УПРАВЛЕНИЕ ВНЕДРЕНИЕМ ИННОВАЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕГЛАМЕНТАХ

Нинидзе Д. Л.[1], Угольницкий Г. А.[2], Усов А. Б.[3]
(*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону*)

Исследуется двухуровневая система управления внедрением инноваций в организациях с учётом условия их «жизнеспособности». Основная задача математического моделирования согласования частных и общественных интересов в моделях продвижения инноваций заключается в том, чтобы определить подходящую стратегию продвижения инноваций при условии получения максимального дохода лицами, продвигающими инновации. Задача рассматривается в иерархической постановке. Имеется один субъект управления верхнего уровня (центр) и несколько субъектов нижнего уровня (агентов). За результат внедрения инноваций отвечает центр, а непосредственно их внедрением занимаются агенты. Центр управляет внедрением инноваций, используя различные информационные регламенты. Агенты продвигают инновации, на что получают средства от центра. При этом агенты несут личные расходы. Агенты имеют свой частный интерес, а именно, занимаются сторонней деятельностью, не связанной с продвижением инноваций, которая также приносит им доход. Указаны алгоритмы построения решений игр Гермейера при побуждении и принуждении. Численно решения строятся методом качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования. Проведены имитационные эксперименты, дан анализ полученных результатов.

Ключевые слова: игры Гермейера, побуждение, принуждение, имитационное моделирование, метод качественно репрезентативных сценариев, внедрение инноваций.

1. Введение

Под инновациями понимается использование новых технологий, видов продукции и услуг, приносящее в будущем дополнительный доход. Внедрение инноваций требует перестройки сложившегося производства, переподготовки работников, дополнительных затрат и одновременно связано с риском потерпеть

[1] *Давид Леванович Нинидзе, аспирант* (davidnin@mail.ru).
[2] *Геннадий Анатольевич Угольницкий, д. ф.-м. н., профессор* (ougoln@mail.ru).
[3] *Анатолий Борисович Усов, д.т.н., доцент* (abusov@sfedu.ru).

сиюминутные убытки. Единой эффективной стратегии по успешному внедрению инноваций до сих пор нет.

Среди имеющихся работ, посвящённых внедрению инноваций, выделим [4–7, 13, 19]. В [5] рассмотрены вопросы определения состава источников финансирования (государственные, собственные средства организаций, коммерческие) процесса внедрения инноваций, выбора модели финансирования (рыночная, корпоративно-государственная, кластерная, мезо-корпоративная). Также исследованы условия поддержки инновационной деятельности организации, сделан вывод о перспективах внедрения инноваций в современных условиях, когда финансовые рынки переживают глубокий кризис. В [4] исследуется несколько основных типов моделей финансирования (рыночная, корпоративно-государственная, кластерная, мезо-корпоративная), используемых при внедрении инновационных технологий, анализируются достоинства и недостатки каждой из них. В [13] предложена комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта, состоящая из подмоделей: ядра, представляющего собой эпидемическую модель распространения инноваций, и вспомогательных системно-динамических моделей – модели временных параметров жизненного цикла инновации, модель ценообразования, модель управления рыночным продвижением продукта (рекламой), модель управления качеством продукта, модель конкурентного рынка. Предлагаются области использования данной комплексной модели. В [6] рассматривается задача моделирования сбалансированной системы показателей (ССП) предприятия, которая идентифицирует стратегию деятельности IT-компании, в том числе и по внедрению инноваций. Моделирование проводится на основе раскрашенных сетей Петри, что позволяет проводить «горизонтальный» и «вертикальный» анализ ССП по показателям, целям и перспективам как независимо друг от друга, так и во взаимосвязи. В [19] изучаются факторы, влияющие на процесс внедрения инноваций, и его результаты для всех типов инноваций (технологические и процессные, сервисные и производственные, административные), проводится систематический обзор существующих исследований по внедрению инноваций. Предлагаются три возможные программы исследований: а) рассмотрение индивидуальных факторов в качестве основных показателей поведения человека при внедрении инноваций; б) исследование возможности того, что инновации изменяются в ходе их внедрения и что это может привести к различным формам результатов внедрения; в) раскрытие механизма внедрения организаций, которые постоянно принимают и внедряют инновации в течение длительного периода. В [7] рассматриваются общие проблемы управления инновациями, а также классифицируются задачи организационного управления инновационным развитием фирмы, приводится комплекс моделей и методов, позволяющих решать эти задачи. К их числу относятся: задача финансирования инновационного развития фирмы, задача управления организационными проектами, задача институционального управления, задача мотивации персонала, задача управления развитием персонала.

В настоящей работе задача моделирования процесса внедрения инноваций ставится и исследуется на основе цикла статей [8–11]. В этих работах с использованием [3, 14–16] предложен подход к исследованию сложных организационных систем, основанный на сведении задачи исследования системы управления к рассмотрению иерархической игры нескольких лиц.

Основная идея настоящей статьи состоит в использовании иерархического теоретико-игрового подхода при моделировании процесса внедрения инноваций. Имеется несколько иерархически упорядоченных агентов управления, причем во внедрении инноваций заинтересован только стратегически ориентированный агент управления верхнего уровня. Агенты нижних уровней руководствуются своими сиюминутными целями и обычно не заинтересованы в изменении текущего положения дел и, как следствие, во внедрении инноваций. В развитие ранее опубликованных работ проводится сравнительный анализ эффективности использования в процессе внедрения инноваций различных методов иерархического управления (принуждение, побуждение) в случае информационных регламентов игр Гермейера Г1 и Г2 [3]. Сравнительная оценка эффективности разных подходов к управлению проводится на основе анализа выигрыша агента управления верхнего уровня [3] и коэффициента системной согласованности [14].

Оставшаяся часть статьи организована следующим образом. В разделе 2 приводятся постановка стационарной задачи иерархического управления процессом внедрения инноваций и методы исследования предложенной модели при использовании разных информационных регламентов – разных механизмов управления субъектами нижнего уровня [11, 12]. Алгоритмы нахождения решений для разных информационных регламентов приведены в [8, 10]. В разделе 3 проводится аналитическое исследование модели в случае информационного регламента игры Гермейера Г1. В разделе 4 описаны алгоритмы построения решения с помощью метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования для игр Гермейера Г1 и Г2. Суть данного метода [21] состоит в том, что из всего множества допустимых управлений, мощность которого велика, можно выбрать небольшое число сценариев. Результаты реализации таких сценариев качественно различны, а последствия реализации других сценариев не дают ничего существенно нового. Раздел 5 посвящён численному моделированию задачи. В разделе 6 проводится сравнительный анализ полученных результатов имитационных экспериментов.

2. Математическая модель

Для моделирования процесса внедрения инноваций предлагается двухуровневая модель, включающая агента управления верхнего уровня (центр), отвечающего за внедрение инноваций, и нескольких «близоруких» агентов управления нижнего уровня (агентов), которые стремятся к максимизации только своего текущего выигрыша и не заинтересованы во внедрении инноваций, если центр их не стимулирует.

Первым своё управление выбирает центр, агенты выбирают свои стратегии поведения, когда выбор центра уже известен. Центру необходимо определить подходящую стратегию продвижения инноваций при условии получения им максимального дохода и выбрать метод иерархического воздействия на агентов. В качестве методов иерархического управления в модели используются принуждение и побуждение. При побуждении центр воздействует на целевую функцию агента, а при принуждении – на область допустимых управлений агента.

Предлагаемая в настоящей работе модель развивает результаты работы [11], в которой предложена модель устойчивого развития организационных систем при внедрении инноваций. В отличие от [11], для решения задачи продвижения инноваций используются разные информационные регламенты, а именно информационные регламенты игр Гермейера Г1 и Г2 при побуждении и принуждении. Проводится сравнительный анализ результатов с точки зрения достижения необходимого уровня инновационного развития предприятия. При численном исследовании применяется метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования.

При побуждении центр создает агентам условия, при которых им выгодно способствовать достижению цели центра. При принуждении центр, сужая область допустимых управлений агентов, заставляет их способствовать достижению своей цели, не оставляя им других возможностей [12]. В игре Гермейера Г1 центр определяет оптимальные ответы агентов на каждое свое управление, а затем объявляет им о своем решении и стратегии поведения. Только после этого агенты выбирают стратегию своего поведения одновременно, что приводит к равновесию Нэша в игре агентов. В игре Гермейера Г2 центр устанавливает для агентов стратегии наказания, если те откажутся с ним сотрудничать, и поощрения, если будут сотрудничать. Результатом наказания являются гарантированные выигрыши для агентов. Стратегия поощрения определяется при оптимизации целевой функции центра одновременно и по его управлениям, и по управлениям агентов, но с дополнительными условиями: выигрыши агентов должны быть больше их гарантированных выигрышей. Затем центр объявляет агентам свои стратегии поведения с обратной связью по управлению – наказание, поощрение. Агентам экономически выгоднее сотрудничать с центром, поэтому они выбирают стратегию поощрения [12].

Приведём вначале математическую постановку задачи в случае побуждения. Агенты непосредственно занимаются продвижением инноваций, за что при побуждении получают вознаграждение от центра. При этом каждый агент несёт некоторые расходы. Кроме того, агенты имеют частный интерес, не связанный с внедрением инноваций, который также приносит им доход.

Целевые функции центра и n агентов отражают их доходы и имеют следующий вид:

– при побуждении для центра (ведущего)

(1) $J_0(v,u) = x\big(k(S_v, S_u)\big) - S_u \to \max_u$;

– для i-го агента (ведомого), i=1,2,…,n;

(2) $J_i(v,u) = g_i(T_{max} - v_i) + y\big(k(S_v, S_u)\big) - h(v_i) \to \max_{v_i}$.

Здесь u_i – количество ресурсов центра, которые он тратит на стимулирование внедрения инноваций i-м агентом (управление центра при побуждении); v_i – время, которое затрачивает i-й агент на внедрение инноваций (управление i-го агента); n – количество агентов; $v = (v_1, \dots, v_n); u = (u_1, \dots, u_n)$, $S_v = \sum_{i=1}^{n} v_i$, $S_u = \sum_{i=1}^{n} u_i$; $k(S_v, S_u)$ – качество использования программно-аппаратного обеспечения (ПАО) комплекса планирования производственных ресурсов (КППР) [20], которое зависит от управлений агентов и центра. Под внедрением инноваций в модели понимается внедрение и использование ПАО КППР; $x\big(k(S_v, S_u)\big)$ – выгода центра от ПАО КППР; $g_i(T_{max} - v_i)$ – доход агента от частной деятельности; $y\big(k(S_v, S_u)\big)$ – выгода агентов от использования ПАО КППР; $h(v_i)$ – личные расходы агента во время внедрения инноваций.

Планирование производственных ресурсов (ППР) [20] – это система программного обеспечения, предназначенная для повышения эффективности, результативности и координации производства, закупок, отгрузки, контроля запасов и учёта затрат на производственном предприятии. Ожидается, что использование ППР улучшит производительность предприятия, оборот запасов, отслеживание партий и обслуживание клиентов. Однако внедрение ППР затруднено, поскольку оно требует, чтобы сотрудники в различных областях предприятия выполняли новые, взаимозависимые задачи.

Ограничения на управления агентов и центра при побуждении соответственно имеют следующий вид (i = 1, 2, …, n):

(3) $v_{min} \leq v_i \leq v_{max}$,
(4) $u_{min} \leq u_i \leq u_{max}$.
Здесь $v_{min},\ v_{max},\ u_{min}, u_{max}$ – известные постоянные величины.

Для обеспечения успешного развития системы требуется обеспечение её «жизнеспособности», под которой подразумевается сохранение некоего целостного или интегративного свойства, отражающего сущность системы. В данном случае условие «жизнеспособности» системы состоит в достижении определённого уровня внедрения инноваций и имеет вид

(5) $k_{min} \leq k(S_v, S_u) \leq k_{max};\ k_{min},\ k_{max} = const.$

В отличие от побуждения, где центр управляет своими ресурсами u, при принуждении он воздействует на области допустимых управлений агентов, устанавливая нижний предел времени q для времени v_i агентов. При доверительных отношениях центра с агентами он не тратит ресурсы на контроль агентов, и его целевая функция имеет вид

(6) $J_0(v, q) = x\big(k(S_v, S_u)\big) - S_u \to \max\limits_q$.

В общем случае центр тратит ресурсы на контроль агентов, и его целевая функция имеет вид:

(7) $J_0(v, q) = x\big(k(S_v, S_u)\big) - S_u - w(S_q) \to \max\limits_q$.

Целевые функции агентов в обоих случаях имеют вид (2).

Ограничения на управления при принуждении имеют вид

(8) $q_i \leq v_i \leq v_{max}$,
(9) $0 \leq q_i \leq v_{max}$.

Здесь величины $u_i = const$ заданы, $i = 1, 2, \ldots, n$, так как при принуждении центр управляет областью допустимых управлений агентов, а не своими ресурсами; $q = (q_1, \ldots, q_n)$, q_i – нижний предел времени, который устанавливает центр для времени v_i агента. Время v_i агент тратит на процесс внедрения инноваций, поэтому $q_i \leq\ v_i$, $S_q = \sum_{i=1}^{n} q_i$, $w(S_q)$ – выпуклая возрастающая функция затрат на административный контроль агентов. При принуждении решается задача (2), (5)–(9), а при побуждении – задача (1)–(5).

Проведём идентификацию функций, входящих в (1)–(9), на основе [9, 11, 20]. Агенты управляют временем, которое они тратят на внедрение инноваций. При небольших усилиях агентов (малом времени, затрачиваемом на внедрение инноваций), согласно [20], происходит резкий рост производства – фаза подъёма качества использования ПАО КППР в производстве. Дальнейшие усилия агентов лишь незначительно повышают качество использования ПАО КППР. Поэтому в качестве функции $k(S_v, S_u)$ выбрана возрастающая выпуклая функция вида $k(S_v, S_u) = C_1 {S_v}^{\alpha} \cdot {S_u}^{\beta}$; $0 < \alpha, \beta < 1$.

Пусть $z = k(S_v, S_u)$, тогда $x\big(k(S_v, S_u)\big) = x(z)$, $y\big(k(S_v, S_u)\big) = y(z)$. Функции $x(z)$ и $y(z)$ отражают дополнительный доход центра и агентов от использования ПАО КППР. Они рассматриваются как производственные функции. Отметим, что в исследованиях отдельных отраслей и регионов наиболее известна производственная функция Кобба – Дугласа [2]: $Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}$, где Y – объем производства; K – затраты капитала; L – затраты труда; A – технологический коэффициент; α – константа (коэффициент эластичности выпуска по капиталу); β – константа (коэффициент эластичности выпуска продукции по затратам труда).

Данная функция является одной из самых простых форм двухфакторной производственной функции и в разных вариациях была применена для различных целей. Так, в [18] рассматривается и определяется подходящая производственная модель Кобба – Дугласа для измерения производственного процесса в некоторых отраслях обрабатывающей промышленности Бангладеш. В [1] проведено исследование по применению производственной функции Кобба – Дугласа к оценке потенциала имитационных стратегий российских IT-компаний, что позволило сгруппировать компании по критерию эффективности.

Итак, в качестве производственных функций для $x(z)$ и $y(z)$ берётся функция Кобба – Дугласа:

$$x(z) = (1 - p_1) r k^{\gamma}(S_v, S_u),\ y(z) = \frac{p_1}{n} r k^{\gamma}(S_v, S_u),$$

т.е.

$$x(z) = (1 - p_1) r C_1^{\gamma} {S_v}^{\alpha\gamma} {S_u}^{\beta\gamma},\ y(z) = \frac{p_1}{n} r C_1^{\gamma} {S_v}^{\alpha\gamma} {S_u}^{\beta\gamma}.$$

Принято, что сумма $\alpha\gamma + \beta\gamma$ меньше единицы, но близка к ней, что характеризует постоянную отдачу от масштаба производства. Здесь величины $(1-p_1)$ и $p_1 \in [0,1]$ определяют, какую часть дохода получат центр и агенты от производства в результате внедрения инноваций, r, γ — константы.

Агент тратит часть своего времени на частную деятельность, не связанную с внедрением инноваций. Функция $g_i(T_{max}-v_i)$ отражает доход i-го агента от частной деятельности. Вид этой функции у разных агентов различен, что соответствует различным видам деятельности каждого агента. Зависимость предполагается линейной, а функция – убывающей: $g_i(T_{max}-v_i) = d_i \cdot (T_{max}-v_i)$, где T_{max} — максимальное время, которое агент тратит в день на трудовую деятельность, d_i = const.

Функция $h(v_i)$ отражает расходы агента на транспорт, питание, вспомогательные инструменты и т.д. У всех агентов одинаковый вид этой функции. В личные расходы агентов входят постоянные и переменные издержки. В начале личные расходы агентов резко растут из-за переменных издержек, так как необходимо приобрести вспомогательные инструменты, учебные пособия и т.д. для процесса внедрения инноваций. В дальнейшем рост личных расходов становится более плавным благодаря тому, что остаются только постоянные издержки. Поэтому в качестве функции $h(v_i)$ выбрана возрастающая по своему аргументу выпуклая вверх функция вида $h(v_i) = l \cdot v_i^{\lambda}$; l, λ— константы, причём постоянная l характеризует величину личных вложений агентов во внедрение инноваций, $0 < \lambda < 1$.

Функция $w(S_q)$ отражает затраты центра на административный контроль агентов. Чем больше нижний предел времени q_i, которое агент может тратить на внедрение инноваций, тем больше затраты центра на административный контроль. Использованы функции трёх видов: линейная $w(S_q) = C_2 S_q$, квадратичная $w(S_q) = C_2 {S_q}^2$ и вида $w(S_q) = C_2\sqrt{S_q}$. Обозначим

$$a_1 = (1-p_1) r C_1^{\gamma}, \delta = \alpha\gamma, \omega = \beta\gamma, a_2 = \frac{p_1}{N} r C_1^{\gamma} {S_q}^{\vartheta},$$

где a_1, a_2 – технологические коэффициенты, δ – коэффициент эластичности по труду, ω – коэффициент эластичности по капиталу, $\vartheta = \left\{\frac{1}{2}, 1,\ 2\right\}$.

Целевые функции субъектов управления в результате примут вид:

– центра при побуждении

(10) $J_0 = a_1 {S_v}^{\delta} {S_u}^{\omega} - S_u \to \max\limits_{u}$;

– центра при принуждении

(11) $J_0 = a_1 \cdot {S_v}^{\delta} \cdot {S_u}^{\omega} - S_u - C_2 {S_q}^{\vartheta} \to \max\limits_{q}$;

– i-го агента, $i = 1, 2, \ldots, n$

(12) $J_i = d_i \cdot (T_{max} - v_i) + a_2 \cdot {S_v}^{\delta} \cdot {S_u}^{\omega} - l \cdot v_i^{\lambda} \to \max\limits_{v_i}$.

Далее исследуется модель (8)–(12), (3)–(5), представляющая собой задачу нелинейной оптимизации при наличии ограничений с учётом иерархии в отношениях между субъектами управления.

Центр обеспечивает необходимый уровень внедрения инноваций, используя информационные регламенты игр Гермейера: без обратной связи (Г1) при побуждении или принуждении и с обратной связью по управлению (Г2) при побуждении или принуждении. Алгоритмы построения равновесий изложены в [8, 10].

3. Аналитическое исследование модели

Для частного вида входных функций модели в случае однородных агентов ($v_1 = v_2 = \cdots = v_n = v$, $u_1 = u_2 = \cdots = u_n = u$, $q_1 = q_2 = \cdots = q_n = q$) решение игры Г1 при побуждении находится аналитически.

Пусть $\delta, \omega, \lambda, \vartheta = \frac{1}{2}$. Тогда целевые функции субъектов при побуждении принимают вид:

– центра

(13) $J_0 = a_1 \cdot \left(\sqrt{n \cdot v} \cdot \sqrt{n \cdot u}\right) - n \cdot u \to \max\limits_{u}$;

– i-го агента $i = 1, 2, \ldots, n$

(14) $J_i = d \cdot (T_{max} - v) + a_2 \cdot \left(\sqrt{n \cdot v} \cdot \sqrt{n \cdot u}\right) - l \cdot \sqrt{v} \to \max\limits_{v}$.

Определим оптимальные стратегии агентов при заданном управлении центра. Для этого решим уравнение

(15) $\frac{\partial J_i}{\partial v} = -d + a_2 \cdot \left(\frac{n\sqrt{u}}{2\sqrt{v}}\right) - \frac{l}{2\sqrt{v}} = 0$.

Отсюда

(16) $v^0 = \frac{\left({a_2}^2 \cdot n^2 \cdot u - 2 \cdot a_2 \cdot l \cdot n\sqrt{u} + l^2\right)}{4d^2}$.

Следовательно, если

(17) $\frac{\partial^2 J_i}{\partial v^2} = -a_2 \cdot \left(\frac{n\sqrt{u}}{4\sqrt{v^3}}\right) + \frac{l}{4\sqrt{v^3}} < 0$

и выполнены (3), (4) или (8), (9), то (16) есть точка максимума (14) и оптимальная стратегия агента задаётся формулой

$$v^* = \begin{cases} v_{min} & если \quad v^0 < v_{min}, \\ v^0 & если \quad v_{min} \le v^0 \le v_{max}, \\ v_{max} & если \quad v^0 > v_{max}. \end{cases}$$

Введем обозначения

$$\widetilde{u_1} = \left(\frac{l + 2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{min}}}{a_2 \cdot n}\right)^2; \quad \widetilde{u_2} = \left(\frac{l + 2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{max}}}{a_2 \cdot n}\right)^2.$$

Тогда в предположении, что $u_{min} \le \widetilde{u_1} \le \widetilde{u_2} \le u_{max}$, с учётом (16), (17) получим

$$v^* = \begin{cases} v_{min} & если \quad u_{min} \le u < \widetilde{u_1}, \\ v^0 & если \quad \widetilde{u_1} \le u \le \widetilde{u_2}, \\ v_{max} & если \quad \widetilde{u_2} < u \le u_{max}. \end{cases}$$

При нахождении оптимальной стратегии центра рассматриваются три случая: $u_{min} \le u < \widetilde{u_1}$ (*тогда* $v^* = v_{min}$), $\widetilde{u_1} \le u \le \widetilde{u_2}$ ($v^* = v^0$) и $\widetilde{u_2} < u \le u_{max}$ ($v^* = v_{max}$).

При $u_{min} \le u < \widetilde{u_1}$, приравнивая к нулю первую производную целевой функции центра по его управлению и решая полученное уравнение, получим $u_1^0 = \frac{a_1^2 v_{min}}{4}$. Эта точка будет точкой максимума (13), если $u_{min} \le u^0 < \widetilde{u_1}$. В противном случае точкой максимума будет точка $\widetilde{u_1}$.

Если $\widetilde{u_1} \le u \le \widetilde{u_2}$, то, действуя аналогично, получим, что есть одна стационарная точка $u_2^0 = \left(\frac{a_1 \cdot l}{2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d}\right)^2$, но это точка минимума и, следовательно, максимум (13) на этом отрезке достигается в одном из его концов.

Если $\widetilde{u_2} < u \le u_{max}$, то опять имеется одна стационарная точка $u_3^0 = \frac{a_1^2 v_{max}}{4}$, которая является точкой максимума при условии $\widetilde{u_2} < u_3^0 \le u_{max}$.

Таким образом, решением игры Гермейера Г1 при побуждении в зависимости от входных данных является одна из восьми точек: $(v_{min}; u_{min})$, $(v_{min}; u_1^0)$, $(v_{min}; \widetilde{u_1})$, $(v^0; \widetilde{u_1})$, $(v^0; \widetilde{u_2})$, $(v_{max}; \widetilde{u_2})$, $(v_{max}; \widetilde{u_3})$, $(v_{max}; u_{max})$.

В случае входных функций общего вида решение строится методом качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования [21].

4. Метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования

При имитационном моделировании важную роль играет выбор рассматриваемых сценариев имитации. Поскольку полный перебор областей допустимых управлений субъектов невозможен, то необходимо предложить и обосновать разумный способ выбора рассматриваемых сценариев игры. Такой способ предлагает метод качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования (КРС ИМ) [21]. Он основан на идее о том, что для оценки последствий управляющих воздействий на систему достаточно рассмотреть небольшое число сценариев, отражающих характерные качественно различные пути развития системы.

В [21] дано определение множества качественно репрезентативных сценариев (QRS). Пусть $\Omega = V_1 \times \ldots \times V_n \times R_1 \times \ldots \times R_n$ – множество допустимых управляющих воздействий центра (R_i) и n агентов (V_i). При побуждении $R_i = U_i$, при принуждении $R_i = Q_i$; $V = V_1 \times \ldots \times V_n = \{(v_1, v_2, \ldots, v_n): v_i \in V_i\}$; $R = R_1 \times \ldots \times R_n = \{(r_1, r_2, \ldots, r_n): r_i \in R_i\}$.

Определение. Множество

$$QRS = R^{QRS} \times V^{QRS} = R_1^{QRS} \times .. \times R_n^{QRS} \times V_1^{QRS} \times \ldots \times V_n^{QRS} =$$
$$= \left\{(v,r) = (v_1, \ldots, v_n; r_1, \ldots, r_n); v_i \in V_i^{QRS} \subset V_i; r_i \in R_i^{QRS} \subset R_i\right\}$$

называется множеством QRS с точностью Δ, если:

(a) для $\forall\ (v,r)^{(i)}, (v,r)^{(j)} \in QRS\ \ |J_0^{(i)} - J_0^{(j)}| > \Delta$;

(b) для $\forall (v,r)^{(l)} \notin QRS \exists (v,r)^{(j)} \in QRS: |J_0^{(l)} - J_0^{(j)}| \leq \Delta$.

Здесь $J_0^{(i)}, J_0^{(j)}, J_0^{(l)}$ – выигрыш центра; $J_0^{(s)} = J_0(v^{(s)}, r^{(s)})$, $s = i, j, l$.

Постоянная Δ должна быть достаточно малой и выбирается исходя из содержательного смысла модели. Процесс построения множества QRS является итерационным. Ниже приведены алгоритмы построения решений для указанных выше моделей при разных информационных регламентах с использованием метода КРС ИМ на основе [21].

Алгоритм построения решения игры Г1методом КРС ИМ.

1. Начальное множество $QRS^{(k)}$имеет вид (k = 0)

$QRS^{(k)} = (R^{QRS})^{(k)} \times (V^{QRS})^{(k)}$;

$(R^{QRS})^{(k)} = ((R_1^{QRS})^{(k)} \times (R_2^{QRS})^{(k)} \times \dots (R_n^{QRS})^{(k)})$;

$(V^{QRS})^{(k)} = ((V_1^{QRS})^{(k)} \times (V_2^{QRS})^{(k)} \times \ldots \times (V_n^{QRS})^{(k)})$

Тогда при побуждении

$(R_i^{QRS})^{(k)} \equiv (U_i^{QRS})^{(k)} \equiv \left\{u_1^{(k)}; u_2^{(k)}; u_3^{(k)}\right\}$;

$(V_i^{QRS})^{(k)} \equiv \left\{v_1^{(k)}; v_2^{(k)}; v_3^{(k)}\right\}$;

$u_1^{(k)} = u_{min}; u_2^{(k)} = (u_{max} + u_{max})/2; u_3^{(k)} = u_{max}$,

$v_1^{(k)} = v_{min}; v_2^{(k)} = (v_{max} + v_{max})/2; v_3^{(k)} = v_{max}$;

а при принуждении

$(R_i^{QRS})^{(k)} \equiv (Q_i^{QRS})^{(k)} \equiv \left\{q_1^{(k)}; q_2^{(k)}; q_3^{(k)}\right\}$;

$q_1^{(k)} = 0; q_2^{(k)} = v_{max}/2; q_3^{(k)} = v_{max}$;

$(V_i^{QRS})^{(k)} \equiv \left\{v_1^{(k)}; v_2^{(k)}; v_3^{(k)}\right\}$;

$v_1^{(k)} = q^{(k)}; v_2^{(k)} = (v_{max} + q^{(k)})/2; v_3^{(k)} = v_{max}$.

2. Во множестве $QRS^{(k)}$ получается 3^{2n} элементов и все они проверяются на выполнение обоих требований в определении множества QRS. В результате при необходимости начальное множество $QRS^{(k)}$ сужается или пополняется новыми элементами.

3. Фиксируется текущая стратегия центра из $(R^{QRS})^{(k)}$.

4. Путем перебора репрезентативных стратегий агентов из $(V^{QRS})^{(k)}$ ищется их оптимальный ответ на выбранную центром стратегию.

5. Текущая стратегия центра и оптимальный ответ агентов, полученный в пункте 4, подставляются в (10) или (11). Дающие больший выигрыш значения сохраняются.

6. Если просмотрены не все стратегии центра из$(R^{QRS})^{(k)}$, то необходимо перейти на пункт 3 алгоритма. В противном случае найдена лучшая пара стратегий из QRS. Она и есть текущее приближение к решению игры.

7. Изменяются множества QRS центра и агентов ($k = k + 1$) – они измельчаются в окрестности построенного равновесия следующим образом. При побуждении для центра $r = u$, а при принуждении $r = q$:

Если $(r_i^*)^{(k-1)} = r_1^{(k-1)}$, то $r_1^{(k)} = r_1^{(k-1)}$; $r_2^{(k)} = \frac{r_1^{(k-1)}+r_2^{(k-1)}}{2}$; $r_3^{(k)} = r_2^{(k-1)}$. Если $(r_i^*)^{(k-1)} = r_2^{(k-1)}$, то $r_1^{(k)} = \frac{r_1^{(k-1)}+r_2^{(k-1)}}{2}$; $r_2^{(k)} = r_2^{(k-1)}$; $r_3^{(k)} = \frac{r_2^{(k-1)}+r_3^{(k-1)}}{2}$. Если $(r_i^*)^{(k-1)} = r_3^{(k-1)}$, то $r_1^{(k)} = r_2^{(k-1)}$; $r_2^{(k)} = \frac{r_2^{(k-1)}+r_3^{(k-1)}}{2}$; $r_3^{(k)} = r_3^{(k-1)}$.

Для агентов новые множества $QRS^{(k)}$ определяются аналогично.

8. Если на некоторой итерации, т.е. при некотором значении k окажется, что $(r_i^*)^{(k)} = (r_i^*)^{(k-1)}$; $(v_i^*)^{(k)} = (v_i^*)^{(k-1)}$; $i = 1, 2, \ldots, n$, то решение игры методом QRS построено. В противном случае переход на пункт 3 алгоритма. За конечное число итераций решение методом QRS будет построено.

Алгоритм построения решения игры Г2 методом КРС ИМ.

1. Аналогично пункту 1 алгоритма нахождения решения игры Г1, сформулированному выше, строится начальное множество $QRS^{(k)}$, которое при необходимости сужается или пополняется новыми элементами.

2. Находятся значения стратегии наказания для каждого агента, если он отказывается сотрудничать с центром. Для этого вначале при фиксированном управлении центра из $(R^{QRS})^{(k)}$ путём перебора стратегий из $(V^{QRS})^{(k)}$находятся равновесия Нэша для каждого управления центра – $NE^{QRS}((R^{QRS})^{(k)})$. Затем путём полного перебора находится гарантированный выигрыш i-го агента, если он отказывается сотрудничать с центром – величина

$$L_i^P = \max_{v_i \in NE^{QRS}((R^{QRS})^{(k)}); r_i \in (R^{QRS})^{(k)}} \min J_i(v_i, r_i).$$

3. Путем полного перебора стратегий центра из $(R^{QRS})^{(k)}$и агентов из $(V^{QRS})^{(k)}$находится максимум (10), (11) при выполненных условиях $J_i > L_i^P, i = 1, 2, \ldots, n$. Величины, его доставляющие, и образуют k-е приближение к решению игры Г2. Обозначим их $\left(v^{R\,(k)}, r^{R\,(k)}\right)$.

4. Аналогично пункту 7 алгоритма нахождения решения игры Г1, сформулированному выше, изменяются множества QRS центра и агентов.

5. Если на некоторой итерации окажется, что $(r_i^R)^{(k)} = (r_i^R)^{(k-1)}$; $(v_i^R)^{(k)} = (v_i^R)^{(k-1)}; i = 1,2,\ldots,n,$ то решение игры Г2 методом QRS построено. В противном случае переход на пункт 2 алгоритма. За конечное число итераций решение игры Г2 методом QRS будет построено.

5. Результаты имитационных экспериментов

С помощью имитационного моделирования исследуется модель (10)–(12), (5) с учётом (3), (4) или (8), (9). Были проведены имитационные эксперименты в соответствии с приведёнными алгоритмами. Входные данные получены на основе [17, 20]. Имитационные эксперименты проводились на компьютере с процессором AMD Ryzen 5 3550H с оперативной памятью 8 Гб на объектно-ориентированном языке программирования C++. Среднее время одного эксперимента для построения множества КРС ИМ составило менее секунды. Анализ полученных результатов проводился на основе:

а) суммарного дисконтированного выигрыша центра (10), (11), что отвечает принципу Ю.Б. Гермейера анализа системы с позиции центра;

б) значения коэффициента системной согласованности [14] $K = J_0^*/J_{max}$, где $J_{\max} = \max_{r \in R} \max_{v \in V} J_0(v,r)$, $J_0^* = J_0(v^*,r^*)$ – выигрыш центра. Коэффициент системной согласованности показывает, можно ли отказаться от иерархической структуры системы. Чем он ближе к единице, тем система лучше согласована, и необходимость в наличии центра меньше.

В работе использовались оценочные экспертные данные, поэтому числовая идентификация модели носит тестовый характер и обеспечивает разумное соотношение размерностей величин для качественных выводов при анализе результатов моделирования.

Было проведено порядка 200 численных экспериментов в соответствии со сформулированными ранее алгоритмами построения равновесий. При этом варьировались величины C_1, r, c, l, p_1,

α, β, γ, C_2. C_1 от 0,2 до 15; r от 4 до 61; d_1 от 45 до 300 руб./час; d_2 от 90 до 600 руб./час; d_3 от 135 до 900 руб./час; l от 3 до 99; p_1 от 0,25 до 0,825; α от 0,1 до 0,87; β от 0,444 до 0,84; γ от 0,8 до 0,99; C_2 от 300 до 3000 руб./час.

В таблице 1 приведены входные параметры проведенных имитационных экспериментов, в первом столбце записан номер примера. Кроме того, величина γ в примерах 5, 9 и 14 равна $0,89$. 0,83 и 0,97 соответственно, а в примерах 17 и 19 – 0,92 и 0,94. В остальных примерах $\gamma = 0{,}99$.

Таблица 1. Входные параметры численных экспериментов

№	C_1	R	d_1	d_2	d_3	l	p_1	α	β	C_2
1	8	20	200	400	600	3	1/3	0,4	0,6	1000
2	1	55	245	490	735	50	1/2	0,6	0,6	555
3	15	20	200	400	600	3	1/3	0,4	0,6	1000
4	10	15	200	400	600	3	1/3	0,4	0,6	1000
5	2	6	45	90	135	10	1/4	0,7	0,7	623
6	10	25	200	400	600	3	1/3	0,4	0,6	1000
7	10	20	100	200	300	3	1/3	0,4	0,6	1000
8	10	20	150	300	450	3	1/3	0,4	0,6	1000
9	0,5	13	50	100	150	70	4/7	0,55	0,84	324
10	10	20	250	500	750	3	1/3	0,4	0,6	1000
11	10	20	300	600	900	3	1/3	0,4	0,6	1000
12	1	56	257	514	771	39	0,5	0,6	0,6	627
13	10	20	200	400	600	3	0,3	0,4	0,6	1000
14	0,2	11	67	134	201	41	0,8	0,87	0,77	787
15	10	20	200	400	600	3	0,8	0,4	0,6	1000
16	10	20	200	400	600	3	1/3	0,1	0,6	1000
17	0,4	4	93	186	279	47	1/2	0,8	0,8	931
18	10	20	200	400	600	3	1/3	0,3	0,6	1000
19	2,4	8	203	406	609	77	0,3	0,69	0,68	856
20	10	20	200	400	600	3	1/3	0,4	0,45	1000

Результаты имитационных экспериментов для входных данных из таблицы 1 без учёта затрат на административный контроль со стороны центра приведены в таблице 2. Здесь и далее номер примера соответствует номеру примера из таблицы 1;

J_0 – выигрыш центра, K – коэффициент системной согласованности при побуждении (*Imp*) и принуждении (*Com*) для решения игр Гермейера Г1 и Г2.

Таблица 2. Результаты численных экспериментов

№	*Imp*				*Com*			
	Г1		Г2		Г1		Г2	
	J_0	K	J_0	K	J_0	K	J_0	K
1	63584	0,93	68305	1	67078	1	67078	1
2	28170	0,41	67906	1	36051	1	36051	1
3	64844	0,92	68770	0,98	68833	0,99	68835	1
4	48279	0,93	50966	0,99	50497	1	50501	1
5	4382	0,6	6370	0,88	5868	1	5870	1
6	86538	0,98	86816	0,98	87168	1	87168	1
7	68145	0,97	69275	0,99	68830	1	68835	1
8	68205	0,97	68482	0,98	68834	1	68835	1
9	–223	–0,11	1966	1	1966	1	1966	1
10	66612	0,95	68771	0,98	68830	1	68835	1
11	66612	0,95	69275	0,99	68830	1	68835	1
12	28955	0,42	69414	1	36788	1	36788	1
13	68458	0,97	69399	0,98	69747	1	69751	1
14	5548	0,98	5645	1	4341	1	4341	1
15	14609	0,92	15339	0,96	14750	1	14750	1
16	33411	0,78	42807	1	23774	1	23774	1
17	–2716	–1,3	189	0,09	1023	1	1019	0,99
18	62664	0,93	66263	0,98	56352	1	56352	1
19	7895	0,47	12936	0,77	15435	0,99	15402	1
20	8330	0,28	27023	0,93	21099	1	21099	1

В таблице 3 приведены значения индекса системной согласованности для решений игр Гермейера Г1 и Г2 для входных данных из таблицы 1 в случае разного вида функций затрат на административный контроль со стороны центра.

Таблица 3. Результаты экспериментов с затратами на административный контроль

№	$w(S_q) = C_2 S_q$		$w(S_q) = C_2 {S_q}^2$		$w(S_q) = C_2 \sqrt{S_q}$	
	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2
	K	K	K	K	K	K
1	0,65	1	0,65	1	0,89	1
2	0,28	1	–6,16	1	0,89	1
3	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
4	0,65	0,94	0,63	0,94	0,9	0,96
5	0,37	0,86	0,38	0,87	0,55	0,86
6	0,86	0,95	0,82	0,95	0,96	0,98
7	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,97
8	0,83	0,94	0,81	0,94	0,95	0,97
9	–0,68	1	–0,67	1	–0,14	1
10	0,82	0,94	0,81	0,94	0,92	0,97
11	0,68	0,94	0,64	0,94	0,92	0,97
12	0,23	1	–6,83	1	0,88	1
13	0,83	0,94	0,81	0,94	0,92	0,97
14	–0,16	1	–0,16	1	–0,03	1
15	0,56	0,72	–1,7	–0,11	0,82	0,86
16	0,69	1	0,7	1	0,72	1
17	–6,65	0,56	–17,7	0,56	–4,5	0,56
18	0,6	1	0,6	1	0,87	1
19	0,07	0,87	0,05	0,87	0,76	0,9
20	0,09	1	–1,5	1	0,67	1

В таблице 4 приведены результаты счёта без учёта условия гомеостаза *(«жизнеспособности»)* для входных данных из таблицы 1.

В таблице 5 приведены значения индекса системной согласованности для входных данных из таблицы 1 в случае разного вида функций затрат на административный контроль.

Таблица 4. Результаты численных экспериментов при отсутствии условия гомеостаза («жизнеспособности»)

№	*Imp*				*Com*			
	Г1		Г2		Г1		Г2	
	J_0	K	J_0	K	J_0	K	J_0	K
1	79717	0,6	131342	1	67078	1	67078	1
2	28170	0,41	67906	1	36051	1	36051	1
3	217224	0,84	257671	1	128867	1	128867	1
4	73599	0,6	121889	1	62454	1	62454	1
5	4676	0,21	22175	1	13059	1	13059	1
6	179306	0,84	213149	1	107091	1	107091	1
7	147867	0,88	167519	1	84773	1	84773	1
8	140445	0,84	167519	1	84773	1	84773	1
9	–223	–0,11	1966	1	1966	1	1966	1
10	103132	0,62	167519	1	84773	1	84773	1

Таблица 5. Результаты экспериментов с затратами на административный контроль при отсутствии условия гомеостаза

№	$w(S_q) = C_2 S_q$		$w(S_q) = C_2 {S_q}^2$		$w(S_q) = C_2 \sqrt{S_q}$	
	Г1	Г2	Г1	Г2	Г1	Г2
1	0,65	1	0,65	1	0,9	1
2	0,51	1	0,5	1	0,89	1
3	0,75	1	0,67	1	0,95	1
4	0,52	1	0,51	1	0,89	1
5	0,16	1	0,17	1	0,67	1
6	0,71	1	0,66	1	0,94	1
7	0,76	1	0,76	1	0,93	1
8	0,67	1	0,66	1	0,92	1
9	–0,68	1	–0,67	1	–0,14	1
10	0,66	1	0,66	1	0,92	1

6. Анализ результатов

Анализ проведённых экспериментов позволил сделать ряд выводов.

1. В игре Гермейера Г1 при побуждении коэффициент системной согласованности меняется от значения $K = 0{,}28$ (пример 20) до $K = 0{,}98$ (пример 14). В случае принуждения в игре Г1 согласованность системы увеличивается, и коэффициент системной согласованности в ряде примеров возрастает до единицы (примеры 1, 4–20). В этом случае необходимость в иерархическом управлении исчезает.
2. В игре Г2 для большинства входных данных коэффициент системной согласованности близок к единице при побуждении (примеры 1–4, 6–16, 18, 20), а при принуждении строго равен единице (примеры 1–16, 18–20).
3. В игре Г2 центр получает больший выигрыш, чем в игре Г1. При этом разница достигает 58% (пример 12), 22% (пример 16) и 70% (пример 20). При принуждении в ряде примеров выигрыши центра и коэффициент системной согласованности одинаковы для обоих информационных регламентов (примеры 1, 6, 14–20).
4. Выигрыши агентов, центра и коэффициент системной согласованности с ростом эффективности использования ПАО КППР, т.е. коэффициентов C_1 и r, вначале растут (примеры 1, 4, 6). При дальнейшем росте коэффициентов в силу условия (5) выигрыши агентов, центра и коэффициент системной согласованности K начинают вести себя хаотично в случае побуждения (примеры 1, 3), а в случае принуждения становятся постоянными (пример 20).
5. Выигрыш агентов прямо пропорционален, а выигрыш центра и коэффициент системной согласованности в случае побуждения – обратно пропорциональны доходу агентов от частной деятельности. В случае принуждения выигрыш центра и коэффициент системной согласованности K при увеличении d_1, d_2, d_3 не меняются (примеры 7, 8, 10, 11).
6. При увеличении личных вложений агентов во внедрение инноваций их выигрыши падают, а выигрыш центра и коэффициент системной согласованности не меняются (пример 11).
7. При увеличении части дохода, который получают агенты от производства в результате использования ПАО КППР (коэффициент p_1), меняются значения выигрышей центра и агентов, а также коэффициент системной согласованности. При принуж-

дении коэффициент системной согласованности неизменен и равен единице. Выигрыши агентов прямо пропорциональны значению p_1, коэффициент системной согласованности (в случае побуждения) и выигрыш центра – обратно пропорциональны.

8. При увеличении коэффициентов эластичности по труду и по капиталу увеличиваются выигрыши центра и агентов, коэффициент системной согласованности, кроме игры Г2, где коэффициент системной согласованности равен или близок к единице независимо от коэффициентов эластичности.

9. В играх Г1 и Г2 при принуждении без затрат на административный контроль агентов коэффициент системной согласованности часто близок к единице (примеры 1–20). Однако при учёте затрат на административный контроль агентов ситуация иная. В игре Г1 коэффициент системной согласованности меняется от K = 0,65 до K = 0,99 (примеры 1, 3). В игре Г2 коэффициент системной согласованности в большинстве примеров высокий и меняется от K = 0,93 до K = 1 (примеры1–4, 6–14). Минимальная согласованность интересов K = 0,56 наблюдается в примере 17.

10. При принуждении с учётом затрат на административный контроль агентов меняется и выигрыш центра. В игре Г1 центр получает меньший выигрыш. Разница достигает 95% (пример 19). В игре Г2 в большинстве примеров центр также получает меньший выигрыш. Разница достигает в этом случае 44% (пример 17). Если центр не накладывает ограничения на управления агентов, то выигрыши с затратами и без них на административный контроль агентов примерно одинаковы (пример 3).

11. Выигрыш центра и коэффициент системной согласованности выше в случае квадратичной функции контроля центром агентов. При увеличении затрат центра на контроль агентов его выигрыш и коэффициент системной согласованности ожидаемо уменьшаются.

12.В случае отказа от учёта условия гомеостаза (отсутствии ограничений на уровень внедрения инноваций ($k(S_v, S_u)$)) коэффициент системной согласованности для достаточно широкого класса входных функций заметно понижается при принуждении с затратами на административный контроль и побуждении в игре

Гермейера Г1. Например, для входных данных примера 5 при побуждении он уменьшается в 3 раза, а при принуждении – примерно в 2 раза. В игре Гермейера Г2 при побуждении и при принуждении при отсутствии условия гомеостаза коэффициент системной согласованности равен единице (примеры 1–10). И центр, и агенты в этом случае могут выбрать более выгодные для себя стратегии, не учитывая необходимость внедрения инноваций.

7. Заключение

Математическое моделирование процесса внедрения инноваций в организации помогает выбрать информационный регламент и метод иерархического управления, которые обеспечивают эффективность процесса внедрения и лучшую системную согласованность. В процессе исследования математической модели при различных информационных регламентах были сделаны следующие выводы и рекомендации по внедрению инноваций в организации:

– при учёте затрат центра на административный контроль использование побуждения для него в большинстве случаев даёт больший выигрыш, чем принуждение;

– для успешного внедрения инноваций необходим учёт условия гомеостаза;

– успешное внедрение инноваций возможно как при использовании побуждения, так и принуждения. При этом центр должен обладать значительными ресурсами (административными или экономическими) для воздействия на агентов.

Литература

1. АКЕРМАН Е.Н., МИХАЛЬЧУК А.А., СПИЦЫН В.В., ЧИСТЯКОВА Н.О. *Оценка имитационного потенциала IT-компаний при помощи производственной функции Кобба–Дугласа* // ВЕСТНИК НГУЭУ. – 2019. – №4. – С. 130–142.

2. АФАНАСЬЕВ А.А. *Использование производственной функции Кобба – Дугласа, построенной по панельным данным, при анализе обрабатывающих производств России* // Креативная экономика. – 2022. – Т. 16, №6. – С. 2363–2380.
3. ГОРЕЛИК В.А., ГОРЕЛОВ М.А., КОНОНЕНКО А.Ф. *Анализ конфликтных ситуаций в системах управления*. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.
4. КУЛИКОВ И.Н. *Модели финансирования инновационных технологий*// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2015. – №8. – URL: www.uecs.ru/innovacii-investicii/item/3679-2015-08-28-07-07-34.
5. МАКАРОВ А.С., САЗАНОВА Д.А. *Источники и модели финансирования инновационной деятельности организации*. – М.: Изд-во ООО «Издательский дом Финансы и Кредит», 2011. – №18 – С. 42-46.
6. МУНТЬЯНОВА А.А. *Моделирование инновационной составляющей сбалансированной системы показателей ИТ-компании* // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №2. – URL: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4217.
7. НОВИКОВ Д.А., ИВАЩЕНКО А.А. *Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы*. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 336 с.
8. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А., УСОВ А.Б. *Алгоритмы решения дифференциальных моделей иерархических систем управления* // Автоматика и телемеханика. – 2016. – №5. – С. 148–158.
9. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А., УСОВ А.Б. *Динамические модели согласования частных и общественных интересов при продвижении инноваций* // Математическая теория игр и её приложения. – 2019. – №11(1). – С. 96–114.
10. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А., УСОВ А.Б. *Равновесия в моделях иерархически организованных динамических систем с учётом требований устойчивого развития* // Автоматика и телемеханика. – 2014. – №6. – С. 86–102.
11. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А., УСОВ А.Б. *Теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации* // Компьютерные исследования и моделирование. – 2016. – №8(4). – С. 673–684.

12. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А. *Управление устойчивым развитием активных систем*. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 658–704.
13. ШИШАЕВ М.Г. *Комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта* // Труды института системного анализа Российской Академии наук. – М.: 2009. – С. 223–244.
14. BASAR T., OLSDER G.Y. *Dynamic Non-Cooperative Game Theory*. – SIAM, 1999.
15. BASAR T., ZHU Q. *Prices of Anarchy, Information, and Cooperation in Differential Games* // Dynamic Games and Applications. – 2011. – No. 1(1). – P. 50–73.
16. DOCKNER E., JORGENSEN S., LONG N.V., SORGER G. *Differential Games in Economics and Management Science*. – Cambridge University Press, 2000.
17. EDISON H., BIN ALI N., TORKAR R. *Towards innovation measurement in the software industry* // J. of Systems and Software. – Netherlands: Elsevier, 2013.
18. HOSSAIN HM., MAJUMDER A., BASAK T. *An Application of Non–Linear Cobb-Douglas Production Function to Selected Manufacturing Industries in Bangladesh* // Open Journal of Statistics. – 2012. – Vol. 2, No. 4. – P. 460–468.
19. JUNGSU KIM, GOO HYEOK CHUNG. *Implementing innovations within organizations: a systematic review and research agenda* // Innovation: Organization & Management. – 2017. – Vol. 19, Iss. 3 – P. 372–399.
20. KLEIN K.J., BUHL CONN A., SPEER SORRA J. *Implementing computerized technology: An organizational analysis* // J. of Applied Psychology – USA: American Psychological Association Inc., 2001.
21. OUGOLNITSKY G.A., USOV A.B. *Computer Simulations as a Solution Method for Differential Games* // Computer Simulations: Advances in Research and Applications / Eds.: M.D. Pfeffer, E. Bachmaier. – N.Y.: Nova Science Publishers, 2018. – P. 63–106.

MANAGEMENT OF INNOVATION IMPLEMENTATION USING VARIOUS INFORMATION STRUCTURES

David Ninidze, Southern Federal University, Rostov-on-Don, post-graduate student (davidnin@mail.ru).
Gennady Ougolnitsky, Southern Federal University, Rostov-on-Don, professor (ougoln@mail.ru).
Anatoliy Usov, Southern Federal University, Rostov-on-Don, associate professor (abusov@sfedu.ru).

Abstract: A two-level management system for the innovation implementation in organizations is studied, taking into account the conditions of their "life-ability". The main task of mathematical modeling of the coordination of private and public interests in innovation implementation models is determining the appropriate strategy for the promotion of innovations. The problem is considered in a hierarchical formulation. There is one top-level management entity (center) and several lower-level entities (agents). The center is responsible for the result of innovation implementation, and agents are directly involved in implementation. The center manages the innovation implementation using various information regulations. Agents promote innovations and they receive funds from the center. At the same time, agents bear personal expenses. Agents have their own private interest, namely, they are engaged in third-party activities, that also bring them income. These activities are not related to the innovation implementation. Algorithms for constructing solutions to Germeyer's games in motivation and compulsion are indicated. Numerical solutions are constructed using the method of qualitatively representative simulation scenarios. Simulation experiments were conducted, the analysis of the results obtained was given.

Keywords: Germeyer's games, motivation, compulsion, simulation modeling, method of qualitatively representative scenarios, innovation implementation.

УДК 519.83
ББК 22.18
DOI: 10.25728/ubs.2023.105.5

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии В.М. Вишневским.

Поступила в редакцию 12.04.2023.
Опубликована 30.09.2023.