

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ[#]

С. М. Бекетов*, К. Н. Поспелов**, С. Г. Редько***

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*✉ salbek.beketov@spbpu.com, **✉ kapiton.pospelov@spbpu.com, ***✉ redko_sg@spbstu.ru

Аннотация. Рассмотрены основные аспекты концепций человеческого капитала, инновационных проектов и имитационного моделирования, на основе чего предложена имитационная модель, описывающая роль человеческого капитала в инновационных проектах. Разработанная модель высокого уровня абстракции создана для исследования роли социального компонента в организационной структуре инновационного проекта в общем контексте (на уровне отрасли, предприятия, части предприятия) и рассматривается прежде всего как инструмент для отслеживания динамики проектов с учетом состояния человеческого капитала системы. Модель состоит из двух основных частей: базовой имитационной модели, выполненной на языке системной динамики, и агентного компонента модели, описывающего динамику человеческого капитала. Модель представляет собой концептуальный инструмент, требующий калибровки и доработки для применения к конкретной организации.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системная динамика, агентный подход, человеческий капитал, инновационные проекты.

ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование активно применяется для изучения различных социально-экономических и социотехнических систем [1, 2]. Преимущество этого подхода состоит в возможности отображения моделируемой системы на различных уровнях абстракции, что позволяет моделям выполнять описательные, прогностические и предписывающие функции на разных горизонтах планирования.

Три основных парадигмы имитационного моделирования – системная динамика, дискретно-событийный и агентный подходы [3] – благодаря различию заложенных в них принципов и инструментов обеспечивают широту области применения имитационного моделирования. В контексте рассмотрения влияния человеческого капитала на ин-

новационные проекты прежде всего следует исследовать две парадигмы: агентный подход и системную динамику.

Системная динамика подразумевает исключительно высокий уровень абстракции, поскольку в рамках подхода исследование различных систем осуществляется в терминах запасов и связывающих их потоков, а отдельные сущности внутри системы (в рамках агентного подхода часто представляемые отдельными акторами системных процессов) заданы вложенными характеристиками таких запасов и потоков [4]. Этот подход полезен при исследовательской работе в отношении глобальных систем, например при анализе мировых демографических процессов или эпидемиологических тенденций [4, 5]. Агентный подход концентрируется на поведении и взаимодействии отдельных акторов в системе, состояние которых в совокупности формирует состояние всей системы [6]. Сам по себе агентный подход достаточно универсален и позволяет моделировать системы на различных уровнях абстракции в рамках подхода: аб-

[#] Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2024-004 от 17.01.2024).



страктность модели привязывается к объекту, моделируемому в качестве агента, и возрастает при переходе от локальных конкретных агентов (людей, станков, устройств и т. п.) к глобальным абстрактным агентам (предприятиям, регионам, государствам и т. п.) [7].

Переход к агентному моделированию во многом может быть связан с тем, что подразумеваемые в рамках прочих парадигм общность и строгость правил поведения могут ограниченно применяться в условиях отслеживания тенденций, ограниченно зависящих от человеческого мышления (например, в области эпидемиологии [4]), однако в организуемых и управляемых системах оказываются менее адекватны.

Потребность в отслеживании динамики взаимного влияния социального компонента и эффективности инновационного проекта в проектно-ориентированных системах (командах проектов, предприятиях и группах предприятий, выполняющих проекты) стала основной проблемой, поставленной в настоящей работе. Имитационное моделирование путем гибридизации агентного и системно-динамического подхода было выбрано в качестве способа разработки инструмента для организации такого отслеживания. Результаты работы также позволят обосновать ценность человеческого капитала для формирования устойчивой системы реализации инновационных проектов.

Таким образом, поставлена цель разработать инструментарий для отслеживания динамики проектов с учетом состояния человеческого капитала системы. Создаваемая модель при применении ее в условиях конкретной проектно-ориентированной системы должна позволить рассмотреть и проанализировать роль человеческого капитала в реализации инновационных проектов с двух точек зрения: снизу вверх, т. е. путем анализа поведения отдельных акторов инновационных процессов в контексте его воздействия на рассматриваемые проекты; и сверху вниз, т. е. путем анализа воздействия глобальных показателей инновационной деятельности предприятия (прежде всего результативности и эффективности инновационных проектов) на человеческий капитал.

1. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕЛИ

1.1. Человеческий капитал

Концепция человеческого капитала получила широкое распространение в конце XX в. Согласно

Оксфордскому словарю¹ человеческий капитал определяется как «навыки, которыми обладают работники (сотрудники) и которые рассматриваются как ресурс или актив (предприятия)». Более полные определения включают, помимо навыков, понятия знаний, неявных знаний [8] и объектов интеллектуальной собственности, а также образование и даже здоровье сотрудников [9].

Человеческий капитал часто связывается с менеджментом знаний – направлением в управлении предприятием, в котором человеческий капитал рассматривается прежде всего с точки зрения экспертных знаний сотрудников, их навыков и известных им неявных знаний. В этом контексте некоторыми исследователями человеческий капитал может рассматриваться в том числе как часть интеллектуального капитала [10], который в концепции самообучающейся организации считается основным источником прибыли предприятия [11].

Развитие человеческого капитала является важным аспектом деятельности современных организаций. В различных восприятиях концепции менеджмента знаний он трактуется по-разному: в частности, в японской доктрине развития знаний человеческий капитал (по-прежнему выражающийся прежде всего через знания и навыки сотрудников) является динамически развивающейся структурой в составе организации, улучшение которой происходит в основном из-за постоянного обмена знаниями [12]. Такой подход направлен на поощрение коммуникации и передачи знаний. Американская концепция, в свою очередь, концентрируется на непосредственном управлении знаниями с помощью организационных и финансовых решений, стимулирующих развитие знания прежде всего внутри ограниченного круга изобретателей, которые передают вовне не столько знания, сколько результат интеллектуальной деятельности, что не всегда одно и то же [13].

В рамках данного исследования используются обе упомянутые выше концепции. Считается, что пополнение человеческого капитала в контексте знаний обеспечивается как путем передачи знаний от более опытных или знающих сотрудников к менее опытным или знающим, так и через генерацию нового знания усилиями одного сотрудника или ограниченной группы сотрудников. Терминологически такие процессы генерации знания можно называть экстенсивным и интенсивным соответ-

¹ Oxford English Dictionary. – URL: www.oed.com (дата обращения: 19.02.2024).

ственно: в первом случае индекс человеческого капитала организации будет повышаться путем распространения известного знания, а во втором – путем создания нового знания. Очевидно, что эти процессы должны быть связаны и согласованы, в противном случае рост человеческого капитала невозможен. Таким образом, в организации может происходить движение знаний, навыков и других форм интеллектуальных объектов в составе человеческого капитала, что обеспечит основу для формирования инновационного потенциала [14].

В отечественной науке активно развивается и изучается компетентностный подход. Прежде всего он применяется к образовательным процессам [15]. Развиваемые у обучающихся компетенции зафиксированы в образовательных стандартах, однако логически подход может применяться и к человеческому капиталу организаций – как минимум по причине того, что некоторые компетенции обозначаются как профессиональные и, соответственно, ориентированы на использование в профессиональной деятельности выпускников образовательных учреждений. Актуальные отечественные исследования также проводят связь между компетентностным подходом и человеческим капиталом, в том числе в инновационно ориентированных компаниях [16, 17]. Изучение компетенций также подходит для оценки человеческого капитала организаций. Особенность, позволяющая изолировать их от ранее описанных знаний и навыков, состоит в том, что компетенции невозможно передать другим сотрудникам – они являются суверенной характеристикой отдельного сотрудника. В модели человеческого капитала потребуется связать компетенции сотрудников и их знания для того, чтобы получить адекватную оценку влияния и передаваемых, и непередаваемых знаний на человеческий капитал организации.

При этом необходимо учитывать и другие аспекты человеческого капитала, связанные прежде всего со здоровьем сотрудников. Проблемы физического [18] и ментального [19] здоровья сотрудников активно исследуются в контексте их влияния на человеческий капитал. Важно при этом отметить, что учет конкретных факторов условий труда или профессиональных рисков для высокоуровневой исследовательской модели затруднен, поскольку угрозы физическому здоровью сотрудников могут существенно варьироваться от организации к организации.

Соответственно, при разработке модели роли человеческого капитала в инновационных проек-

тах необходимо будет сформировать отображение человеческого капитала сотрудников с учетом следующих основных компонентов:

– знаний, навыков и т. п., увеличивающих человеческий капитал путем передачи знаний одних сотрудников другим (назовём такие знания экстенсивными);

– знаний, навыков и т. п., увеличивающих человеческий капитал благодаря появлению и развитию среди ограниченного круга лиц или у конкретного человека, в том числе полученных извне экстенсивных знаний, навыков и т. п. (назовём такие знания интенсивными);

– здоровья и прочих факторов человеческого капитала, не относящихся к знанию, но доступных к формализации на уровне общей модели, не привязанной к какой-либо конкретной организации.

В современных исследованиях проводятся связи между исследовательскими проектами и человеческим капиталом [20]. Это позволяет подтвердить актуальность предлагаемого исследования.

1.2. Инновационные проекты

Проектная деятельность в современном предприятии является актуальной и распространенной практикой. Для ряда решаемых задач управление по принципам проектов оказывается более эффективным, чем традиционное операционное управление. Одним из контекстов, в которых принципы проектного управления находят применение, является инновационная деятельность, характеризующаяся традиционно высоким уровнем неопределенности и отсутствием строгих стандартов и регламентов, привлечением экспертных мнений и, в случае успеха, существенным влиянием на конкуренцию в отрасли [21]. Эти особенности инновационной деятельности связаны с тем, что инновационные проекты часто ориентированы на получение принципиально новых технологических, технических или организационно-правовых результатов, для которых отсутствуют общепринятые стандарты или распространенные лучшие практики. Соответственно, в таких условиях проектный подход, позволяющий добиваться уникальности и гибкости деятельности в рамках выполнения работ, оказывается уместен. В рамках настоящей статьи не приводятся уникальные определения инновационного проекта и не делается акцент на точном определении границ этого понятия. Предлагается считать инновационными проектами системы мероприятий, предусматривающие технико-экономическое, правовое и организа-



ционное обоснование использования результатов научной, научно-технической и изобретательской деятельности для создания принципиально новых (по функциям или по форме) продуктов, услуг и способов эксплуатации продукции либо организации принципиально новых процессов производства продуктов и услуг [22]. При рассмотрении термина выявляются некоторые особенности, которые необходимо учитывать при построении модели.

Выше уже была обозначена важность учета человеческого капитала при рассмотрении инновационно ориентированных компаний и, следовательно, выполняемых ими инновационных проектов [16]. Такой учет позволяет обосновать применение предлагаемой модели именно к инновационным проектам. Фактически это объясняется особенно высокой ролью человеческого капитала – выраженного прежде всего в потенциале генерации нового научного знания – в деятельности инновационных компаний в целом и при реализации инновационных проектов в частности [23]. Предполагается, что подобная характеристика инновационных проектов предъявит следующие требования к разрабатываемой модели:

- человеческий капитал должен оказывать влияние на систему инновационных проектов на всех этапах их реализации;

- каждый из этапов реализации инновационных проектов должен подразумевать вероятность срыва проекта ввиду влияния различных факторов, в том числе и факторов, связанных с человеческим капиталом организации (недостаток знаний, ошибки при разработке и т. д.);

- каждый проект должен оказывать влияние на человеческий капитал организации, пополняя запас знаний сотрудников.

Эти общие требования предположительно распространяются на весь спектр инновационных проектов, а потому подходят для верхнеуровневой имитационной модели. Для построения моделей, связанных с инновационной деятельностью конкретных организаций, потребуется уточнение перечисленных требований.

1.3. Имитационное моделирование

Во введении подробно описывались две часто применяемые парадигмы имитационного моделирования: системная динамика и агентное моделирование. Базовая модель в рамках работы выполняется в терминах системной динамики: это решение обусловлено абстрактным верхнеуровневым характером модели. Модель должна адаптировать-

ся к конкретным условиям отдельных отраслей и предприятий, но при этом отражать общие закономерности развития человеческого капитала при реализации инновационных проектов. В этом контексте агентное моделирование оказывается излишне детальным. Однако в качестве одной из перспектив разработки может быть принято гибридное моделирование, совмещающее системную динамику и агентный подход для уточнения некоторых системных взаимодействий.

Гибридное моделирование представляет собой обособленную парадигму в рамках имитационного моделирования. Гибридная модель совмещает в себе несколько отдельных базовых подходов к имитации, что обеспечивает покрытие практически неограниченного пространства моделируемых систем. При этом применяться этот метод должен только в том случае, когда достижение целей моделирования невозможно при применении какой-либо из базовых парадигм [3].

В зависимости от сочетания методов разнятся и возможности гибридной модели. Сочетание агентного подхода и моделирования в терминах системной динамики используется для описания систем, в которых некоторые глобальные подробно не детализированные закономерности (цены на рынках, крупные городские инфраструктуры, общие демографические закономерности) связываются с поведением отдельных индивидов или объектов, таких как организации и предприятия, отдельные муниципальные или государственные образования [24, 25]. Именно по причине взаимодействия глобальных факторов и конкретных агентов – персонала компании, работников отрасли, социальных групп – при рассмотрении вопросов роли человеческого капитала в реализации инновационных проектов такая комбинация подходов применима.

Таким образом, имитационное моделирование представляется адекватным инструментом решения поставленной проблемы и исследования системных взаимосвязей человеческого капитала в инновационных проектах. Ставятся две задачи:

- выполнить базовую модель на языке системной динамики;

- дополнить базовую модель агентным компонентом для уточнения динамики отдельных переменных, связанных с человеческим капиталом.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

2.1. Базовая модель в терминах системной динамики

Для верхнеуровневого абстрактного моделирования принимается упрощенное восприятие моде-

лируемой системы. В контексте системной динамики отдельные проекты не обладают уникальными чертами и обособленными значениями атрибутов, как, например, в дискретно-событийном моделировании, и выступают исключительно характеристиками запасов и потоков внутри модели.

В качестве базового шаблона реализации имитационной модели принимается модель структуры «Main Chain», представляющая собой цепочку запасов, соединенных промежуточными потоками и обычно используемая для визуализации производственных цепочек [26].

С учетом предъявленных к системе требований (влияние человеческого капитала на всех этапах реализации проекта, вероятность срыва проекта на всех этапах, влияние каждого реализованного проекта на человеческий капитал организации) модель дополняется многочисленными отдельными конвертерами (переменными) и потоками, выводящими проекты из системы до их завершения. Ключевыми выходными характеристиками системы являются принесенная прибыль и рост человеческого капитала по итогам успешной реализации инновационного проекта.

Базовая модель, а также ее дополнение агентным компонентом созданы в среде имитационного моделирования AnyLogic. Таким образом, модель приобретает вид, представленный на рис. 1.

Здесь квадратами со скругленными углами (например, «Запросы в обработке», «Проектирова-

ние» и т. п.) представлены запасы – объекты модели, в которых накапливаются агенты (в данном случае проекты). Широкие стрелки между ними («Темп подготовки ТЗ», «Темп разработки», «Отказ в проектировании» и т. п.) обозначают потоки перехода проектов из одного состояния проекта в другое – в рамках модели такие переходы для каждого конкретного проекта осуществляются мгновенно (т. е. проект описывается дискретным набором состояний – запасов). Круги («Время подготовки запроса», «Общая техническая готовность» и т. п.) обозначают основные факторы, влияющие на параметры переходов между состояниями проектов.

Все потоки в модели задаются сложными функциями, сочетающими влияние факторов, связанных с этим потоком. Большая часть функций, задающих переходы между основными запасами структуры «Main Chain», описывается функциями задержек первого порядка с ускорением, коррелирующим с интегральной оценкой человеческого капитала. Типовая формула для вычисления значений потока $f_1(t)$ такова:

$$f_1(t) = \theta(t) \frac{I(t)}{\tau}, \quad (1)$$

где $\theta(t)$ – интегральная (общая) оценка человеческого капитала в момент времени t ; $I(t)$ – значение предстоящего потока запаса в момент времени t ; τ – задержка.

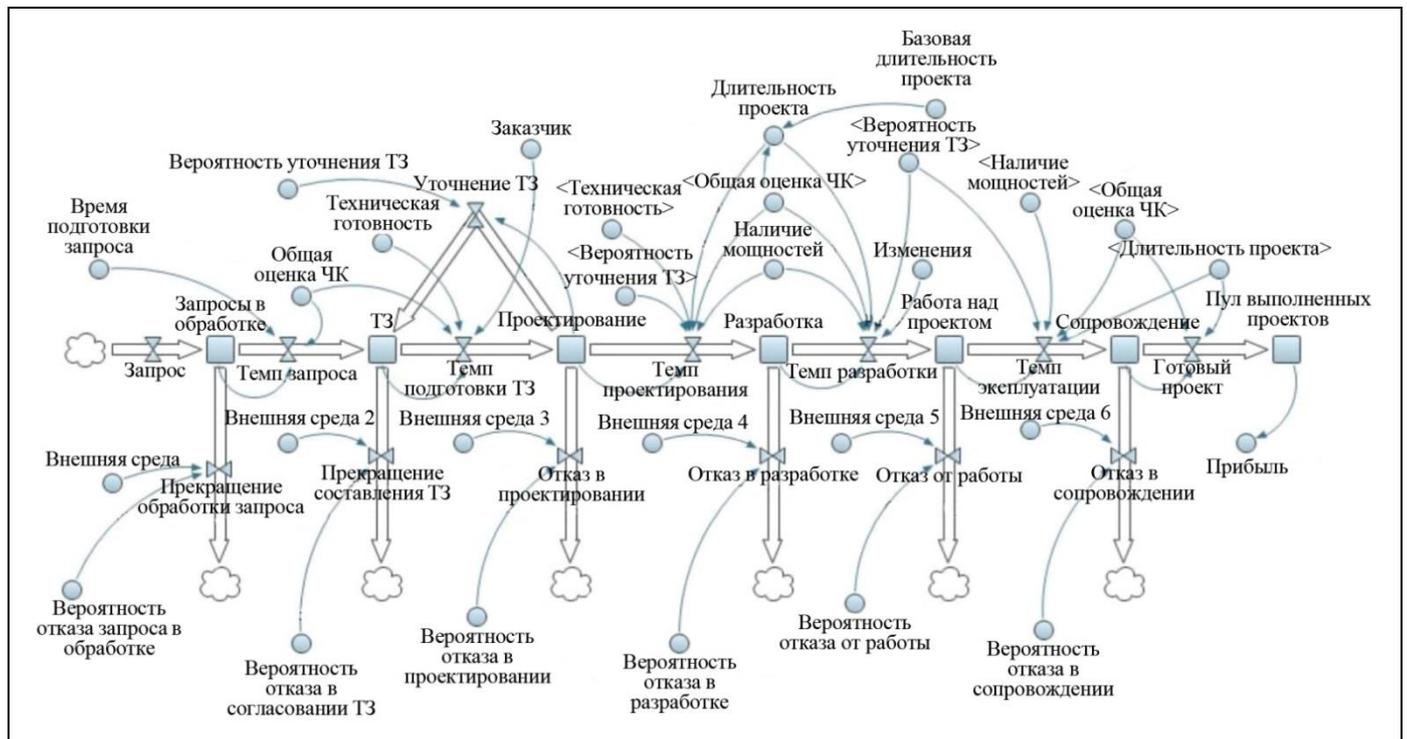


Рис. 1. Основной модуль базовой модели в терминах системной динамики



Формула (1) с естественными изменениями применима к темпу запроса, темпу подготовки технического задания (здесь к интегральной оценке человеческого капитала для ускорения потока добавляются значения технической готовности и оценки влияния заказчика – в качестве ускорителя принимается средняя величина), темпа проектирования, темпа разработки, темпа эксплуатации (влияние прочих факторов здесь аналогично описанному для подготовки технического задания) и потока «готовый проект».

Потоки, представляющие отказ в дальнейшей проработке модели по какой-либо из причин, моделируются по формуле

$$f_2(t) = \varepsilon p I(t),$$

где ε – интегральная оценка влияния факторов внешней среды (в том числе и вероятность отказа заказчика) на конкретном этапе реализации проекта; p – вероятность отказа от проработки проекта со стороны исполнителя на конкретном этапе реализации проекта.

Такая формула с различными значениями входных переменных применима для потоков прекращения обработки запроса, прекращения составления технического задания, отказа в проектировании,

отказа в разработке, отказа от работы, отказа в сопровождении.

Для моделирования человеческого капитала в базовой модели требуется дополнительный компонент, который моделирует динамику человеческих знаний, навыков и неинтеллектуальных факторов, например здоровья. Для базовой модели в терминах системной динамики принимается возможным моделировать с помощью одного компонента имитационной модели весь человеческий капитал организации. Упомянутый компонент имеет вид, представленный на рис. 2.

Весь модуль на рис. 2 направлен на формирование единой интегральной оценки человеческого капитала, влияющей на этапы реализации инновационных проектов (см. рис. 1). На нем отражаются профессиональные и поведенческие компетенции (исключительно интенсивные факторы роста человеческого капитала), знания и навыки сотрудников (имеющие как интенсивный, так и экстенсивный характер), уровень здоровья сотрудников, а также ряд простых факторов, оцененных в настоящей модели в форме констант или постоянно изменяющихся динамических факторов (например, эмоциональное состояние сотрудников).

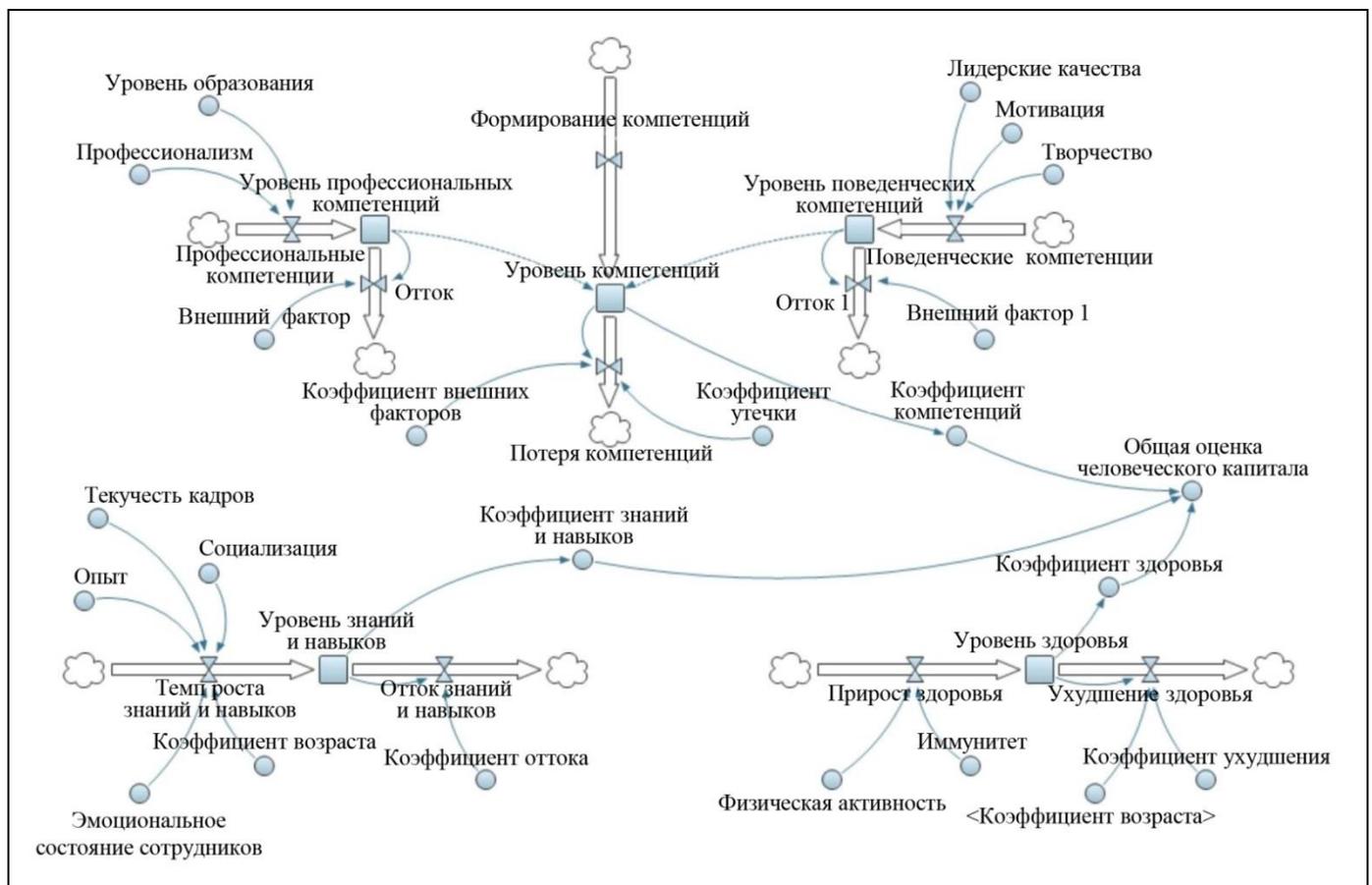


Рис. 2. Дополнительный модуль оценки человеческого капитала базовой модели в терминах системной динамики

Моделирование потоков для модуля оценки человеческого капитала во многом основано на калибровочных коэффициентах, привязанных к конкретной моделируемой системе. Так, например, прирост здоровья описывается формулой

$$f_3(t) = k_1 I + k_2 P,$$

где k_1 и k_2 ($k_1 + k_2 = 1$) – калибровочные коэффициенты; I – оценка иммунитета сотрудников организации; P – оценка физической активности сотрудников организации.

Для углубленных моделей влияния человеческого капитала такие оценки иммунитета и физической активности могут быть динамическими переменными, изменяющимися в соответствии с динамикой поведения и особенностей деятельности сотрудников, но в верхнеуровневой абстрактной модели такая детализация сочтена нецелесообразной.

Часть потоков этого модуля модели также описывается задержками первого порядка в исходном виде или с ускорителями (см. формулу (1)). Такими потоками являются оттоки поведенческих и профессиональных компетенций, отток знаний и ухудшение здоровья, потеря компетенций (принципиальное отличие от оттока связано с тем, что в потере компетенций моделируется утрата сотрудниками компетенций в связи с их неиспользованием, в то время как оттоки, в том числе и компетентностные, описывают уход сотрудников и связанное с этим снижение человеческого капитала).

Прочие входные потоки модели – темп роста знаний и навыков, темпы роста поведенческих и профессиональных компетенций, формирование компетенций сотрудников – моделируются как совокупная оценка позитивно влияющих на поток факторов, деленная на совокупную оценку негативно влияющих на поток факторов с калибровочными коэффициентами при необходимости.

Следующей задачей моделирования являлось дополнение модели агентным компонентом для уточнения динамики человеческого капитала в рамках системы.

2.2. Агентный компонент как дополнение к базовой модели

На рис. 3 представлен общий алгоритм поведения агента (человека в проектно-ориентированной системе) в различных моделируемых ситуациях в терминах нотации BPMN (Business Process Model and Notation).

Суть введения агентного компонента состоит в замене дополнительного модуля оценки человеческого капитала. Теперь интегральная оценка человеческого капитала будет представлять собой сум-

му оценок человеческого капитала, присущих каждому сотруднику. Такая логика тоже не является безусловно верной, поскольку не учитывает некоторые вероятные скрытые закономерности (например, скрытый оптимум числа сотрудников с определенным уровнем человеческого капитала), однако принята допустимой для абстрактной верхнеуровневой модели.

В разрабатываемом агентном дополнении основной модели в качестве агента принимается отдельный человек, сотрудник оцениваемой организации. Ему присущи те же компоненты и те же закономерности их изменения, что и в дополнительном модуле, но они оцениваются в приложении к отдельному человеку. При этом увеличение знаний и навыков в той части, в которой эти знания и навыки являются «экстенсивными», т. е. растущими путем распространения, а не генерации, задается получением соответствующих сообщений от других агентов.

Таким образом, в предлагаемом агентном дополняющем компоненте происходят следующие динамические изменения основных параметров агентов:

– При успешном завершении проектов возрастают знания и навыки набора задействованных (в базовом варианте – случайных) агентов; у этих агентов появляется возможность обмениваться полученными знаниями (обмен происходит с вероятностью, зависящей от уровня знаний и здоровья агента).

– При неудачном завершении проектов ухудшается здоровье набора задействованных (в базовом варианте – случайных) агентов (обусловлено психологическим напряжением из-за неудачной реализации).

– При отработке каждой единицы модельного времени теряется часть знаний и навыков всех сотрудников (обусловлено длительной стагнацией, которая нивелируется успешными проектами или генерацией знаний), вырастают компетенции всех сотрудников.

– При каждом новом этапе проекта (увеличении запаса каждого последовательного этапа реализации проектов) осуществляется генерация знаний у набора задействованных (в базовом варианте – случайных) агентов – с некоторой вероятностью они могут получить знания и навыки, в случае успеха появляется также возможность обмениваться сгенерированными знаниями (обмен происходит с вероятностью, зависящей от уровня знаний и здоровья агента).

– При получении агентом (в базовом варианте – случайным) обменного сообщения у него возрастают знания и навыки.

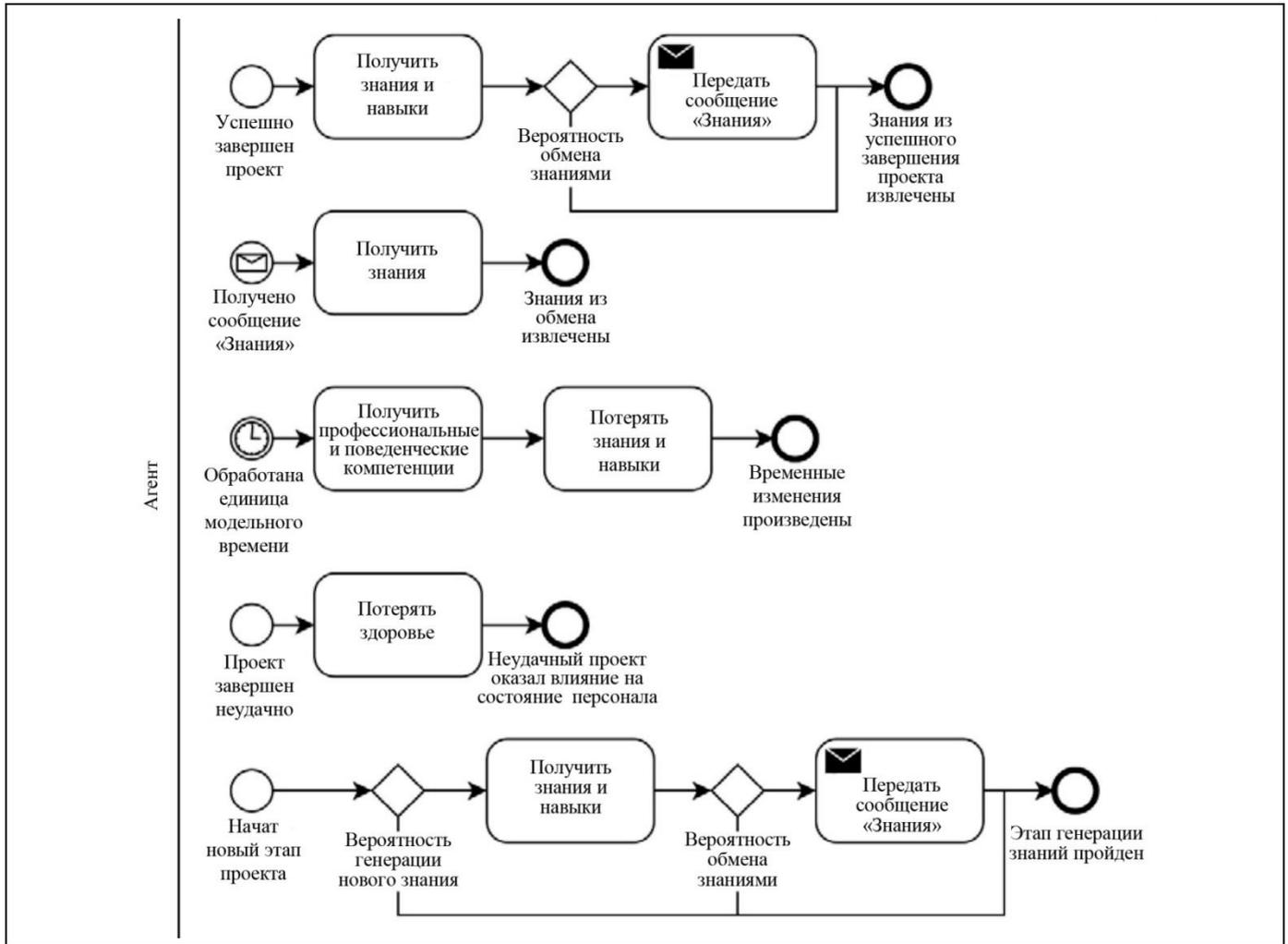


Рис. 3. Алгоритм поведения агента в терминах нотации BPMN

Также необходимо отметить, что за пределами алгоритма, представленного на рис. 3, происходит прием и увольнение сотрудников с определенной периодичностью. Такой поток задается дополнительным модулем системно-динамической модели (рис. 4). Вновь входящие в систему сотрудники имеют базовые значения всех характеристик (знания и навыки, профессиональные компетенции, поведенческие компетенции, здоровье), характеристики уходящих сотрудников теряются.

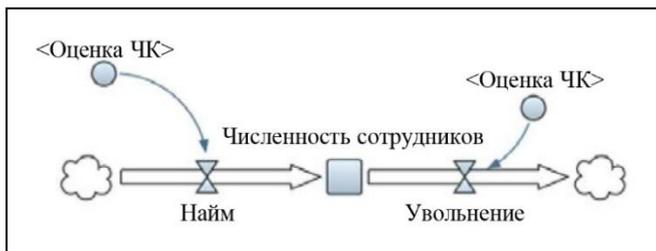


Рис. 4. Дополнительный модуль изменения численности персонала

На рис. 4 Оценка_ЧК – интегральная оценка человеческого капитала в системе. Такая оценка вычисляется на основе отдельных оценок человеческого капитала отдельных сотрудников по формуле

$$\theta(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 \xi_{ij}}{4N},$$

где ξ_{ij} – значение j -го критерия оценки человеческого капитала (знания и навыки, профессиональные компетенции, поведенческие компетенции, здоровье) для i -го сотрудника; N – количество сотрудников.

Реализованные диаграммы состояний для агентов в терминах AnyLogic, выполненные в соответствии с алгоритмом (см. рис. 3), представлены на рис. 5.

Представленные диаграммы состояний в совокупности (действующие не для отдельного агента,



Рис. 5. Диаграммы состояний агентного компонента модели

а для всей популяции агентов) заменяют описанный ранее дополнительный модуль оценки человеческого капитала базовой модели в терминах системной динамики. Переходы в диаграммах состояний заданы условиями в связи с получением сообщений или состоянием системно-динамической модели.

2.3. Обсуждение основных особенностей модели

Модель представляет собой концептуальное отражение основных выявленных на основе анализа источников и опыта авторов исследования факторов взаимного влияния человеческого капитала проектно-ориентированной системы (фирмы, консорциума, проектной команды и т. п.) на эффективность выполняемых инновационных проектов. По причине концептуального характера модели необходимо сделать ряд замечаний о ее компонентах, которые могут быть подвергнуты пересмотру при применении модели на практике для оценки роли человеческого капитала в конкретных проектно-ориентированных системах:

- Может быть пересмотрен и изменен на верхнем уровне набор факторов, влияющих на параметры базовой модели динамики проектов (так, могут быть обоснованно в соответствии с целями моделирования исключены или заменены факторы здоровья, технической готовности предприятия, возраста и др.; модель может быть дополнена дру-

гими факторами в соответствии с требованиями к конкретному случаю ее применения).

- Основная структура базовой модели может быть усложнена в ходе калибровки модели – для лучшего соответствия конкретной проектно-ориентированной системе могут быть изменены порядки задержек, описывающих функции потоков, изменен набор факторов, влияющих на конкретный переход между состояниями, и т. д.

- Правила динамики человеческого капитала могут быть пересмотрены на верхнем уровне абстракции: может быть введено общее или частное изменение факторов человеческого капитала в результате различных модельных состояний (например, улучшение навыков отдельных агентов при неудачно реализованных проектах, дошедших до определенной стадии, и т. п.).

- Может быть изменено взаимное влияние факторов, в частности добавлено нелинейное влияние отдельных факторов на интегральные оценки (так, фактор здоровья в общей модели принят в качестве влияющего на интегральную оценку линейно, сообразно с другими факторами, что считается авторами корректным для систем разработки инновационных IT-проектов, однако для систем с риском тяжелых профессиональных заболеваний или требующих исключительно работы на местах без возможности перехода на удаленную занятость низкие значения фактора здоровья могут обнулять интегральную оценку человеческого капитала).



В текущем виде модель имеет ряд ограничений, обусловленных ее конструкцией. Так, модель не позволяет оценить уникальную динамику одного проекта или малой группы проектов, поэтому ее адекватность низка для систем с небольшим количеством проектных сущностей – модель рекомендуется к применению в крупных проектно-ориентированных структурах (фирмах, консорциумах, программных комитетах и т. п.). Кроме того, модель является верхнеуровневой абстракцией, а потому не позволяет обеспечить высокую адекватность при малом наборе эмпирических данных для валидации и калибровки модели. Дополнительным ограничением адекватности модели является то, что структура модели частично основана на опыте авторов, а потому универсальность предложенной концепции подлежит обсуждению: к некоторым проектно-ориентированным системам такая система может оказаться слабо применима, однако перечень таких систем на текущем этапе разработки модели является неопределенным. Перспективными направлениями дальнейших исследований, по мнению авторов, могут стать прежде всего универсализация концепции и рассмотрение возможностей применения предложенного инструмента к различным системам.

Следует отметить также преимущество модели по сравнению с другими инструментами учета фактора человеческого капитала в деятельности компаний. Известны применения агентного моделирования для обмена знаниями [27], а также агентные модели для изучения влияния отдельных факторов (например, степени взаимного доверия [28]) на передачу знаний внутри организации. Агентное моделирование в целом является достаточно распространенным инструментом для моделирования человеческого капитала организаций (что логично вытекает из его идеологии) [27–29], а потому перечисленные выше частные модели могут дополнять общую конструкцию описанной в работе гибридной модели. В рассмотренных работах-аналогах, впрочем, не вводятся концепции гибридных моделей, а также отсутствует ориентация на проектную деятельность, потому в контексте приложения модели к проектно-ориентированным они менее полезны. Вместе с тем формальное описание процессов, связанных с человеческим капиталом, в рассмотренных примерах моделей точнее и глубже, а потому интеграция с такими моделями может серьезно усилить предлагаемый инструмент. Существующие же аналоги, ориентированные на проектное управление (см., например, работу [30]), предлагают значительно менее конкретный подход к описанию жизненного цикла проекта, также концентрируясь прежде всего на

человеческом капитале. Таким образом, предложенный инструмент позволяет достичь большей адекватности моделирования в проектно-ориентированных системах, чем при использовании рассмотренных аналогов, однако имеет перспективы улучшения путем дополнения и уточнения компонентов модели, связанных с человеческим капиталом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена имитационная модель, отображающая роль человеческого капитала в реализации инновационных проектов.

В аналитической части работы рассмотрены основы концепций человеческого капитала, инновационных проектов и имитационного моделирования, сформулированы основные требования к создаваемой модели. В ходе реализации модель была создана в двух исполнениях: в виде базовой модели, полностью выполненной в терминах системной динамики, и в виде гибридной модели, дополненной агентным компонентом к базовому модулю, по-прежнему выполненному в терминах системной динамики. Модель валидирована по набору данных, предоставленному неназванной организацией, по двум временным рядам: пулу успешно реализованных проектов и прибыли от успешной реализации проектов, что подтверждает адекватность модели.

Модель является верхнеуровневой абстракцией, а потому может быть дополнена и уточнена для моделирования процессов конкретной отрасли или организации. Отображенные в модели закономерности и основные факторы человеческого капитала могут быть скорректированы при доработке и уточнении модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинцяк А.М., Болсуновская М.В., Бурлуцкая Ж.В., Петряева А.А. Укрупненная имитационная модель динамики туристической отрасли // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 53–67. [Gintciak, A.M., Bolsunovskaya, M.V., Burlutskaya, Z.V., Petryaeva, A.A., High-level simulation model of tourism industry dynamics // Business Informatics. – 2022. – Vol. 16, no. 3. – P. 53–67. (In Russian)]
2. Болсуновская М.В., Гинцяк А.М., Федяевская Д.Э. и др. Комплексное моделирование процессов нефтедобычи: аналитический обзор // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 2 (595). – С. 51–62. [Bolsunovskaya, M.V., Gintciak, A.M., Fedyaevskaya, D.E., et al. Complex modeling of the oil production processes: Analytical review // Avtomatizatsiya i informatizatsiya TENK. – 2023. – No. 2 (595). – P. 51–62. (In Russian)]

3. Болсуновская М.В., Гинцяк А.М., Бурлуцкая Ж.В. и др. Возможности применения гибридного подхода в моделировании социально-экономических и социотехнических систем // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ социально-экономических процессов. – 2022. – № 3. – С. 73–86. [Bolsunovskaya, M.V., Gintciak, A.M., Burlutskaya, Z.V., et al. The opportunities of using a hybrid approach for modeling socio-economic and sociotechnical systems // Proceedings of VSU. Series: Systems analysis and information technologies. – 2022. – No. 3. – P. 73–86. (In Russian)]
4. Borovkov, A.I., Bolsunovskaya, M.V., Gintciak, A.M., et al. COVID-19 Spread Modeling Considering Vaccination and Re-Morbidity // International Journal of Technology. – 2022. – Vol. 13. – No. 7.
5. Forrester, J.W. World dynamics. – Cambridge, Massachusetts: Wright-Allen Press, 1973. – 144 p.
6. Hansen, P., Liu, X., Morrison, G.M. Agent-based modelling and socio-technical energy transitions: A systematic literature review // Energy Research & Social Science. – 2019. – No. 49. – P. 41–52.
7. Utomo, D.S., Onggo, B.S., Eldridge, S. Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains // European Journal of Operational Research. – 2018. – No. 269 (3). – P. 794–805.
8. Goffin, K., Koners, U. Tacit Knowledge, Lessons Learnt, and New Product Development // Journal of Product Innovation Management. – 2011. – Vol. 28, iss. 2. – P. 300–318.
9. Goldin, C. Human Capital. In: Handbook of Cliometrics. Ed. By C. Diebolt, M. Hauptert. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. – 42 p.
10. Gareev, B.R. Strategical Financial Indicators Concerning the Interests of the Workers // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 150. – P. 142–147.
11. Senge, P.M. The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization. – Michigan: Doubleday Deckle Edge, 2006. – 424 p.
12. Bandera, C., Keshtkar, F., Bartolacci, M.R., et al. Knowledge management and the entrepreneur: Insights from Ikujiro Nonaka's Dynamic Knowledge Creation model (SECI) // International Journal of Innovation Studies. – 2017. – Vol. 1, no. 3. – P. 163–174.
13. Добренков В.И., Афонин Ю.А. Управление знаниями: лучший мировой опыт // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. – 2022. – Т. 18, № 3 (56). – С. 16–22. [Dobrenkov, V.I., Afonin, Y.A. Knowledge management: the best world experience // Sustainable innovative development: design and management. – 2022. – Vol. 18, no. 3 (56). – P. 16–22. (In Russian)]
14. Иванов И.Н., Орлова Л.В. Знания как основа формирования инновационного потенциала персонала организации // Вестник университета: Государственный университет управления. – 2023. – № 1. – С. 76–82. [Ivanov, I.N., Orlova, L.V. Knowledge as the basis for forming the innovative potential of the organization staff // Vestnik universiteta: State University of Management. – 2023. – No. 1. – P. 76–82 (In Russian)]
15. Цигулева О.В., Абакумова Н.Н., Поздеева С.И. Гуманитарные характеристики человеческого капитала в контексте компетентностного подхода к образованию // Язык и культура. – 2022. – № 57. – С. 292–307. [Tsiguleva, O.V., Abakumova, N.N., Pozdeeva, S.I. Human capital's humanitarian characteristics of a competent approach to education // Language and Culture. – 2022. – No. 57 – P. 292–307. (In Russian)]
16. Панферов В.П. Компетентностный подход в формировании человеческого капитала инновационно-ориентированной компании // Экономика и управление: научно-практический журнал. – 2018. – № 6 (144). – С. 120–123. [Panferov, V.P., Competence-based Approach to the Formation of Human Capital Innovation-oriented Company // Economics and Management: Scientific and Practical Journal. – 2018. – No. 6 (144). – P. 120–123. (In Russian)]
17. Карпова Т.П. Компетентностный подход к оценке человеческого капитала для инновационного развития организации // Современный менеджмент: проблемы и перспективы: Сб. науч. статей XVI международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 361–366. [Karpova, T.P. Competence-based approach to the assessment of human capital for the innovative development of the organization // Sb. nauch. statei XVI mezhduнародnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – St. Petersburg, 2021. – P. 361–366. (In Russian)]
18. Iorember, P.T., Iormom, B., Jato, T.P., Abbas, J. Understanding the bearable link between ecology and health outcomes: The criticality of human capital development and energy use // Heliyon. – 2022. – Vol. 8, no. 12. – Art. no. e12611.
19. Richter, L.M., Ahun, M.N., Besharati, S., et al. Adolescent Mental Health Problems and Adult Human Capital: Findings from the South African Birth to Twenty Plus Cohort at 28 Years of Age // Journal of Adolescent Health. – 2021. – Vol. 69, no. 5. – P. 782–789.
20. Xu, J., Li, H. Managerial human capital and corporate R&D investment // Journal of Economic Behavior & Organization. – 2023. – Vol. 213. – P. 151–171.
21. Gudkov, P.G., Guseva, A.I., Accuracy of Expert Assessments in Evaluating Innovative Projects // Procedia Computer Science. – 2021. – Vol. 190. – P. 284–291.
22. Туккель И.Л., Сурина А.В., Культин Н.Б. Управление инновационными проектами: учебник / под ред. И.Л. Туккеля. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с. [Tukkel', I.L., Surina, A.V., Kul'tin, N.B. Upravlenie innovatsionnymi proektami: uchebnik / pod red. I.L. Tukkelya. – SPb.: BKHV-Peterburg, 2011. – 416 s. (In Russian)]
23. Тугускина Г.Н., Тимохова К.А., Чубукова И.В. Роль человеческого капитала в инновационном развитии предприятия // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Экономические науки. – 2019. – № 1 (9). – С. 24–32. [Tuguskina, G.N., Timokhova, K.A., Chubukova, I.V. The role of human capital in the innovative development of an enterprise // University proceedings. Volga region. Economic sciences. – 2019. – No. 1 (9). – P. 24–32. (In Russian)]
24. Brailsford, S., Churilov, L., Dangerfield, B. Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making. – Chichester: John Wiley & Sons, 2014. – 342 p.
25. Barbosa, C., Azevedo, A., Hybrid Simulation for Complex Manufacturing Value-chain Environments // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 11. – P. 1404–1412.
26. Nuñez Rodriguez, J., Andrade Sosa, H.H., Villarreal Archila, S.M., Ortiz, A., System Dynamics Modeling in Additive Manufacturing Supply Chain Management // Processes. – 2021. – No. 9. – 982.



27. Wang, J., Gwebu, K., Shanker, M., Troutt, M.D. An application of agent-based simulation to knowledge sharing // Decision Support Systems. – 2009. – Vol. 46, iss. 2. – P. 532–541.
28. Li, H., Li, C., Wang, Z. An agent-based model for exploring the impacts of reciprocal trust on knowledge transfer within an organization // Journal of Business & Industrial Marketing. – 2021. – Vol. 36, no. 8. – P. 1486–1503.
29. Satoko, W. A Hybrid Model of Human Resource Management // Japanese Management for a Globalized World. – 2018. – P. 175–204.
30. Khatun, T., Hiekata, K. A Model-Based Hybrid System for Human Resource Allocation in Multi-Project Management // Transdisciplinarity and the Future of Engineering. – 2022. – P. 586–595.

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

Поступила в редакцию 25.08.2023,
после доработки 20.02.2024.
Принята к публикации 03.04.2024.

Бекетов Сальбек Мустафаевич – аналитик,
✉ salbek.beketov@spbpu.com,
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0009-6448-9486>

Поспелов Капитон Николаевич – аналитик,
✉ kapiton.pospelov@spbpu.com,
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0001-6160-8218>

Редько Сергей Георгиевич – д-р техн. наук,
✉ redko_sg@spbstu.ru,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4343-4154>

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

© 2024 г. Бекетов С. М., Поспелов К. Н., Редько С. Г.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

A HUMAN CAPITAL SIMULATION MODEL IN INNOVATION PROJECTS

S. M. Beketov*, K. N. Pospelov**, and S. G. Redko***

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*✉ salbek.beketov@spbpu.com, **✉ kapiton.pospelov@spbpu.com, ***✉ redko_sg@spbstu.ru

Abstract. The main aspects of three concepts—human capital, innovation projects, and simulation modeling—are considered, and a simulation model is proposed to describe the role of human capital in innovation projects. This high-level abstraction model is intended to study the role of the social component in the organizational structure of an innovation project in a general context (at the level of an economic sector, an enterprise, or part of an enterprise). It is treated primarily as a tool for tracking the dynamics of projects considering the state of human capital of the system. The model consists of two main components, namely, a basic simulation model in system dynamics terms and an agent-based component of the model describing human capital dynamics. The model is a conceptual tool that requires calibration and refinement when being implemented in a particular organization.

Keywords: simulation modeling, system dynamics, agent-based approach, human capital, innovation projects.

Acknowledgments. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, contract no. 075-03-2024-004 of January 17, 2024.