

УДК 303.732

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Миловидова А.А.^{1,2}, Добрынин В.Н.²

¹ МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия, milovidova@mirea.ru

² Университет «Дубна», г. Дубна, Россия

Аннотация. Рассмотрены факторы неопределенности, влияющие на функционирование социотехнических систем, методы и технологии проблемно-ориентированного моделирования систем управления и принятия решения, представлена технология проблемно-ориентированного моделирования принятия решений в социотехнических системах и сформирован перечень базовых знаний и практических навыков специалистов способных решать комплексные междисциплинарные задачи в профессиональной области.

Ключевые слова. Моделирование, принятие решений, предметно-ориентированный подход, социотехнические системы.

Любая организация, предприятие, корпорация и т.д. представляет собой коллективную деятельность взаимодействующее с технологиями, современными средствами коммуникации, программно-технологическими и роботизированными системами. В этом плане можно говорить, что современный человек «встроен» или «погружен» в технологическую среду, которая динамично изменяется. До середины 20 века человек использовал современные технологии как инструмент эффективной деятельности. Сегодня – человек и современные интенсивно развивающиеся технологии образуют целостный взаимовлияющий мир. Интеллектуализация этого мира – историческая особенность третьего тысячелетия.

Согласно этой идеи, центральным звеном в подготовке специалистов, адекватных вызовам исторического времени является приобретение знаний об эффективной деятельности коллективов, в частности, проектирующие системы управления нового поколения, функционирующие в условиях различной неопределенности на основе операционных, функциональных, системных и т. д. моделей. И на основе таких моделей создания технологий моделирования для предметно-ориентированной целевой аудитории.

Факторы неопределенности могут быть связаны с различными аспектами, включая человеческий фактор, где непредсказуемость человеческого поведения и реакций может создавать неопределенность во взаимодействии с техническими системами или в ситуациях принятия решения. Форс-мажорные ситуации, сбой и отказы оборудования, отсутствие или нечеткая информация о состоянии продукта, о взаимосвязях между элементами внутри системы, влияние внешней среды также могут быть причинами возникновения неопределенности в процессах принятия решений.

Помимо вышеперечисленных факторов трудности принятия решений связаны со сложностью построения моделей и алгоритмов управления, базирующихся на точных математических методах; проблемами применения методологии и инструментария учёта человеческого фактора в непредвиденных ситуациях [1].

Актуальность исследования обусловлена быстрым развитием технологий и необходимостью адаптации специалистов к изменяющейся социально-технологической. В работе подчеркивается важность глубокого понимания теоретических основ и практического применения современных технологий и инструментария решения междисциплинарных задач.

Практическая значимость исследования заключается в разработке методологических подходов к подготовке нового поколения специалистов, способных эффективно работать в условиях неопределенности и быстро адаптироваться к новым вызовам. Статья предлагает ценные рекомендации по интеграции современных технологий в образовательный процесс и развитию навыков, необходимых для успешной междисциплинарной деятельности.

Таким образом проблемно-ориентированное моделирование систем управления и принятия решений в условиях неопределённости важным инструментом для решения сложных проблем современного мира.

В качестве примера социотехнической системы (далее – СТС), функционирующей в условиях неопределенности горнообогатительном комбинате (далее – ГОК, комбинат).

В состав комбината входят следующие подсистемы: месторождение – карьер; логистическая система (карьерные самосвалы; грузовые поезда, доставляющие руду на обогатительную фабрику и железорудный концентрат на металлургический комбинат); обогатительная фабрика. Обогатительная фабрика в свою очередь включает три секции: дробления, обогащения и обезвоживания. Секция дробления руды состоит из 3 участков дробления руды на крупную, среднюю и мелкую фракцию. Секция обогащения включает четыре участка извлечения полезного концентрата. И последняя секция отвечает за процедуру обезвоживания и окомкования конечного продукта железорудного концентрата.

Целью рассматриваемой в качестве примера социотехнической системы является увеличение объемов переработанного материала и качества выходной продукции (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Обобщенная структура задачи оптимизации процесса добычи полезных ископаемых

В процесс сбора и анализа данных о деятельности комбината были выявлено, что колебания качества материала, поступающего с карьера, оказывают существенное влияние на качество процесса переработки и конечной продукции. Сам процесс переработки характеризуется нестационарностью, инерционностью, запаздыванием, случайными возмущениями, нечёткой информацией. Важнейшую роль в управлении производством играет технолог, который, используя косвенные признаки, органолептические методы, определяет изменение качества материала или наличие форс-мажорной ситуации и на основе своих знаний принимает решения по изменению режимов работы оборудования (см. рисунок 2) [2].

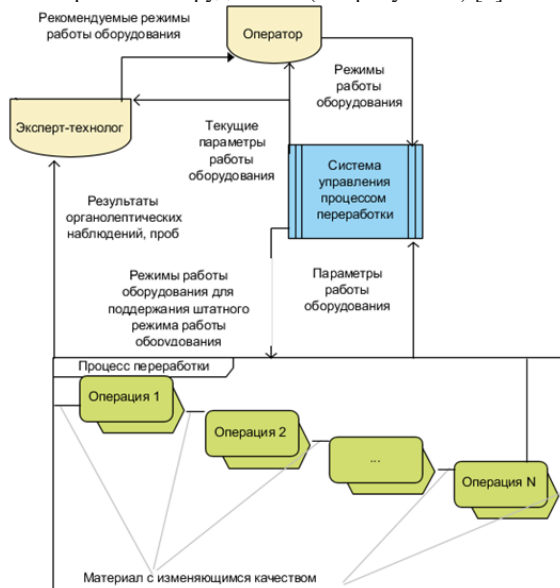


Рисунок 2 – Общая схема управления процессом переработки в условиях неопределенности информации о качестве материала

Таким образом, неопределенности, влияющие на функционирование рассматриваемой социотехнической системы связаны со следующими факторами:

- дискретно-непрерывным потоком переработки материала;
- неопределённостью информации о качестве материала;
- изменениями во времени свойств материала в различных узлах ПП;
- распределённостью в пространстве локальных систем управления оборудование;
- отсутствием (полным или частичным) в темпе протекания процесса переработки системы оценки свойств материала;
- неопределённой зависимостью управления локальными системами от данных о свойствах перерабатываемого материала [3].

В рамках рассматриваемого примера СТС представляет интерес применение методов поддержки принятия решений и рассмотрение задач контроля и управления производством в перерабатывающей промышленности с учетом данных о качестве материала с общесистемных позиций при динамической корректировке параметров работы оборудования. Современные методы цифрового производства, обработки данных и моделирования позволяют использовать программный инструментарий извлечения, представления, обработки и формирования объективных баз знаний, создавать имитационные модели [2].

Предметно-ориентированный подход

Эффективное управление и принятие решений в условиях неопределенности часто требует использования предметно-ориентированного подхода к проектированию, также известного как Domain-Driven Design или DDD. В основе этого подхода лежит глубокое понимание предметной области, включая ее язык, процессы, структуры и ключевые проблемы. Разработка и использование предметно-ориентированного языка (DSL) стандартизирует коммуникацию между участниками проекта, что улучшает понимание и снижает риск ошибок из-за неопределенности.

Активное взаимодействие с заинтересованными сторонами и итеративный процесс решения задач позволяют лучше понять потребности, цели и ожидания, оперативно реагировать на изменения и принимать обоснованные решения. Применение предметно-ориентированного проектирования способствует точному и эффективному моделированию, анализу и управлению системами в условиях неопределенности, создавая гибкую архитектуру, способную быстро адаптироваться к изменениям внешней среды и требованиям бизнеса.

Подход DDD предполагает разработку специализированных методов и моделей, адаптированных к конкретным областям применения. Рассмотрим ГОК с точки зрения предметно-ориентированного подхода. Здесь предметно-ориентированный подход должен учитывать такие уникальные особенности отрасли, как сложность геологической структуры, специфика технологических процессов добычи и пе-

переработки руды, характеристики сырья и требования к качеству выходной продукции.

Выделим следующие уровни моделирования комбината (см. рисунок ниже):



Рисунок 3 – Уровни моделирования горнообогатительного комбината

– операционная модель комбината отражает состояние работников, распределение операций между ними, наличие резервов, равномерность загрузки и эффективность их использования;

– технологический уровень позволяет рассмотреть эффективность использования ресурсов/оборудования, оценить время максимальной загруженности оборудования, распределение ресурсов и связь между узлами в процессе переработки;

– продуктовый уровень демонстрирует движение сырья по технологическому процессу, уровень качества промежуточной продукции и количество потерь полезного продукта по всей цепи переработки;

– экономический слой показывает уровень затрат на производство продукции (прямые и косвенные расходы), формирует оценку объема потерь и дополнительных затрат, возникших в процессе переработки;

– экологический уровень предоставляет оценку воздействия процесса производства на окружающую среду (объемы выбросов, площади хвостохранилищ) и эффективность мер по ее снижению;

– социальный уровень формирует оценку влияния деятельности комбината на показатели качества жизни работников и жителей смежных территорий;

– кооперационный уровень модель отражает взаимодействия предприятия как части кооперативной структуры с другими участниками группы металлургических компаний и его влиянии на общий успех коллектива.

Очевидным является наличие на каждом уровне моделирования ограниченного контекста и своего языка рассмотрения. Будь то это специалисты геологоразведки, анализирующие объемы залежей руды в карьере или технологи, отвечающие за качество обогащения руды и высокий уровень содержания железа в железорудного концентрате.

Решение задач проблемно-ориентированного моделирования систем на всех этапах включает в себя несколько ключевых задач, обеспечивающих адаптацию к специфике предметной области, идентификацию проблем, формирование общего языка. Рассмотрим ключевые аспекты анализа предметной области, которые позволяют сформировать целостное понимания основных процессов и особенностей

данных, а также разработать специализированные модели на разных уровнях представления СТС с учётом регулирующих факторов.

Учёт особенностей данных

Каждая отрасль имеет свои уникальные типы данных и специфические методы их обработки. Например, для горнодобывающей промышленности это данные о геологических структурах, характеристиках руды и параметрах оборудования. Модели и методы анализа должны быть готовы эффективно работать с такими данными, учитывая их специфику.

Понимание основных процессов

Предметно-ориентированный подход требует глубокого понимания основных процессов и задач, характерных для отрасли. Например, в горнодобывающей промышленности это процессы добычи, транспортировки и обработки руды, а также управление безопасностью и охраной окружающей среды.

Разработка специализированных моделей

Для решения конкретных задач могут потребоваться специализированные модели, учитывающие особенности отрасли. Например, это могут быть модели геологических структур, поведения оборудования или прогнозирования рисков аварий.

Учёт регулирующих нормативов и стандартов

Каждая отрасль подчиняется своим регулирующим нормативам и стандартам, которые необходимо учитывать при разработке методов и моделей. Например, в горнодобывающей промышленности это стандарты безопасности и экологической устойчивости.

Для построения операционной модели переработки сырья представим технологический процесс в виде ориентированного графа в узлах, которого находятся группы оборудования (см. рисунок 4).

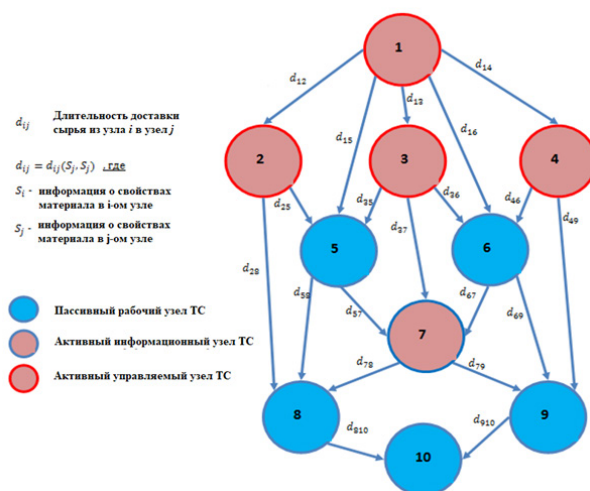


Рисунок 4 – Пример технологической сети процесса переработки руды

С помощью агентного моделирования разместив в узлах процесса программных агентов, которые осуществляют мониторинг состояния оборудования, качества поступающего материала и обмениваются данной информацией друг с другом – это позволяет реализовать модель агентного принятия решения. Применение нечеткой логики в моделировании процесса управления позволяет извлекать экспертные знания технолога и использовать полученную базу

знаний агентами для управления оборудованием в своих узлах (см. рисунок ниже) [3].

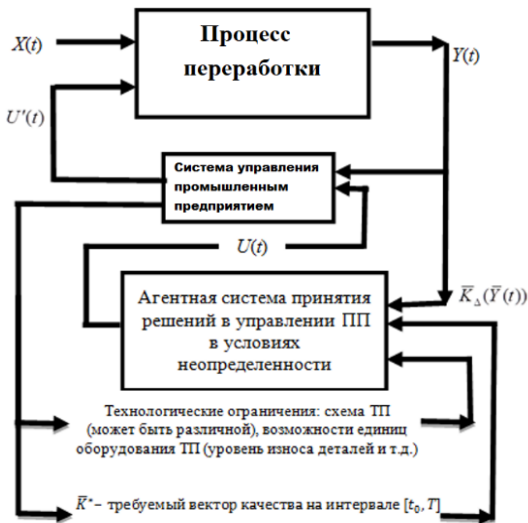


Рисунок 5 – Модель агентного принятия решений

На основе сформированного описания операционной модели была реализована продуктовая модель движения сырья по процессу переработки и как надстройка над агентная модель принятия решений. В рамках решения рассматриваемой задачи были построены и дополнительные модели отражающие, как и информационные, так и программный уровни реализации предложенной системы агентного принятия решения. Результаты экспериментов с полученной многослойной имитационной моделью показали, что при осуществлении регулярно контроля качества материала в узлах процесса переработки, можно увеличить объемы перерабатываемого сырья минимум на 3 %, что составляет более полумиллиона тонн в год [1].

Таким образом, можно выделить следующие уровни построения моделей СТС с точки зрения предметно-ориентированного подхода (см. рисунок ниже).



Рисунок 6 – Уровни построения моделей СТС с точки зрения предметно-ориентированного подхода

Профессионалы должны владеть умением адаптироваться к быстро меняющимся технологическим условиям и работать в междисциплинарных командах. Знание и применение последних достижений в области искусственного интеллекта, машинного обучения, облачных технологий, а также виртуальной и дополненной реальности, Интернета вещей, обработки больших данных и технологий распределенного реестра становится необходимым для успешной работы.

Основные методологии, лежащие в основе анализа и моделирования систем, включают математическую теорию, теорию управления и принятия решений, а также основы системного анализа и моделирования. Математическая теория обеспечивает инструменты для работы с неопределенностью через теорию вероятностей, статистику, математическую логику и байесовскую статистику. Теория управления и принятия решений предлагает методы оптимизации, анализа альтернатив и эффективного управления. В то же время, системный анализ и моделирование помогают в идентификации ключевых характеристик систем и разработке компьютерных моделей для их анализа и оптимизации.

Искусственный интеллект и машинное обучение играют ключевую роль в автоматизации адаптации к изменениям и принятии решений на основе анализа данных. Эти технологии позволяют разрабатывать алгоритмы и модели, способные самостоятельно улучшаться и принимать решения в условиях неопределенности.

Таким образом, область анализа и моделирования систем управления и принятия решений является мультидисциплинарной и постоянно развивающейся, требующей от специалистов глубоких знаний в различных областях и умения интегрировать современные технологии в свою работу.

Совмещение научных и практических знаний с применением соответствующих инструментов позволяет специалисту эффективно анализировать проблемные ситуации, формулировать задачи, разрабатывать модели и методы для их решения, а также оценивать результаты принятых решений.

Практический базис, требуемый на различных этапах решения задачи, включает основные методологии и инструментарий, представленные ниже.

1. Идентификация проблемы и потребностей

– Методы: интервьюирование, фокус-группы, «Дельфи», мозговой штурм, Story telling, Event storming; анкетирование; диаграмма Исикавы; фотографии рабочего дня; Impact Mapping; деревья целей и др.

– Инструменты: для анкетирования Google Forms, SurveyMonkey, Typeform; для фокус-групп и мозгового штурма (Zoom, Яндекс. Телемост, xmind) и др.

2. Сбор и анализ данных

– Методы: контент-анализ, статистический анализ и визуализация.



– Инструменты: ETL инструменты (например, Talend, Informatica), статистические пакеты (например, R, Python с библиотекой Pandas), инструменты для анализа текста (например, NVivo), инструменты анализа и визуализации данных (Loginom, Tableau, DataLens) и др.

3. Моделирование системы

– Методы: концептуальное, логическое и физическое моделирование системы, структурно-функциональный подход (семейство нотаций IDEF, DFD); ООП подход (UML), DDD (archi, C4) и др.

– Инструменты: draw.io, visual paradigm, archimate и др.

4. Оценка рисков и неопределенности

– Методы: матричные и сетевые методы, аналитические инструменты для принятия решений (например, дерево решений, метод Монте-Карло), экспертные системы, методы стратегического анализа факторов внешней и внутренней среды PEST, ПРиМ, SWOT и сценарное планирование.

– Инструменты: MS Excel, RiskAMP, ModelRisk, Evolver, пакеты Matlab, например, Simulink, FuzzyLogic и др.

5. Проектирование и разработка решений

– Методы: принятие решений с учетом рисков; анализ альтернатив; оптимизационные методы; экспертные оценки; методы моделирования представленные перечисленные в п. 3, а также моделирование принятия решений с помощью нотаций DMN и BPMN; методы морфологического анализа и др.

– Инструменты: инструменты для оптимизации (например, Solver в Excel), поддержки принятия решений (например, DecisionTools Suite), моделирования процессов принятия решений (Camunda, Bizagi, Signavio), инструменты для моделирования и симуляции (например, AnyLogic) и др.

6. Реализация и оценка

– Методы: управления проектами, система сбалансированных показателей, карты процессов, экономические методы.

– Инструменты: управление проектами (MS Project, Jira, Asana, Trello), системы управления версиями (Git, SVN), системы мониторинга (Prometheus), инструменты для сбора обратной связи (Google Forms, SurveyMonkey, Typeform), бизнес-аналитика (Tableau, Power BI, Google Analytics).

Перспективы исследования заключаются в дальнейшем развитии предложенных подходов и их адаптации к различным областям знаний и профессиональной деятельности. Это включает в себя более детальное изучение конкретных инструментов и технологий, а также разработку новых методов и программ обучения, направленных на развитие комплексного и системного мышления у будущих специалистов.

Литература

1. Многоагентное управление процессом переработки сырья в условиях информационной неопределенности / А. А. Миловидова, Е. Н. Черемисина, В. Н. Добрынин, И. А. Соколов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 8. – С. 91-96. – EDN DZWXWH.

2. Миловидова, А. А. Формирование нечеткой системы оценки для системы поддержки принятия решений при управлении процессом переработки в условиях неопределенности информации о качестве материала / А. А. Миловидова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 1(49). – С. 33-48. – DOI 10.21672/2074-1707.2020.49.4.033-048. – EDN GMAGGF.

3. Миловидова, А. А. Поддержка принятия решений при управлении производством в горноперерабатывающей промышленности: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Миловидова Анна Александровна. – Волгоград, 2021. – 311 с. – EDN QOKUUV.

PROBLEM-ORIENTED MODELING OF CONTROL AND DECISION-MAKING SYSTEMS OPERATING UNDER UNCERTAINTY

A.A. Milovidova^{1,2}, V.N. Dobrynin²

¹ Russian Technological University, Moscow, Russia, milovidova@mirea.ru;

² Dubna State University, Dubna, Russia

Abstract. Factors of uncertainty affecting the functioning of sociotechnical systems are considered, methods and technologies of problem-oriented modeling of management systems and decision-making are discussed, and a technology for problem-oriented modeling of decision-making in sociotechnical systems is presented. Additionally, a list of basic knowledge and practical skills required for specialists capable of solving complex interdisciplinary tasks in their professional field is formed.

Keywords. Modeling, decision-making, domain-driven approach, sociotechnical systems.