

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы Тогжановой Кульжан Ондрисовны на тему: «Модели и методы разработки систем динамического планирования развития Smart city», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070400 – «Вычислительная техника и программное обеспечение»

Актуальность темы исследования. Различные игроки на рынке инвестиций, а также общественные институты, стали рассматривать Smart City в разрезе перспектив урбанистики и создания новых зон для кооперации производителей высокотехнологичных продуктов для нужд городского хозяйства. Городские власти многих крупных городов, прежде всего на уровне муниципалитетов, заявили о стратегиях инвестирования в проекты Smart City. Это было продиктовано стремлением повысить статус города, а также возможностью привлекать долгосрочные инвестиции. Также стала весьма перспективной идея локализации высокотехнологичного бизнеса в рамках городской инфраструктуры. При этом, перед компаниями возникли задачи, направленные на решение локальные городских проблем, среди которых можно выделить воду и энергоснабжение, транспорт и логистику, экологическую, а также информационную безопасность жителей и др. Подобные проекты неразрывно связаны с понятием динамического планирования развития Smart City. В свою очередь, подобные проекты характеризуются высокой степенью неопределенности и рискованности. В тоже время, эффективное развитие сложных динамических систем Smart City различного типа (социально-экономических, технических и др.) зависит от определения целей, которые необходимо достичь. Для крупных проектов в сфере урбанистики успех зачастую зависит, от планирования и оптимального выбора стратегий развития городской инфраструктуры с учетом всех факторов, влияющих на систему, а также учетом и преодолением разного рода неопределенностей и рисков. Основным направлением эффективного решения указанных задач является динамическое планирование (ДП) развития Smart City.

Динамическое планирование сегодня – это один из наиболее эффективных системных инструментов современного менеджмента и стратегического управления, анализа и планирования развития сложных систем, в частности, стремительно развивающихся Smart City. Динамическое планирование является эффективным методом построения и развития рациональной социально-экономической политики, а также применимо для углубленного анализа и эффективного развития инновационных технологий или масштабных инженерных проектов.

Динамическое планирование имеет три отличительные особенности, которые отличают его от других типов планирования. Первое это то, что система при построении плана рассматривается во времени с учетом наличия рисков и разнотипных неопределенностей и с учетом их изменения с течением времени. Кроме того, обязательно построение прогнозов относительно будущей эффективности плана и учета любых изменений среды. Следовательно, нужно строить гибкий план и корректировать его в соответствии с происходящими

событиями, которые влияют на результаты развития системы. Второе это то, что планирование носит долгосрочный характер, поскольку рассматриваются не только краткосрочные цели, но и долгосрочные. И третье это то, что процесс построения плана носит эволюционный характер с целью достижения наилучших результатов для текущих исходных данных.

Динамическое планирование включает в себя различные методы обработки количественной и качественной информации, методы моделирования, методы оптимизации и принятия решений на разных этапах построения планов, оценки рисков и неопределенностей. Но основным содержанием ДП является конструирование хорошо структурированных и логично выверенных динамических планов, или их элементов, разных одинаково правдоподобных и адекватных вариантов будущего плана развития системы (в частности, Smart City) и оценки эффективности этих планов.

Основой ДП является системное использование разнотипных математических моделей, методов анализа ситуаций и принятия решений, а также ИТ, ориентированные на использование в условиях риска и неопределенности. Также учитываются быстрые структурные изменения во внешней среде и в различных элементах Smart City, для построения планов и прогнозов развития, а также для решения задач стратегического планирования и управления. Планирование и прогнозирование развития Smart City и процессов различного типа связано с преодолением разного рода неопределенностей, нелинейностей и рисков, порождаемых самой системой и внешней средой в которой функционирует Smart City. Наличие неопределенностей различного типа, таких как ситуационная неопределенность, неточность и неопределенность различных параметров системы и внешней среды, недостаточность информации о системе, нелинейность и стохастичность процессов, протекающих как в Smart City, так и во внешней среде, а также большое количество рисков – все эти признаки делают проблему решения задач ДП инфраструктуры Smart City слабо структурированной и трудно формализованной. В настоящее время научно-прикладная область ДП Smart City аккумулирует в себе новейшие достижения большинства научных, эконометрических и информационных отраслей и относится к инновационным технологиям. При этом она является эффективным инструментом планирования и прогнозирования развития сложных динамических систем на различных иерархических уровнях. Потребность в эффективном планировании для Smart City растет с каждым годом и требует информационной поддержки в виде создания информационно-аналитических систем, с помощью которых можно эффективно решать задачи исследования и анализа Smart City путем оптимизации их структуры, идентификации и определения основных рисков и построения эффективных динамических планов для выбора наиболее вероятных и целесообразных путей их функционирования, развития и управления.

Следовательно, актуальной остается задача, интерес инвесторов к развитию технологии для поддержки принятия решений в ходе динамического планирования развития Smart City, и синтеза обоснованных планов развития Smart City.

Связь работы с научными программами. Выполняемая в рамках докторантуры научно-исследовательская и диссертационная работа осуществляется в соответствии с государственной программой «Цифровой Казахстан», утвержденной 12 декабря 2017 года постановлением Правительства Республики Казахстан № 827.

Цель исследования – развитие моделей, методов и информационных технологий для поддержки принятия решений в ходе динамического планирования развития Smart City.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) проанализировать пути повышения эффективности процесса принятия решений в ходе динамического планирования развития Smart City;

2) разработать модифицированный метод анализа иерархий (ММАИ) который позволит формировать согласованные матрицы парных сравнений индикаторов (МПСИ) в отдельных факторах динамического планирования развития Smart City;

3) дополнить метод эффективного управления проектным риском в ходе ДП развития Smart City с учетом параметров моделирования проектным риском в мультипроектной среде;

4) разработать и провести тестирование программного продукта (система поддержки принятия решений) в ходе рассмотрения задач ДП Smart City на основе групповых методов принятия решений.

Объект исследования – процессы принятия решений по динамическому планированию развития Smart City.

Предмет исследования – методы и модели для системы поддержки принятия решений (СППР) в ходе ДП развития Smart City.

Методы исследования. В ходе исследования, учитывая особенности предметной области и сформулированных задач диссертации, использовались:

- метод анализа иерархий (для формирования согласованных МПСИ динамического планирования развития Smart City в отдельных факторах, создания согласованной матрицы сравнений факторов и определения глобального критерия на основе факторно-индикаторных оценок ДП развития Smart City);

- методы теории игр (для решения задачи по управления проектным риском в ходе ДП развития Smart City);

- методы компьютерного моделирования (для вычислительных экспериментов);

- методы и модели для проектирования СППР (для автоматизированной генерации множеств решений в ходе оценивания вариантов ДП развития Smart City (для рассматриваемых задач); парадигма, принципы и методы объектно-ориентированного программирования для разработки СППР в целом и ее отдельных модулей.

Научная новизна:

впервые предложен модифицированный метод анализа иерархий (ММАИ) путем формирования согласованных матриц парных сравнений индикаторов (МПСИ) в отдельных факторах, создания согласованной матрицы

сравнений факторов и определения глобального критерия на основе факторно-индикаторных оценок;

получила развитие методика формализации основных шагов построения динамических планов развития Smart City, которая в отличие от существующих, пополнена этапом декомпозиции решения задачи ранжирования факторов в иерархию и создания многослойной модели оценки параметров развития Smart City;

получил развитие метод эффективного управления проектным риском в ходе динамического планирования развития Smart City, а также учитывает параметры моделирования проектным риском в мультипроектной среде, и в отличие от существующих решений, управление проектным риском описано как риски потери инвестиций в ходе динамического планирования развития Smart City, на основе использования математического аппарата многошаговых игр степени, так и игр качества с несколькими терминальными поверхностями.

Практическая ценность.

Описано программное решение и главные формы для модуля СППР, который реализует на языке C# ММАИ. Программная реализация ММАИ выполнена путем формирования согласованных МПСИ в отдельных критериях (или факторах), создания согласованной матрицы сравнений факторов и определения глобального критерия на основе факторно-индикаторных оценок. В ходе тестирования данного модуля на примере задачи оценки уровня энергоэффективности планов развития Smart City, показано, что использование предлагаемого метода и в целом методики ДП, позволяет упорядочить, алгоритмизировать и корректировать процедуру экспертной оценки разноименных факторов и повысить качество получаемых результатов на формирование процесса принятия решений в ходе ДП развития Smart City. Предложено программное решение и главные формы для модуля СППР, который реализует на языке C# модель при оценке рисков потери инвестиций в ходе ДП развития Smart City. В отличии от существующих решений, предложенная модель и ее программная реализация, дают конкретные рекомендации при оценке рисков потери инвестиций в ходе ДП развития Smart City. Модуль реализован на основе использования математического аппарата многошаговых игр степени, и игр качества с несколькими терминальными поверхностями. Показано (для примера оценки проекта, связанного с энергоэффективностью планов развития Smart City), что при неудовлетворительном прогнозе рисков, возможна гибкая корректировка параметров процесса инвестирования с целью достижения сторонами приемлемого финансового результата.

Личный вклад соискателя. Все результаты диссертационной работы, которые выносятся на защиту, получены докторантом лично. Среди основных результатов: модифицированный метод анализа иерархий (ММАИ), что достигнуто путем формирования согласованных МПСИ в отдельных факторах, создания согласованной матрицы сравнений факторов и определения глобального критерия на основе факторно-индикаторных оценок; дополнен метод эффективного управления проектным риском в ходе динамического планирования развития Smart City, а также моделирование проектным риском в

мультипроектной среде; модель для СППР при оценке рисков потери инвестиций в ходе динамического планирования развития Smart City.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации и результаты исследования докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры и на конференциях:

1. XV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «GYLYM JANE BILIM – 2020» (Казахстан, Нұр-Сұлтан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2020) .

2. Международная научно-практическая конференция «Ғылым және инновациялар: жаңалықтар, мәселелер мен жетістіктер» (Казахстан, Алматы, 2020)

3. XI Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» посвященная 45-летию образования АУЭС имени Гумарбека Даукеева, (Казахстан, Алматы, АУЭС, 2020)

4. Международный Конгресс «Инновационные технологии в логистике, транспорте и образовании». (Казахстан, Алматы, АЛТ, 2021 г.)

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в печатных работах, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в базу Scopus; 4 статьи в журналах, рекомендованных КОКСОН МОН РК; 6 публикации в материалах международных конференций и научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, изложенных на 127 страницах и содержит 38 рисунков, 8 таблиц, 124 использованных источников и 3 приложения.

Во введении была определена актуальность исследования и показаны проблемы, связанные с темой, изучена степень научной разработанности темы, установлены объект и предмет исследования, цель, сформулированы задачи и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ предшествующих исследованию и информационных технологии для динамического планирования развития Smart City, анализ информационных систем поддержки принятия решения по развитию городской инфраструктуры, анализ предшествующих исследованию в области моделирования рисков, оказывающих влияние на развитие сложных систем, а также многокритериальные и многоцелевые методы анализа и принятия решения в процессе динамического планирования развития сложных систем. Также в данной главе приводятся основные понятия диссертационного исследования, дается пояснение. Проблема эффективного решения задач динамического планирования и принятия решения, как нового инструмента современных информационных технологии планирования и прогнозирования, по развитию Smart City, а также недостаточный уровень научного и методологического исследования этих вопросов, делает актуальным проведение новых глубоких исследований в данной области. Приведена постановка задачи исследования.

Постановка задач ДП может различаться по следующим признакам: наличие связей между задачами, тип строящегося плана развития Smartcity (оперативный или досрочный), наличия неопределенностей разного типа и рисков, типу целевых функций и ограничений.

При построении динамического плана развития Smart city на различных этапах возникает необходимость решения следующих основных задач:

1. Задачи анализа информации. На этом этапе анализируется информация и определяются цели построения плана (главные и вспомогательные), и выполняется их ранжирование.

2. Задачи построения структуры динамического плана (состава и количества этапов). Кроме того, подробно определяются возможные варианты плана их структура и временные ограничения для плана.

3. Задачи определения и учета неопределенностей и рисков развития Smartcity.

4. Задачи моделирования динамического плана. Моделируются структура и параметры планаразвития Smartcity.

5. Прогнозирование главных показателей планирования.

6. Принятие решений и выбор оптимального варианта плана развития Smartcityс учетом всех критериев и оценки эффективности плана.

Во второй главе определены главные задачи и этапы динамического планирования развития Smart City.

Для решения задач эффективного динамического планирования развития Smart City и принятия решений необходим анализ внешней среды (анализ текущей ситуации), в которой функционируют объекты планирования. Внешняя среда определяется как совокупность экономических, социальных и политических факторов и субъектов, непосредственно или косвенно влияющих на возможность и способность достигать поставленных целей при планировании]. Для ориентации во внешней среде с целью решения задач динамического планирования развития Smart City необходимо четко определить основные характеристики внешней среды (ситуации). Можно определить следующие основные характеристики внешней среды]:

1. Сложность – количество и разнообразие факторов, которые будут влиять на процесс планирования развития Smart City;

2. Множество связей между факторами, то есть сила, с которой изменение одного параметра (фактора) влияет на изменение других параметров плана развития Smart City;

3. Динамичность – скорость, с которой происходят изменения во внешней среде (изменения ситуации), и скорость воздействия на план развития Smart City, который разрабатывается первоначально;

4. Неопределенность (слабая структурированность).

Выделение и обработка такого рода информационных характеристик и анализ информации для описания среды свидетельствует о том, что необходимо применять системный подход и рассматривать внешнюю среду как систему или совокупность систем, которые влияют на разрабатываемый план развития Smart City. Именно в рамках этого подхода принято представлять любые объекты в виде структурированной системы, выделять элементы системы, взаимосвязи между ними и динамику развития элементов и всей системы в целом. Поэтому анализ и обработка информации, используемой для изучения внешней среды и накопления необходимой информации для дальнейшего использования на различных этапах динамического планирования развития Smart City,

необходимо рассматривать как необходимый компонент динамического планирования.

Разработана последовательность решения задач динамического планирования. Представлена математическая постановка задачи динамического планирования развития Smart City. Формализованы основные шаги построения динамических планов по развитию Smart City. Предложенная классификация типов задач многокритериального выбора и механизмов многокритериального выбора. Разработана методология и процедуру выбора в задачах динамического планирования и принятия решения по развитию Smart City. А также показано, что для обеспечения эффективного решения задач динамического планирования развития Smart City необходимо разработать и использовать следующие типы информационных технологии: анализа и оценки информации; моделирования динамических планов; прогнозирования; поддержки принятия решения. На основе системного использования методов: анализа данных; моделирования; прогнозирования; принятия решения разработан метод синтеза информационных технологии для решения задач динамического планирования развития Smart City. Предложена методика использования информационных технологии для различных типов задач планирования развития Smart City. Рассмотрен пример декомпозиция решении задачи ранжирования факторов в иерархию и создания многослойной модели оценки параметра развития Smart City. В качестве такого параметра рассмотрена энергоэффективность объектов и описан процесс ранжирования факторов. Модифицирован метод анализа иерархии путем формирования согласованных матриц парных сравнении индикаторов в отдельных факторах Показано, что использование предлагаемой методики позволяет упорядочить, алгоритмизировать и корректировать процедуру экспертной оценки разноименных факторов и повысить качество получаемых результатов на формирование процесса принятия решения в ходе динамического планирования развития Smart City.

В третьей главе диссертации предложен метод эффективного управления проектным риском в ходе динамического планирования развития Smart City, а также моделирование проектным риском в мультипроектной среде.

Проблема управления рисками является чрезвычайно широкой и важной, ведь она возникает в самых различных областях деятельности человека. Более того, понятие риска определяется в зависимости от сферы применения по-разному, и именно в проектной деятельности (стратегическое планирование, динамическое планирование, управление проектом и оперативное корректировки хода его выполнения) возникают самые разнообразные виды рисков.

В свою очередь, проектный тип управления все больше популярен, что связано с динамичным развитием в области информационных технологий, так как, собственно, в этой области виды деятельности являются уникальными, продукция быстро обновляется, необходима эффективная координация имеющихся ресурсов для достижения цели, а также четко определены границы во времени для каждого продукта – будь то для информационной системы (ИС) или для конкретного объекта информатизации (ОБИ). В частности, речь идет о проектах программного или аппаратного обеспечения для локальных задач

управления энерго и водораспределением, мониторинга окружающей среды, дорожной обстановки и т.п. в Smart City.

Именно поэтому проблемы исследования и управления рисками при динамическом планировании развития Smart City и соответствующей проектной деятельности являются важными и актуальными как с теоретической, так и практической точек зрения.

Для проверки эффективности метода выполнено имитационное моделирование. Рассмотрены примеры эффективного распределения ресурсов между двумя проектами развития ИТ для Smart City в мультипроектной среде. Установлено, что описанный метод целесообразно использовать для распределения невозобновляемых ресурсов между проектами, функционирующими в мультипроектной среде в условиях конкуренции.

Предложена модель для вычислительного ядра системы поддержки принятия решения (СППР) при оценке рисков потери инвестиции в ходе динамического планирования развития Smart City. В отличие от существующих решений, предложенная модель дает конкретные рекомендации при оценке рисков потери инвестиции в ходе динамического планирования развития Smart City, на основе использования математического аппарата многошаговых игр степени, так и игр качества с несколькими терминальными поверхностями. При неудовлетворительном прогнозе рисков, возможна гибкая корректировка параметров процесса инвестирования с целью достижения сторонами приемлемого финансового результата.

Показано, что отличительной особенностью рассмотренного подхода, является использование инструментария, основанного на решении билинейной многошаговой игры как качества с несколькими терминальными поверхностями, так и игры степени, решаемой в классе смешанных стратегии. Вычислительные эксперименты проведены с помощью пакета математического моделирования Maple.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработана СППР. В СППР реализована модель оценивания рисков, базирующаяся на применении методов теории многошаговых игр. Разработанная СППР позволяет уменьшить расхождения данных прогнозирования рисков потери инвестиции в ходе динамического планирования развития Smart City и реальной отдачи от инвестирования.

В четвертой главе были рассмотрены практические аспекты программной реализации многомодульной системы поддержки принятия решения в ходе рассмотрения задач динамического планирования на основе групповых методов принятия решения.

При проектировании системы поддержки принятия решений для решения задач динамического планирования развития Smart City и принятия управленческих решений необходимо объединить в единую систему все функциональные модули, которые обеспечивают процесс планирования и принятия решений.

В главе представлена структура СППР для решения задач динамического планирования и принятия решений, принимаемых в ходе анализа отдельных проектов развития Smart City. Разработанная СППР состоит из нескольких подсистем и предусматривает модульно-блочное построение. Такая

архитектура СППР позволила реализовать ее достаточно гибкой, что дает возможность при необходимости дополнять уже реализованное решение новыми функциональными модулями, ориентированными на выполнение расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе динамического планирования развития Smart City. Минималистичный интерфейс СППР делает простым и интуитивно понятным процесс общения между пользователями СППР и внутренними элементами системы и обеспечивает ввод и вывод информации для лица принимающее решение (ЛПР).

Интерфейс для ЛПР отделен от подсистемы хранения данных. Такая организация хранения и получения данных в ходе расчета обеспечивает возможность выбрать оптимальную систему управления данными для определенной практической задачи и снимает необходимость будущего структурного преобразования СППР при внедрении новых, более современных СУБД.

Главная подсистема СППР через меню выбора соответствующего модуля обеспечивает реализацию процесса анализа и решения конкретной задачи в соответствии с общей структурой решения многоцелевых задач. При этом для осуществления определенных процедур подключаются и применяются соответствующие модули, входящие в состав подсистемы функциональных модулей. Такие модули предназначены для имплементации разработанных методов и подходов, применяемых в процессе многоцелевого принятия решений, и предусматривают возможность дальнейшего совершенствования и развития данного программного продукта без необходимости корректировки других элементов СППР.

Архитектура разработанной СППР легко модифицируется к решению других задач принятия решений, а также к возможностям применения других методов многоцелевой оптимизации и принятия решений.

Главная форма многомодульной СППР для задач динамического планирования развития Smart City, спроектирована как MDI приложение. Реализация всех модулей выполнена на языке C# в среде программирования Visual Studio 2019.

Описано программное решение и главные формы для модуля СППР, который реализует на языке C# :

- модифицированный метод анализа иерархии. Программная реализация модифицированного метода анализа иерархии (ММАИ) выполнена путем формирования согласованных матриц парных сравнении индикаторов в отдельных критериях (или факторах), создания согласованной матрицы сравнении факторов и определения глобального критерия на основе факторно-индикаторных оценок;

- модель при оценке рисков потери инвестиции в ходе динамического планирования развития Smart City.

В отличии от существующих решения, предложенная модель и ее программная реализация, дают конкретные рекомендации при оценке рисков потери инвестиции в ходе динамического планирования развития Smart City. Модуль реализован на основе использования математического аппарата многошаговых игр степени, и игр качества с несколькими терминальными поверхностями. Показано (для примера оценки проекта, связанного с

энергоэффективностью планов развития Smart City), что при неудовлетворительном прогнозе рисков, возможна гибкая корректировка параметров процесса инвестирования с целью достижения сторонами приемлемого финансового результата.

В заключении приводятся основные результаты и выводы диссертационного исследования. Уровень достоверности и результаты апробации. Обоснованность и достоверность исследования соответствуют обоснованным обязанностям задачи, анализу критериев и состоянию исследованию в данной области, большому количеству проведенных экспериментов и успешной реализации их на практике.