

На правах рукописи



ПУЖАНОВА Екатерина Олеговна

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ
МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ДВУХУРОВНЕВОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ**

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2026

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Цветков Александр Васильевич**, доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Россихина Лариса Витальевна**, доктор технических наук, доцент, ФГКОУ ВО «Ордена Трудового Красного Знамени Академия управления Министерства внутренних дел России», г. Москва, профессор кафедры "Информационные технологии"

Горбанева Ольга Ивановна, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", г. Ростов-на-Дону, профессор кафедры прикладной математики и программирования

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»** (г. Тверь)

Защита состоится «15» мая 2026 года в 12 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский просп., д. 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте <https://cchgeu.ru>.

Автореферат разослан «30» марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гусев Константин Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Под влиянием развития технологий и средств связи изменения в управлении организационными системами стали повсеместными. Функциональное управление перестало рассматриваться как предпочтительное, оно ограничивает возможности организации реагировать на изменения. Поэтому на первый план выходит управление проектами, которое предназначено для решения задач изменения текущего состояния систем управления или функционирования и создания новых продуктов или услуг. Актуальна задача управления проектами в организационных системах, большой вклад в разработку методов и средств внесли Баркалов С.А., Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А., Mills J., Platts K. и другие ученые.

Одной из актуальных предметных областей задач управления мультиагентными организационными системами является определение уровня зрелости организационной системы в управлении проектами. Интерес представляет и совместная оптимальная стабилизация для устранения неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления). Важной является и прогрессивное пакетирование работ в организационной системе, качество которого отражает возможность формирования взаимосвязанных пакетов проектов и принципов внутрипроектного взаимодействия участников.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования продиктована необходимостью разработки специальных средств управления процессами оценки уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

Тематика диссертационной работы соответствует научному направлению ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» «Вычислительные комплексы и проблемно-ориентированные системы управления».

Целью работы является разработка специальных средств управления процессами оценки уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ проблем управления процессами оценки уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

2. Разработать смешанную модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем, обеспечивающую устранение неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления).

3. Создать формализацию свойства осознанности агентов мультиагентной организационной системы обеспечивающую получение оценки полноты осведомленности.

4. Предложить метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами, обеспечивающий минимизацию субъек-

тивности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирование обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости.

5. Разработать методологию прогрессивного пакетирования работ в организационной системе, обеспечивающую формирование перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов по внутри-проектному взаимодействию участников.

6. Разработать архитектуру программной системы, обеспечивающую мониторинг отклонений, формирование иерархической структуры проектов и управление пользовательскими задачами.

Объект исследования: процессы управления оценкой уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

Предмет исследования: структура и методология обеспечения процессов управления оценкой уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

Методы исследования. При решении поставленных в диссертации задач использовались методы теории вероятностей, теории принятия решений, теории графов, а также методы объектно-ориентированного программирования.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.4 «Управление в организационных системах»: п. 3. «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах»; п. 7. «Разработка моделей и методов управления организационными проектами».

Научная новизна работы. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- смешанная модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем, отличающаяся основанностью на теории графов двухуровневым инструментом совместной оптимальной стабилизации и обеспечивающая устранение неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления);

- формализация свойства осознанности агентов мультиагентной организационной системы, отличающаяся учетом осведомленности, силы признака и сознания с использованием многомерных динамических конусов в пространстве действий, и обеспечивающая получение оценки полноты осведомленности;

- метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами, отличающийся наличием полного цикла эволюции каждого бизнес-процесса с учетом оценок по ключевым показателям и обеспечивающий минимизацию субъективности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирование обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости;

- методология прогрессивного пакетирования работ в организационной системе, отличающаяся выделением нескольких уровней и подуровней при

формировании зон и учетом фаз проекта и обеспечивающая формирование перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов внутривнутрипроектного взаимодействия участников;

- архитектура программной системы PM.portal, отличающаяся использованием подсистемы стабилизации мультиагентных систем и обеспечивающая мониторинг отклонений, формирование иерархической структуры проектов и управление пользовательскими задачами.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в разработке структуры и методологии обеспечения процессов управления оценкой уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

Теоретические результаты работы могут быть использованы в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся проектированием организационных систем с мультиагентным управлением.

Положения, выносимые на защиту

1. Смешанная модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем обеспечивает устранение неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления).

2. Формализация осознанности агентов мультиагентной организационной системы обеспечивает получение оценки полноты осведомленности.

3. Метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами обеспечивает минимизацию субъективности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирование обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости.

4. Методология прогрессивного пакетирования работ в организационной системе реализует формирование перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов внутривнутрипроектного взаимодействия участников.

5. Архитектура программной системы PM.portal обеспечивает мониторинг отклонений, формирование иерархической структуры проектов и управление пользовательскими задачами.

Результаты внедрения. Основные результаты внедрены в АО ПМСОФТ (г. Москва) при проектировании и сопровождении организационных систем с растущим уровнем зрелости, в учебный процесс Воронежского государственного технического университета в рамках дисциплин: «Управление проектами», «Управление в технических системах», а также в рамках курсового и дипломного проектирования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-практической конференции «Теория активных систем» (Москва, 2014); X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» (Новокузнецк, 2015); 4-й Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Моделирование и наукоёмкие информа-

ционные технологии в технических и социально-экономических системах» (Новокузнецк, 2016); шестой международной научно-практической конференции «Комплексный инжиниринг в нефтегазодобыче: опыт, инновации, развитие» (Самара, 2024); XXXI-th International Open Science Conference «Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2026'AS)» (Yelm, WA, USA, 2026), а также на научных семинарах кафедры управления ВГТУ (2023-2026 гг.).

Достоверность результатов обусловлена корректным использованием теоретических методов исследования и подтверждена результатами сравнительного анализа данных вычислительных и натуральных экспериментов.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликована 21 научная работа, в том числе 8 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ (из них 1 – в издании, индексируемом в WoS и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ). В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично автором получены следующие результаты: [4, 7, 15] - смешанная модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем, отличающаяся основанная на теории графов двухуровневым инструментом совместной оптимальной стабилизации; [13, 21] - формализация свойства осознанности агентов мультиагентной организационной системы, отличающаяся учетом осведомленности, силы признака и сознания с использованием многомерных динамических конусов в пространстве действий; [3, 5, 6, 11, 12, 14] - метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами, отличающийся наличием полного цикла эволюции каждого бизнес-процесса с учетом оценок по ключевым показателям и обеспечивающий минимизацию субъективности при классификации; [2, 9, 10, 17] - методология прогрессивного пакетирования работ в организационной системе, отличающаяся выделением нескольких уровней и подуровней при формировании зон и учетом фаз проекта; [8, 16] - архитектура программной системы PM.portal, отличающаяся использованием подсистемы стабилизации мультиагентных систем.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 135 наименований. Работа изложена на 150 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации и внедрении работы.

В первой главе исследуются проблемы управления оценкой уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации. Отмечено, что повысить эффективность такого управления можно путем применения смешанной модели взаимосвязанных мультиагентных организационных систем для устранения неопределенности моделирования, исследования адаптивной мультиагентной системы с контролем действий агентов на основе модального подхода к их сознанию, спе-

циальных методов определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами для минимизации субъективности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирования обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости.

Прикладные аспекты управления организационными системами также нуждаются в развитии. В частности, внимание уделено необходимости использования методологии прогрессивного пакетирования работ в организационной системе для формирования перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов внутрипроектного взаимодействия участников. В части реализации прикладных компонент обоснована необходимость развития архитектуры программной системы PM.portal для обеспечения мониторинга отклонений, формирования иерархической структуры проектов и управления пользовательскими задачами.

Сформулирована цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена управляемой событиями совместной стабилизации многоагентных организационных систем с частично неизвестной взаимосвязанной динамикой. С точки зрения управления, основное внимание в организационных системах уделяется использованию встроенных сенсорных, коммуникационных и вычислительных технологий. В частности, использование (беспроводных) коммуникационных технологий поднимает ряд новых проблем в дополнение к проблемам традиционно управляемых систем, которые должны быть решены разработчиком системы управления.

Для эффективной формулировки и решения множества вышеупомянутых проблем как для одно-, так и для многоагентных организационных систем (CPS) требуется новая структура проектирования управления. Рассматривается класс взаимосвязанных систем MAS, подверженных согласованным или несогласованным неопределенностям моделирования как на уровне агентов, так и на уровне MAS. Предлагается теоретико-графовый подход к моделированию взаимодействия между динамиками агентов на уровне агентов, который соответствует физическому уровню CPS, и разработке протокола распределенной стабилизации на основе связи на уровне управления, который напоминает киберуровень CPS. Эта двухуровневая структура позволяет решать задачи, связанные с управлением. В частности, устранено влияние неопределенностей моделирования на агентском или физическом уровне. Предлагаемый подход к оптимальному управлению подробно представлен двумя модифицированными задачами линейного квадратичного регулирования, по одной для каждого из сценариев неопределенности моделирования. Стратегия каждого агента, основанная на событии (ETS), отличается от стратегии других агентов и формулируется с использованием не более двух несвязанных импульсных аппроксиматоров.

В работе использованы стандартные обозначения. R^+ - набор неотрицательных вещественнозначных скаляров, Z^+ - набор положительных целых чисел, 0 - матрица всех нулей соответствующей размерности, $\text{diag}\{.\}$ - диагональная матрица (блочная) элементов в $\{.\}$, $\text{col}\{x_i\}$ - агрегированный вектор-столбец x_i для всех i , $|N|$ - мощность множества N и $\|.\|$ - 2-норма вектора или

индуцированная 2-норма матрицы, заданная в качестве его входного аргумента. Далее, $A \succ B$ ($\bar{V} \succ 0$) означает, что матрица $A-B \in \mathbb{R}^{n \times n}$ (скалярная функция \bar{V}) является положительно определенной. Аналогично, \mathbf{f} представляет собой положительную полуопределенность. Неравенство $-2x^T y \leq ax^T x + \frac{1}{a}y^T y$ выполняется для всех векторов $x, y \in \mathbb{R}^n$ и положительного скаляра a .

Рассмотрим две топологии графов, чтобы охватить архитектурный аспект CPS с разделением физического и киберуровня: граф уровня агентов G_a представляет взаимодействие динамики агентов на физическом уровне CPS, а граф уровня управления G_c - поток информации между агентами на киберуровне CPS.

Граф G_a уровня агентов с N узлами характеризуется модифицированной матрицей смежности $A_a = [a_{ij}^a] \in \mathbb{R}^{N \times N}$, где $a_{ij}^a = 1$, если на i -го агента влияет динамика j -го агента для $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$, и 0 в противном случае. Допустимо $j=i$, а a_{ij}^a есть действительный скаляр. N_i^a - набор соседей i -го агента по G_a .

Граф управляющего уровня G_c с N узлами характеризуется модифицированной матрицей Лапласа $H_c = L_c + S_c \in \mathbb{R}^{N \times N}$. $L_c \in \mathbb{R}^{N \times N}$ - стандартная матрица Лапласа неориентированного G_c , полученная путем удаления всех петель: $L_{ij}^c = -a_{ij}^c$ и $L_{ii}^c = \sum_{j \in N_i^c} a_{ij}^c$ с положительными весами ребер a_{ij}^c . N_i^c - набор соседей

i -го агента по G_c . $S_c = \text{diag}\{s_i^c\}$, $\mathbb{R}^{N \times N}$ - диагональная матрица, представляющая автоциклы: $s_i^c > 0$, когда вокруг i -го агента имеется петля, и $s_i^c = 0$ в противном случае. Все собственные значения H_c являются строго положительными вещественнозначными скалярами, которые должны быть отсортированы как $0 < \mu_{c1} \leq \mu_{c2} \leq \dots \leq \mu_{cN}$.

Рассмотрим взаимосвязанные мультиагентные системы:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_i(t) &= A\mathbf{x}_i(t) + B\mathbf{u}_i(t) + \mathbf{y}_i(\mathbf{z}_i(t), t) \\ \mathbf{z}_i(t) &= C_{z_i} \sum_{j \in N_i^a} a_{ij}^a \mathbf{x}_j(t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

где $i \in \{1, 2, \dots, N\}$, $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^{n_x}$ - состояние i -го агента, управляющий вход и переменную взаимосвязи. Известная пара матриц (A, B) является стабилизируемой. Положительный скаляр $\|A_a\|$ используется совместно с разработчиком уровня управления; однако топология уровня агента G_a остается конфиденциальной (как структура, так и веса ребер). Эта модель охватывает неопределенности моделирования либо на уровне агента (только $a_{ii}^a \neq 0$ для агента i), либо на уровне MAS (где некоторые $a_{ij}^a \neq 0, j \neq i$). В зависимости от нелинейных функций $\mathbf{y}_i: \mathbb{R}^{n_z} \times \mathbb{R}^+ \otimes \mathbb{R}^{n_x}$ матриц распределения взаимосвязей C_{z_i} могут возникнуть два случая: несогласованный сценарий $\psi_i = V_f \mathbf{f}_i(\mathbf{z}_i)$, когда ψ_i (и V_f) не находятся в диапазоне V , и согласованный сценарий $\psi_i = V_g \mathbf{g}_i(\mathbf{y}_i)$, когда ψ_i находится в диапазоне V . Первое означает, что неопределенности моделирования могут быть связаны с внутренней динамикой агентов, но не со стороны исполнителя, как в случае со вторым сценарием.

Цель: При наличии взаимосвязанных неопределенностей нелинейного моделирования на уровне агентов обеспечить надежную экспоненциальную сходимости всех траекторий к началу координат:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_i(t) = 0 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2.2)$$

используя непериодическую, несинхронную передачу информации в окрестности агентов на уровне управления G_c .

Каждая пара агентов снабжается двумя подсистемами импульсной аппроксимации и реализуется следующий протокол статической линейной совместной стабилизации:

$$u_i(t) = K \left(L_{ii}^c \hat{x}_i(t) - \hat{x}_g^i(t) + s_i^c \hat{x}_i(t) \right) \quad (2.3)$$

где $K \in \mathbb{R}^{n_u \times n_x}$ - статическая матрица усиления управления.

Первый импульсный аппроксиматор генерирует $\hat{x}_i \in \mathbb{R}^{n_x}$ в качестве оценки переменной состояния i -го агента x_i :

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_i(t) &= A \hat{x}_i(t), \quad t \in [t_k^i, t_{k+1}^i) \\ \hat{x}_i(t) &= x_i^-, \quad t = t_k^i \end{aligned} \quad (2.4)$$

чтобы запуститься в последовательности событий $\{t_k^i\}$ i -го агента, где $t_0^i=0$, $k \in \mathbb{Z}^+$, и $x_i^- = \lim_{t \rightarrow t_k^i} x_i(t)$.

Следующий сосредоточенный импульсный аппроксиматор дает $\hat{x}_g^i \in \mathbb{R}^{n_x}$ в качестве оценки накопленной переменной состояния $x_g^i = \mathring{a}_{j \in N_i^c} x_j^i$,

где N_i^c - соседний набор i -го агента на уровне управления G_c , x_j^i - информация j -го агента, которая может быть получена агентом i при установке непрерывной связи:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_g^i(t) &= A \hat{x}_g^i(t), \quad t \in [t_k^i, t_{k+1}^i) \\ \hat{x}_g^i(t) &= x_g^i, \quad t = t_k^i \end{aligned} \quad (2.5)$$

и запускается в последовательности времен событий $\{t_k^j\}$ соседей i -го агента $j \in N_i^c$, т.е. в $\dot{E}_{j \in N_i^c} \{t_k^j\}$; $t_0^j=0$, $x_g^i = \mathring{a}_{j \in N_i^c} x_j^-$, $x_i^- = \lim_{t \rightarrow t_k^i} x_i(t)$.

Наконец, разрешено событиям информационной трансляции i -го агента автоматически генерироваться следующими ETS:

$$t_{k+1}^i = \inf \left\{ t > t_k^i, t_0^i = 0 \mid a_{0i} + a_{1i} e^{-b_i t} \mathcal{L} \|e_i(t)\|^2 \right\} \quad (2.6)$$

где $\{t_k^i\}$ - временная последовательность запуска i -го агента для $k \in \mathbb{Z}^+$ и $t_0^i=0$.

Каждый j -й импульсный аппроксиматор (2.4) с изменением индекса s на j , испытывает скачок при $t=t_k^j$, который является одинаковым для всех объединенных импульсных аппроксиматоров (2.5), связанных с j -м агентом. Следовательно, $\hat{x}_g^i = \hat{x}_g^j = \mathring{a}_{j \in N_i^c} \hat{x}_j = \mathring{a}_{j \in N_i^c} \hat{x}_j^i$ и имеет место:

$$u_i(t) = K \left(L_{ii}^c \hat{x}_i(t) - \hat{x}_g^i(t) + s_i^c \hat{x}_i(t) \right). \quad (2.7)$$

Рассмотрим MAS со следующими агентами:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= Ax_i(t) + Bu_i(t) + B_f f_i(z_i(t), t) \\ z_i(t) &= C_{z_i} \hat{a} \hat{a}_{ij}^a x_j(t) \end{aligned} \quad (2.8)$$

с непарными погрешностями моделирования. Здесь $z_i \in \mathbb{R}^{n_z}$ - переменная взаимосвязи i -го агента, $B_f \in \mathbb{R}^{n_x \times n_f}$ - матрица распределения непарных взаимосвязей (не в диапазоне B) и $C_{z_i} \in \mathbb{R}^{n_z \times n_x}$ - неизвестная матрица взаимосвязей, удовлетворяющая $\|C_{z_i}\| \leq \gamma_{ci}$, где $\gamma_c = \max\{\gamma_{ci}\} \in \mathbb{R}^+$ - известный скаляр для разработчика уровня управления. Неизвестные нелинейные функции $f_i: \mathbb{R}^{n_z} \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^{n_f}$ являются кусочно-непрерывными во времени и липшицевыми на \mathbb{R}^{n_z} , обеспечивая существование и единственность решения нелинейного дифференциального уравнения (2.8). Однако эти константы Липшица неизвестны разработчику управляющего слоя, вместо этого используем поточечные неравенства $f_i^T(z_i, t)f_i(z_i, t) \leq \gamma_{fi} z_i^T z_i$, удовлетворяющие $\gamma_f = \max\{\gamma_{fi}\} \in \mathbb{R}^+$.

Упрощенный протокол (2.7) может быть переписан в виде

$$\dot{u}_i = K_{\hat{e}} \hat{a} (\hat{x}_i(t) - \hat{x}_j(t)) + s_i^c \hat{x}_i(t) + \ddot{0}$$

Определим локальную (импульсную) ошибку аппроксимации $e_i = \hat{x}_i - x_i$ для i -го агента, найдем агенты с замкнутым контуром

$$\dot{x}_i = Ax_i + BK_{\hat{e}} \hat{a} (x_i - x_j) + s_i^c x_i + BK_{\hat{e}} \hat{a} (e_i - e_j) + s_i^c e_i + B_f f_i(z_i),$$

агрегирование которых по G_a и G_c приводит к получению следующих двухслойных взаимосвязанных MAS:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \bar{A}x + (\bar{H}_c \ddot{A} \bar{B}K)x + (\bar{H}_c \ddot{A} \bar{B}K)e + \bar{B}_f f(z) \\ z &= C_z (A_a \ddot{A} I_{n_x})x \end{aligned} \quad (2.9)$$

где $\bar{A} = I_N \ddot{A} A$, $\bar{B}_f = I_N \ddot{A} B_f$, $z = \text{col}\{z_i\}$, $C_z = \text{diag}\{C_{z_i}\}$, $x = \text{col}\{x_i\}$, $e = \text{col}\{e_i\}$, и $f = \text{col}\{f_i\}$.

Учитывая, что $\mu_{c1} > 0$ является наименьшим положительным собственным значением модифицированной матрицы Лапласа H_c , получаем:

$$\dot{x} = \bar{A}x + \bar{B}v + \bar{B}\bar{E}v \quad (2.10)$$

где $\bar{B} = I_N \ddot{A} m_{c1} B$, $\bar{E} = E \ddot{A} I_{N_u} \neq 0$, $E = \frac{H_c}{m_{c1}} - I_N \neq 0$,

При этом $v = \text{col}\{v_i\} = \bar{K}x = (I_N \ddot{A} K)x$ - агрегированный (несвязанный) сигнал стабилизации, который следует учитывать при проектировании. В "сетевой" номинальной динамике основное внимание уделяется наличию μ_{c1} в \bar{B} , чтобы отличить эту модель от номинальной (несвязанной) части (2.8).

Введем вспомогательную (малоразмерную) сетевую номинальную сис-

тому, которая вместе с декомпозицией в (2.10) позволяет преодолеть необходимость в многомерном подходе к проектированию:

$$\dot{x}'_i = Ax'_i + m_{i1} Bv'_i + B_f w'_i \quad (2.11)$$

Здесь $v'_i = Kx'_i \hat{\Gamma} R^{n_u}$ определяется в (2.10) и $v'_i = Kx'_i \hat{\Gamma} R^{n_u}$, $F \hat{\Gamma} R^{n_f \times n_x}$ - виртуальный управляющий сигнал для устранения влияния взаимосвязанных нелинейностей f_i в (2.8). Введем функцию затрат:

$$J(x'_i(t)) = \int_t^{\infty} (x_i'^T(t) Q_f x'_i(t) + v_i'^T(t) R v'_i(t) + w_i'^T(t) W w'_i(t)) dt$$

где $Q_f @ Q + W_f$ - модифицированная взвешенная матрица состояний, а $Q \hat{\Gamma} R^{n_x \times n_x}$, $R \hat{\Gamma} R^{n_u \times n_u}$, $W \hat{\Gamma} R^{n_f \times n_f}$ - три расчетные матрицы. В дальнейшем,

$$W_f = g_f g_c \max(W) \|A_a\|^2 I_{n_x}$$

удовлетворяет неравенству (для агрегированных переменных f и x):

$$f^T(z') \bar{W} f(z') \leq x'^T \bar{W}_f x' \quad (2.12)$$

где $\bar{W} = I_N \ddot{A} W$, $\bar{W}_f = I_N \ddot{A} W_f$, $z' = C_z (A_a \ddot{A} I_{n_x}) x'$, $x' = \text{col}\{x'_i\}$.

Рассмотрим малоразмерную проектную задачу для непарного сценария. Пусть C_i - набор всех допустимых (со статической линейной обратной связью по состоянию) стабилизирующих управляющих сигналов v'_i и w'_i для номинальной динамики вспомогательной сети (2.11). Тогда решение следующей **модифицированной задачи LQR 1** (mLQR1) дает потенциальное усиление управления K и фиктивное усиление F , когда выполняется (2.13):

$$V(x'_i(0)) = \min_{v'_i, w'_i \in E_i} J(x'_i(0))$$

$$Q_{um} = Q + K^T R K - 2F^T W F \quad (2.13)$$

при условии соблюдения (2.11).

Утверждение 2.1. Пусть управляющее усиление K и фиктивное усиление F рассчитываются с использованием mLQR1. Следующее справедливо для частично неизвестных MAS взаимосвязанных агентов (8), линейного кооперативного протокола (2.3), оснащенного несвязанными системами импульсной аппроксимации (2.4)–(2.5), и ETS (2.6):

1. Если $\alpha_{0i} > 0$, все траектории состояний будут сходиться в окрестности начала координат (практическая стабильность). Если $\alpha_{0i} = 0$ и $\beta_i = \beta$, все траектории состояний будут экспоненциально сходиться к началу координат (экспоненциальная стабильность).

2. Феномен Zeno исключается как в практических, так и в экспоненциальных сценариях стабильности.

Поскольку неопределенности моделирования находятся в диапазоне матрицы управляющих входных данных (согласованный сценарий), мы рассмотрим относительно более простой случай, используя следующую малоразмерную сетевую номинальную динамику:

$$\dot{x}'_i = Ax'_i + m_{i1} Bv'_i \quad (2.27)$$

Рассмотрим для согласованного сценария MAS следующих агентов:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= Ax_i(t) + B(u_i(t) + g_i(y_i(t), t)) \\ y_i(t) &= C_{y_i} \mathring{a} \mathop{\text{a}}_{ij}^a x_j \end{aligned} \quad (2.25)$$

Модифицированная задача LQR 2. Пусть C_i - набор всех допустимых (с линейной обратной связью по состоянию) стабилизирующих управляющих сигналов v_i для номинальной динамики сети в (2.27). Тогда решение следующей задачи mLQR2 дает потенциальный коэффициент усиления K для использования в совместном протоколе (2.3):

$$V(x_i'(0)) = \min_{u_i' \in C_i} J(x_i'(0))$$

при условии (2.27).

Утверждение 2.2. Пусть коэффициент усиления стабилизации K рассчитывается с использованием mLQR2. Результаты утверждения 2.1 справедливы для множества взаимосвязанных агентов (2.25) с согласованными неопределенностями моделирования, линейным протоколом взаимодействия (2.3), оснащенный несвязанными системами импульсной аппроксимации (2.4)–(2.5) и ETS (2.6).

При имитационной верификации для двухуровневой организационной MAS с восемью агентами (рис. 2.1) показано, что стратегии, запускаемые событиями, могут обеспечивать определенный уровень внутренней устойчивости к шуму.

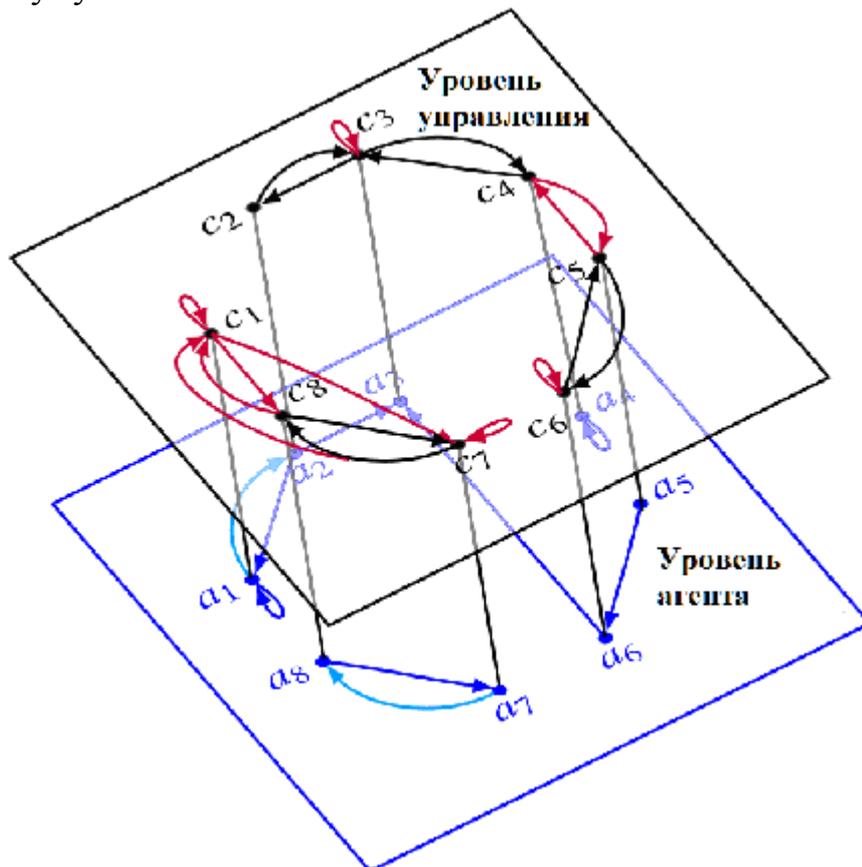


Рис. 2.1. Двухуровневая взаимосвязанная MAS

Таким образом, представлена смешанная модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем, отличающаяся основанным

на теории графов двухуровневым инструментом совместной оптимальной стабилизации и обеспечивающая устранение неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления).

Третья глава посвящена адаптивной мультиагентной система с контролем действий агентов на основе модального подхода к сознанию агентов.

Рассматриваются свойства осведомленности и выражаются они как в логической, так и в числовой формах. Затем формализуются осведомленность и сознание и доказываются обоснованность законов.

Обозначение 3.1 (область действия). Областью действия операций act:Actions является набор агентов, участвующих в его активации:

$$\text{ambit}(\text{act}) := \{a : \text{Agents} \mid a \text{ обладает некоторым управлением в act}\}.$$

Множество действий, в которых $a \in \text{ambit}(\text{act})$ «обладает некоторым управлением», обозначим как

$$A_a := \{\text{act} : \text{Actions} \mid a \in \text{сфере действия (act)}\}.$$

Обозначение 3.2 (особенность). Особенность - это то, что может влиять на поведение системы. Особенности бывают разных типов и зависят от знаний предметной области, как показано в приведенных выше примерах. Например, пространство F всех функциональных возможностей для системы может быть определено синтаксически:

$$\text{Basic} := \{\text{Привычка, Напоминание, Представление, Воображение}\}$$

$$A ::= \text{Basic} \mid \dagger A \mid A \& A \mid A \text{ } \frac{3}{4} \text{ } A \mid A \text{ } \frac{3}{4} \text{ } A \mid A_a A$$

Утверждение "признак f возникает в момент времени t" записывается как $f \downarrow t$. В табл. 3.1 определяются логические операции, описанные выше.

Таблица 3.1

Логические операции в нотации работы

$(\dagger f) \downarrow t := \emptyset(f \downarrow t)$	f не возникает в момент t
$(f \& g) \downarrow t := (f \downarrow t) \dot{\cup} (g \downarrow t)$	f и g возникают в момент t
$(f \text{ } \frac{3}{4} \text{ } g) \downarrow t := (f \downarrow t) \text{ } \text{P} \text{ } (g \downarrow t)$	g произойдет в момент t, если f произойдет
$(f \text{ } \frac{3}{4} \text{ } \text{ } g) \downarrow t := (f \downarrow t) \text{ } \text{P} \text{ } (\$u \text{ } \frac{3}{4} \text{ } t : g \downarrow u)$	g произойдет вместе или после f в момент t

Не все признаки актуальны для агента в конкретный момент времени, а те, которые есть, имеют разный уровень значимости.

Определение 3.1 (Разрешения). Предположим, что act - это действие. Тогда особенность $f : F$ разрешает act, если она устанавливает предварительное условие act поточечно по времени,

$$f \text{ En act} := f \text{ } \frac{3}{4} \text{ } \text{ } \text{pre}(\text{act})$$

В более общем плане f в конечном итоге активирует действие, которое будет активировано через некоторое время в будущем:

$$f \text{ En}^+ \text{ act} := f \text{ } \frac{3}{4} \text{ } \text{ } \text{pre}(\text{act})$$

Определение 3.2 (Система). Система $S := (\text{Агенты, действия})$ состоит

из множества агентов, один из которых представляет окружающую среду, и множества действий, каждое из которых имеет определенную область действия. Агенты имеют непересекающиеся пространства состояний и взаимодействуют посредством действий. Таким образом, состояние S - это непересекающееся объединение состояний агентов, и каждое действие, принадлежащее множеству действий, имеет локус контроля, сферу действия (act) \subseteq Agents и тип для каждого взаимодействия в целом,

$$act : (States \times Input) \leftrightarrow (States \times Output) .$$

Например, в логической модели осознание f в момент t должно подразумевать, что утверждение $f \in t$ выполняется:

$$(A_a f) \downarrow t = f \downarrow t . \quad (3.1)$$

Правило (3.1) - закон Т модальной логики, вытекает из теории соответствия, что отношение доступности в семантике Крипке является рефлексивным. Это также подразумевает, что для того, чтобы a стало известно о $f \downarrow t$, не требуется временной задержки. Аналитически, если a известно $f \downarrow t$, то сила этого знания должна равняться силе $f \downarrow t$ (в одно и то же время):

$$|(A_a f) \downarrow t| = |f \downarrow t| . \quad (3.2)$$

Совпадение. Напомним, что $(f \& g) \downarrow t = (f \downarrow t) \wedge (g \downarrow t)$. Поэтому эквивалентно ли осознание $(f \& g) \downarrow t$ осознанию $f \downarrow t$ и $g \downarrow t$ независимо?

Первое справедливо, если $(f \& g) \downarrow t$ допускает некоторое действие. Но второе справедливо, если каждая функция в отдельности допускает действие, которое не обязательно является одним и тем же из-за обычной разницы между точечным и однородным поведением, получаемым при замене кванторов. Таким образом, мы ожидаем, что сохранится только подтекст:

$$(A_a f) \downarrow t \wedge (A_a g) \downarrow t \Rightarrow (A_a (f \& g)) \downarrow t . \quad (3.3)$$

Интуитивно понятно, что степень осознания одновременной комбинации должна быть ограничена сверху более сильными значениями f и g , а снизу - более слабыми.

$$\text{Min}\{|(A_a f) \downarrow t|, |(A_a g) \downarrow t|\} \leq |(A_a (f \& g)) \downarrow t| \leq \text{Max}\{|(A_a f) \downarrow t|, |(A_a g) \downarrow t|\} \quad (3.4)$$

Следствие. Фундаментальный закон К модальной логики:

$$\mathbf{W} \mathbf{U}(f \supset g) \supset \mathbf{W}g$$

В терминах A_a , который полагается на то, что агент оценивает, когда одна функция сильнее другой, что нереально для агентов в целом. Но замена первого вхождения \Rightarrow на \supset приводит к правдоподобному логическому правилу:

$$(A_a f) \downarrow t \supset (A_a (f \supset g)) \downarrow t \supset A_a (g) \downarrow t \quad (3.5)$$

По сравнению с (3.3), мы ожидаем, что осознание $f \downarrow t$ и $g \downarrow t$ подразумевает осознание $(f \supset g) \downarrow t$:

$$(A_a f) \downarrow t \supset (A_a g) \downarrow t \supset (A_a (f \supset g)) \downarrow t \quad (3.6)$$

Для уверенности, рассуждая так же, как и для параллелизма,

$$\text{Min}\{|(A_a \sim f) \downarrow t|, |(A_a \sim g) \downarrow t|\} \leq |(A_a (f \supset g)) \downarrow t| \leq \text{max}\{|(A_a \sim f) \downarrow t|, |(A_a \sim g) \downarrow t|\} \quad (3.7)$$

Отсутствие и двойственность. Признаки f и $\sim f$ не могут встречаться

одновременно по смыслу \sim . Таким образом, в логической модели агент не может знать как о $f \downarrow t$, так и о $(\sim f) \downarrow t$:

$$(A_a f) \downarrow t \Rightarrow \neg((A_a \sim f) \downarrow t). \quad (3.8)$$

Модальный дуализм к A_a обозначим ∇_a .

Определение 3.3 (дуализм). Если в момент времени t агент a не знает об отсутствии функции, то функция считается выполнимой с точки зрения a :

$$(\nabla_a f) \downarrow t := (\sim (A_a \sim f) \downarrow t) \downarrow t.$$

Наша логическая версия закона модальной логики D следует из (3.8):

$$(A_a f) \downarrow t \Rightarrow (\nabla_a f) \downarrow t. \quad (3.9)$$

Согласно теории соответствия, доступность в семантике Крипке является последовательной. Численно, исходя из этого, мы ожидаем:

$$|(A_a f) \downarrow t| \leq |(\nabla_a f) \downarrow t|. \quad (3.10)$$

Сознание. Сознание подразумевает осведомленность по определению, подтвержденному выражением (3.1):

$$(A_a (A_a f) \downarrow t) \downarrow t \Rightarrow (A_a f) \downarrow t. \quad (3.11)$$

Но не наоборот, как в случае (3.1), поскольку тогда не было бы разницы между осведомленностью и сознанием. Согласно теории соответствия, доступность в семантике Крипке не является транзитивной. Отсюда

$$|(A_a (A_a f) \downarrow t) \downarrow t| \leq |(A_a f) \downarrow t|. \quad (3.12)$$

Время. Осознание функции $f \downarrow t$ со временем исчезает, если ее каким-либо образом не обновить. Таким образом, сила осознания f в будущем в наибольшей степени равна силе сейчас, если только осознание не обновляется. Мы ожидаем, что будет выполнено неравенство:

$$\forall u > t : |(A_a f) \downarrow u| \leq |(A_a f) \downarrow t| \text{ при } \neg(A_a f) \downarrow u \quad (3.13)$$

Если $(A_a f) \downarrow u$, то неравенство выполняется только в том случае, если $(A_a f) \downarrow t$ выполнено, и в этом случае выполняется равенство.

Определение 3.4 (Сила). Промежуток времени до или в момент времени t , когда в последний раз возник признак f , является минимальным количеством периодов времени:

$$t(f, t) := \min\{t - n \mid t^3 n, f \neg n, \text{ " m: (n, t) } \hat{I} \emptyset(f, m)\}$$

Предположение 3.1 (Сила признака). Сила признака принадлежит отрезку $[0, 1]$ и удовлетворяет следующим условиям:

1. $(:) \mid (: f, t) < 1$ тогда и только тогда, когда $|(f, t)| = 1$
2. $(\&) \min \{ |(: f, t)|^+, |(: g, t)|^+ \} \leq |(f \& g, t)| \leq \max \{ |(f, t)|, |(g, t)| \}$
3. $(\frac{3}{4} \otimes) \mid (: g, t)|^+ \leq |(f \frac{3}{4} \otimes g, t)| \leq |(g, t)|$

Определение 3.5 (Осведомленность). Агент a знает о функции $f \hat{I} F$ в момент времени $t \hat{I} T$, если в этот момент f выполняет какое-либо действие, по крайней мере частично находящееся под контролем a :

$$(A_a f) \downarrow t := \exists \text{act} : A_a \hat{I} (f \mathbf{E} n \text{ act}) \downarrow t. \quad (3.15)$$

Использование $\mathbf{E}n^+$ вместо $\mathbf{E}n$ дает представление о возможной осведомленности. Набор признаков, о которых a известно в момент времени t , обозначается как $U_a(t)$. Степень осознания признака $f \hat{I} U_a(t)$ определяется как степень осознания признака f в момент времени t (без задержки):

$$|(A_a f) \downarrow t| := |f \downarrow t|. \quad (3.16)$$

Определение 3.6 (Сознание). Агент a осознает признак f в момент времени $t \hat{t}$ T , если он осознает f в момент времени t :

$$(C_a f) \downarrow t := (A_a((A_a f) \downarrow t)) \downarrow t. \quad (3.17)$$

Сила осознания в момент времени u - это просто сила этого осознания "осознанности в момент времени t ":

$$|(C_a f) \downarrow t| := |(A_a((A_a f) \downarrow t)) \downarrow t|. \quad (3.18)$$

Логические законы основаны на следующем результате.

Предположение 3.2 (Замыкание). Пространство $A_a(t)$ объектов, о которых a известно в момент t , замкнуто под $\&$ и $+$, но не под \square .

Определение 3.7 (Конусы). Если $act \hat{t}$ Действия, то будущие и прошлые конусы act состоят соответственно из всех действий, которые он в конечном итоге разрешает, и которые в конечном итоге делают его возможным:

$$C^+(act) : \{act' \hat{t} \text{ Действия} \mid pre(act) \mathbf{En}^+ act'\}$$

$$C^-(act) : \{act' \hat{t} \text{ Действия} \mid pre(act') \mathbf{En}^+ act\}$$

Были предложены логические законы для осознания и, следовательно, для сознания (рассматриваемого как осознание осознанности), а также неравенства для его силы. Было показано, что они верны, несмотря на рефлексивность, необходимую для сознания, в очень простой модели.

Таким образом, предложена формализация свойства осознанности агентов мультиагентной организационной системы, отличающаяся учетом осведомленности, силы признака, сознания с использованием многомерных динамических конусов в пространстве действий, и обеспечивающая оценки полноты осведомленности.

В главе 4 проанализировано практическое управление проектами и уровнем зрелости организационной системы.

Сначала рассматривается подход к разработке комплексного показателя, отражающего уровень развития организационных компетенций в управлении проектами, используя модель на основе подхода к повышению качества уровня зрелости, который предусматривает реализацию эффективных мероприятий при минимальных финансовых затратах.

Метод, представленный в исследовании, позволяет оценивать уровень зрелости организационных способностей управления проектами на основе следующих ключевых составляющих:

- подход к управлению проектами в рамках организационных способностей предприятий;
- подход к анализу частичной характеристики согласуется с принципами, заложенными в модели целостности;
- факторы, определяющие степень развития составляющей, заключаются в углублении эффективности управления проектами;
- улучшение методической составляющей и, как следствие, повышение организационных способностей достигаются посредством непрерывного совершенствования бизнес-процессов, лежащих в основе методики организации работы. Каждый бизнес-процесс в компании должен пройти полный цикл эволюции, включающий этапы стандартизации, количественной оцен-

ки, контроля и постоянного совершенствования.

Степень зрелости организации оценивается по трем компонентам:

1. Эффективность управления проектами во многом зависит от методической составляющей организационных способностей. Оценить ее уровень развития можно по ряду ключевых показателей.

2. Компонент, обеспечивающий информационную и технологическую базу для эффективного управления проектами.

3. Эффективность управления проектами тесно связана с компетентностной составляющей организационных способностей. Степень ее развития оказывает существенное влияние на:

3.1. Показатели профессиональной квалификации служит уровень профессиональных умений.

3.2. Компетенции в сфере межличностных отношений

3.3. Оценку уровня сформированности личностных компетенций

3.4. Уровень, определяемый контекстуальными компетенциями.

Оценку каждого показателя осуществим по четырехбалльной квалитметрической шкале, где уровни представлены как "Низкий", "Удовлетворительный", "Хороший" и "Отличный".

Оценку методической составляющей, которая формируется по двум ключевым показателям, можно получить с помощью единой матрицы. Пример такой матрицы представлен на рис. 4.1.

2	3	2	4	3
2	4	3	3	3
1	2	2	4	3
1	2	3	2	2
1,2 1,1	3	2	4	3

Рис. 4.1. Матрица свертки оценки уровня зрелости

Ввиду того, что компетентностная составляющая оценивается по четырем критериям, для ее определения необходимо использовать три матрицы свертки. При построении этих матриц также учитываются стратегические направления развития проектного менеджмента.

В качестве иллюстрации процесса формирования обобщенной оценки компетентностной составляющей, с учётом ранее обсуждённых аспектов, представлен пример на рис. 4.2.

Рассмотрим процесс создания системы комплексной оценки, которая будет базироваться на трех составляющих. Для ее формирования необходимо использовать две матрицы. Учитывая, что методическая составляющая имеет более высокую значимость по сравнению с компетентностной, а компетентностная - по сравнению с информационно-технологической, предлагаем вариант системы комплексной оценки, представленный на рис. 4.3.

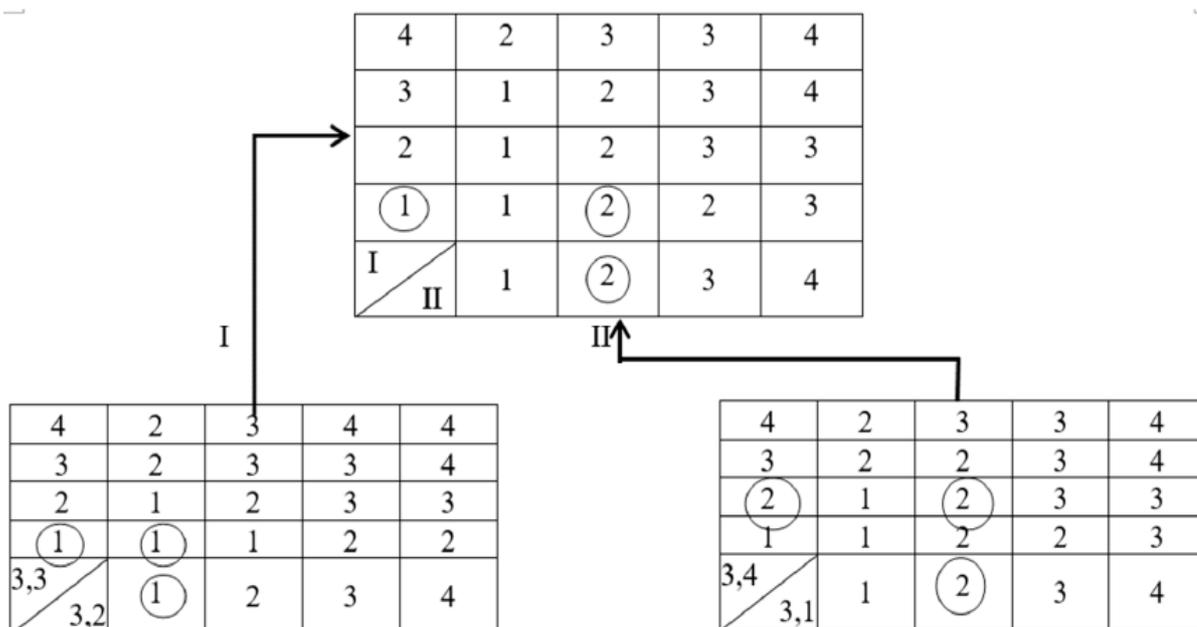


Рис. 4.2. Формирование обобщенной оценки компетентностной составляющей на основе матриц сверток

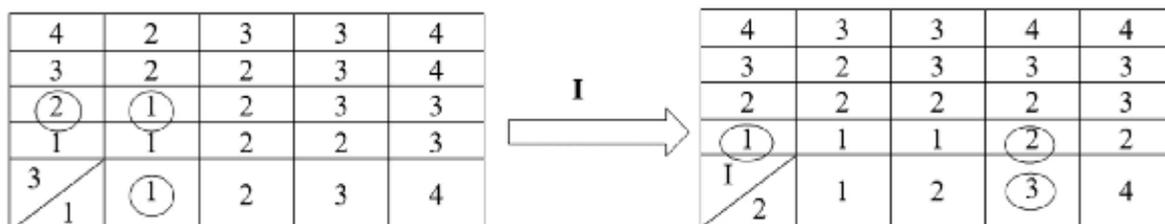


Рис. 4.3. Вариант системы комплексной оценки

В ходе оценки зрелости организации были определены следующие значения ключевых показателей, представленные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ключевые показатели уровня зрелости проектной компании

	1	2	3				
	1.1	1.2	2	3.1	3.2	3.3	3.4
	1	2	3	2	1	1	2

Рассмотрим величины Z_{iK} , представляющие собой минимальные вложения, необходимые для поднятия оценки i -го элемента до уровня K . Так как вторая часть не обладает показателями второго ранга, то $Z_{2K}=S_{21}(K)$.

Рассмотрим механизм, который позволит нам вычислить оценки Z_{iK} , основываясь на заданном значении $S_{ij}(K)$. Начнем с установления начальных значений оценок показателей, обозначаемых как q_{ij} , и расходов $S_{ij}(q_{ij})$ на поддержание этих начальных оценок, которые для каждого показателя, обозначенного как $S_{ij}(1)=0$, равны нулю по определению [4.5].

Анализируем процесс формирования обобщенной оценки для первой составляющей. Табл. 4.2 демонстрирует значения затрат $S_{ij}(K)$, $j=1,2$, $K=1...4$, которые были определены на основе начальных оценок, представленных в табл. 4.1.

Рис. 4.4 демонстрирует матрицу, предназначенную для определения

обобщенной оценки первой компоненты. В каждой ячейке матрицы представлены два значения: первое значение, аналогично рис. 4.1, обозначает обобщенную оценку, а второе - стоимость ее вычисления Z_{1K} , $K=1\dots 4$. Минимальные затраты Z_{1K} , представленные в правом столбце, соответствуют наименьшей стоимости среди всех ячеек, где первое значение совпадает с K .

Таблица 4.2

Значения затрат на основе начальных оценок

K	1	2	3	4
$S_{ii}(K)$	0	5	15	40
$S_{ir}(K)$	0	3	18	35

4	2;35	3;40	3;50	4;75
3	2;18	2;23	3;33	4;58
2	1;3	2;8	3;18	3;43
1	1;0	2;5	2;15	2;40
1,2 / 1,1	1	2	3	4

K	Z_{1k}
4	58
3	18
2	5
1	0

Рис. 4.4. Обобщенная оценка первой компоненты

Для получения конечного результата используется схожий алгоритм, как показано на рис. 4.5. Стоимости, представленные в табл. 4.3, основаны на начальных оценках, изложенных в табл. 4.1.

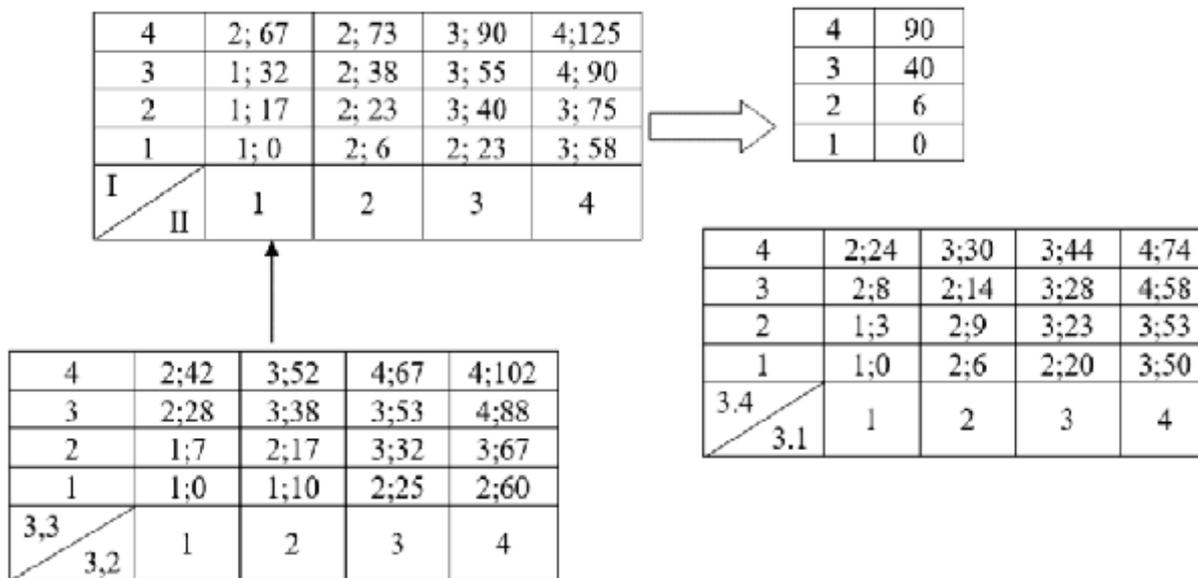


Рис. 4.5. Обобщенная оценка остальных компонент

Таблица 4.3

Значения затрат для остальных компонент

K	1	2	3	4
$S_{31}(K)$	0	6	20	50
$S_{32}(K)$	0	10	25	50
$S_{33}(K)$	0	10	25	42
$S_{34}(K)$	0	3	8	24

Используем значения, представленные в табл. 4.4, для параметра K .

Таблица 4.4

Значения затрат для второй компоненты

K	1	2	3	4
$S_{21}(K)$	0	9	21	46

В результате $Z_{2K}=S_{21}(K)$, $K=1...4$. Используя полученные данные, можно оптимизировать повышение интегральной оценки $Y_0=2$ до необходимого уровня (например, $Y_T=4$), минимизируя при этом затраты. Для достижения этой цели достаточно воспользоваться алгоритмом, описанным ранее, применив его к системе формирования интегральной оценки, как показано на рис. 4.3.

Таким образом, предложен метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами, отличающийся наличием полного цикла эволюции каждого бизнес-процесса с учетом оценок по ключевым показателям и обеспечивающий минимизацию субъективности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирование обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости.

Далее рассмотрена методология прогрессивного пакетирования работ. Она прогрессивного пакетирования работ представляет собой перечень рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов по внутрипроектному взаимодействию участников. В методологии существует схема связей выделяемых типовых пакетов работ (рис. 4.6).

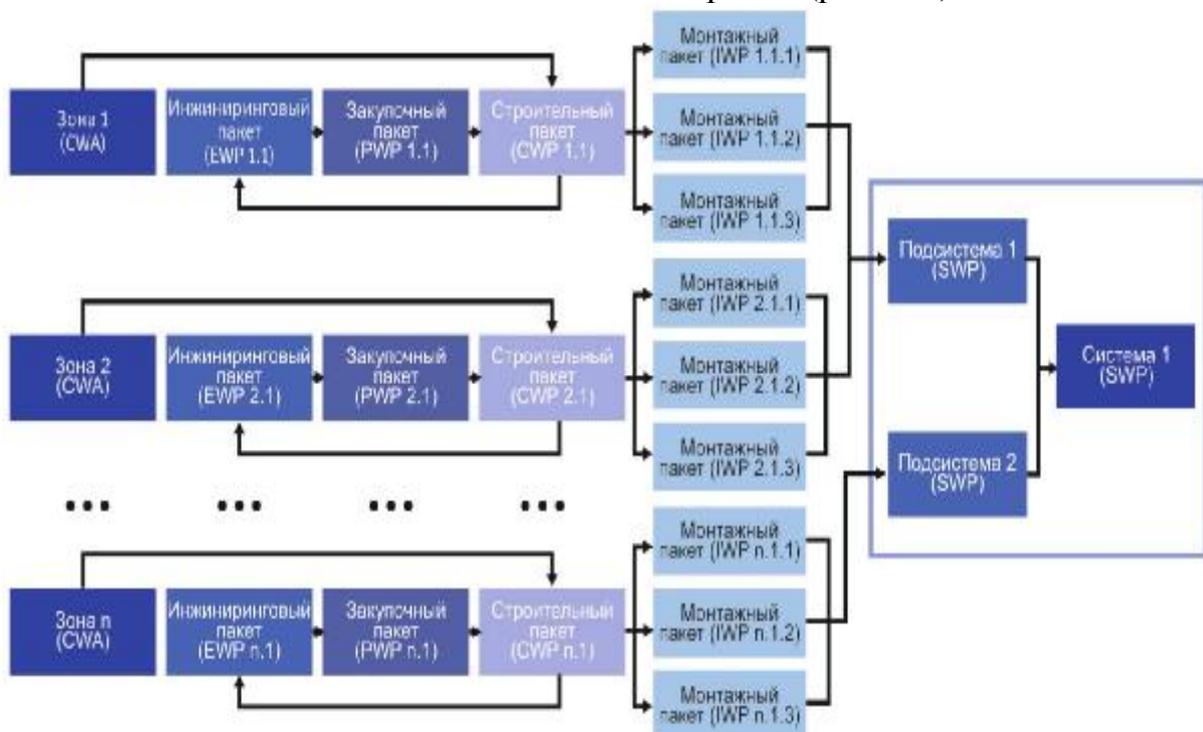


Рис. 4.6. Схема связей выделяемых типовых пакетов работ

Практическое применение методологии может отличаться и изменяться в зависимости от специфики деятельности проектов и компании:

1. Выделение иерархической структуры зон: в отличие от общеприня-

того подхода выделения пакетов, выявлена необходимость выделения нескольких уровней и подуровней при формировании зон (CWA-пакеты).

2. Выделение основных и дополнительных дисциплин: для более детального структурирования информации по пакетам практики выделили основную дисциплину и дополнительную дисциплину.

3. Изменение правил выделения пакетов: некоторые практики отметили, что ценность выделения строительных пакетов (CWP-пакеты) отсутствует, когда идет фокусировка на этапе ПИР.

Методология AWP - это не просто стандартизированный процесс, в котором необходимо методично следовать ряду шаблонных последовательных шагов, которые гарантированно приведут к качественному продукту в срок и в рамках бюджета. AWP - это набор принципов и практик, обеспечивающих основу, к которой организация добавит свой уникальный опыт использования различных инженерных практик и собственных подходов к реализации проектов. Именно тогда методология AWP действительно сможет помочь в проектах, улучшая их управляемость и минимизируя их издержки.

Таким образом, разработана методология прогрессивного пакетирования работ в организационной системе, отличающаяся выделением нескольких уровней и подуровней при формировании зон (CWA-пакеты) и учетом фаз проекта и обеспечивающая формирование перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов по внутрипроектному взаимодействию участников.

Описанные задачи поддерживаются системой PM.portal, позволяя:

- формировать иерархическую структуру CWA и реестры пакетов CPW, EPW, PWP, IWP, SWP для полного описания содержания проекта и возможности планирования фронтов работ;
- определять зависимости между пакетами как внутри одной зоны, так и между разными зонами для формирования пути строительства;
- управлять ограничениями пакетов для своевременного мониторинга отклонений и нивелирования влияний изменений на ход проекта;
- собирать актуальную информацию по фактическому выполнению работ по пакетам с последующей их агрегацией на верхних уровнях для точной оценки текущего прогресса и прогнозирования будущего выполнения;
- интегрироваться с центром управления проектными документами (DCC) и календарно-сетевым графиком для объединения потоков информации разных функциональных областей в едином центре управления;
- управлять собственными задачами пользователя в рамках методологии AWP в соответствии с настроенной ролевой моделью в его личном кабинете, обеспечивая эффективный ежедневный рабочий процесс.

Архитектура системы PM.portal представлена на рис. 4.7.

Таким образом, разработана архитектура программной системы PM.portal, отличающаяся использованием подсистемы стабилизации мультиагентных систем и обеспечивающая мониторинг отклонений, формирование иерархической структуры проектов и управление пользовательскими задачами.



Рис. 4.7. Архитектура программной системы PM.portal

Заключение

В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ проблем управления процессами оценки уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.
2. Разработана смешанная модель взаимосвязанных мультиагентных организационных систем, обеспечивающая устранение неопределенности моделирования совместно с отделением сбоев и помех (на уровне агентов) от кибератак (на уровне управления).
3. Проведена формализация свойства осознанности агентов мультиагентной организационной системы, обеспечивающая получение оценки полноты осведомленности.
4. Предложен метод определения уровня зрелости организационной системы в управлении проектами, обеспечивающий минимизацию субъективности при классификации организационной системы по категориям зрелости и формирование обоснованной стратегии развития и повышения уровня зрелости.
5. Разработана методология прогрессивного пакетирования работ в организационной системе, обеспечивающая формирование перечня рекомендаций по формированию взаимосвязанных пакетов и принципов внутрипроектного взаимодействия участников.
6. Разработана архитектура программной системы PM.portal, обеспечи-

вающая мониторинг отклонений, формирование иерархической структуры проектов и управление пользовательскими задачами.

7. Элементы программного обеспечения зарегистрированы в ФИПС.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

1. Результаты исследования рекомендуются к применению в задачах управления процессами оценки уровня зрелости мультиагентных организационных систем на основе двухуровневой оптимальной стабилизации.

2. Дальнейшая разработка темы будет направлена на практическую реализацию результатов, интеграцию в наиболее распространенные организационные системы. Развитие результатов будет направлено на улучшение модифицируемости и реконфигурируемости инструментов интеграции.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях списка ВАК

1. Пужанова Е.О. Формирование календарного плана программы повышения уровня зрелости организации в области управления проектами// Экономика и менеджмент систем управления. 2016. № 4 (22). С. 32-39.

2. Бурков В.Н., Пужанова Е.О., Шихалиев М.С., Шихалиев Р.С. Задача равномерного распределения ресурсов// Системы управления и информационные технологии, 2016, т. 63, № 1, с. 8–13.

3. Бурков В.Н., Пужанова Е.О., Пузырев С.А., Уандыков Б.К. Задачи оперативного управления программами с учетом риска// Системы управления и информационные технологии. 2016. № 4-1 (66). С. 128-133.

4. Пужанова Е.О. Стабилизация многоагентных систем с частично неизвестной взаимосвязанной динамикой// Системы управления и информационные технологии, №3(101), 2025. С. 20-31.

5. Баркалов С.А., Белоусов А.В., Пужанова Е.О. Алгоритмы управления рисками в ИТ-проектах// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2025. Т. 25. № 3. С. 77-86.

6. Пужанова Е.О., Баркалов С.А. Развитие компетенций в организационных системах с использованием матрицы принятия решений// Системы управления и информационные технологии, №4(102), 2025. С. 47-53

Публикация в издании, входящем в базу данных WoS

7. Tsvetkov A.V., Puzhanova E.O. et al. Algorithms for achieving mutual information coordination// International Journal on Information Technologies and Security, vol. 18, no. 1, 2026, pp. 13-20.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

8. Беспалов П.В., Жехангер А.К.Ж., Пужанова Е.О., Моисеева Ю.В. Программа построения рациональной структуры корпоративной информационной системы. Заявка 2025696604/69 от 12.12.2025. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025697368 от 24.12.2025. - М.: Роспатент, 2025.

Статьи и материалы конференций

9. Цветков А.В., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г., Садовников С.В., Грибко В.В., Пужанова Е.О. Управление конкурентоспособностью в инвестиционно-строительном бизнесе. - М.: Омега-Л, 2013. – 486 с.

10. Буркова И.В., Пужанова Е.О., Марин О.Л. Задача о ранце и её модификации// Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, серия «Управление строительством», № 1(6), 2014, с. 103–112.

11. Пужанова Е.О., Соловьева Е.В. Разработка стратегии развития организацион-

ных способностей управления проектами// Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, серия «Управление строительством» № 1(6), 2014. С. 170-178.

12. Пужанова Е.О. Задачи повышения уровня зрелости организации// Теория активных систем. Матер. междунар. НПК. - М., 2014. С. 179-182.

13. Балясов А.В., Пужанова Е.О. Оценка персональных компетенций руководителя проекта// Теория активных систем. Матер. междунар. НПК. - М., 2014. С. 92-97.

14. Пужанова Е.О. Механизмы конвергенции повышения уровня зрелости организации в области управления проектами// Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Тр. X Всеросс. НПК (с международным участием). - Новокузнецк, 2015. С. 33-36.

15. Бурков В.Н., Борковская В.Г., Пужанова Е.О., Уандыков Б.К. Задачи оперативного управления программой с учётом рисков // Тр. 4-й Всеросс. НПК (с междунар. участием) «Моделирование и наукоёмкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах». - Новокузнецк, 2016, с. 14–17.

16. Пужанова Е.О., Петров В.Н. Российская цифровая платформа управления ЕРС-проектами. Практика ПМСОФТ// Нефть. Газ. Новации. 2023. № 9 (274). С. 28-34.

17. Берестюк М.А., Пужанова Е.О., Садовников С.В., Юрченко А.В., Макарова Д.В. Практическое применение методологии прогрессивного пакетирования работ (AWP) в системе PM.PORTAL// Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8 (109). С. 78-79.

18. Пужанова Е. Чего не хватает российским подрядчикам для предоставления полноценного сервиса ЕРС/ЕРСМ в РФ// Комплексный инжиниринг в нефтегазодобыче: опыт, инновации, развитие - 2024. Матер. Шестой междунар. НПК. - Самара, 2024. С. 145-192.

19. Пужанова Е.О. Разработка алгоритма совершенствования стратегии повышения уровня зрелости организационной системы при управлении проектами// Проектное управление в строительстве. 2025. № 1 (32). С. 138-146.

20. Пужанова Е.О. Имитационное исследование осуществимости и эффективности стратегии управления специальными многоагентными системами// Экономика и менеджмент систем управления, №3(57), 2025. – С. 77-84.

21. Puzhanova E.O., Barkalov S.A. Adaptive multi-agent system with control of agents' actions based on a modal approach to agents' consciousness// Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2026'AS): Proceedings of the XXXI-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2026). - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2026. – Pp. 246-259.

Подписано в печать 13.03.2026.

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №169.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14