

УДК 338.312

## ПРИМЕР И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Гейда А.С.

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр российской академии наук,  
Санкт-Петербург, e-mail: geida@iias.spb.su*

В работе рассматривается использование информационных технологий для получения измеримых результатов функционирования систем в изменяющихся условиях. Предложены концепция, концептуальные, а затем – формальные модели использования информации для функционирования систем. Концепция и модели развивают кибернетическое представление об использовании информации путем описания информационных действий как необходимых реакций, вызываемых изменениями состояний среды и системы. Информационные действия представлены как действия, цель которых – получение информации, необходимой для успешного функционирования систем в изменяющихся условиях. Полученная в результате реакций на изменения состояний системы и среды информация используется для изменений дальнейших действий. Используемая информация может быть информацией о возможном альтернировании связанных с информационными действиями причинно-следственными связями последующих предметно-преобразующих действий (цель которых – получение материальных эффектов), информацией о текущих результатах функционирования системы и среды, об их соответствии требованиям, о возможных результатах действий и о предписаниях по реализации последующих действий. Результаты использования информации предложено описывать как такие результаты, которые получаются при реализации возможных альтернативных последовательностей действий из множества альтернатив в результате воздействий среды и использования информации для альтернирования последовательностей действий в различных условиях. Рассмотрен пример расчета мер соответствия результатов требованиям и мер энтропии при функционировании. Предложены подходы к классификации задач совершенствования использования информации.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, информационные технологии, потенциал, методы, эффективность

## AN EXAMPLE AND DIRECTIONS FOR IMPROVING THE MODELING OF THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ACTIONS IN SYSTEMS

Geyda A.S.

*Saint-Petersburg federal research center of the Russian academy of sciences, St.Petersburg,  
e-mail: geida@iias.spb.su*

The use of information technologies to obtain measurable results of systems functioning in changing conditions is considered. The concept and then formal models of the use of information for systems functioning are proposed. The concept and models develop a cybernetic understanding of the use of information by describing information actions as necessary reactions caused by changes in the state of the environment and system. Information actions are presented as actions aimed at obtaining information necessary for the successful functioning of systems in changing conditions. The information obtained because of reactions to changes in the state of the system and the environment is used to change further actions. The information used can be information about the possible alternation of subsequent material and energy transformation actions caused by information actions, by produced information about the current results of the functioning of the system and the environment, about their compliance with the requirements, about the possible results of actions and about the prescriptions for the implementation of subsequent actions. It is proposed to describe the results of using information as such results that are obtained when implementing possible alternative sequences of actions from a variety of alternatives, because of environmental influences and the use of information to alter sequences of actions in various conditions. An example of calculating the measures of compliance of the results to the requirements and measures of entropy of the system functioning are considered. Approaches to the classification of problems intended to improve the use of information are proposed.

**Keywords:** digitalization, digital transformation, information technologies, models, methods, functioning, system, potential

Аналитическое прогнозное исследование использования информации в деятельности, исследование использования информационных технологий (ИТ) при функционировании систем разных видов на основе математических моделей и методов – актуальное направление научных исследований. Об этом, в частности, свидетельствуют публикации [1–3] по таким направлениям исследований, как «дей-

ственное знание» Actionable Knowledge, «действенное знание для эффективной деятельности» (Actionable Knowledge for Efficient Actions), «Качество Информации» (Quality of Information), «действенное научное знание» (Actionable scientific knowledge), «действенное знание как сервис» (Actionable Knowledge as a Service).

К сожалению, указанные и ряд других направлений исследований [4], связанных

с использованием данных, информации, знаний для реализации деятельности, отличаются общим недостатком – особенностью, состоящей в крайне малом числе имеющихся математических моделей использования данных, информации, знаний для реализации деятельности, и соответственно – в отсутствии математических методов, используемых для решения формулируемых задач совершенствования использования ИТ. Такие, в большей части отсутствующие, модели и методы следовало бы применять для построения моделей закономерностей переходов от получения данных, информации и знаний о деятельности и от моделей закономерностей их получения к моделям изменения функционирования и функционирования по производству требуемых результатов деятельности (и прежде всего, ее материальных результатов) на основе использования полученной информации.

В статье выдвинута гипотеза исследований, состоящая в том, что такие математические модели и методы использования ИТ могут быть получены за счет формализации разработанных ранее концептуальных схем, описывающих получение и последующее использование информации при функционировании систем – сначала как теоретико-графовых моделей причинно-следственных связей при реализации изменений, а затем – как параметрических и функциональных теоретико-графовых моделей изменений («целевого») функционирования, вызываемых полученной информацией. Эти модели далее позволили рассчитать вероятностные и энтропийные меры изменений функционирования и вероятностные меры качества возможных результатов функционирования. Энтропийные меры описывают «отсеивание» неперспективных вариантов и близки по своему содержанию к концепциям оценивания эффективности в китайской философии [5, 6].

В своей совокупности указанная система взаимозависимых мер описывает возможные изменения и реакции на них в возможных условиях и меру соответствия получаемых в различных условиях результатов требованиям к этим результатам. Использование информации реализуется в форме реагирования на возможные изменения, реализации реакций на изменения и на возможность изменения дальнейших действий. Поэтому по предложенной системе мер и предложено судить об успешности использования информации.

В подтверждение предложенной гипотезы о возможности построения требуемых (для исследования успешности использования информации) моделей выполнено

моделирование при решении простейшей частной задачи. Такое моделирование реализовано на основе ранее полученных результатов по разработке моделей и методов.

Модели описывают целенаправленно изменяемую деятельность (функционирование системы) в изменяющихся условиях на основе дискретных теоретико-графовых моделей.

В связи с этим основная особенность построенных моделей – альтернативность возможных функционирований, представленная в статическом виде, как дерево возможных альтернативных цепочек действий и получаемых состояний, аналогично тому, как реализуется управление в геометрической теории управления и управлении на основе графов [7] и энтропийных закономерностях управления [8]. Близкие идеи предлагаются в рамках Кибернетики 2.0 [9, 10].

Предложен пример расчетов системы предложенных вероятностных и энтропийных мер. Полученная система мер отражает, с одной стороны, соответствие получаемых результатов и требований к ним, а с другой – альтернативность возможных (в разных условиях) достигаемых мер соответствия в зависимости от характеристик используемых информационных действий и от получаемой информации.

Основной особенностью предлагаемой системы мер является то, что значения мер следует рассматривать, как реализации случайных величин, заданных в зависимости от изменяющихся случайных условий и от характеристик использования информации. В общем случае такие случайные величины зависят и от времени. В результате система мер может быть представлена как комплекс взаимосвязанных случайных полей.

В этом смысле по отношению к геометрической теории управления и энтропийной теории управления предложенная система мер имеет вид метакarakterистик в том смысле, что траектории функционирования с использованием информации описываются изменяющимися мерами (заданными, в частности, как меры соответствия характеристик изменяющимся требованиям и меры разнообразия изменений характеристик), а не изменениями исходных характеристик.

Цель исследования состоит в использовании предложенных ранее концептуальных и диаграмматических моделей, теоретико-графовых моделей использования информации при функционировании систем для создания примеров моделирования, для введения новых вероятностных, энтропийных и комплексных мер использования информации при функционировании систем.

Для решения указанных задач планируется использовать результаты, полученные в рамках теории потенциала систем [11], исследующей свойство потенциала систем как свойство, характеризующее приспособленность систем к функционированию в условиях изменения цели и при других воздействиях среды («в условиях изменений»). В рамках теории потенциала систем исследуются информационные действия, целью которых является получение требуемой для функционирования системы информации в условиях изменений. Информационные действия при функционировании системы исследуются как действия, необходимые системе для организации реагирования на изменения.

Исследование роли информационных действий в статье основывается на результатах, полученных в [12, 13]. На основе этих результатов реализован пример, предложены новые вероятностные, энтропийные и комплексные меры для оценивания показателей совершенства использования информационных технологий.

Строящиеся математические модели и меры результатов целенаправленных изменений (благодаря полученной информации) требуются, например, для того, чтобы модернизировать, проектировать и создавать процессно-ориентированные информационные системы с требуемыми свойствами [14].

Полученные результаты планируется использовать далее при решении новых задач совершенствования использования ИТ.

Для описания и формализации таких задач предложено выполнить классификацию видов задач использования информации и моделей, используемых при их решении. Такая классификация должна позволить определить основные направления совершенствования использования информации при функционировании систем.

Кроме того, такая классификация позволяет выявить «белые пятна» – задачи, которые еще не были выявлены, и исследователи еще не занялись поиском их решений.

Классификация основана на разработанных моделях и опыте, полученном при создании моделей и расчете разнообразных вероятностных и энтропийных мер, характеризующих разнообразные стороны использования информации при функционировании систем.

В статье предложены концептуальные основы такой классификации, базирующиеся на основе рассмотрения различных видов сведений об аспектах деятельности, при реализации которой используется информация. На основе предложенных концептуальных основ классификации видов

задач использования ИТ и применяемых для этого моделей планируется разработать классификационные схемы задач совершенствования использования ИТ и задач моделирования при совершенствовании использования ИТ.

### Материал и методы исследования

Методы исследования базируются на материале статьи [13]. Пример схемы, на основе которой были выполнены моделирование и оценивание примера использования информации при реализации действий в системах, а затем реализован пример расчета мер и показателей, показан на рисунке 1.

Схема включает три информационных действия, обозначенных  $i^{env}$ ,  $i^{sys}$ ,  $i^{pres}$ :

$i^{env}$  – информационное действие для мониторинга событий в среде;

$i^{sys}$  – информационное действие для мониторинга событий в системе.

Результаты этих двух информационных действий отправляются для обработки дальнейшим информационным действием  $i^{pres}$ , многократно синхронизируются во времени с элементом синхронизации  $Syn$ .

$i^{pres}$  – это информационное действие для генерации предписаний деятельности в системе. Это информационное действие генерирует предписывающую информацию для действий  $e$  по получению материальных эффектов (которое может быть комплексным). Информация об эффектах  $e$  применяется с учетом синхронизации для обеспечения текущих эффектов выполнения результатов действий в каждый момент синхронизации, используемой для генерации дальнейших предписаний.

Цепочки информационных операций различного порядка могут вызывать другие различные изменения, например, характеризующиеся изменениями возможных множеств и последовательностей причинно-следственных связей в цепочках или изменений требуемых отношений между результатами деятельности в системе и средой.

Приведенная выше схема задает базовую последовательность действий различного рода и не описывает возможные ветвления, задаваемые соответствующими моделями ветвления. Основное отличие этой схемы от традиционных сетей действий (технологических операций) – такая последовательность учитывает изменения условий, включает явно информационные действия и в результате приводит к актуализации различных цепочек причинно-следственных связей, а затем приводит к возможным изменениям состояний и изменениям их соответствия изменяющимся требованиям.

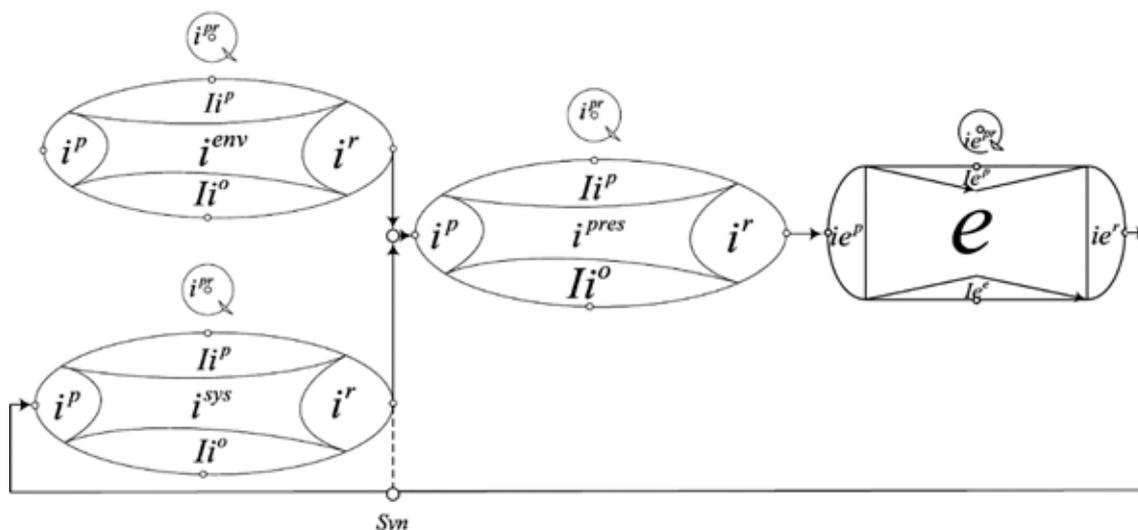


Рис. 1. Пример диаграммы использования информации для реализации деятельности в системе

Возможные ветвления [15, 16] за счет проявляющихся изменений описаны отдельными моделями, примеры которых приведены ниже.

Пример на рисунке 1 состоит из 2 параллельных и 2 последовательных действий: три из них являются информационными ( $i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, i_{n_2}^{Pr}$ ) и одно действие  $e$  – действие по получению материальных эффектов, которое, в свою очередь, состоит из двух частей действия по обработке информации ( $ie_{n_3}^p, ie_{n_3}^r$ ) и одного действия  $e_{n_4}$  – по получению материальных эффектов.

Возможные результаты каждого действия в последовательности определяют дальнейшие возможные состояния, каждое из которых зависит от предыдущих последовательностей реализованных состояний в цепочке и от реализованных причинно-следственных связей, в том числе – связей результатов с использованной информацией. Разница между действиями по получению материальных эффектов и информационными действиями (или информационными частями действия по получению материальных эффектов) заключается в том, что информационные действия позволяют ограничить разнообразие возможных результатов, а действия по реализации материальных эффектов расширяют разнообразие последовательностей результатов. Целенаправленное ограничение возможных исходов как последовательностей результатов, организованное на основе информационных действий, должно менять дальнейшее соответствие результатов действий изменяющимся требованиям в лучшую сторону.

В рассматриваемом примере ограничение разнообразия возможных результатов производится на основе следующих допущений.

1. Результаты информационных действий детерминированы (в общем случае они могут вызывать изменения вероятностей нескольких исходов).
2. В результате информационного действия возможен один исход.
3. После выполнения действия по получению материальных эффектов всегда следует информационное действие.
4. Состояния во множествах возможных состояний являются либо начальными состояниями (системы и ее среды), либо только что достигнутыми в результате действия состояниями (и еще не проверенными последующим информационным действием), либо возможными будущими состояниями системы, которые могут быть выбраны для достижения.
5. Состояния, выбранные для последующего выполнения действий по получению материальных эффектов, содержат предписательную информацию, выбранную информационным действием.
6. Начальные состояния среды и системы могут быть представлены как комплексное состояние с распределением вероятностей возможных актуализаций состояний, определенных на множестве возможных состояний внутри комплексного состояния.
7. Состояния системы определяются информационными действиями детерминированно и безошибочно.

Например, информационное действие по определению (проверке, идентифика-

ции, мониторингу) состояний среды приводит к определению одного из возможных состояний среды и таким образом – к запуску первого возможного варианта в возможных последовательностях (цепочках) состояний, действий и переходов. Для простоты в примере предполагается, что идентификация детерминирована. Если нет, то новое распределение состояний получают как условное распределение вероятностей при условии завершения информационного действия заданным способом.

Для удобства индексации древовидных структур, образованных в результате реализации различных возможных причинно-следственных связей, предложена индексация векторами индексов  $n_i$ , которые описывают цепочки состояний и реализованных причинно-следственных связей и соответствуют ветвям дерева (длины  $i$ ) состояний и действий.

Возможные состояния из-за причинно-следственных связей и информационной операции  $i_{n_0}^{Env}$ , индекс которой  $n_0$ :

$$\left. \begin{aligned} f^{En}(\hat{S}^{En}, t) &= s_1^{En} \\ f^{En}(\hat{S}^{En}, t^*) &= s_2^{En} \end{aligned} \right\} i_{n_0}^{Env}$$

Таким образом, действие  $i_{n_0}^{Env}$  – выбор одного из состояний среды возможных. Описывается как функция  $f^{En}$  (реализуемая  $i_{n_0}^{Env}$ ) от распределения  $\hat{S}^{En}$  вероятностей по состояниям окружающей среды, известным ранее, в одно из (детерминированных) идентифицированных состояний.

Далее аналогично реализуются возможные цепочки за счет  $i_{n_1}^{Sys}$ , обусловленные определением состояний  $\hat{S}^{Sys}$  системы и использованием полученной информации:

$$\left. \begin{aligned} f^{Sys}(\hat{S}^{Sys}, t) &= I(s_1^{Sys}) \\ f^{Sys}(\hat{S}^{Sys}, t^*) &= I(s_2^{Sys}) \end{aligned} \right\} i_{n_1}^{Sys}$$

Эти результаты первых двух информационных операций проиллюстрированы на рисунке 2. Вслед за этими информационными действиями реализуются возможные цепочки  $c_{n_i}$  причинно-следственных связей, обусловленных следующим информационным действием, для вынесения предписаний – как возможные результаты отображения:

$$f^{Pr}(\hat{S}_n^{En}, \hat{S}_n^{Sys}, i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, t) = I_{n_2}^{Pr},$$

реализуется  $i_{n_2}^{Pr}$ , где  $I_n^{Pr}$  соответствует предписаниям, генерируемым по резуль-

татам проверок состояний среды и системы  $i_{n_2}^{Pr}(1,1)$ , номерами индексов являются  $(1,2), (2,1), (2,2)$  и  $|\hat{S}_{n_0}^{Env} \times \hat{S}_{n_1}^{Sys}| = |c_{n_2}| = 4$ .

В нашем примере функция ветвления действует детерминированно на детерминированные состояния, определяемые предшествующим информационным действием  $i_{n_2}^{Pr}$  – как показано на рисунке 2. Примером вероятностной обработки информации является  $i_{n_3}^P$ , которая служит частью действия по получению материальных эффектов и может дать один из двух результатов, как указано на рисунке 3.

Результатами  $i_{n_3}^P$  являются обновленные предписания на выполнение действий по получению материальных эффектов. Предписания  $I_{n_3}^P$  обновляются в соответствии с состояниями  $\hat{S}^w$  рабочего места (моделируются как случайные), и этим состояниям соответствуют изменяющиеся требования. В зависимости от выявленных состояний  $\hat{S}^w$  обновленные предписания – это информация  $I_{n_3}^P$ , созданная для выполнения на рабочем месте, и эта информация известна (детерминирована) до выполнения действия по получению материального эффекта.

$$f^P(\hat{S}_n^{En}, \hat{S}_n^{Sys}, \hat{S}^w, i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, t) = I_{n_3}^P,$$

произведено  $ie_{n_3}^P$ . Таким образом, выбор одного из двух возможных  $I_{n_3}^P$  зависит от состояния  $\hat{S}^w$  рабочего места. Ядро «материального» действия проявляется иным образом и порождает вероятностные состояния как следствие предписывающей и описательной информации  $I_{n_3}^P$ , используемой для этого материального действия:

$$\hat{f}^m(\hat{S}_n^{En}, \hat{S}_n^{Sys}, \hat{S}^w, i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, i_{n_2}^{Pr}, ie_{n_3}^P, t_n) = \hat{S}_{n_4}^{Sys}.$$

В рассмотренном примере  $|\hat{S}_{n_4}^{Sys}| = 3$  для каждого из четырех возможных предшественников в  $n_3$ . Таким образом,  $3n = 12$  состояний возможны после материального действия. Они образуют множество  $S_{n_4}^{Sys}$  с определенным на нем распределением вероятностей  $F_{S_{n_4}^{Sys}}(s_{n_4}^{Sys})$ . Для обеспечения корректного выявления состояния системы после действия по получению материального эффекта выполняется часть действия  $i_{n_4}^r$  по обработке информации для получения корректной информации  $I(s_{n_4}^{Sys})$  о состоянии системы.

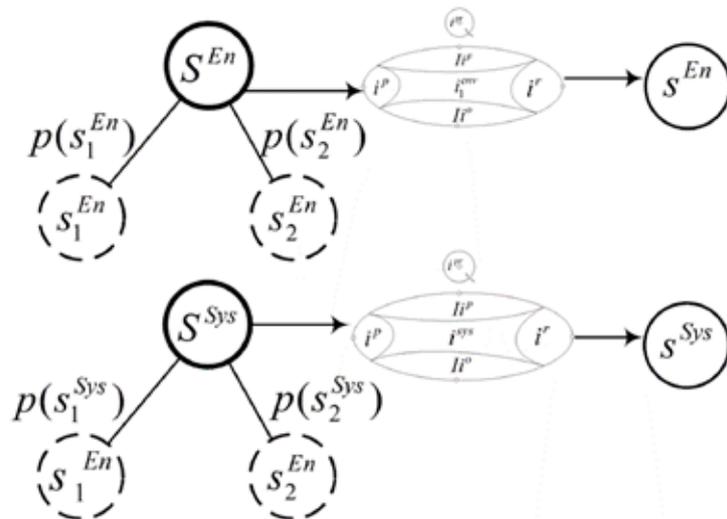


Рис. 2. Пример результатов первых двух информационных действий и возможных ветвлений

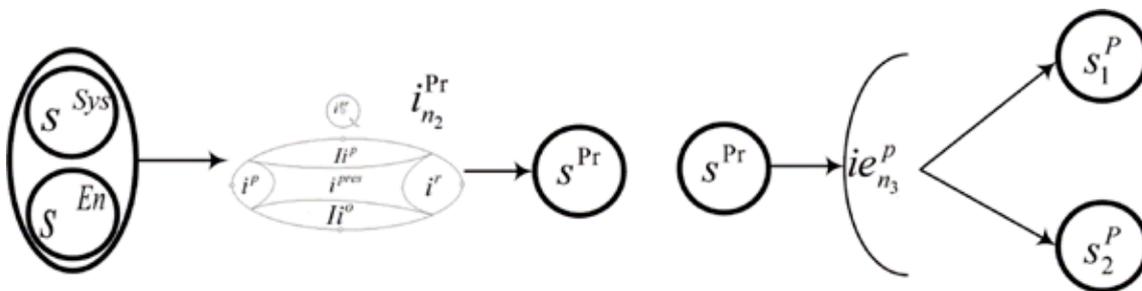


Рис. 3. Примеры детерминированной (а) и вероятностной (б) обработки информации

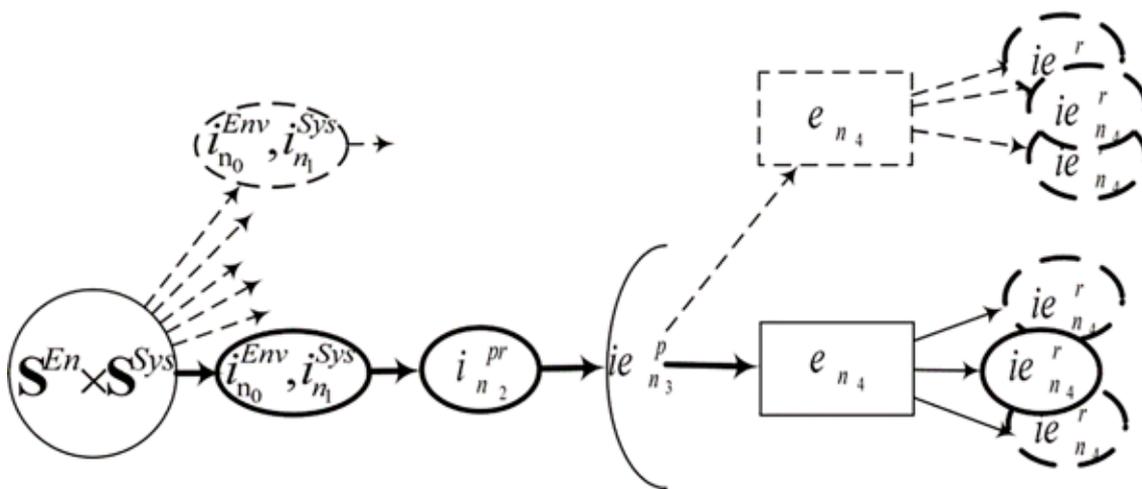


Рис. 4. Пример реализации последовательности действий, связанных вариантами причинно-следственных связей

$$f^I(\hat{S}_n^{En}, \hat{S}_n^{Sys}, \hat{S}^w, i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, i_{n_2}^{Pr}, ie_{n_3}^P, \hat{S}_{n_4}^{Sys}, t_{n_4}) = I(S_{n_4}^{Sys}), S_{n_4}^{Sys} \in S_{n_4}^{Sys}.$$

Эту функцию реализует  $ie_{n_4}^r$ . Одна из возможных последовательностей реализации действий, связанных вариантами причинно-следственных связей, показана на рисунке 4.

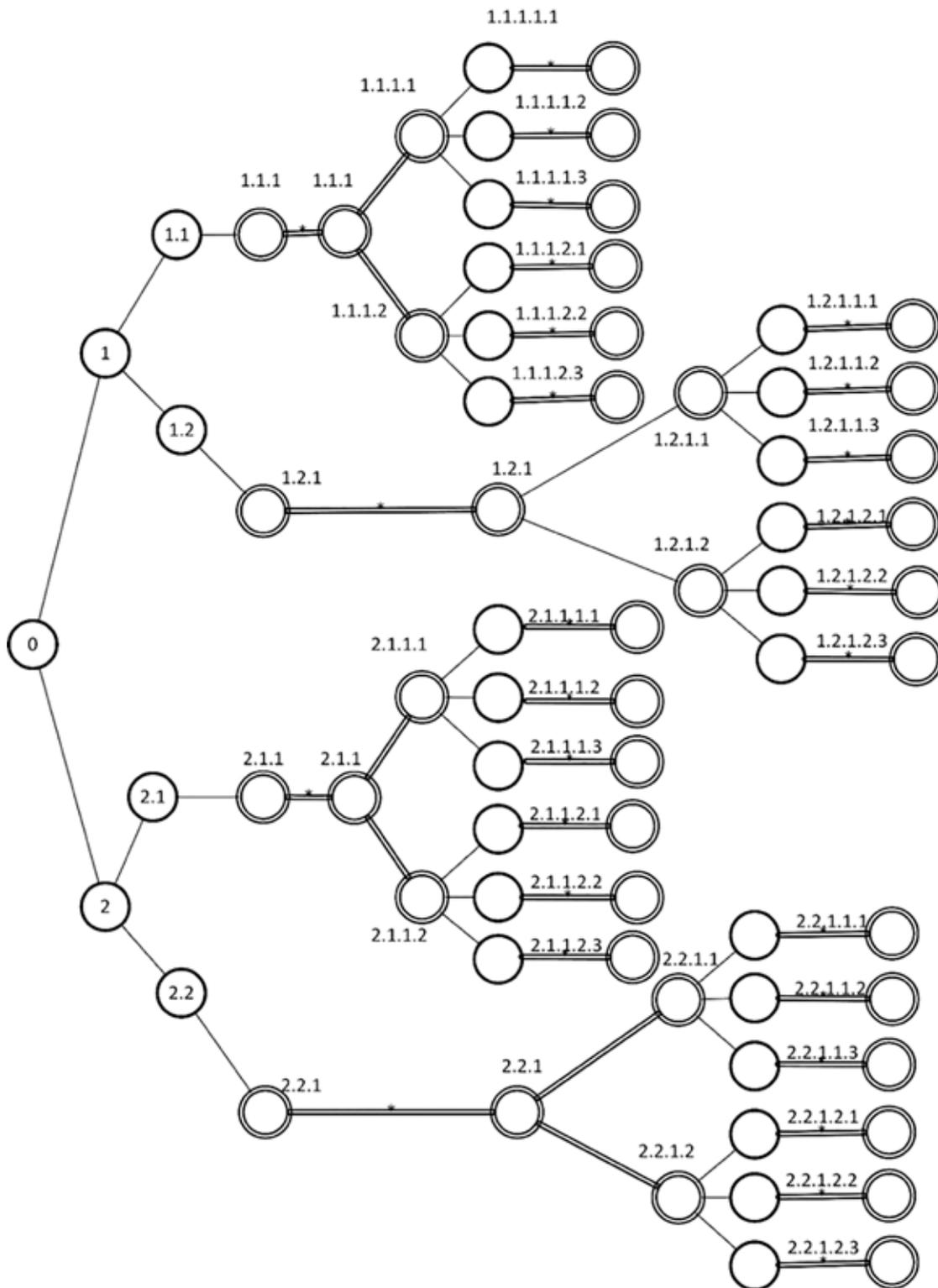


Рис. 5. Комплексное дерево состояний, полученных в результате возможных последовательностей действий и соответствующих переходов

Функционирование и его изменения могут быть реализованы в соответствии с любой из возможных реализаций в зависимости

от реализуемых состояний системы и среды и в зависимости от реализуемых и информационных операций и их характеристик.

В результате принятых допущений и описанных данных возможные цепочки состояний, событий, переходов, обусловленные действиями различного рода, в примере принимают форму дерева, образованного множествами возможных состояний, следующих за одним (родительским) состоянием, которое выбирается в каждом наборе предыдущих состояний с использованием информационного действия определенного вида или сформированным как возможный результат выполнения «материального» действия. В этом смысле и говорят, что информационное действие реализует ветвление, изменяя разнообразие, а «материальное» действие не меняет его. Пример сформированного дерева показан на рисунке 5.

Энтропия возможных реализаций деятельности, образующихся вследствие возможной реализации полученной структуры состояний и переходов, непосредственно зависит от состояния системы и среды, их актуализации, распределения вероятностей по цепочкам, с одной стороны, и от характеристик информационных операций – с другой.

На рисунке 5 состояния, которые обязательно включают информацию различного рода (результаты проверок, предписания), показаны двойной штриховкой. Состояния системы и окружающей среды показаны в виде простой линии. Случай, когда возможен только один исход перехода, показан звездочкой.

$$\begin{aligned} \mathbf{S} = \langle s_{n_0}^{Env}, s_{n_1}^{Sys}, \dots, s_{n_5} \rangle, \mathbf{c}_{n_i} : \mathbf{P} = \langle P_{s_{n_0}^{Env}}(n_0), P_{s_{n_1}^{Sys}}(n_1) \dots P_{s_{n_5}}(n_5) \rangle \\ \mathbf{i} = \langle i_{n_0}^{Env}, i_{n_1}^{Sys}, i_{n_2}^{pr}, i_{n_3}^p, i_{n_4}^r \rangle, \\ E(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I}) = - \sum_{c_{n_5} \in Tr(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I})} p_{n_5}(c_{n_5}) \cdot \log p_{n_5}(c_{n_5}), \end{aligned} \quad (1)$$

В частном случае условно независимых вероятностей через цепи:  $p_{n_i}(c_{n_i}), i = \overline{1, I}, I_{c_{n_i}}$ :

$$p_{n_4}(c_{n_4}) = p_{n_5}(c_{n_5}) = \prod_{i=1, I} p_{n_i}(c_{n_i}). \quad (2)$$

Здесь  $c_{n_i}$  – цепочки состояний и действий, соответствующие ветвям деревьев  $Tr(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I})$ ;

$p_{n_i}(c_{n_i})$  – вероятность ветвления на  $i$ -м уровне дерева для цепи  $c_{n_i}$ . Если вероятность не определена (ветвление детерминированное), то  $p_{n_i}(c_{n_i}) = 1$ .

В рассмотренном примере для каждой вершины в  $c_{n_0}, c_{n_1}$ :

$$p_{n_0}(c_{n_0}) = p_{s_{n_0}^{Env}}(n_0), p_{n_1}(c_{n_1}) = p_{s_{n_1}^{Sys}}(n_1),$$

и для всех остальных вершин в  $c_{n_i}$ :

$$p_{n_i}(c_{n_i}) = 1 : p_{n_5}(c_{n_5}) = p_{s_{n_0}^{Env}}(n_0) \cdot p_{s_{n_1}^{Sys}}(n_1).$$

$Tr(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I})$  – дерево возможных состояний  $\mathbf{S}$ , обусловленных цепочками действий  $\mathbf{I}$ .

$p_{n_4}(c_{n_4})$  – возможность  $n_4$ -ой возможной цепи  $c_{n_4}$  состояний и переходов, ведущей к четвертому уровню дерева, что равно возможности цепи  $n_5$  состояний и переходов пятого уровня  $c_{n_5}$  в текущих

допущениях рассматриваемого примера, поскольку последнее ветвление в примере является сингулярным.

Пусть  $\mu(c_{n_5})$  – мера соответствия эффектов изменяющимся требованиям, полученная при условии, что цепочка  $c_{n_5}$  состояний и переходов была реализована и тем самым вектор  $\hat{w}(c_{n_5})$  эффектов деятельности был получен при условии того, что значения  $\hat{r}(c_{n_5})$  требовались к моменту завершения деятельности. Тогда мера  $\mu(c_{n_5})$  может быть вычислена как:

$$\mu(c_{n_5}) = \text{Poss}(\hat{w}(c_{n_5}) \sim \hat{r}(c_{n_5})), \quad (3)$$

где  $\sim$  это одно или комплекс отношений из множества отношений  $R \stackrel{\text{def}}{=} \{<, \leq, =, >, \geq\}$ .

Может быть построена для оценивания мера «смесь»:

$$\bar{\mu}(Tr(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I})) = \sum_{c_n \in Tr(\mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{I})} \mu(c_n) \cdot p(c_n)$$

Характеристики эффектов рассчитываются в соответствии с методиками [17]. Та-

кая мера соответствует одному из случаев оценки потенциала системы на основе скалярного показателя [11] с учетом применения информации для действий в системах.

Предложена комплексная мера  $\xi(c_{n_i})$ , описывающая меру соответствия, полученную по отношению к соответствующей энтропии для каждой возможной цепи реализации причинно-следственных связей в дискретном пространстве возможных  $c_{n_i}$ :  $c_{n_i} \in C_{n_i}$

$$\xi(c_{n_i}) = \frac{\mu(c_{n_i}) \cdot p(c_{n_i})}{e(c_{n_i})} = \frac{\mu(c_{n_i})}{-\log p(c_{n_i})},$$

$$\mu(c_{n_i}) = \text{Poss}(\hat{w}(c_{n_i}) \sim \hat{r}(c_{n_i})),$$

$$e(c_{n_i}) = -p(c_{n_i}) \cdot \log p(c_{n_i}). \quad (4)$$

Также предложена комплексная мера  $\Delta\xi(c_{n_i})$ , которая описывает конечную разность изменения меры соответствия по отношению к конечной разности энтропии между альтернативными ветвями  $c_{n_{i,1}}, c_{n_{i,j}}$ , полученными вследствие изменения характеристик информационных действий  $i_{n_i}$  от  $c_{n_{i,1}}$  к  $c_{n_{i,j}}$ :

$$\Delta\xi(c_{n_{i,1}}, c_{n_{i,j}}) = \frac{\Delta\mu(c_{n_{i,1}}, c_{n_{i,j}})}{\Delta e(c_{n_{i,1}}, c_{n_{i,j}})} =$$

$$= \frac{\mu(c_{n_{i,1}}) \cdot p(c_{n_{i,1}}) - \mu(c_{n_{i,j}}) \cdot p(c_{n_{i,j}})}{e(c_{n_{i,1}}) - e(c_{n_{i,j}})}. \quad (5)$$

Она показывает, как «быстро» конечная разность меры соответствия, вызванная изменением характеристик информационной операции  $i_{n_i}$  от  $c_{n_{i,1}}$  к  $c_{n_{i,j}}$ , изменяется по отношению к конечной разности энтропии, вызванной изменениями тех же характеристик  $i_{n_i}$ . Такие меры позволяют выбирать информационные действия в режиме реального времени, основываясь на локально рассчитанных показателях соответствия эффектов предсказаний «полученных» относительно энтропии «затраченных».

$$\phi(c_{n_i}) = \frac{\mu(c_{n_i})}{e(c_{n_i})} \text{ может рассматри-}$$

ваться как дискретное случайное значение  $\hat{\phi}(c_{n_i})$  с вероятностями  $p(c_{n_i})$  в пространстве  $C_{n_i}$ , и его характеристики могут быть использованы для организационных решений.

$\xi(c_{n_i}), \Delta\xi(c_{n_{i,1}}, c_{n_{i,j}}), \hat{\phi}(c_{n_i})$  являются комплексными мерами прагматических свойств системы с учетом использования информации.

### Результаты исследования и их обсуждение

Дальнейшие исследования должны быть направлены на преодоление имеющихся ограничений в области моделирования использования ИТ, на моделирование широкого спектра различных видов использования информации и различных моделей функционирования систем с использованием полученных результатов исследований. Необходимо создавать новые типы моделей, алгоритмов и технологий на основе уже созданных моделей использования информации в рассмотренных системах. Следует провести исследования по возможному применению технологий машинного обучения для разработки моделей использования информации на основе собираемых «больших данных» о действиях при функционировании, об изменениях функционирования систем. Необходимо разрабатывать новые модели прогнозирования реакций системы на информационные действия в среде системы и реагирования среды на действия системы. Перспективной представляется разработка базы шаблонов использования информации и реализации деятельности с использованием информации для последующего применения при разработке прикладных моделей. Такие модели перспективно создавать на основе разрабатываемой концепции «искусственная деятельность» и использовать для разрабатываемых «цифровых двойников» деятельности с применением ИТ.

Предполагается выполнить классификацию прагматических свойств систем и их функционирования, использования информационных технологий так, чтобы классификатор позволял описывать не только имеющиеся, но и новые свойства, а также и соответствующие задачи исследования прагматических свойств, систем, информационных технологий.

Прагматические свойства систем, их функционирования и изменений – комплекс свойств, описывающий прагматику систем и их функционирования, в том числе в условиях изменений разных видов. Поэтому результаты использования систем, их отношения с другими результатами, соответствие изменяющихся результатов требованиям в изменяющихся условиях среды, показатели, характеризующие изменения указанных отношений и соответствий, и следует ис-

пользовать для описания различных сторон прагматических свойств.

Обозначим:

$\hat{E}^k$  – результат функционирования  $k$ -го вида. Если к результату предъявлены требования, он может называться эффектом.

$\mu(\hat{E}^k \sim \hat{E}^r)$  – мера соответствия двух результатов разных видов.

В ряде случаев может быть представлена в виде частного  $\mu(\hat{E}^k / \hat{E}^r)$

Пусть  $\hat{R}^k$  – результат функционирования среды  $k$ -го вида.

$\mu(\hat{R}^k \sim \hat{R}^r)$  – мера соответствия двух результатов разных видов.

$\mu(\hat{E}^k \sim \hat{R}^k)$  – мера соответствия эффекта функционирования системы соответствующему требованию среды.

$\mu(\hat{E}^k \sim \hat{R}^r)$  – мера соответствия эффекта функционирования системы соответствующему требованию среды.

С использованием указанных соответствий может быть получен граф, описывающий комплекс отношений между системой и средой во времени и характеризующий комплекс мер соответствий функционирования системы и среды в изменяющихся условиях.

$\mu(\hat{E}^k(e_i, i_i) \sim \hat{R}^k(e_m, i_m))$  – мера соответствия эффектов функционирования системы соответствующим требованиям среды в условиях, когда информационные действия  $i_i$  привели к реализации действий по реализации эффектов  $e_i$  далее вызвавших причинно-следственные связи, которые и привели к  $\hat{E}^k$ .

С использованием указанных соответствий может быть получен граф, описывающий комплекс отношений между системой, средой, информационными действиями и информацией во времени и характеризующий комплекс мер соответствий функционирования системы и среды в изменяющихся условиях, на которые система реагирует за счет реализации  $i_r$ .

При этом учитываются соответствия  $e_m$ ,  $i_m$  и – далее, соответствия  $i_i \sim i_m \sim e_i$ .

Мера соответствия двух случайных величин (СВ) задается.

Для нечетких величин мера соответствия задается согласно определению операций с нечеткими величинами. Наличие требуемого соответствия описывается как случайное событие (в случае, если одна СВ неслучайна или используется математическое ожидание меры соответствия). В общем случае такая мера соответствия может быть описана как случайная величина, заданная на интервале  $[0, 1]$  возможных значений меры – стохастический индикатор.

В случае отношений между более чем двумя величинами и иерархических отношений описанный метод может быть распространен и на них, например с использованием многомерных и иерархических стохастических индикаторов.

Индексы результатов функционирования, индексы требований среды к функционированию системы описывают соотношения результатов разных видов, имеющих смысл «интенсивности», например производительность, экономичность, трудоемкость. Они могут служить основой для описания моделей формирования результатов функционирования систем, с которыми взаимодействует исследуемая система. Указанные задачи носят характер совершенствования прагматических свойств систем качества – давать требуемые результаты в нужных соответствиях в ожидаемых условиях, т.е. совершенствования прагматических свойств систем в ожидаемых условиях.

Полученные меры, имеющие смысл «достижимых соответствий», служат основой для совершенствования прагматических свойств систем и их функционирования и в изменяющихся условиях. Затем они могут позволить создавать модели взаимодействия систем, в том числе включающих исследуемую и моделей среды, выполнить декомпозицию решаемых задач совершенствования систем разных видов с учетом мер возможности реализации разных видов взаимодействий и сценариев их реализации в изменяющихся условиях.

В зависимости от достижимых соответствий дальнейшее функционирование систем, взаимодействующих с исследуемой, может быть альтернировано, что должно найти отражение в разрабатываемых моделях [18].

Такого рода задачи следует решать на основе описания использования информации и использования соответствующих информационных действий и ИТ.

Результат такого описания использования ИТ – зависимости результатов функционирования, прагматических свойств систем и функционирования от реализуемых для реализации изменений функционирования ИД и ИТ.

Изменения условий, ведущие к изменению функционирования, могут моделироваться на основе моделей соответствия результатов функционирования систем требованиям и последующей необходимости альтернирования функционирования, или/и на основе задания возможных условий и мер возможности их реализации. Модели использования ИД и ИТ затем описывают зависимости дальнейших альтерни-

рований функционирования от сложившихся условий и результатов ИД.

Зависимости прагматических свойств систем и их функционирования от ИД и ИТ, используемых для альтернирования функционирования в изменяющихся условиях, позволяют перейти к описанию комплексов реализаций причинно-следственных связей при функционировании систем и влиянии реализаций таких комплексов причинно-следственных связей на изменения условий взаимодействия систем и среды (на реализацию связей и на их интенсивность), с одной стороны, и на разнообразие возможных и реализуемых причинно-следственных связей – с другой.

Это, в свою очередь, позволяет перейти к описанию того, как от изменения соответствий результатов/требований и интенсивности функционирования систем и среды в изменяющихся условиях зависит функционирование других систем и среды, как при этом используются ИТ и к чему они приводят (характеристики изменяющихся соответствий результатов требованиям и интенсивностей взаимодействий в изменяющихся условиях – «динамические прагматические свойства результатов в изменяющихся условиях при использовании ИТ»).

Предполагается исследовать и соотношение мер, описывающих разнообразие (энтропийные меры) и сложность, исследовав отношения между прагматикой систем (результатами), случайностями, разнообразием и сложностью в разрабатываемых моделях и решаемых задачах исследования использования ИТ.

Полученные результаты планируется воплотить в ряде технологических проектов, в частности в проектах шаблонизации, типовых фрагментах PAIS (Process-Aware Information Systems) [14], паттернах использования информации в них, паттернах решения задач использования ИТ в условиях изменений [15–18], Actionable Artificial Intelligence, Artificial Activity, информационных системах поддержки изменений функционирования.

### Заключение

Показано, что моделирование использования информации возможно путем создания на основе предложенных и создаваемых диаграммных моделей, а затем на их основе: теоретико-графовых моделей, параметризованных теоретико-графовых моделей на их основе, далее – функциональных теоретико-вероятностных моделей. Такая формализация открывает путь к формальному описанию совокупностей действий по по-

лучению материальных эффектов в зависимости от складывающихся условий, от возможных изменений и возможных цепочек изменений состояний в связи с различными результатами обработки информации. Такие цепочки моделируются как последовательности причинно-следственных связей, вызванных информационными действиями, ведущие к изменениям проявления материальных эффектов. Предложена система мер, основанных как на показателях соответствия эффектов требованиям, так и на энтропии функционирования в изменяющихся условиях. Они оцениваются на основе вероятностных математических моделей, строящихся с использованием деревьев реализаций цепочек состояний, обусловленных цепочками действий и использованием информации.

Предложенные схемы позволяют строить такие деревья реализаций и на их основе – математические модели для количественной оценки потенциала системы, потенциала использования ИТ, энтропии и, возможно, других свойств, описывающих применение информации в системах. Предложены меры и показатели для оценивания свойств информационных действий, проявляющихся в процессе функционирования системы. Они могут быть использованы для принятия решений об информационных действиях, которые следует предпринимать, и их характеристиках, в зависимости от текущих условий функционирования. В результате становится возможным осуществлять оперативное оценивание показателей качества информационных действий в зависимости от параметров и переменных информационных действий и используемых ИТ. Ограничения предлагаемых концепции, моделей и основ методологии обусловлены небольшим количеством разработанных и использованных для моделирования схем, ограничивающих возможности моделирования применения информации в системах, и их дискретным характером, отраженным используемыми графо-теоретическими моделями.

Полученные результаты позволяют перейти далее к описанию процедур построения моделей использования информации и затем решения задач совершенствования использования ИТ на основе современных цифровых технологий, в том числе с использованием таких видов технологий, как Big Data, Machine Learning, Process Science.

Строящиеся модели могут служить основой для решения задач внедрения других цифровых технологий. К ним относятся создание описанных далее цифровых двойников деятельности, реализация модельно-

ориентированной программной инженерии при решении задач совершенствования деятельности.

Выполнена классификация задач совершенствования использования ИТ и цифровой трансформации систем разных видов. Основой для классификации задач являются прагматические свойства целенаправленно изменяемых за счет использования ИТ систем и деятельности с ними, с одной стороны, как тот аспект задач, что связан с целью людей при решении задач. С другой стороны, классификация опирается на виды изменений, реализуемых с использованием ИТ для получения требуемых прагматических свойств – как то, за счет чего получают результаты решения задач. Эти изменения, в свою очередь, могут реализоваться разными возможными ИТ в разных системах. В зависимости от видов изменений, реализуемых за счет использования ИТ, и в зависимости от исследуемых прагматических свойств систем и получают различные имеющиеся и перспективные виды задач использования ИТ, задач цифровой трансформации систем и деятельности с ними.

Полученные результаты планируется воплотить в ряде технологических проектов, направленных на решение разнообразных задач совершенствования использования информационных технологий.

#### Список литературы

1. Barès Michel, Bossé Éloi. *Relational Calculus for Actionable Knowledge*. 1st ed. Cham: Springer International Publishing (Information Fusion and Data Science series), 2022. 360 p.
2. Arndt Christoph. *Information Measures*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2001. 548 p.
3. Depeige A., Doyencourt D. *Actionable Knowledge As A Service (AKAAS): Leveraging big data analytics in cloud computing environments*. *Journal of Big Data*. 2015. V. 2. P. 12. DOI: 10.1186/s40537-015-0023-2.
4. *Cultural Synergy in Information Institutions*. New York, NY: Springer New York, 2014. 82 p.
5. Meynard T. Jullien, François, A Treatise on Efficacy: Between Western and Chinese Thinking. Translated by Janet Lloyd Honolulu: University of Hawaii Press. 2004. 202 p.
6. Du, Xiaozhen 杜小真, *To Go Afar and to Return: Dialogue between Greece and China 遠去與歸來:希臘與中國的對話* Beijing 北京: Zhongguo Renmin Daxue Chubanshe 中國人民大學出版社. Dao. 2008. 7. № 2. P. 215–219.
7. Mesbahi M., Egerstedt M. *Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks*. Princeton University Press, 2010. 424 p.
8. Jing D. *The Study on Business Growth Process Management Entropy Model*. *Physics Procedia*. 2012. № 24. P. 2105–2110.
9. Novikov D. *Control, Activity, Personality*. *Advances in Systems Science and Applications*. 2020. № 03. P. 113–135.
10. Новиков Д.А. *Кибернетика 2.0 // Проблемы управления*. 2016. Вып. 1. С. 73–81.
11. Гейда А.С. *Основы теории потенциала сложных технических систем: монография*. М.: РАН, 2021. 408 с.
12. Geyda A.S., Fedorchenko L.N., Lysenko I.V., Svistunova A.S., Khasanov D.S., Usin V.V. *Concept and Models of Information Application for Actions in Systems*. FRUCT'31 Conference proceedings. Helsinki, Finland. 2022. April 29. P. 407–415.
13. Державин С.А., Гейда А.С., Резанова В.С. *Схемы использования информационных технологий для получения результатов функционирования систем // Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 8. С. 38–46.
14. Farbod Taymouri, Marcello La Rosa, Marlon Dumas, Fabrizio Maria Maggi. *Business process variant analysis: Survey and classification*. *Knowledge-Based Systems*. 2021. V. 211. P. 106557.
15. Marrella A., Mecella M. *Adaptive Process Management in Cyber-Physical Domains*. In: Grambow G., Oberhauser R., Reichert M. (eds) *Advances in Intelligent Process-Aware Information Systems*. *Intelligent Systems Reference Library*. Vol 123. Springer. Cham. 2017. 245 p.
16. Kapuruge M., Han J., Colman A., Kumara I. *Enabling Ad-hoc Business Process Adaptations through Event-Driven Task Decoupling*. *Advanced Information Systems Engineering*. CAiSE 2013. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 7908. Springer. 2013. P. 384–399.
17. D. Golenko-Ginzburg. *Stochastic network models in innovative projecting*. Vol. 1: *Network projects with deterministic structure: Monograph*. Yelm, WA, USA. Science Book Publishing House. 2014. 384 p.
18. Reichert M., Weber B. *Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems*. Springer – Berlin, Heidelberg. 2012. 518 p.