

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 65.011.56 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.2.32.42

**Научно-методические подходы
к решению задачи моделирования предприятия
на базе концептуальных положений цифровых технологий**

Т. И. Жамойдик, *zhamoydik.ti@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Г. А. Ревяков, *к. т. н.*, *revyakov_ga@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье на базе концептуальных положений цифровых технологий представлены научно-методические подходы к решению задачи моделирования предприятия, процесса производства, продукции и ресурсов на всех этапах жизненного цикла. При использовании методов и моделей математической экономики, системного анализа и теории систем рассматриваются вопросы формирования устойчивой системы управления наукоемким производством с учетом процессов деградации и восстановления ресурсов. При описании имитационной модели кадровой ресурсной составляющей как одного из ключевых компонентов, отражающих готовность и способность организации к решению сложных научно-производственных задач, рассматривается проблемная область кадрового обеспечения, взаимосвязи профессионального уровня работников и учебно-научного сопровождения, повышения квалификации персонала. Рассматривается взаимосвязь состояния морально-психологического ресурса, характеризующегося в основном моральными и психофизическими факторами, и системы менеджмента качества в модели «виртуального предприятия», функционирующего в едином географически распределенном информационном пространстве.

Ключевые слова: цифровые технологии, единое информационное пространство, жизненный цикл, ресурсы, интегрированная среда, управление качеством, учебно-научное сопровождение

**Research and Methodological Approaches
to Solving the Problem of Enterprise Modeling
based on the Conceptual Provisions of Digital Technologies**

T. I. Zhamoydik, *zhamoydik.ti@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

G. A. Revyakov, *Cand. Sci. (Engineering)*, *revyakov_ga@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article sets forth research and methodological approaches to solving the problem of enterprise modeling, of the production process, products and resources at all stages of the life cycle based on the conceptual provisions of digital technologies. With the help of methods and models of mathematical economics, systems analysis and systems theory, the issues of building a stable management system for a knowledge-intensive industry with account of resource degradation and recovery processes are considered. When describing the simulation model of the human resource component (one of the key components reflecting the readiness and ability of the organization to solve complex research and production problems), an area of concern in staffing — the relationship between the professional level of employees and educational and research support, personnel development is considered. The article focuses on the relationship between the state of the morale, which is mainly characterized by moral and psychophysical factors, and the quality management system in the model of a “virtual enterprise” operating in a single geographically distributed information space.

Keywords: digital technologies, PLM, single information space, life cycle, resources, integrated environment, quality management, educational and research support

Введение

В условиях постоянно растущей конкуренции за лидерство в области освоения космического пространства на основе использования инновационных технологий, способных обеспечить высокое качество и конкурентоспособность продукции ракетно-космического приборостроения и информационных систем, необходимо прогнозировать риски, заблаговременно готовиться и оперативно реагировать на изменения обстановки. По мнению ряда американских экспертов, «в 80-е годы прошлого столетия все решало качество, т. е. уровень используемых технологий, в 90-е — реинжиниринг, т. е. организация совместного осуществления большого числа одновременно выполняемых и постоянно обновляемых технологических процессов, в начале XXI века ключом к успеху будет скорость совершенствования всей организационной среды, в первую очередь кадровой составляющей крупного бизнеса в целом» [1].

Одной из критических технологий, обеспечивающих динамическое развитие организационной среды индустрии высокотехнологичного производства, каковым является космическое приборостроение, считаются цифровые технологии (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий (ЖЦИ), для реализации которой ключевое значение имеет система управления персоналом, связанная прямым и непосредственным образом с системой менеджмента качества (СМК).

На протяжении сравнительно непродолжительного периода использования цифровых технологий информационной поддержки ЖЦИ, таких как: CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) в США, PLM (Product Lifecycle Management — управление жизненным циклом изделия) в Европейском Союзе и ИПИ (информационной поддержки изделий) в нашей стране получен результат, свидетельствующий о том, что эти технологии позволяют, наряду с достижением высокого технического совершенства наукоемкого изделия, значительно сократить сроки его выпуска (на 25–30 %) и существенно снизить себестоимость (на 20 %) [2].

Суть концептуальных положений цифровых технологий информационной поддержки ЖЦИ состоит в «непрерывном интегрированном информа-

ционным обеспечении участников ЖЦИ данными об изделиях, связанных с ними процессах и сводится к созданию единой интегрированной модели изделия» [3] на базе общих для наукоемкого производства передовых подходов в инновационных научно-технических направлениях, таких как интегрированная компьютеризация, единая информационная среда, соответствие стандартам, электронное моделирование и определение изделий, применение современных технологий, прогнозирование влияния проектов, информационная модель ресурсов, система навигационно-информационного обеспечения, информационная безопасность и весьма важная часть — учебно-научное сопровождение кадров.

В соответствии с международными стандартами ISO серии 9000 версии 2000 «система управления качеством продукции является важнейшим направлением деятельности предприятий, базируется на информационной системе, поддерживающей автоматизированную обработку данных и документированных процессов обеспечения качества на всех этапах ЖЦ промышленных изделий, автоматизированное управление процессами, данными, документацией, персоналом и пр.» [4].

При решении задач автоматизации процессов управления предприятиями и организациями ракетно-космической промышленности, участвующими в разработке, создании и эксплуатации высокотехнологичной научно-технической продукции (НТП), когда, согласно концепции технологий информационной поддержки ЖЦИ, *в едином информационном пространстве связаны изделие, процесс, предприятие и ресурсы*, важнейшим компонентом которых были и остаются кадры, решающее значение придается оценке готовности каждого специалиста к выполнению своих функциональных обязанностей, желания и способности к дальнейшему совершенствованию профессионального уровня, понимания личной ответственности за надлежащее качество создаваемой высокотехнологичной продукции [2]. В соответствии с международными стандартами ISO серии 9000 версии 2000 система управления качеством продукции является важнейшим направлением деятельности предприятий, которое базируется на автоматизированных средствах обработки данных и документирования процессов обеспечения качества на всех этапах

ЖЦ промышленных изделий при определяющей роли человеческого фактора.

Цель данной статьи — исследование в области применения технологий информационной поддержки ЖЦИ в части, касающейся автоматизации процессов кадрового обеспечения и учебно-научного сопровождения наукоемких программ [5]. Для решения задач мониторинга процессов непрерывного профессионального образования кадров и оперативного управления процессом подготовки специалистов предлагается на научно-методической платформе формирования «виртуального предприятия» рассмотреть в динамике имитационные модели ресурсов, привлекаемых к разработке, созданию и эксплуатации высокотехнологичной продукции.

Научно-методическая платформа формирования «виртуального предприятия»

Весьма актуальной является задача формирования устойчивой системы управления, в которой активными будут перспективные долгосрочные программы по разработке информационных моделей человеческих ресурсов, исследований в области интегрированного информационного обеспечения. Эти программы неразрывно связаны с преемственностью научных школ (поколений) [4].

Поскольку предприятия, участвующие в реализации высокотехнологичных проектов, как правило, удалены друг от друга, используют различные программно-технические решения, различное технологическое оборудование и программное обеспечение (ПО), с позиции цифровых технологий стала актуальной и получила развитие идея использования термина «*виртуальное предприятие*», «под которым понимается группа предприятий (КБ, НИИ, финальные предприятия изделий; поставщики агрегатов, нормализованных элементов, крепежа, полуфабрикатов, материалов, эксплуатирующие организации), объединенных на контрактной основе, не имеющих общей юридической организационной платформы, но обладающих единой информационной инфраструктурой использования компьютерной поддержки ЖЦ конкретного изделия и связанных общими бизнес-процессами» при ключевой

роли ОКБ (генеральный конструктор), т. е. организационная форма выполнения крупномасштабных высокотехнологичных научно-технических проектов [7].

В качестве ядра современной СМК предприятия, соответствующего требованиям ГОСТ Р ИСО-9000, рассматривается построение интегрированного по всем компонентам (кадровым, материально-техническим, инфраструктурным и другим) информационного поля, обеспечивающего полное электронное определение изделия и реализованного, например, в качестве интегрированной системы PDM/TDM/WorkFlow как ядра базовых цифровых технологий [8]. Кроме того, на предприятиях космической отрасли широко используются: ERP-системы, САПР (CAD), программные системы моделирования, системы инженерных расчетов (CAE) и аналитической обработки данных, такие как DM, OLAP, BI и другие. Такая интеграция обусловлена тем, что «СМК представляет совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих между собой процессов, рассматриваемых как единое целое, в то время как управление — это процесс, который обеспечивает сохранение определенной структуры этой системы, поддержание заданной программы ее деятельности и достижение ею заданных целей. В общем случае решения выдаются в виде управляющих воздействий, поступающих на исполнительные органы, которые и осуществляют изменения состояния ее компонентов и системы в целом. Реализацию управляющих воздействий (решений) обеспечивают материальные, финансовые, трудовые, информационные и другие ресурсы» [9].

Руководствуясь принципами системного анализа, концептуальными положениями теории эргатических систем (ЭС), используя методы и модели математической экономики и теории систем, формируем имитационную модель виртуального предприятия как сложной социально-технической (человеко-машинной) системы, используя совокупность возможностей описания в динамике изменения свойств и характеристик, присущих объекту информационного взаимодействия, включая свойства приема, обработки (восприятия), хранения и распределения информации с учетом его изменений под действием внутрисистемных процессов и воздействий из окружающей среды [10].

Для создания интегрированной информационной среды предприятия необходима гибкая, настраиваемая программно-техническая система (ПТС), которая обеспечит возможность интеграции существующих ПТС, наращивание всех компонентов системы с учетом специфики деятельности предприятия, в том числе путем использования «переходников» между существующими и разрабатываемыми системами [8].

Функционирование виртуального предприятия представляется как производственный процесс, в котором используются [11] следующие виды материальных ресурсов.

1. Материальные ресурсы в составе:

– *X*-кадрового ресурсного компонента, характеризующегося наличием необходимого количества персонала соответствующего уровня квалификации и профессиональной подготовки (знания, умения, навыки);

– *Y*-материально-технического ресурсного компонента, который определяется показателями наличия, укомплектованности и состояния работоспособности материально-технических средств, обеспеченности средствами материально-технического снабжения отрасли (ведомства, предприятия), предназначенными для решения поставленных производственных задач;

– *Z*-инфраструктурного ресурсного компонента, который характеризуется уровнем развития и технического состояния отраслевой (ведомственной) инфраструктуры, обеспечивающей решение целевых задач отрасли (ведомства, предприятия);

– *G*-географического или природно-климатического ресурсного компонента, характеризующегося географическими факторами, состоянием природной среды, атмосферно-климатическими условиями и другими показателями на занимаемом географическом пространстве.

2. Нематериальные ресурсные компоненты [9], включая:

– *T*-технологический ресурс — характеризуется показателями технологического уровня, совокупностью приемов и способов решения поставленных научно-производственных задач;

– *I*-информационный ресурс — определяется возможностями отраслевых (ведомственных, производственных) средств программно-математическо-

го обеспечения, баз данных и знаний, обеспечивающих как информационный обмен внутри ЭС, так и информационное взаимодействие во внешней среде;

– *H*-организационный ресурс — характеризуется показателями состояния нормативной и правовой базы, административной и организационно-штатной составляющих отраслевых структур, ведомств, предприятий и организаций;

– *Ψ*-морально-психологический ресурс — характеризуется показателями морально-психологического состояния производственного коллектива и/или человека-оператора, стержнем которого является мотивационная составляющая.

Важным компонентом, не участвующим непосредственно в производственной деятельности, но оказывающим непосредственное влияние на весь ЖЦ наукоемкой продукции, является *S*-финансово-экономический ресурс [9], характеризующийся достаточно хорошо исследованными и широко используемыми показателями, которые не являются предметом рассмотрения в настоящей статье.

Совокупность представленных ресурсных компонентов в достаточной степени отражает состав, определяющий основные возможности функционирования и показатели состояния работоспособности ЭС, характеризующейся свойствами как объекта, так и субъекта информационного взаимодействия, в отношении которого осуществляются информационные воздействия внутрисистемных источников, а также извне, генерируемые участниками информационного взаимодействия. Ресурсы, используемые ЭС в процессе производственной деятельности, оказывают определенное влияние друг на друга, что приводит к соответствующим количественным и качественным изменениям, происходящим как в результате внутрисистемных процессов (естественной и искусственной деградации, восстановления), так и в результате привнесенных извне воздействий естественного и искусственного характеров [12].

Для формирования внутренней структуры виртуального предприятия на базе концептуальных положений математической экономики вводится понятие производственного элемента (ПЭ), инвариантного к типу производимого продукта. ПЭ рассматривается как базовая виртуальная конструкция,

из совокупности которых при объединении в сетевые структуры, как из кирпичиков, собирается общая модель системы производства с ее внутренней средой информационного взаимодействия, интегрированной в окружающее информационное пространство, которое тоже имеет сложную сетевую структуру информационного обмена. При рассмотрении производственного процесса с позиций управления посредством информационного взаимодействия следует учитывать, что информационные возможности в соответствии с информационными потребностями должны быть направлены на решение поставленной производственной задачи при условии обеспечения заданных характеристик информационного обмена и информационного взаимодействия [10].

При дальнейшем исследовании модели ПЭ используется понятие динамической производственной функции (ПФ), которая представляет собой синтез ПФ, широко применяемой в моделях математической экономики, и абстрактной динамической системы, которая является центральным понятием общей теории систем. При рассмотрении традиционно понимаемой под ПФ функциональной зависимости «выпуск–затраты», которая может характеризоваться показателями натурального (валового), либо денежного, либо другого вида ресурса, представляется вполне логичным в модели ПЭ разделить «выпускаемый продукт», включающий материальные и нематериальные компоненты, на две составные части, а именно [13]:

а) *полезный продукт*, на получение которого направлена производственная деятельность и объем которого, как правило, ЭС стремится наращивать;

б) *производственные отходы*, которые сопровождают процесс выпуска полезного продукта и чей объем, как правило, стремятся сократить.

При рассмотрении модели виртуального предприятия следует также учитывать следующие особенности функционирования модели ПЭ, инвариантной к типу производимого продукта [12]:

1. Материальные ресурсы (X, Y, Z) в модели ПЭ в процессе производства изменяют свои количественные — $m^M(t)$ и качественные — $k^M(t)$ характеристики.

2. Нематериальные ресурсы (I, Ψ, H), характеризующие производственные условия, изменяют-

ся только в плане своих качественных показателей — $k^H(t)$.

3. Как экзогенные производственные факторы, которые задаются перед началом процесса производства при параметрической настройке модели, рассматриваются:

– количественная составляющая географического G -ресурса — $G(t) > m^G(t) = \text{const}$;

– количественная и качественная составляющие T -ресурса — $T(t) = \langle m^T(t), k^T(t) \rangle = \text{const}$.

Именно возможность изменения материальными и нематериальными ресурсами (активами) в процессе выпуска полезного продукта своих количественных и качественных показателей отличает динамическую ПФ от классической и благодаря этому преобразует ЭС в динамическую систему с соответствующими свойствами [10], в модели которой учитываются свойства материальных и нематериальных ресурсных компонентов изменять в процессе выпуска полезного продукта свои количественные и качественные характеристики.

Согласно общей теории систем абстрактная динамическая система, представленная в виде обобщенного ПЭ, инвариантного к типу производимого продукта (рисунок), задается тремя функциональными зависимостями [5, 10].

1. Уравнением входа, которое описывает темп количественного поступления и изъятия ресурсных компонентов в процессе выпуска полезной продукции вида

$$dR_n(t)/dt = q[t, G(t), R_n(t), R_3(t), U_p(t)],$$

где $q[*]$ — вектор-функция входа — характеризует как процесс восполнения ресурсов, участвующих в производственном процессе, $R_n(t)$ за счет ресурсов, находящихся в резерве, $R_3(t)$ и непосредственно не используемых в процессе производства, так и процесс изъятия участвующих в производственном процессе ресурсов — $R_n(t)$ и перевод их в резерв, т. е. в разряд запасных $R_3(t)$; $U_p(t)$ — вектор управления ресурсами.

2. Уравнением обусловленного потреблением ресурсов состояния, которое описывает темп количественных и качественных изменений материальных и нематериальных ресурсов в процессе выпуска полезной продукции вида

$$dR_n(t)/dt = S[t, T(t), G(t), R_n(t), U(t), D(t)],$$

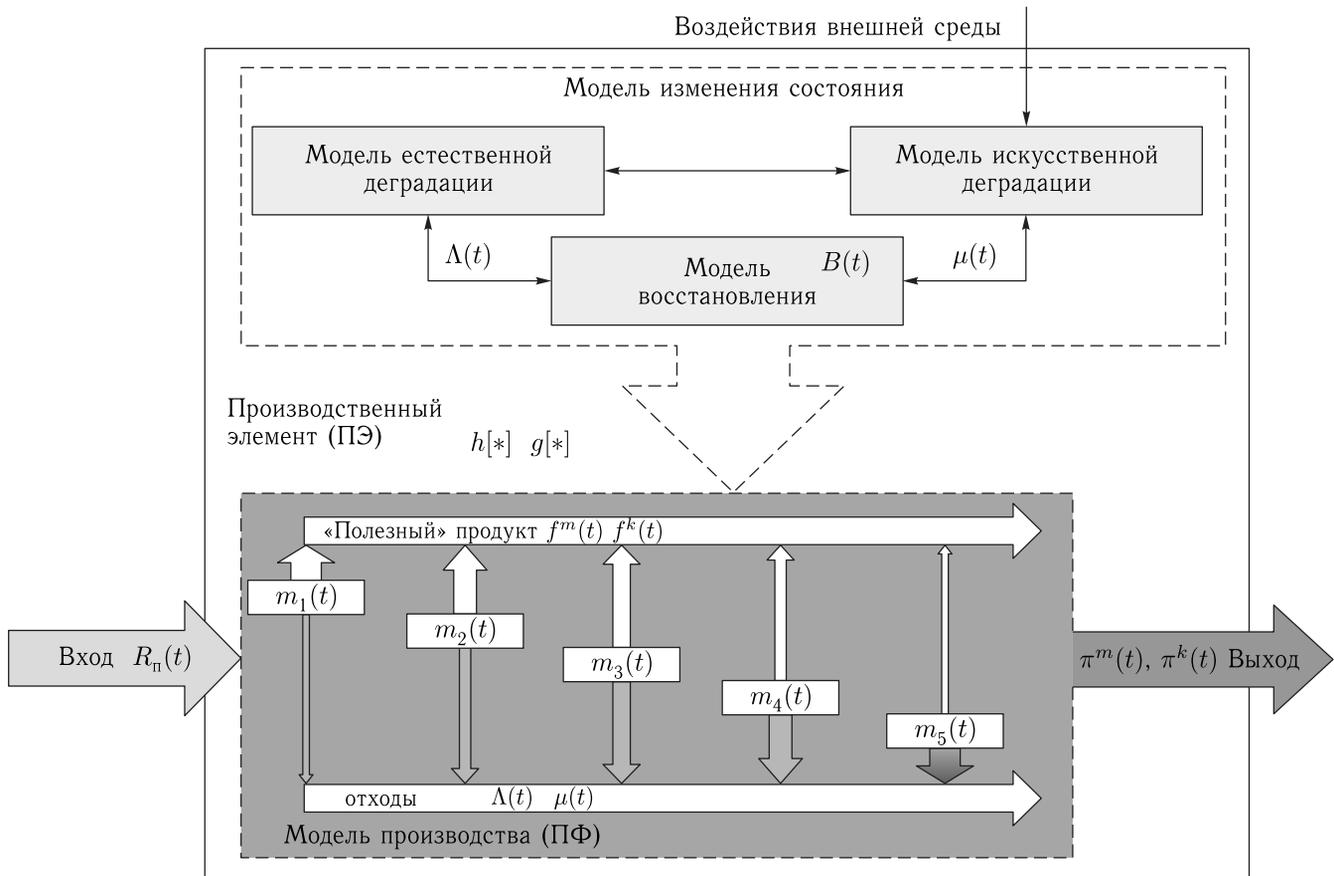


Рисунок. Модель «виртуального предприятия» в виде обобщенного ПЭ, инвариантного к типу производимого продукта

при этом с учетом того, что материальные активы характеризуются своими количественными и качественными показателями, уравнение состояния можно представить в виде

$$\begin{aligned} dR_n^m(t)/dt &= h[t, T(t), G(t), R_n(t), U(t)], \\ dR_n^k(t)/dt &= g[t, T(t), G(t), R_n(t), U(t)], \end{aligned}$$

где $h[*]$ — вектор-функция, характеризующая темп количественных изменений материальных ресурсов; $g[*]$ — вектор-функция, характеризующая темп качественных изменений материальных и нематериальных ресурсов.

3. Уравнением выхода, которое в модели ПЭ описывает зависимость «выпуск–затраты» вида

$$\begin{aligned} \pi^m(t) &= F^m[t, T(t), G(t), R_n(t), U_n(t), D(t)], \\ \pi^k(t) &= F^k[t, T(t), G(t), R_n(t), U_n(t), D(t)], \end{aligned}$$

где $\pi^m(t)$ — мгновенный объем выпуска количества полезного продукта (информации); $\pi^k(t)$ — мгно-

венный объем выпуска качества полезного продукта; $T(t)$ — технологический способ, используемый для производства полезного продукта, осуществляющий параметрическую настройку аналитических функций выпуска — $F^m[*]$ и $F^k[*]$; $G(t)$ — географический ресурс, определяющий объем и состояние географического пространства, в котором производится выпуск полезного продукта; $R_n(t)$ — вектор материальных и нематериальных активов, участвующих в выпуске полезного продукта; $U_n(t)$ — вектор управления, задающий напряженность использования материальных и нематериальных активов; $D(t)$ — внутренние технологические условия.

В простейшей модели ПЭ, производящего продукт $\langle \pi^m(t), \pi^k(t) \rangle = R(t)$, используется совокупность ресурсных компонентов, которые могут быть представлены выражением вида

$$R(t) = \langle X(t), Y(t), Z(t), H(t), I(t), \Psi(t) \rangle.$$

В формировании совокупного целевого потенциала информационного взаимодействия ПЭ участвуют ресурсы (материальные и нематериальные), которые можно использовать при формировании модели принимаемых решений. При этом совокупный целевой потенциал ОИВ может быть представлен в виде функции свертки вида [10]

$$\pi^{\Gamma m}(t) = W^m[t, T_j^G(t), G^G(t), P^G(t), U^G(t), D^G(t)],$$

$$\pi^{\Gamma k}(t) = W^k[t, T_j^G(t), G^G(t), P^G(t), U^G(t), D^G(t)],$$

где $\pi^{\Gamma m}(t)$ и $\pi^{\Gamma k}(t)$ — количественные и качественные показатели совокупного целевого потенциала (ЦП) ОИВ в процессе производства; $T_j^G(t)$ — j -я информационная макротехнология информационного взаимодействия, выбираемая из множества эффективных технологических способов — $\Omega(t)$ ($T_j^G(t) \in \Omega(t)$), на основании которой производится параметрическая настройка функциональных зависимостей $W^m[*]$ и $W^k[*]$; $G^G(t)$ — показатель, характеризующий географическое пространство, в котором осуществляется информационное взаимодействие; $P^G(t)$ — вектор частных целевых потенциалов, формируемых ОИВ; $U^G(t)$ — вектор управления напряженностью внешней среды; $D^G(t)$ — технологические условия.

В модели «виртуального предприятия», которое представлено в виде обобщенного ПЭ, инвариантного к типу производимого продукта (рис.), заданы пять уровней текущих состояний предприятия на стадиях ЖЦ с учетом изменений работоспособности ресурсных компонентов: от высшего уровня — $m_1(t)$, характеризующегося показателем полной готовности к производству, до низшего — $m_5(t)$, характеризующегося показателями процессов деградации, исключающих даже частичное выполнение производственных заданий в пределах заданных значений производимой продукции $m^m(t)$ и $k^m(t)$ [13].

Имитационная модель изменений состояния работоспособности ресурсных компонентов ПЭ (рисунок) формируется с помощью соответствующего математического аппарата, обеспечивая адекватное отражение функционирования соответствующих ПЭ, моделирующих материальные и нематериальные ресурсные составляющие.

В математической модели интенсивности естественной, $\lambda_\rho^{vn}(t)$, и привнесенной, $\mu_\rho^{vn}(t)$, деградации независимы и обладают свойством аддитивности, обеспечивающей сложение интенсивности естественной $\lambda_\rho^{vn}(t)$ и привнесенной $\mu_\rho^{vn}(t)$ деградации, реализуя суммарную интенсивность $\nu_\rho^{vn} = \lambda_\rho^{vn} + \mu_\rho^{vn}$ [12].

Модель принудительного восстановления определяется используемой технологией, объемом затрачиваемых на восстановление ресурсов, технологическими условиями процесса восстановления и характеризуется показателем интенсивности восстановления $\beta_\rho^{vn}(t)$ ($v \neq n, v < n$) [12].

В модели ПЭ интенсивности восполнения $\delta_\rho(t)$ и утилизации $\gamma_\rho(t)$ формируются с помощью соответствующего математического аппарата.

В модели информационного взаимодействия обобщенного ПЭ в интегрированной сетевой информационной среде, распределенной в географическом пространстве, учитывается взаимное влияние количественных и качественных показателей ресурсных компонентов, которое описывается матрицей V коэффициентов взаимного влияния (V_{ij}) вида [13]:

$$V = \begin{pmatrix} 1 & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & 1 & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{(m-1)2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

где $i, j \in \overline{1, m}$ при условии $i \neq j$.

Интегрированный показатель взаимного влияния ПЭ может быть как со знаком «+», что характеризует положительное результирующее воздействие на состояние производственной готовности «виртуального предприятия», так и со знаком «-», что свидетельствует о негативной динамике влияния межресурсных взаимодействий.

Таким образом, достаточно наглядно представлены описания моделей, характеризующих производство и взаимное влияние в едином информационном пространстве на динамические изменения состояния изделия, процесса, предприятия, материальных и нематериальных ресурсов на всех стадиях ЖЦ.

Актуальные вопросы моделирования кадрового ресурсного компонента

При детальном анализе показателей влияния ресурсных компонентов друг на друга с учетом человеческого фактора становится очевидной более тесная взаимосвязь между некоторыми из них, например, кадровым, $X(t)$, и морально-психологическим, $\Psi(t)$, ресурсами.

Важной характеристикой персонала, свидетельствующей о его готовности и желании продуктивно работать, совершенствуя свои профессиональные знания, умения и навыки, является морально-психологическая составляющая, которая формирует побуждение к действию, управляет поведением человека, задает его направленность, организацию, активность и устойчивость; способность человека деятельно удовлетворять свои потребности [14].

Не вызывает сомнения, что недостаточная укомплектованность персоналом, т. е. показатель $m^X(t)$, и/или неграмотные, неумелые и любые другие неправильные действия различной природы со стороны кадровой составляющей, которые характеризуются показателем $k^X(t)$, могут привести к существенному сокращению ЖЦ или прервать его вообще.

В целом кадровая составляющая как ключевой компонент, отражающий готовность и способность предприятия, холдинга, отрасли к решению сложных наукоемких научно-производственных задач, может характеризоваться интегрированными показателями, отражающими:

- укомплектованность персоналом;
- соответствие фактического уровня образования и опыта работы требуемым;
- готовность работать над повышением уровня квалификации и профессиональной подготовки (знаний, умений, навыков).

При формировании нейронной сети в едином информационном пространстве предлагается учитывать, что среди нематериальных ресурсных составляющих морально-психологический ресурс — $\Psi(t)$ рассматривается в качестве одного из наиболее сложных и ответственных компонентов на всех этапах ЖЦ как для успешной реализации высоко-

технологичных проектов и производственных программ, так и в период применения научно-технической продукции в процессе выполнения этапов «Эксплуатация, ремонт и модернизация». За основу разработки математической модели, на базе которой формируется кластер Ψ -ресурса, принят основной психофизический закон Вебера–Фехнера [14], описывающий побудительное эмоциональное переживание человека и его потребности в иерархической системе приоритетов или доминировании, который в общем виде описывается выражением

$$\varepsilon(t) = \pi[S(t), S_{\max}(t), S_{\min}(t)],$$

где $\varepsilon(t)$ — побудительная сила эмоционального переживания; $S(t)$ — текущее состояние образа-раздражителя; $S_{\max}(t)$ — верхнее пороговое (нормативное) значение, отождествляемое с желательным «уровнем блага» (уровень притязаний) работника, которое в искусственной нейронной сети используется в классе, относящемся к «реальным показателям»; $S_{\min}(t)$ — нижнее пороговое (нормативное) значение, отождествляемое с состоянием «неприятного уровня наносимого ущерба», используемое искусственной нейронной сетью в классе «реальных/плановых показателей»; $\pi[*]$ — логарифмическая функция.

В сочетании с положениями теории мотивации А. Маслоу в представленной математической модели следует учесть влияние на человека двух классов множеств:

- мотивационной составляющей, которая воздействует на работника и побуждает его к действию, описывается выражением $\Delta S_m(t) = [S_{\max}(t) - S(t)]/[S_{\max}(t) - S_{\min}(t)]$;
- стимулирующей составляющей, воздействующей на человека и раздражающей работника, описывается выражением $\Delta S_c(t) = [S(t) - S_{\min}(t)]/[S_{\max}(t) - S_{\min}(t)]$.

Общая эмоциональная реакция на раздражитель описывается выражением вида

$$\varepsilon(t) = \{\mu_m(t) \log \Delta S_m(t) + \mu_c(t) \log \Delta S_c(t)\},$$

где $\mu_m(t)$ и $\mu_c(t)$ $\mu_m(t) + \mu_c(t) = 1$ — коэффициенты мотивации и стимулирования, соответственно показывающие значимость для моделируемого ПЭ «морально-психологическое состояние работника» переживания, связанного с желанием приблизиться

к состоянию, несущему ему радость, и переживания, связанного с желанием избежать состояния, вызывающего у него неудовлетворенность.

Математическая модель результирующей эмоциональной реакции по совокупности составляющих множеств: психофизической, психосоциальной и духовной, сумма коэффициентов которых $\rho_\Phi(t) + \rho_\Pi(t) + \rho_\Delta(t) = 1$, описывается выражением вида

$$\Xi(t) = [\varepsilon_\Phi(t)]\rho_\Phi(t) + [\varepsilon_\Pi(t)]\rho_\Pi(t) + [\varepsilon_\Delta(t)]\rho_\Delta(t).$$

В свою очередь, математическая модель целевого функционала Ψ -ресурса описывается выражением вида

$$Ж_i[U_{*i}(t), T_i] = \max_{t_0} \int_{t_0}^T \Xi_i[t, U_{*i}(t)] dt \quad (T \rightarrow \infty),$$

где $\Xi_i[t, U_{*i}(t)] = \sum_j \omega_{ij}(t) \Upsilon_{ij}[t, U_{*i}(t)]$, $\Upsilon_{ij}[*]$ — оценочная функция (рефлексия) i -го ПЭ, характеризующая оценку уровня удовлетворения ПЭ (моделируемого работника) как своих индивидуальных потребностей, так и удовлетворения его потребностей другими ПЭ, входящими в состав кластера морально-психологического ресурса, \sum_j — показатель, характеризующий побудительную силу, $\omega_{ij}(t)$ — коэффициент экспрессивности ($-1 \leq \omega_{ij}(t) \leq +1$) характеризует значимость для i -го ПЭ субъективного состояния j -го ПЭ, который принимает значение на интервале $[-1, +1]$. Так, при показателе $\sum_j |\omega_{ij}(t)| = 1$ (т.е. при $\omega_{ii}(t) \approx 0$) состояние ПЭ оценивается как склонность к альтруизму, при $\omega_{ii}(t) \approx -1$ — состояние безразличия (депрессия), при $\omega_{ii}(t) \approx 1$ — явно выраженный эгоизм. $U_{ij}^*(t)$ — искомый вектор управления включает векторы управления областью материального производства, общественно-политической и духовно-нравственной сферами — $U_{\Pi j}^*(t) = \langle U^* \mathcal{A}_j(t), U^* \Pi_j(t), U^* \mathcal{I}_j(t) \rangle$.

В целом результирующее состояние Ψ -ресурса, характеризующее уровень морально-психологической готовности к выполнению производственного задания, описывается выражением вида

$$M_\Psi(t) = \langle m_1^\Psi(t), m_2^\Psi(t), m_3^\Psi(t), m_4^\Psi(t), m_5^\Psi(t) \rangle,$$

где $m_1^\Psi(t)$ соответствует полной морально-психологической готовности персонала к решению произ-

водственных задач; $m_2^\Psi(t)$ — показывает достаточно высокий уровень готовности, при котором имеющиеся проблемы решаются с использованием методов морального поощрения; $m_3^\Psi(t)$ — соответствует среднему уровню готовности, требующему дополнительного морального и материального стимулирования; $m_4^\Psi(t)$ — показатель, свидетельствующий о морально-психологической неудовлетворенности и серьезной социальной неустойчивости; $m_5^\Psi(t)$ — показатель, характеризующий абсолютную морально-психологическую неготовность и нежелание выполнять производственные задания.

По мнению некоторых авторов [7], важным механизмом, обеспечивающим переход от кадрового обеспечения к учебно-научному сопровождению сложных технических систем промышленности, является интеграция научно-производственных центров, объединений и учебно-научных учреждений, обеспечивающих прежде всего совместное использование интеллектуальной собственности для подготовки и переподготовки кадров в целях повышения эффективности образовательного процесса, научных исследований, обеспечения ЖЦ наукоемких изделий промышленности.

Из анализа представленной математической модели динамической производственной функции следует, что показатели состояния материальных активов, в частности кадрового ресурса — $X(t)$ -ресурса, изменяются в зависимости от состояния нематериальных активов, в первую очередь морально-психологического $\Psi(t)$ -ресурса, который характеризуется показателем мотивационной составляющей $\Delta S_M(t)$ и стимулирующей составляющей $\Delta S_C(t)$. Вектор управления $U_{ij}^*(t)$ претерпевает динамические изменения под воздействием, в том числе, эмоциональной реакции персонала $\Xi(t)$ на раздражитель, изменяющийся под влиянием сил мотивации и стимулирования, побуждающих к удовлетворению материальных (производственных), общественно-политических и духовно-нравственных потребностей. Интегрированное в систему кадрового обеспечения учебно-методическое сопровождение, направленное на повышение профессионального уровня, в первую очередь на соответствие знаний, навыков, умений сотрудников квалификационным требованиям, обеспечивает решение задачи по повышению

эффективности системы менеджмента качества на всех этапах жизненного цикла [7, 8]. В этой связи есть основания полагать, что привлечение широкого круга сотрудников предприятия, а в перспективе — специалистов интегрированной структуры к повышению знаний, умений и навыков по применению стандартов ЕСКД в своей работе улучшит качественные и количественные показатели создаваемой высокотехнологичной продукции, что, в свою очередь, окажет положительное влияние на мотивационную и стимулирующую компоненты морально-психологического ресурса.

Выводы

1. Реализация концептуальных положений цифровых технологий в едином информационном пространстве с использованием представленной модели «виртуального предприятия» способна обеспечить связь изделия, процесса, завода и ресурсов, включая нематериальные, на всех этапах жизненного цикла.

2. Рассмотренные научно-методические принципы и подходы к реализации динамических имитационных моделей состояния кадрового ресурса «виртуального предприятия» подтверждают непосредственную связь с эффективностью системы менеджмента качества и обеспечивают адекватное отображение динамики изменения состояния работоспособности ресурсных компонентов на всех этапах жизненного цикла.

3. Представленное математическое описание производственной функции и математических моделей ресурсных компонентов, динамически изменяющих свое состояние работоспособности под воздействием различных факторов в виде производственного элемента, инвариантного к типу производимого продукта, позволяет сформировать научно-методическую платформу мониторинга системы менеджмента качества.

4. Учебно-методическое сопровождение сложных технических систем, в том числе посредством непрерывного во времени повышения уровня профессиональной подготовки (знаний, навыков, умений), повышает эффективность системы менеджмента качества, оказывает позитивное влияние

на мотивационную и стимулирующие составляющие морально-психологического ресурса в системе кадрового обеспечения.

Список литературы

1. Computing Curricula 2005. The Overview Report // ACM and IEEE Computer Society, 2005. 62 с.
2. Братухин А. Г., Дмитриев В. Г. Стратегия, концепция, принципы CALS // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А. Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008, С. 15–26.
3. Бочкарев С. В., Петроченков А. Б., Ромодин А. В. Автоматизация управления жизненным циклом электротехнической продукции: Учеб. пособ. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 365 с.
4. Ковшов А. Н., Назаров Ю. Ф., Ибрагимов И. М., Никифоров А. Д. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ: Учеб. пособ. М.: ИЦ «Академия», 2007. 304 с.
5. Сергеев Н. А. Моделирование и оценка эффективности технического обеспечения: В 2-х частях. Ч. I. Концептуальные основы архитектуры модели системы военной безопасности Российской Федерации в новых военно-политических условиях. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2004. 367 с.
6. Косточкина Т. В. Механизм корпоративного управления предприятиями в современных условиях. Специальность: 08 00 05 — «Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами в промышленности)». Автореферат дисс. ... канд. экон. наук. М.: 2005.
7. Дерябин Н. И., Куприков М. Ю., Маркин Л. В., Денискин Ю. И., Брагинцева Л. М., Евдокименко В. Н., Латышева В. В. Кадровое обеспечение // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А. Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008, С. 557–575.
8. Медведев А. А., Мирош Ю. М. Управление качеством изделий ракетно-космической техники // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А. Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. С. 504–511.

9. *Ревяков Г. А.* Моделирование жизненного цикла научно-технической продукции // Наука и технологии: В 2-х т. Т. 2. Материалы XXXIX Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. М.: РАН, 2019. С. 75–83.
10. *Ловцов Д. А., Сергеев Н. А.* Управление безопасностью эргасистем / Под ред. Д. А. Ловцова; 2-е изд. испр. и доп. М.: РАУ-Университет, 2001. 224 с.
11. *Дунаев А. В., Мовляев А. С., Ревяков Г. А., Сергеев Н. А.* Система моделирования ситуаций, относящихся к конфликтам и/или конкуренции: Описание изобретения. Бюллетень № 14. М.: ФИПС, 2018. 27 с.
12. *Ревяков Г. А.* Моделирование предприятия на базе научно-методического аппарата анализа и представления объектов информационного взаимодействия // Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. 2018. Сборник трудов IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» (5–7 июня 2018 г.) / Под ред. А. А. Романова. М.: АО «Российские космические системы», 2018. С. 549–566.
13. *Ревяков Г. А.* Имитационное моделирование жизненного цикла изделий на базе научно-методического аппарата анализа и представления объектов информационного взаимодействия // Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». СПб.: ВКА, 2018. С. 69–76.
14. *Леонтьев А. Н.* Деятельность. Сознание. Личность. М.: Смысл, Академия, 2005, 352 с.