимо применять дублирующие источники ресурсов, достигая приемлемых рисков, используя методы теории надёжности производить анализ надёжности каждого источника в отдельности и ансамбля источников совместно.

Далее приведём некоторые относительно элементарные примеры практического применения предлагаемой модели.

Примеры, иллюстрирующие применение формальной модели

Рассмотрим пример применения методологии в некоторых задачах обеспечения безопасности управления автотранспортным предприятием (АТП). Будем считать, что для детализации АТП достаточно общего ПТП. Пусть состояние АТП и вектор ПТ процесса задаётся в ПТП начальным $a^{1,p}$ и конечным $a^{1,p+M_1+1}$ положениями, где первый индекс единица в записях $1,p$ и $1,p+M_1+1$ определяет уровень детализации (здесь 1 – верхний уровень детализации), а второй индекс отсчёт по времени. Пусть на верхнем уровне детализации положение задаётся в трёхмерном ПТП V^{2+1} , заданного следующими осями: объёма перевозок грузов $x_{1,1}$ [т] измеряемый в тоннах; прибыль, измеряемая в условных единицах (у.е.) получаемая с перевозки одной тонны на один километр $x_{1,2}$ [у.е./км]; времени измеряемого в годах t [г.]. Здесь и далее нижние индексы в записях $x_{1,1}$ и $x_{1,2}$ обозначают: первый – уровень детализации, второй – индекс ресурса (элемент мерности на текущем уровне детализации). При рассмотрении управления на данном уровне детализации ПТП значение $M_1=0$, поэтому маршрут производственно-технологического процесса задаётся вектором $\Delta v^{1,p} = v^{1,p+M_1+1} - v^{1,p}$, где $v^{1,p+M_1+1}, v^{1,p}$ – векторы управления, проведённые из начала системы координат ПТП V^{2+1} в опорные точки $a^{1,p}$ и $a^{1,p+M_1+1}$, соответственно.

Станем повышать уровень детализации по осям ПТП, так, например, ось ресурса $x_{1,2}$ (прибыль, получаемая с перевозки одной тонны на один километр) может быть увеличена за счёт повышения стоимости перевозок для заказчика и уменьшения стоимости перевозок для АТП. Повышение стоимости перевозок для заказчика возможно за счёт повышение качества «стандартного сервиса» (скорости, удобства, гарантий доставки, общего качества обслуживания заказчика), и за счёт «расширенного сервиса», например, реализуемого как сверхоперативные доставки грузов, доставки грузов в труднодоступные местности, доставка негабаритных грузов и пр. Обозначим прибыль, получаемую с одной тонны перевозимых грузов за счёт «стандартного сервиса» как $x_{2,1}$ [у.е./км]; «расширенного сервиса» как $x_{2,2}$ [у.е./км]. Уменьшение стоимости перевозок для АТП возможно за счёт сокращения расходов: на содержание техники АТП $x_{2,3}$ [у.е./км]; сокращения расходов на содержание необходимых зданий, соору-

жений и территорий $x_{2,4}$ [у.е./(\(\Gamma \cdot \text{км}\))]; сокращения расходов на персонал $x_{2,5}$ [у.е./(\(\Gamma \cdot \text{км}\))]; сокращения времени простоя техники $x_{2,6}$ [(у.е. г.)/(\(\Gamma \cdot \text{км}\))].

Соответственно, свёртка осей уровня детализации 2 позволяет получать ось $x_{1,2}$ уровня детализации (2): $x_{1,2} = \sum_{k=1}^6 \theta_{2,k} x_{2,k}$, где безразмерные: $\theta_{2,1}, \theta_{2,2}, \theta_{2,4}, \theta_{2,5}$ и размерные: $\theta_{2,3}$ [1/\(\Gamma\)], $\theta_{2,6}$ [1/\(\Gamma\)] весовые коэффициенты, которые определяют вклад в формирование оси $x_{1,2}$, причём $\sum_{k=1}^6 \theta_{2,k} = 1$ и $\theta_{2,k} > 0, k = 1 \dots 6$. При необходимости можно произвести покомпонентную детализацию оси объёма перевозок грузов $x_{1,1}$ [\(\Gamma\)], не подлежит покомпонентной детализации ось времени t [\(\Gamma\)], при этом возможно изменение временного масштаба. Далее можно повышать детализацию по осям, до необходимого уровня реализации эффективного контроля, планирования и управления. Следующий вид детализации – задание опорных точек соответствующего уровня детализации, параметра M_d , где d – уровень детализации и векторов маршрутов ПТ. При распараллеливании маршрутов, что в случае АТП может быть полезно при достижении уровня детализации на уровне учёта отдельного транспортного средства и его транспортных маршрутов, образуется несколько параллельных одноуровневых копий детализации ПТП которые могут быть свёрнуты в единое ПТП на уровне меньшей детализации.

Следует отметить, что для задания осей на текущем уровне детализации во многих случаях, возможно, обойтись без процедуры ортогонализации, задавая оси на основе опыта, стандартных документов (например, независимых статей расхода и пр.), особенностей функционирования объектов управления. При таком «произвольном» выборе осей ПТП возможна несогласованность по управлению между различными объектами управления, что допустимо, если управление данными объектами производится отдельно, в случае управления группой объектов необходимо согласовывать оси ПТП.

Как известно, в управлении сложными системами достаточно часто возникают задачи с взаимно противоположными требованиями, решение которых возможно за счёт некоторого компромисса, основанного на минимизации рисков управления. Так в случае рассмотренного выше примера АТП, такими задачами, например, являются: минимизация расходов на содержание техники и повышение качества сервиса доставки грузов, например, в рамках «стандартного сервиса» и «расширенного сервиса». Предоставление техники для перевозки негабаритных грузов, требует содержания данной техники или её аренды у сторонних АТП, что с учётом относительно малой распространённости подобной техники не будет способствовать минимизации расходов на содержание техники. В рассматриваемой ситуации значительным фактором будет, то как именно производится минимизация расходов на содержание техники, если при одноуровневом снижении качества обслуживания техники, то повышение качества транспортного сервиса при этом маловероятно, а если, например, за счёт повышения надёжности каждого отдельного мероприятия обслуживания, то возможно снижение числа поломок техники парка АТП, особенно в условиях вы-

полнения транспортных маршрутов, которые могут быть наиболее затратными, т. к. с большой долей вероятности приведут к снижению качества сервиса доставки грузов, потребуют применения «ремонта в полевых условиях» или эвакуации техники, перегрузки груза в замещающий транспорт и т. д., таким образом, вариации способов минимизации расходов на содержание техники порождает класс функций оценки риска $\gamma(x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3})$, в данном примере зависящих от параметров: $x_{2,1}$ – предоставления «стандартного сервиса»; $x_{2,2}$ – предоставления «расширенного сервиса»; $x_{2,3}$ – сокращения расходов на содержание техники АТП. Функция потерь $P(\gamma(x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}), \vartheta)$, в данном случае может быть задана как двумерная функция от параметров: $\gamma(\dots)$ и ϑ – вероятность выхода из строя средств парка АТП на различных этапах транспортного процесса. Условная функция потерь может быть определена как $W((x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}) | \vartheta)$, в результате запишем выражение для оценки рисков:

$$R(x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, \vartheta) = \iiint_{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}} P(\gamma(x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}), \vartheta) W((x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}) | \vartheta) dx_{2,1} dx_{2,2} dx_{2,3},$$

на основе которого можно записать целевую функцию на множестве допустимых значений:

$$\begin{cases} R(x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, \vartheta) \rightarrow \min \\ \min(x_{2,1}) \geq x_{2,1} \geq \max(x_{2,1}) \\ \min(x_{2,2}) \geq x_{2,2} \geq \max(x_{2,2}) \\ \min(x_{2,3}) \geq x_{2,3} \geq \max(x_{2,3}) \end{cases},$$

где $\min(x_{2,1}), \min(x_{2,2}), \min(x_{2,3})$ – минимально и $\max(x_{2,1}), \max(x_{2,2}), \max(x_{2,3})$ – максимально допустимые значения аргументов $x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}$, соответственно.

Задавая необходимое число параметров, ограничения и цель целевой функции, можно производить оптимизацию на различных уровнях детализации отыскивая наилучшие управленческие решения с допустимыми управляемыми рисками.

Рассмотрим следующий пример, модель формализации взаимодействия двух предприятий: обеспечивающего электроэнергией теплоэлектростанция (ТЭС) и предприятия металлообработки сталелитейный завод (СЛЗ) – потребителя электроэнергии (рис. 5).

Оценить время необходимое для задания тактового интервал возможно по длительности переходных процессов и/или по длительности характерных операций. Выбор тактовых интервалов должен обеспечивать устойчивость решения системы уравнений, описывающих технологический процесс. Для задания траектории технологического процесса достаточно иметь опорные точки, распределённые с интервалом, например, 1 час ($\Delta t_3=3600$ с). Но такой периодичности недостаточно, для реализации обратной связи $Z^{-1\Delta t_1}$ по вырабатываемой электрической мощности на ТЭС с учётом длительности переходных процессов, определяемых запуском и остановкой паровой турбины и генератора, необходим интервал не более 1 сек ($\Delta t_1=1$ с). Обратная связь по электрической мощности осуществляется с помощью информационного канала, с задержкой

$Z^{-1\Delta t_2}$, $\Delta t_2=60$ с, это необходимо для оперативного корректирования вырабатываемой ТЭС мощности с учётом нужд СЛЗ. Таким образом, в системе используется три тактовых интервала 1 с (внутренний для ТЭС), 1 мин. – для обратной связи СЛЗ-ТЭС и 1 ч общий для системы и опорных точек модели. В данном примере субъектом управления являются эксперт.

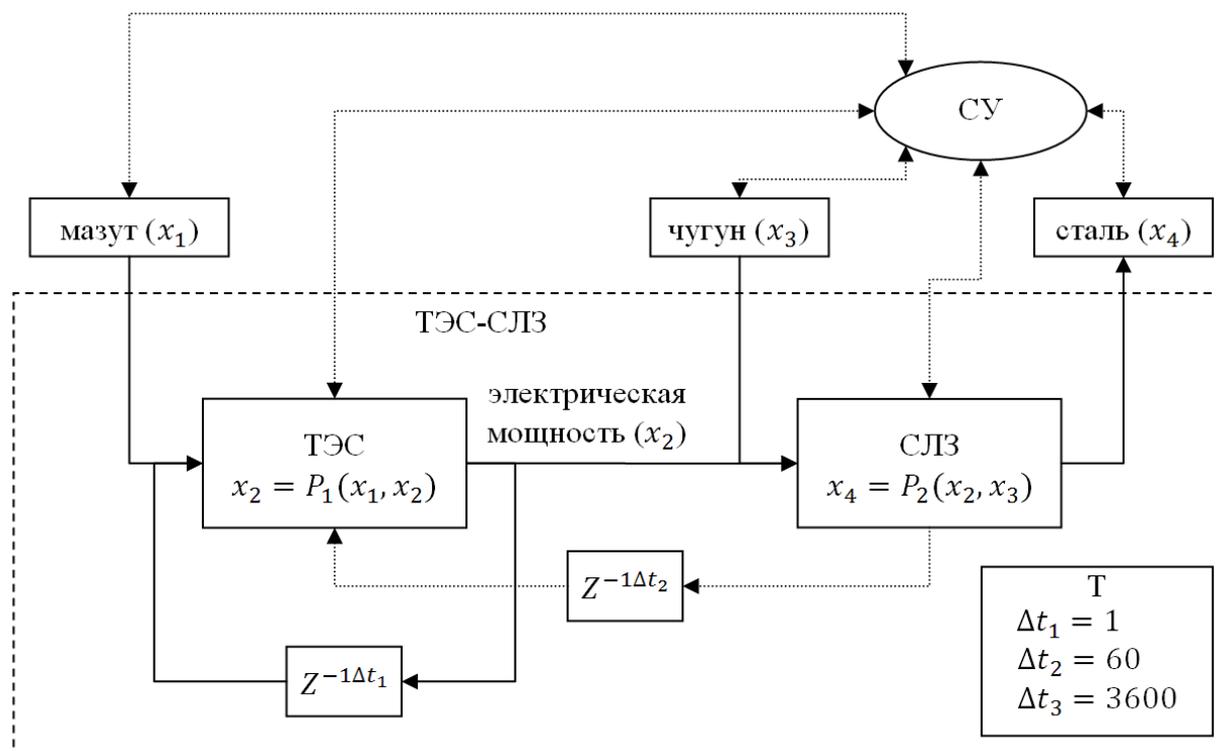


Рис. 5. Блок-схема взаимодействия двух предприятий: теплоэлектростанции (ТЭС) и сталелитейного завода (СЛЗ)

Будем обозначать ресурсы через разностную компоненту $x_n = y_n - z_n$, $n = 1...4$ при этом фактически будем рассчитывать все компоненты x_n^t, y_n^t, z_n^t , $n = 1...4, t = 0...720$ ч. Таким образом, без потери общности, время моделирования составляет 30 суток. На вход ТЭС поступает мазут x_1 (кг) и электрическая мощность x_2 (Вт) необходимая для работы насосов (создания давления топлива), подогрева топлива, освещения и пр. технических нужд, потребляемая ТЭС электроэнергия варьируется от 10 кВт, до 50 кВт в зависимости от сезона, времени суток, вырабатываемой мощности и др. На начальном этапе запуска ТЭС может использовать энергию локального дизель генератора или иную. Полезная энергия, выделяющаяся за время Δt_1 при сгорании мазута $E = \eta M_{\text{маз}} Q$, где $\eta = 0.25...0.34$ – КПД ТЭС зависит от мощности, максимальное значение КПД при номинальной мощности 1 МВт; $M_{\text{маз}}$ – масса мазута, кг; $Q = 3.97 \cdot 10^7$ МДж/кг – удельная теплота сгорания мазута; трансформируется в электроэнергию, при этом средняя, за относительно малый интервал времени Δt_1 , электрическая мощность $P = E / \Delta t_1$.

Будем считать, что система ТЭС-СЛЗ не подключена к внешним энерго-сетям, таким образом, имеется зависимость возможности функционирования

СЛЗ от выработки ТЭС электроэнергии, т. е. наличия у ТЭС ресурса x_1 и работоспособности ТЭС. Моделирование СЛЗ заключается в математическом отображении процесса потребления ресурсов электрической мощности x_2 и чугуна x_3 (кг) и производстве ресурса – выплавке стали x_4 (кг).

Внешний поставщик (мазута (x_1) и чугуна (x_3)), потребитель (сталь (x_4)), элементы системы ТЭС и СЛЗ дополнены информационными каналами обмена информацией с субъектом управления (СУ). Это необходимо для формирования заказа на поставку ресурсов и получения заказа на производство ресурсов, мониторинга следования ресурсов и управления при движении ресурсов за периметр системы ТЭС-СЛЗ. Изменения параметров заказа позволяет моделировать различные траектории технологического процесса в зависимости от спроса и предложения внешних ресурсов. Так же ТЭС и СЛЗ соединены информационным каналом для обмена информацией и формирования заказа от СЛЗ к ТЭС на необходимую электрическую мощность. Следует отметить, что в случае прихода противоречивых управляющих команд по различным каналам управления, необходимо назначать приоритет информационного источника, для выбора и принятия управляющей информации.

На изображениях (рис. 6) приведены результаты моделирования одной из траекторий работы системы ТЭС-СЛЗ.

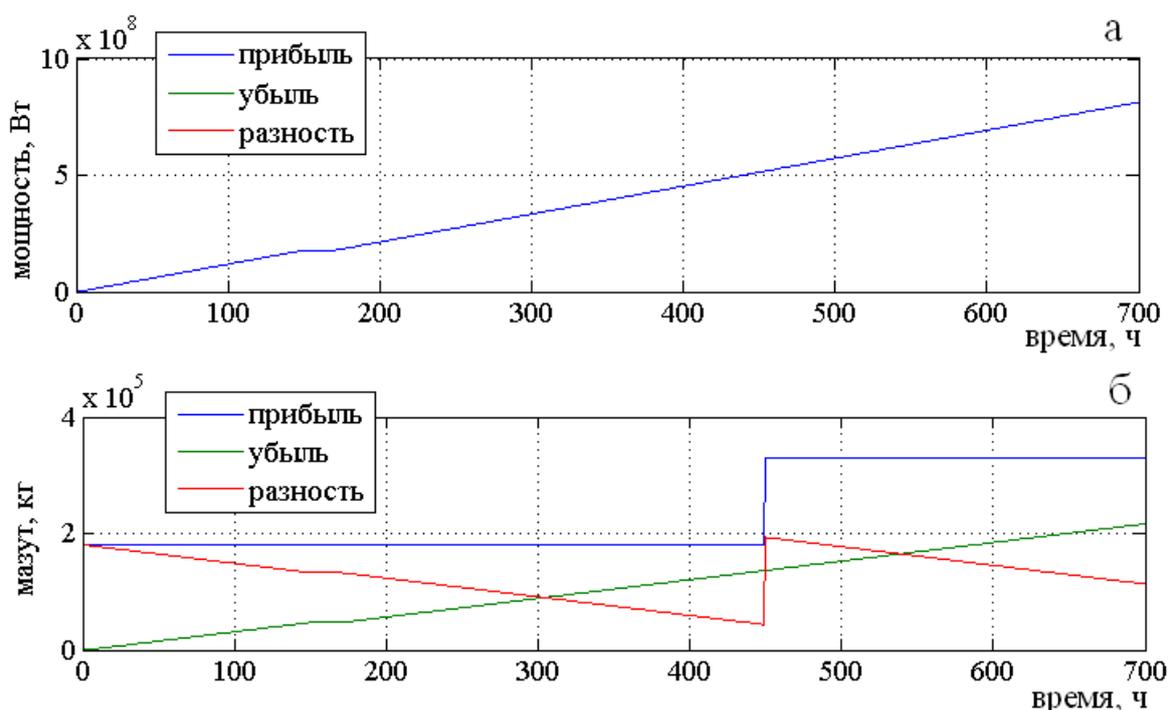


Рис. 6. Проекция траекторий движения ресурсов в ПТП:
а – мощность, вырабатываемая ТЭС; б – потребление мазута ТЭС

Графики (рис. 6, а) отображают мощность, вырабатываемую ТЭС, энергия нигде не запасается, а полностью расходуется, в том числе излишки энергии расходуются на нагрев проводов линии электропередач, обмоток генераторов и трансформаторов; на электромагнитное поле, излучаемое в пространство, что является одной из причин необходимости соответствия вырабатываемой и

запрашиваемой мощности. В результате полного расхода электроэнергии остатки неизрасходованной мощности равны нулю в каждый момент времени. При достаточном уровне детализации модели ТЭС-СЛЗ, возможен учёт потерь и расхода излишков электроэнергии в виде дополнительного технологического процесса передачи и трансформации электроэнергии, а также моделирования потерь в генераторе ТЭС, в рассматриваемой модели такой учёт не производился.

При $t = 150...172$ ч на графике вырабатываемой ТЭС мощности (рис. 6а), заметно плато, это результат временной приостановки работы ТЭС, связанной с необходимой технической профилактикой. Для того же интервала заметны характерные изменения и на всех прочих графиках (рис. 6). Так, например, снижается до нуля потребление мазута (рис. 6б). На графике (рис. 6б) заметно время пополнения мазутом танка ТЭС $t=450$ ч.

На графиках (рис. 7а, 7б, 7в) отображена работа СЛЗ. Регулярные ступеньки, с интервалом 96 ч, на графике прибыли чугуна отображают поставки чугуна на СЛЗ: 421536 кг каждые 96 ч. При этом за 96 ч планово расходуется 100% привезённого чугуна. Накопление возможно только в результате снижения темпов производства.

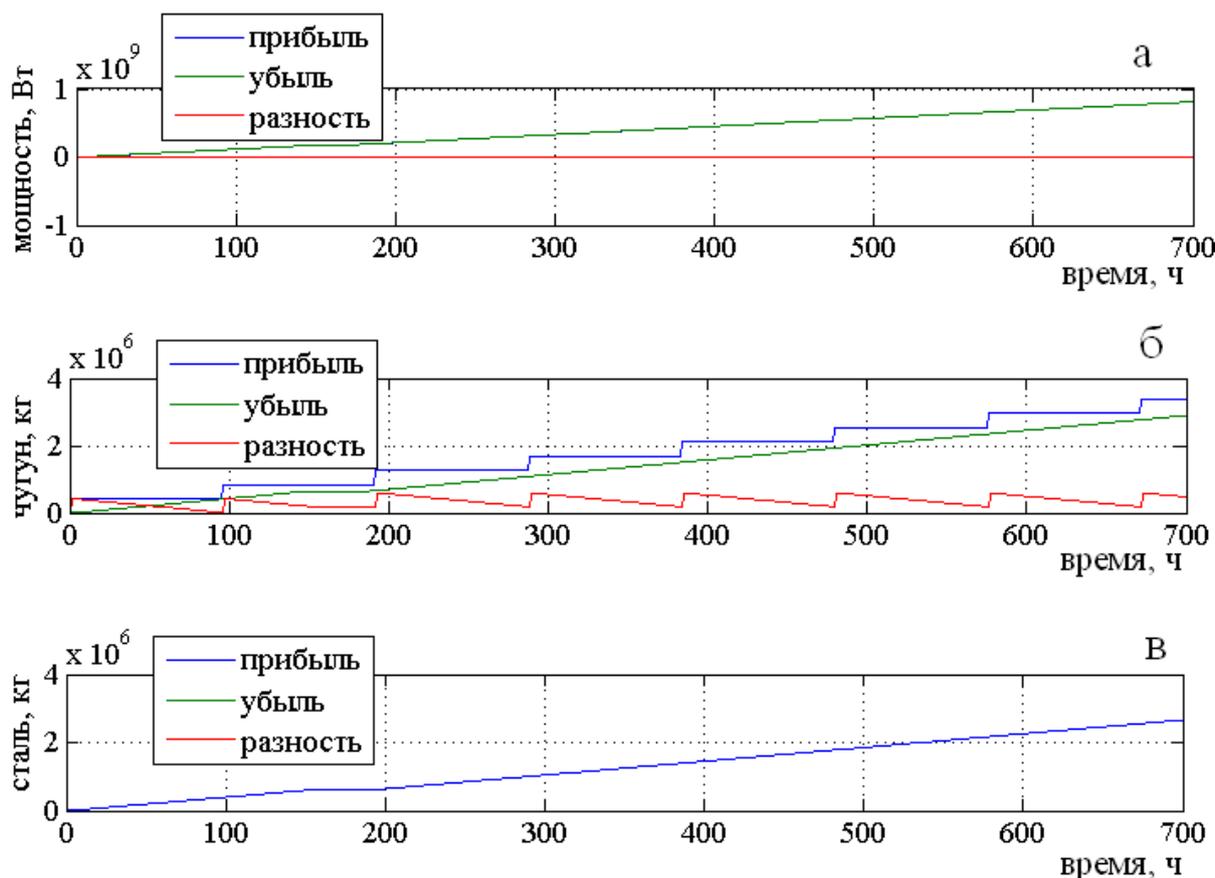


Рис. 7. Проекция траекторий движения ресурсов в ПТП:
а – мощность, потребляемая СЛЗ; б – потребляемый чугун СЛЗ;
в – выплавляемая сталь СЛЗ

При остановке ТЭС $t=150...172$ ч., энергия для переплавки чугуна не поступает, и плавильная печь начинает остывать (рис. 8). В дальнейшем, при за-

пуске технологического процесса СПЗ требуется разогрев печи, температура плавления чугуна принята как 1400°C. При нагреве печи расходуется энергия на нагрев шамотного кирпича и тепловое излучение, так же за счёт теплового излучения происходит потеря части энергии при работе печи.

Далее произведено моделирование семейства траекторий движения ресурсов, при изменении параметра: длительность простоя ТЭС с 50 ч, до 100, 200, 300, 400 и 500 ч (рис. 9).

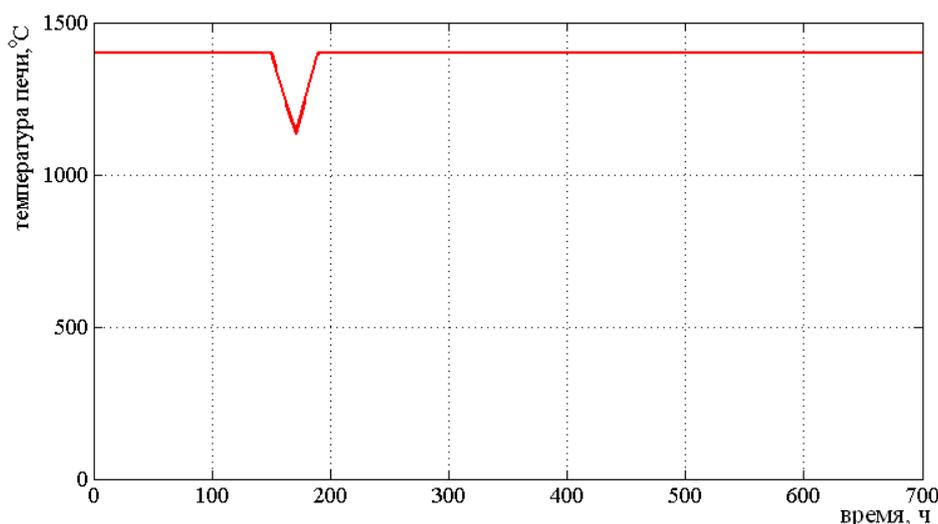


Рис. 8. Температура печи СПЗ

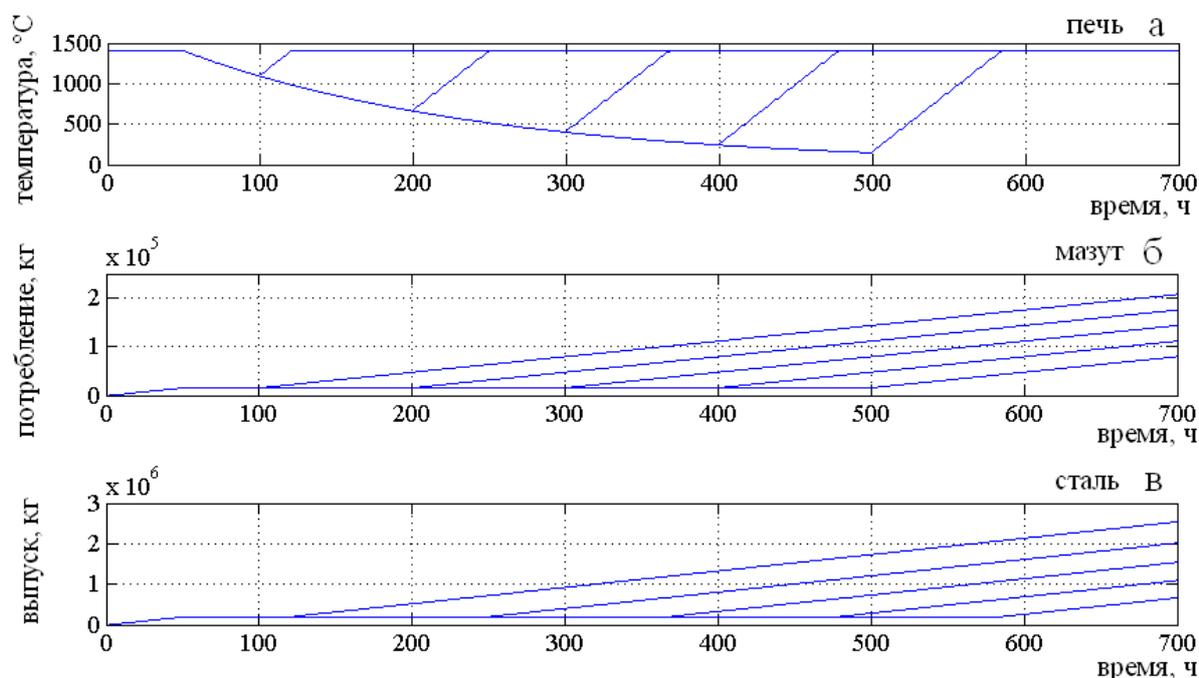


Рис. 9. Семейство графиков: а – температура печи; б – потребление мазута; в – выпуск стали

Дальнейший анализ производственно-технологического процесса ТЭС-СПЗ, позволяет задать допустимые границы доступности ресурсов, ограничения на режимы работы ТЭС и СПЗ, выбрать оптимальную траекторию, с учё-

том изменяющегося спроса на сталь, оценить ущерб в результате отклонения от заданной траектории.

Заключение

В работе изложена предлагаемая авторами методология формализации, оценки и прогнозирования безопасности процессов управления на основе отображения производственно-технологических процессов в производственно технологическое пространство (ПТП) и его компоненты: пространство прироста ресурсов (ППР) и пространство убыли ресурсов (ПУР). Перенос процессов управления в векторное пространство хорошо ассоциирован с внутренним ощущением человека об управлении, первично базирующемся на движении и определении координат объектов в пространстве и времени. Авторами предлагаются методы отображения процессов управления в производственно-технологическое пространство (ПТП), которое задаётся векторами определяющими эволюцию объекта управления на разных уровнях детализации, размерность и масштаб ПТП определяют уровень детализации управления, позволяют объединять различные объекты управления в единую систему связанных объектов расположенных в общем ПТП, что достигается за счёт интеграции модели межотраслевого баланса В. К. Дмитриева и В. В. Леонтьева в структуру модели движения ресурсов отображаемых в ПТП. Авторами предложены практические методы реализации методологии и анализа движения ресурсов в ПТП при реализации технологических процессов.

Литература

1. Imec and Cadence Tape Out Industry's First 3nm Test Chip // HPCwire Resource Library [Электронный ресурс]. 28.02.2018. – URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/imec-cadence-tape-industrys-first-3nm-test-chip/> (дата обращения 04 ноября 2020).
2. Достаточно общая теория управления ВП СССР. М.: Концептуал, 2016. 464 с.
3. Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г., Дукельский К. В. Метод численной оценки технической интероперабельности // Кибернетика и программирование. 2017. № 3. С. 23-38.
4. Гурьянов А. В., Заколдаев Д. А., Жаринов И. О. Многопараметрический алгоритм выбора технического облика механосборочного производства предприятия Индустрии 4.0 // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 1. С. 153-158.
5. Коробейников А. Г., Гришенцев А. Ю., Кутузов И. М., Пирожникова О. И., Соколов К. О., Литвинов Д. Ю. Разработка математической и имитационной моделей для расчета оценки защищенности объекта информатизации от несанкционированного физического проникновения // ВВ: Кибернетика и программирование. 2014. № 5. С. 14-25.

6. Колмогоров А. Н. Избранные труды. В 6 т. Т. 2. Теория вероятностей и математическая статистика. РАН, Отделение математических наук, Математический институт им. В. А. Стеклова. М.: Наука, 2005. 581 с.
7. Дмитриев В. К. Экономические очерки. М.: ГУ ВШЭ, 2001. 578 с.
8. Леонтьев В. В. и др. Исследования структуры американской экономики. Под ред. А. А. Конюса; пер. с англ. А. С. Игнатьева. М.: Госстатиздат, 1958. 640 с.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
10. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
11. Котельников В. А. О пропускной способности "эфира" и проволоки в электросвязи. Успехи Физических Наук. 2006. № 7 (176). С. 762–770.
12. Nyquist H. Certain factors affecting telegraph speed // Bell System Technical Journal. 1924. № 3. P. 324-346.
13. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Т. 27. P. 379-423, 623-656.
14. Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.
15. Герасимов И. В., Анкудинов И. Г. Гармонизация решений в управлении и проектировании // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. СПб.: ЛЭТИ, 2018. Т. 2. С. 15-17.
16. Гришенцев А. Ю., Гурьянов А. В., Кузнецова О. В., Шукалов А. В., Коробейников А. Г. Математическое обеспечение в системах автоматизированного проектирования. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 88 с.
17. Борисов В. В., Луферов В. С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С.1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201.
18. Antsaklis P. J., Passino K. M. An Introduction to Intelligent and Autonomous Control. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 1992. 448 p.
19. Bhagat P. Pattern Recognition in Industry. Amsterdam: Elsevier Science, 2005. 200 p.
20. Луценко И. А. Формирование структуры технологической подсистемы для решения задач оптимального управления // Scientific Journal «ScienceRise». 2015. № 5/2 (10). С. 20-24.
21. Gurjanov A. V., Shukalov A. V., Zakoldaev D. A., Zharinov I. O. Develop of reconfigurable manufacturing plant // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. № 4. P. 42-60.
22. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. // ВАК: официальный сайт [Электронный ресурс]. 05.13.2019. – URL: <http://arhvak.minobrnauki.gov.ru/316> (дата обращения 27 ноября 2020).

23. РД 50-250–81 Системы автоматизированного проектирования. Оценка показателей качества создания и функционирования. М.: Издательство стандартов, 1981. 18 с.

24. Laengle S., Modak N. M., Merigó J. M., De La Sotta C. Thirty years of the International Journal of Computer Integrated Manufacturing: a bibliometric analysis // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2018. vol. 31. P. 1247-1268. doi: 10.1080/0951192X.2018.1529434.

25. Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Warehouse management system customization and information availability in 3pl companies: a decision-support tool // Industrial Management & Data Systems. 2018. vol. 119. № 2. P. 251-273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033.

26. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication // White paper. 2014. vol. 1. P. 1-7.

27. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, Cham. 2017. P. 167-185. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.

28. Xiang F., Zhi Z., Jiang G. Digital Twins technology and its data fusion in iron and steel product life cycle. // Sensing and Control: 15th IEEE International Conference on Networking. 2018. P. 1-5. doi: 10.1109/ICNSC.2018.8361293

29. Söderberg R., Wärmefjord K., Carlson J. S., Lindkvist L. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. // CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2017. vol. 66 P. 137-140. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.038.

30. Schroeder G. N., Steinmetz C., Pereira C. E., Espindola D. B. Digital twin data modeling with automationML and a communication methodology for data exchange // IFAC-PapersOnLine. 2016. vol. 49. P. 12-17. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.115.

31. Фурсов А. О будущем мира без иллюзий. Что нас ждёт в ближайшие годы. // You Tube [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=HCWkWUCG3aE> (дата обращения 10 декабря 2020).

32. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В трёх книгах. Книга вторая. М.: Советское радио, 1975. 392 с.

33. MathWorks // The MathWorks, Inc [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://mathworks.com/> (дата обращения 01 ноября 2020).

34. LabVIEW // National Instruments corp [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://www.ni.com/> (дата обращения 01 ноября 2020).

35. SimInTech // ООО "ЗВ Сервис" [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <http://www.simintech.ru/> (дата обращения 2 ноября 2020).

References

1. Imec and Cadence Tape Out Industry's First 3nm Test Chip. *HPCwire Resource Library*, 28 February 2018. Available at: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/imec-cadence-tape-out-industrys-first-3nm-test-chip/> (accessed 04 November 2020).

2. *Dostatochno obchaja teorija upravlenija VP SSSR* [Enough general theory of control MI of the USSR]. Moscow, Conceptual, 2016. 464 p. (in Russian).

3. Grishentsev A. Yu., Korobeynikov A. G., Dukelskii K. V. Metod chislennoy ochenki tehnicheckoi interoperabil'nosti [Method of numerical evaluation of technical interoperability]. *Kibernetika i programmirovaniye*, 2017, no. 3, pp. 23-38 (in Russian).

4. Gurjanov A. V., Zakoldaev D. A., Zharinov I. O. Mnogoparametricheskii algoritm vybora tekhnicheskogo oblika mekhanosbornochnogo proizvodstva predpriyatija Industriya 4.0 [Multiparameter algorithm of a choice of technical appearance of machine-assembling manufacture of the enterprise of the Industry 4.0]. *Enginery Problems. Series 16. Anti-Terrorist Engineering Means*, 2019, no. 1, pp. 153-158 (in Russian).

5. Korobeynikov A. G., Grishentsev A. Yu., Kutuzov I. M., Pirozhnikova O. I., Sokolov K. O., Litvinov D. Yu. Razrabotka matematicheskoy i imitacionnoy modeley dlja rasheta ochenki zaschischennosti ob'ekta informatizacii ot nesankcionirovannogo fizicheskogo proniknovenija [Development of mathematical and imitative models for calculation of an estimation of security of object of information from unapproved physical penetration]. *NB: Kibernetika i programmirovaniye*, 2014, no. 5. pp. 14-25 (in Russian).

6. *Selected Works of A. N. Kolmogorov: Probability Theory and Mathematical Statistics*. Volume 2. Edited by A. N. Shirayayev. Moscow, Science, 2005, 581 p. (in Russian).

7. Dmitriev V. K. *Ekonomicheskie ocherki* [Economic sketches]. Moscow, the National Research University Higher School of Economics, 2001, 578 p. (in Russian).

8. Leontev V. V, etc. *Issledovanija struktury amerikanskoj ekonomiki* [Researches of structure of the American economy]. Moscow, Gosstatistdat, 1958. 640 p. (in Russian).

9. Prigozhin I, Stengers I. *Porjadok iz khaosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy* [The order from chaos. New dialogue of the person with the nature]. Moscow, Progress, 1986. 432 p (in Russian).

10. Nikolis G, Prigozhin I. *Samoorganizacija v neravnovesnykh sistemakh: Ot dissipativnykh struktur k uporyadochennym cherez fluktacii* [Self-organizing in nonequilibrium systems: From the dissipative structures to orderliness through fluctuations]. Moscow, Mir, 1979. 512 p. (in Russian).

11. Kotelnikov V. A. *O propucknoy sposobnosti efira I provoloki v electrosvjazi* [About carrying capacity of an ether and a wire in telecommunication]. Moscow, Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 2006, vol. 176, no. 7, pp. 762-770 (in Russian).

12. Nyquist H. Certain factors affecting telegraph speed. *Bell System Technical Journal*, 1924, no. 3, pp. 324-346.

13. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 1948, vol. 2, pp. 379-423, 623-656.

14. Vernadsky V. I. Nauchnaja mysl kak planetarnoe javlenie [Scientific thought as the planetary phenomenon]. Moscow, Science, 1991. 271 p. (in Russian).

15. Gerasimov I. V., Ankudinov I. G. Garmonizacia resheniy v upravlenii i proektirovanii [Harmonization of decisions in control and designing]. *Mezhdunarodnaja konferencija po mjagkim vychislenijam i izmerenijam* [The International conference on soft calculations and measurements]. Saint-Peterburg: Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", 2018, vol. 2, pp. 15-17 (in Russian).

16. Grishentsev A. Yu. Gurjanov A. V. Kuznetsova O. V. Shukalov A. V. Korobejnikov A. G. *Matematicheskoe obespechenie v sistemakh avtomatizirovannogo programmirovaniya* [Software in automated design engineering systems]. Saint-Petersburg, ITMO University, 2017. 88 p. (in Russian).

17. Borisov V. V., Luferov V. S. The method of multidimensional analysis and forecasting states of complex systems and processes based on Fuzzy Cognitive Temporal Models. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 2, pp. 1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201 (in Russian).

18. Antsaklis P. J., Passino K. M. *An Introduction to Intelligent and Autonomous Control*. Norwell, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 1992. 448 p.

19. Bhagat P. *Pattern Recognition in Industry*. Amsterdam, Elsevier Science, 2005. 200 p.

20. Lucenko I. A. Formirovanie struktury tekhnologicheskoy podsistemy dlja reshenija zadach optimal'nogo upravlenija [Formirovanie struktury of a technological subsystem for the decision of tasks of optimum control]. *Scientific Journal «ScienceRise»*, no. 5/2 (10), 2015, pp. 20-24 (in Russian).

21. Gurjanov A. V. Shukalov A. V. Zakoldaev D. A. Zharinov I. O. Develop of reconfigurable manufacturing plant. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1515, no. 4, pp. 42-60.

22. Metody i sistemy zaschity informacii, informacionnaja bezopasnost' [Methods and systems of protection of the information, information security]. *Higher Attestation Commission*, 05.13.2019. Available at: arhvak.minobrnauki.gov.ru/316 (accessed 27 November 2020) (in Russian).

23. Supervising document 50-250-81. *Sistemy avtomaticheskogo proektirovanija. Ocenka pokazatelej kachestva sozdaniya i funkcionirovanija* [Automated design engineering systems. An estimation of merit figures of creation and functioning]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1981. 18 p. (in Russian).

24. Laengle S., Modak N. M., Merigó J. M., De La Sotta C. Thirty years of the international journal of computer integrated manufacturing: a bibliometric analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2018, vol. 31, pp. 1247-1268. doi: 10.1080/0951192X.2018.1529434.

25. Baruffaldi G., Accorsi R., R. Manzini. Warehouse management system customization and information availability in 3pl companies: a decision-support tool. *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, no. 2, pp. 251-273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033.

26. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. *White paper*, 2014, vol. 1, pp. 1-7.

27. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen F.J., Flumerfelt S., Alves A. (eds) *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. Springer, Cham. 2017, pp. 167-185. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.

28. Xiang F., Zhi Z., Jian G. Digital twins technology and its data fusion in iron and steel product life cycle. *Sensing and Control (ICNSC), 15th International Conference on Networking*, 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICNSC.2018.8361293.

29. Söderberg R., Wärmefjord K., Carlson J. S., Lindkvist L. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2017, vol. 1, no. 66, pp. 137-140. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.038.

30. Schroeder G. N., Steinmetz C., Pereira C. E., Espindola D. B. Digital twin data modeling with automation ML and a communication methodology for data exchange. *IFAC-PapersOnLine*, 2016, vol. 49, pp. 12-17. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.115.

31. Fursov A. O buduschem mira bez illuzij. Chto nas zhdet v blizgayshie gody [About the future of the world without illusions. That is waiting for us in the next years]. *You Tube*, 2020. Available at: www.youtube.com/watch?v=HCWkWUCG3aE (accessed 27 November 2020). (in Russian).

32. Levin B. R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical bases of statistical radio engineering]. In three books. The second book. Moscow, Sovetskoe radio, 1975. 392 p. (in Russian).

33. MathWorks. *The MathWorks, Inc.*, 2020. Available at: mathworks.com/ (accessed 01 November 2020).

34. LabVIEW. *National Instruments corp.*, 2020. Available at: www.ni.com/ (accessed 01 November 2020).

35. SimInTech. *ООО "3B Servis"*, 2020. Available at: www.simintech.ru/ (accessed 05 November 2020).

Статья поступила 21 декабря 2020 г.

Информация об авторах

Заклдаев Данил Анатольевич – кандидат технических наук, доцент. Декан факультета Безопасных информационных технологий. Национальный исследовательский университет ИТМО. Область научных интересов: информационная безопасность; управление информационной безопасностью на производстве; обработка больших данных; системы автоматизированного проектирования. E-mail: d.zakoldaev@mail.ru

Гришентцев Алексей Юрьевич – доктор технических наук, доцент. Доцент факультета Безопасных информационных технологий. Национальный исследовательский университет ИТМО. Область научных интересов: системы широкополосной связи; методы синтеза и анализа сигналов; системы управления; информационная безопасность. E-mail: AGrishentsev@yandex.ru

Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Formal model of information security in the management of resources in production

D. A. Zakoldaev, A. Y. Grishentsev

Problem statement: automation of industrial areas and productions, strengthening of interdependence and integration between productions and branches at simultaneous growth of available computing capacities causes relevance of automation of management of production and technological processes and increase of level of their safety at all levels of system functioning. The known methods require significant improvement and there is no general solution to the problem of automation of production and industry management. The known methods require significant improvement and there is no **General solution** to the problem of automation of production and industry management. The aim of the work is to develop a formal model as a set of methods united by a common ideology to ensure information security in the management of production resources and industries based on the mapping of production and technological processes in the phase space. **Methods used:** the solution of the problem of mapping production and technological processes to the phase space is solved by decomposing the production and technological process into groups and stages of sequential and parallel controlled transformations of resources; based on the prediction and analysis of flows in phase space to be made to develop an optimal controlled trajectory of resources in the field is acceptable and managed. **Novelty:** the novelty elements of the presented solution are the combination of previously known models of inter-industry balance and mapping of technological processes in the phase space with information security models based on the proposed concept of ensuring information security in resource management by modeling and analyzing the movement and transformation of resources. **The result** of this work is the proposed conceptual model, detailed at a level sufficient for practical application. **Practical significance:** consists in developing tools for modeling, analyzing, and predicting the adoption, formation and formalization of management decisions that allow to implement the process of managing production and technological processes within area of acceptable and manageable risks.

Key words: information security, management, decision-making, vector space.

Information about Authors

Danil Anatolyevich Zakoldaev – Ph.D. of Engineering Sciences, associate Professor. Dean of the Faculty of Secure Information Technologies. ITMO University. Field of research: information security; industrial information security management; big data processing; computer-aided design systems. E-mail: d.zakoldaev@mail.ru

Alexey Yurievich Grishentsev – Dr. habil. of Engineering Sciences, associate Professor. Associate Professor, Faculty of Secure Information Technologies. ITMO University. Field of research: broadband communication systems; methods of signal synthesis and analysis; control systems; information security. E-mail: AGrishentsev@yandex.ru

Address: Russia, 197101, St. Petersburg, Kronverksky Pr. 49, bldg. A.