

На правах рукописи

ГЛАДКИХ Валерия Сергеевна

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ УЧАСТИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
В ТЕНДЕРАХ НА ОСНОВЕ СТОИМОСТНОГО
ИНЖИНИРИНГА**

Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных
и экономических системах

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный руководитель: **Алексеев Александр Олегович**,
кандидат экономических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Коваленко Анна Владимировна**
доктор технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Кубанский
государственный университет»,
заведующая кафедрой «Анализ данных
и искусственный интеллект»

Жеглова Юлия Германовна
кандидат технических наук,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследова-
тельский Московский государственный
строительный университет»,
доцент кафедры информационных
систем, технологий и автоматизации
в строительстве

Ведущая организация: Государственное автономное образова-
тельное учреждение Астраханской обла-
сти высшего образования «Астраханский
государственный архитектурно-
строительный университет», г. Астрахань

Защита состоится «16» июня 2022 г. в 16:00 на заседании
Диссертационного совета Д ПНИПУ.05.01 на базе ФГАОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский политехнический университет» по адре-
су: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, дом 29, аудитория 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический
университет» (<http://www.pstu.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат экономических наук, доцент

Алексеев Александр Олегович

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. При постановке и исследовании задачи организационного управления бизнес-процессом участия строительной организации в тендерах на выполнение строительно-монтажных работ (СМР) выявлены три научные проблемы. К первой проблеме относится наличие игровой неопределенности, выражающейся в сложности прогнозирования участия и стратегии поведения конкурентов в тендере. Ко второй проблеме относится наличие информационной неопределенности, так как исходные данные о строительном объекте ограничены, что в случае выигрыша проявляется в разнице между планируемыми и фактическими объемами работ и их стоимостями. К третьей проблеме относится неточность существующих методов определения сметной стоимости СМР. Последняя проблема выражается в отсутствии возможности внесения корректировок в используемые расценки за счет их декомпозиции на отдельные строительные операции, невозможности учета разнообразных сочетаний стесненных условий труда и аутсорсинга строительной техники, а также неадекватном определении фактических косвенных затрат организации и строительных рисков, которые могут возникнуть на объекте. Кроме того, квалификация сотрудников, занимающихся подготовкой коммерческих предложений (КП) на выполнение СМР, как правило, не позволяет осуществлять адекватный выбор расценок. Поэтому нужна многопользовательская информационная система, поддерживающая возможность создания базы данных внутрифирменных расценок и одновременно простого и удобного интерфейса. Эти обстоятельства определяют **необходимость** разработки систем поддержки принятия решений (СППР), предназначенной для снижения неопределенности в тендерной деятельности и повышения эффективности функционирования строительных организаций.

Степень разработанности темы. Механизмы институционального, мотивационного и информационного управления организационными системами применимы в бизнес-процессах участия строительной организации в тендерах на выполнение СМР. Развитием теории управления организационными системами, сформировавшейся на базе теории активных систем, занимались такие исследователи, как В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, М.В. Губко, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин, С.Н. Петраков, А.К. Еналеев, А.Г. Чхартишвили, В.В. Кондратьев, А.Ю. Глушков и др.

Теория активных систем получила широкое применение во многих сферах, в том числе в строительстве, где наибольшее количество работ в этой области опубликовано Б.П. Титаренко, С.А. Баркаловым и их коллегами – В.Е. Белоусовым, З.Б. Тутаришевым, Т.А. Авериной, М.А. Крючковой, О.Н. Бекировой, М.С. Трифионовой, Ю.Г. Жегловой и др. Однако с помощью методов теории активных систем задача организационного управления процессом участия строительной организации в тендерах не исследовалась.

Для формализации модальных суждений активных Агентов*, обладающих способностью исказить информацию, широкое применение получила

* Терминологическая расшифровка приводится в описании содержания первой главы диссертации.

теория нечетких множеств Л. Заде. Впоследствии нечеткие множества исследовались такими учеными, как М.Б. Гитман, С.Л. Блюмин, S. Rashid, A. Kofman, M.S. Islam, M.P. Nepal, M. Skitmore, R. Drogemuller, и др. Аппарат теории нечетких множеств нашел применение и в механизмах управления организационными системами, в частности Н.Г. Андронниковой, С.В. Леонтьевым, Д.А. Новиковым были предложены процедуры нечеткого комплексного оценивания, которые позже получили развитие в работах В.А. Харитонов, А.А. Белых, Р.Ф. Шайдулина, А.О. Алексеева.

Вопросами организации и управления строительными тендерами занимались такие специалисты, как А.Ю. Решетова, Г.Г. Малыха. Е.А. Раевская предлагала производить оценку проектов с помощью созданной ею системы поддержки принятия решений, являющейся аналогом системы конкурсных отборов. М.В. Черновалова разработала нечеткие прецедентные методы, модели и алгоритмы поддержки принятия решений по управлению проектами с представлением знаний в виде набора онтологий. Д.П. Ануфриев, И.Ю. Петрова и О.М. Шиккульская предложили подход к созданию региональной информационной системы поддержки деятельности организаций, включенных в строительный кластер.

В строительстве исследователи не обходят стороной вопрос об учете факторов, стесняющих условия труда, этими темами занимались как отечественные, так и зарубежные исследователи (J. Lee, A. Al-Jamous, M. Werner, M. Kaiser, R. Thyroff, V. Gehrke).

Однако, в связи с неточностью существующих методов определения сметной стоимости СМР, сотрудники организации, которые непосредственно осуществляют подготовку КП и участвуют в тендерной деятельности, испытывают необходимость в поддержке принятия решений с целью повышения эффективности функционирования строительных организаций, что и определило объект, предмет, цель и задачи выполненного исследования.

Объектом исследования является система управления процессом подготовки и участия строительной организации в тендерах на выполнение СМР.

Предметом исследования – математические методы, модели и информационные технологии стоимостного инжиниринга в строительстве.

Цель исследования – повышение точности результатов стоимостного инжиниринга на этапе подготовки КП на выполнение СМР.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) разработать метод оценки различных условий труда, стесняющих выполнение СМР;
- 2) модифицировать базисно-индексный метод (БИМ) сметного ценообразования в строительстве;
- 3) разработать прототип многопользовательской информационной системы стоимостного инжиниринга в строительстве;
- 4) оценить точность результатов стоимостного инжиниринга при использовании предлагаемых методов и информационных технологий в деятельности строительных организаций.

Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:

1. Создан новый метод обработки информации об условиях подготовки рабочего места по причине стесняющих условий труда. Данный метод основан на формализации составных правил вывода о факторах сложности в форме иерархичных матричных механизмов комплексного оценивания и отличается от существующих использованием аддитивно-мультипликативной непрерывной процедуры комплексного оценивания, что обеспечивает чувствительность коэффициента стесненных условий труда к незначительным изменениям физических параметров учитываемых факторов. Новый метод позволяет специалисту коммерческого отдела строительной организации адекватно учесть стесняющие условия труда, при подготовке КП для участия строительной организации в тендере (п. 6 паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ – *Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления социальными и экономическими системами*).

2. Создан метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений специалистов коммерческого отдела строительных организаций на этапе подготовки КП для участия в тендерах. В основе метода лежит модифицированный базисно-индексный метод стоимостного инжиниринга, названный операционным базисно-индексным методом (ОБИМ), поскольку СМР рассматриваются как совокупность строительных операций. Другими отличиями являются применение новых коэффициентов корректировки на использование строительной техники по аутсорсингу, на разницу между прямыми затратами и затратами с учетом косвенных издержек, на риск возникновения непредвиденных расходов. Модифицированный метод стоимостного инжиниринга обладает большей точностью, что повышает эффективность функционирования строительных организаций при участии в тендерах (п.10 паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ – *Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах*).

3. Создано программное обеспечение СППР специалистов коммерческого отдела строительных организаций для участия в тендерах в виде прототипа многопользовательской информационной системы. Отличием созданной информационной системы от существующих является наличие новых модулей, функциональное назначение которых заключается в декомпозиции состава работ единичных расценок; расчета коэффициента стесненных условий труда; оценки рисков, которые могут присутствовать на строительном объекте. Созданная информационная система позволяет работать в ней не только узконаправленным стоимостным инженерам (сметчикам), но и другим специалистам организации, которые получили задачу по разработке КП для участия в тендере (п. 5 паспорта специальности 05.13.10 ВАК РФ – *Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах*).

Теоретическая значимость заключается в постановке и исследовании задачи организационного управления процессом участия строительной организации в тендерах на выполнение СМР. Компьютерное моделирование мультиагентной системы, в которой виртуальные агенты соревнуются за по-

лучение контрактов на выполнение СМР, показало, что снижение погрешности методов сметного ценообразования с 30 до 15 % повышает эффективность функционирования строительных организаций на 68 %.

Кроме того, в результате исследования частично решена проблема неопределенности сметной стоимости, являющаяся одним из трех препятствий для теоретического исследования сформулированной задачи аналитическими методами и в соответствии с положениями теории управления организационными системами.

Практическая значимость. Разработанная модель организации процесса подготовки КП при участии строительных организаций в тендерах на выполнение СМР, описанная в нотации BPMN 2.0, может стать основой для разработки регламентов работы и взаимодействия специалистов и структурных подразделений строительных организаций, что позволит использовать разработанную СППР и соответствующее математическое и программное обеспечение систем сметного ценообразования или совершенствовать существующие программные продукты.

Кроме того, созданное математическое и программное обеспечение СППР повышает точность результатов сметного ценообразования, что осуществляется за счет учета актуальных операций в составе работ, расценок на аутсорсинг крупной строительной техники, реальных косвенных затрат организаций, а также за счет оценки строительных рисков, присутствующих на объекте, в том числе с помощью программного модуля и прототипа информационной системы, которые автоматизируют необходимые расчеты, снижают трудоемкость процесса и могут использоваться в практике организаций. Результаты опытной эксплуатации СППР в деятельности ООО «Архитектор», ООО «Теракон», ЗАО «ПРОМИНФОРМ», а также индивидуального предпринимателя Росский Д.П. показали, что точность сметного ценообразования повысилась почти втрое, что в некоторых случаях позволило избежать убытков, а в некоторых – увеличить рентабельность.

Представленные в четвертой главе диссертации реальные расчеты КП могут рассматриваться как руководство по эксплуатации разработанной СППР.

Методология и методы исследования. Теоретическую и методологическую основу исследования составляют теория активных систем, теория управления организационными системами, отдельные методологические положения экономики строительства.

В исследовании применялись методы имитационного (компьютерного) моделирования поведения активных агентов, в частности методы теории игр, теории активных систем; для агрегирования гетерогенных параметров применялись иерархические матричные механизмы комплексного оценивания, в частности аддитивно-мультипликативный механизм непрерывного комплексного оценивания и механизм комплексного оценивания критериев, в отношении которых известно распределение вероятностей.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность теоретических результатов обуславливается их соответствием методологии управления, теории управления организационными системами и методологическим положениям экономики строительства. Достоверность метода обра-

ботки информации об условиях подготовки рабочего места подтверждена в ходе испытания и тестирования созданного программного модуля, автоматизирующего данный метод. Достоверность результатов СППР, основанной на методах стоимостного инжиниринга, подтверждается сравнением сметных расчетов и фактических затрат, понесенных строительными организациями, что отражено в актах/справках внедрения. Корректность работы СППР подтверждена в ходе опытной эксплуатации.

Апробация полученных результатов была проведена на следующих международных и всероссийских конференциях: «Инновационные подходы в современной науке» (Москва, 2018); «Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона» (Ялта, 2018); «Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона» (Ялта, 2019); «Строительство, архитектура и техносферная безопасность: материаловедение и инженерия» (Челябинск, 2019); «Математика и междисциплинарные исследования» (Пермь, 2020); «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития (САТРИД 2020)» (Нальчик, 2021), 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA) (Липецк, 2021).

Публикации. По теме диссертационной работы было опубликовано 12 научных работ, в том числе три – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, две работы в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах и системах цитирования (Web of Sciences Core Collection, Scopus), а также получено два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности исследуемого вопроса, приведены объект, предмет, поставлена цель и необходимые задачи для достижения данной цели, положения о научной новизне, сведения о результатах внедрения разработанного метода, апробация и публикации.

В первой главе произведен анализ исследований в области управления организационными системами, сформулирована задача организационного управления бизнес-процессом участия строительной организации в тендерной деятельности с использованием механизмов мотивационного управления.

Для исследования сформулированной задачи разработан компьютерный симулятор мультиагентной системы, в которой виртуальные агенты соревнуются за получение контрактов на выполнение СМР. В данном симуляторе было выполнено 1500 вычислительных экспериментов. Компьютерная имитация осуществлялась путем сравнения результатов участия организации в одних и тех же тендерах и внешних условиях (конкурентных предложений), но с использованием разных подходов к определению стоимости СМР. Так, применяя существующий метод ценообразования с погрешностью до

30 % (БИМ), организация из 1500 тендеров выиграет в 585 случаях (рисунок 1), из которых получит прибыль в 254 закупках, а в 331 случае – убыток из-за неточности используемого метода. В случае использования в 2 раза более точного метода (ТБИМ) организация выиграет 519 раз из 1500, однако при этом убыток будет всего в 32 случаях и в 487 случаях организация извлечет прибыль. Из этих 487 тендеров организация выиграла бы в 238 закупках, используя менее точный метод (БИМ), однако в 99 % случаев (235) прибыль при более точном методе (ТБИМ) оказалась больше.

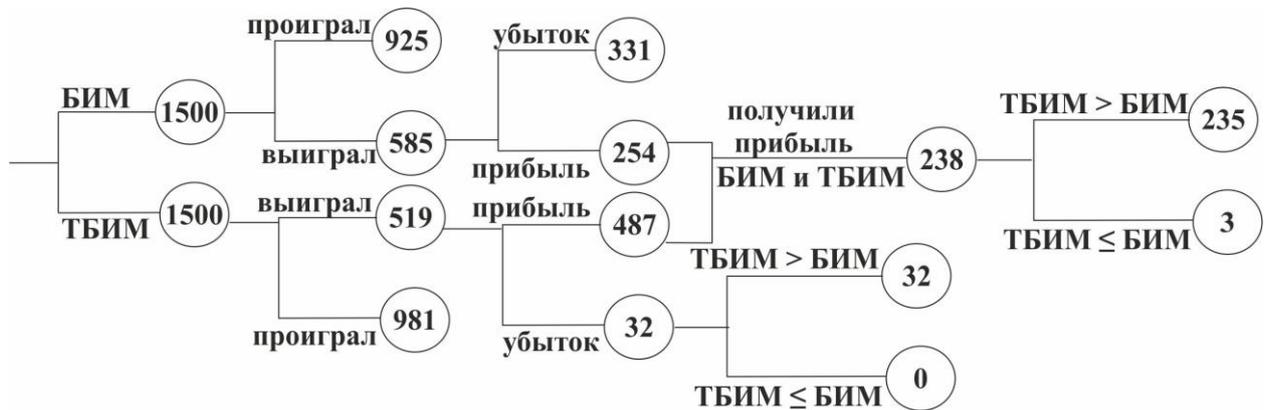


Рисунок 1 – Результаты 1500 вычислительных экспериментов

Кроме того, на основе экспериментальных результатов исследовалась эффективность применения Центром* различных систем поощрений $\sigma(\cdot)$ Агента за количество выигранных тендеров и сумм контрактов, а также штрафов $h(\delta)$ за размер отклонений сметной стоимости от фактических затрат δ . Доля поощрения $\sigma(\cdot)$ и штрафа $h(\delta)$ рассматривалась в размерах 0,1; 0,15 и 0,2. В результате исследована зависимость целевой функции Агента и Центра от принятой системы мотивации. Ниже представлены результаты целевых функций Агента и Центра при расчете КП с использованием БИМ (таблица 1) и с использованием более точного ТБИМ (таблица 2).

Таблица 1 – Значения целевой функции Агента и Центра при использовании БИМ в зависимости от размера вознаграждения и штрафа

Вознаграждение	Штраф		
	$h(\delta) 0,2$	$h(\delta) 0,15$	$h(\delta) 0,1$
$\sigma(\cdot) 0,1$	9 053,82 / 393 790,56	25 191,43 / 377 652,95	41 329,04 / 361 515,34
$\sigma(\cdot) 0,15$	45 855,95 / 356 988,43	61 993,56 / 340 850,82	78 131,17 / 324 713,21
$\sigma(\cdot) 0,2$	82 658,09 / 320 186,30	98 795,70 / 304 048,69	114 933,31 / 287 911,08

* Терминологическая расшифровка приводится в описании третьей главы диссертации.

Из данных таблицы 1 видно, что выигрыш Агента и Центра в совокупности постоянен, т.е. наблюдается игра с нулевой суммой. Для Центра более выгодной стратегией является выбор системы с минимальной долей вознаграждения и максимальной суммой штрафа. При такой системе стимулирования целевая функция Агента, естественно, принимает минимальное значение, но положительное, т.е. Агенту все же выгодно осуществление своей деятельности.

Таблица 2 – Значения целевой функции Агента и Центра при использовании ТБИМ в зависимости от размера вознаграждения и штрафа

Вознаграждение	Штраф		
	$h(\delta) 0,2$	$h(\delta) 0,15$	$h(\delta) 0,1$
$\sigma(\cdot) 0,1$	59 754,89 / 663 378,81	61 219,18 / 661 914,53	62 683,47 / 660 450,24
$\sigma(\cdot) 0,15$	92 560,91 / 630 572,79	94 025,20 / 629 108,50	95 489,49 / 627 644,21
$\sigma(\cdot) 0,2$	125 366,93 / 597 766,77	126 831,22 / 596 302,48	128 295,51 / 594 838,19

В случае применения более точного метода Агенту не выгодно выигрывать много контрактов путем снижения цены предложения, т.е. ему было выгодно выбирать другие стратегии поведения при участии в тендерах, в том числе делать более рискованные предложения, не опасаясь получить большой штраф по итогам участия в ряде тендеров. Это привело к тому, что выигрыш Агента при наиболее выгодной Центру стратегии увеличился в 6,6 раза, а выигрыш Центра возрос на 68 % (см. таблицу 2).

Таким образом, в результате имитационного моделирования участия строительной организации в тендерах в условиях конкуренции было показано, что как Центру, так и Агенту выгодно применение более точных методов сметного ценообразования. Это обстоятельство подтверждает необходимость внедрения в бизнес-процесс подготовки КП для участия строительных организаций в тендерах соответствующую СППР.

В начале **второй главы** проводится критический анализ исследований и публикаций отечественных и зарубежных авторов в области ценообразования. В результате этого анализа показано, что требуется модификация существующего БИМ путем декомпозиции единичных расценок СМР на отдельные строительные операции, а также необходим учет аутсорсинга крупной строительной техники, применение адекватных коэффициентов стесненных условий труда, учет реальных косвенных затрат строительных организаций и корректировки сметной стоимости на основе оценки строительных рисков. Сделанные выводы нашли свое отражение в разработанном математическом и программном обеспечении СППР Агента при подготовке КП на участие в тендерах, которые в совокупности образовали ОБИМ.

При определении прямых затрат Агенту предлагается учитывать перечень строительных операций в составе единичных расценок на основе доли трудоемкости операций (d_0) в общих трудозатратах. Машины и оборудо-

вание, как правило, привлекаются по договору аренды со сроком, составляющим не меньше оговоренного числа часов, этот аспект предлагается учесть за счет коэффициента аутсорсинга ($A_{\text{ут}_p}$). Стесненные условия труда применяются к конкретным работам посредством умножения на коэффициент ($K_{\text{ст}}$), определяемый с помощью непрерывных механизмов комплексного оценивания, позволяющий учесть сочетание любых значений факторов сложности. С учетом этих изменений скорректированная формула определения прямых затрат (ПЗ) приняла вид:

$$\text{ПЗ} = \sum_p (\sum_o (O_p \cdot d_o + \text{ЭМ}_p \cdot A_{\text{ут}_p}) \cdot K_{\text{ст}} + \text{СМ}_p) \cdot V_p, \quad (1)$$

где O_p – оплата труда рабочих-строителей по единичной расценке; ЭМ_p – эксплуатация строительной техники по единичной расценке; СМ_p – сметная стоимость материалов по единичной расценке; V_p – объем работ согласно исходной документации по тендеру (ИД).

Доля операции в составе работ единичной расценки d_o определяется как отношение трудозатрат конкретной технологической операции по ЕНиР ($\text{ТЗ}_{\text{ЕНиР}_o}$) к сумме трудозатрат всех операций согласно составу работ единичной расценки:

$$d_o = \frac{\text{ТЗ}_{\text{ЕНиР}_o}}{\sum_o \text{ТЗ}_{\text{ЕНиР}_o}}. \quad (2)$$

Коэффициент аутсорсинга $A_{\text{ут}_p}$, учитывающий количество машино-часов (маш.-ч.), кратное рыночным предложениям, определяется двумя условиями:

1) если $(t_p - t_{\text{min}}) \leq 0$, где t_p – количество маш.-ч согласно сметному расчету; t_{min} – минимальное количество маш.-ч, предлагаемое на рынке, то:

$$A_{\text{ут}_p} = \frac{t_{\text{min}}}{t_p}, \quad (3)$$

2) если $(t_p - t_{\text{min}}) > 0$, то:

$$A_{\text{ут}_p} = \frac{t_{\text{min}} + k_t \cdot t_{\text{кр}}}{t_p}, \quad (4)$$

где k_t – коэффициент корректировки затрат машинного времени, кратный целому числу; $t_{\text{кр}}$ – кратные периоды времени, на которые на рынке готовы сдавать технику в аренду.

Стоимость СМР зависит от прямых затрат и увеличивается на долю косвенных издержек организации:

$$\text{СМР} = \text{ПЗ} \times (1 + d_{\text{ки}}), \quad (5)$$

где $d_{\text{ки}}$ – доля косвенных издержек организации, которая на момент времени t определяется следующим образом:

$$d(t)_{\text{ки}} = \frac{\text{КР}(t-1) + \text{УР}(t-1) + \text{ПУ}(t-1) + \text{ПР}(t-1) + \text{Н}(t-1)}{\sum_{\Pi} d_{\Pi} \cdot (\text{ПСМР}_{\Pi}(t-1) + \text{ПСМР}_{\Pi}(t-2))}, \quad (6)$$

где в числителе определяется сумма расходов организации: КР – коммерческие расходы; УР – управленческие расходы; ПУ – проценты к уплате; ПР – прочие расходы; Н – налоги на прибыль; в знаменателе – выручка предприятия за предыдущий период, определяемая суммой оплаченных проектов, где d_{Π} – доля оплаченных счетов по проектам за два прошлых периода, полные стоимости которых составляли $\text{ПСМР}_{\Pi}(t-1)$ и $\text{ПСМР}_{\Pi}(t-2)$.

Отличие новой формулы (6) от существующей заключается в учете реальных косвенных расходов организации, отражаемых в отчете о финансовых результатах (форма №2 РПБУ).

Расчет строительных рисков производится с помощью матричных механизмов комплексного оценивания. Так, на 1-м этапе Агентом заполняются матрицы риска в соответствии с его представлением о риске. То есть необходимо выбрать, как часто происходит рисковое событие (крайне редко, редко, регулярно, часто), какой риск вызывает последствия (приемлемый, существенный, критический, катастрофический). Критериями оценки уровня риска являются следующие категории: низкий, средний, высокий, очень высокий.

Далее вычисляются вероятности p_{rc} , соответствующие тому, что интегральный уровень риска будет являться отдельным элементом матрицы риска, расположенном в строке r и столбце c , согласно произведению вероятностей:

$$p_{rc} = p_r \cdot p_c, \quad (7)$$

где p_r – вероятность того, что частота происхождения рискового события определена в строке r ; p_c – вероятность того, что последствия рискового события определены в столбце c .

Затем определяем вероятность каждой оценки интегрального уровня риска от 1 до 4 по формуле

$$p_i = \sum_r \sum_c p_{rc} \cdot w_{rc}(i), \quad i = \overline{1,4}, \quad (8)$$

где p_i – вероятность того, что интегральный уровень риска равен i ; $w_{rc}(i) = 1$, если в матрице риска в строке r и столбце c стоит оценка i , в противном случае $w_{rc} = 0$.

После определения вероятностей для каждого значения интегрального уровня риска, рассчитывается математическое ожидание $M(i)$ по формуле

$$M(i) = \sum_{i=1}^4 i \cdot p_i. \quad (9)$$

Получив математическое ожидание для каждого интегрального уровня риска, определяется значение корректирующего коэффициента R на риск для сметного расчета по формуле

$$R = 2 \cdot \frac{(M(i) - 1)}{3} + 1. \quad (10)$$

Для учета современных факторов сложности предлагается воспользоваться иерархическими механизмами комплексного оценивания (МКО). Преимущество МКО среди остальных механизмов состоит в том, что возможна оценка и сопоставление друг с другом гетерогенных критериев путем перевода их из фазового пространства в квалиметрическое (критериальное), а также возможен учет нелинейного влияния факторов.

Применительно к рассматриваемой задаче предлагается учитывать следующие факторы: масса и габариты инвентаря, необходимого для подготовки рабочего места; его количество, а также трудоемкость подготовительных работ.

Для комплексного оценивания гетерогенных критериев необходимо составить граф в виде бинарного дерева, которое будет показывать последовательность агрегирования частных критериев. Так, предлагается вначале свернуть такие критерии, как масса и габариты инвентаря, как наиболее общие. Затем обобщенный результат свернуть с критерием, соответствующим количеству используемого инвентаря, в результате чего образуется обобщенная оценка – сложность эксплуатации инвентаря, которая в свою очередь сворачивается с трудоемкостью подготовительных работ и в результате образуется единая комплексная оценка, отражающая уровень сложности подготовки рабочего места к выполнению СМР (рисунок 2).

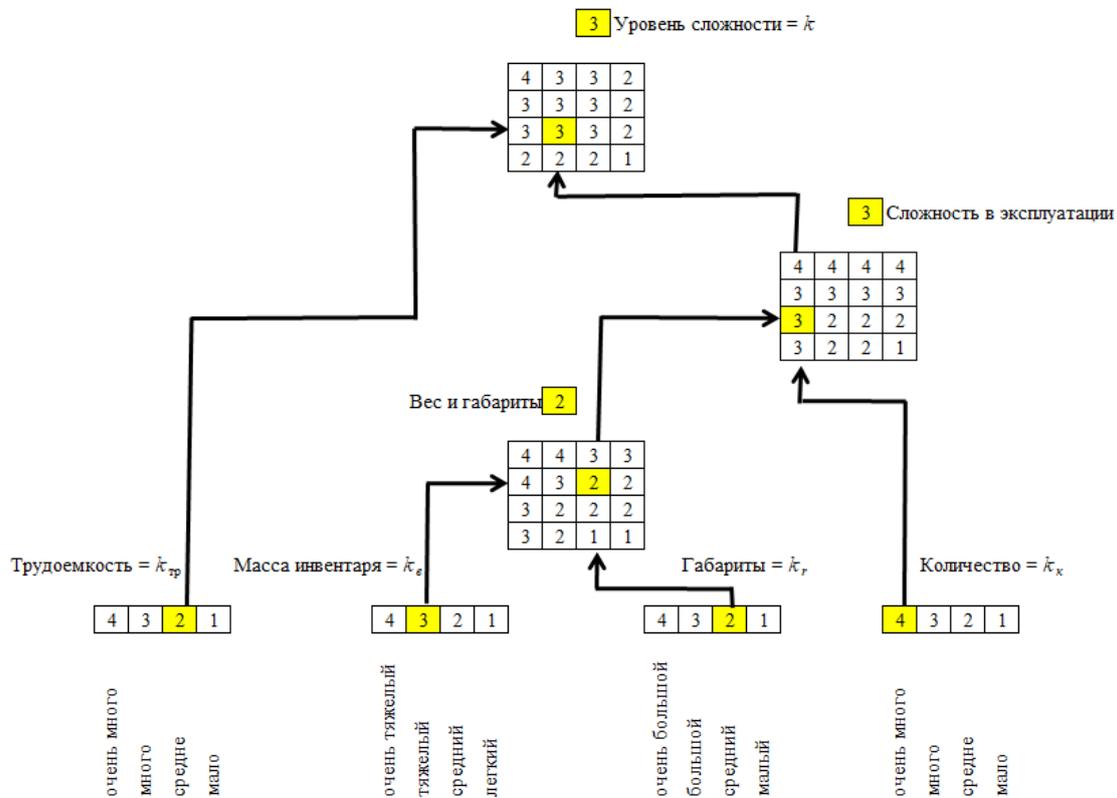


Рисунок 2 – Иерархический механизм комплексного оценивания факторов, стесняющих условия труда

В узлах дерева критериев располагаются матрицы свертки (см. рисунок 2), отражающие правила агрегирования частных критериев. При разработке МКО, как правило, используют единую ранговую описательную шкалу от «1» до «4», где «1» – оценка, отражающая наихудшее качественное состояние критерия, а «4» – наилучшее. В настоящем исследовании принята обратная шкала, но с аналогичным числом градаций. Поэтому матрицы свертки имеют размерность 4×4 . Каждая матрица свертки представляет собой набор составных правил вывода «Если, то» и учитывает влияние каждого критерия в зависимости от приоритетов, проставленных в матрице.

Для непрерывного комплексного оценивания предлагается использовать аддитивно-мультипликативный подход, который записывается с помощью выражений (11)–(17):

$$k^u = j_3^{M^u} + \gamma_{k_{\text{л}}}^{M^u} \cdot (j_4^{M^u} - j_3^{M^u}) + \gamma_{k_{\text{п}}}^{M^u} \cdot (j_5^{M^u} - j_3^{M^u}) + \gamma_{k_{\text{л}}}^{M^u} \cdot \gamma_{k_{\text{п}}}^{M^u} (j_6^{M^u} + j_3^{M^u} - j_4^{M^u} - j_5^{M^u}). \quad (11)$$

$$\gamma_{k_{\text{л}}}^{M^u} = \left[k_{M_{\text{л}}^u} \right] = \text{mod}(k_{M_{\text{л}}^u}, 1), \quad (12)$$

$$\gamma_{k_{\text{п}}}^{M^u} = \left[k_{M_{\text{п}}^u} \right] = \text{mod}(k_{M_{\text{п}}^u}, 1), \quad (13)$$

$$j_{k_{\text{л}}}^{M^u} = m_{rc} \in M^u \mid r = \left[k_{M_{\text{л}}^u} \right]; c = \left[k_{M_{\text{п}}^u} \right], \quad (14)$$

$$j_4^{M^u} = m_{rc} \in M^u \mid r = \min(\left[k_{\text{л}} + 1 \right]; 4); c = \left[k_{M_{\text{п}}^u} \right], \quad (15)$$

$$j_5^{M^u} = m_{rc} \in M^u \mid r = \min\left[k_{M_{\text{л}}^u} \right]; c = \min(\left[k_{M_{\text{п}}^u} + 1 \right]; 4), \quad (16)$$

$$j_6^{M^u} = m_{rc} \in M^u \mid r = \min(\left[k_{M_{\text{л}}^u} + 1 \right]; 4); c = \min(\left[k_{M_{\text{п}}^u} + 1 \right]; 4), \quad (17)$$

где M^u – матрица свертки на u -м уровне дерева критериев (см. рисунок 2), $k_{\text{л}}$ – оценка левого критерия, $k_{\text{п}}$ – оценка правого критерия.

Для нахождения уровня сложности выполнения СМР необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$\begin{aligned} k^{\text{III}}(k_{\text{T3}}; k^{\text{II}}(k^{\text{I}}(k_{\text{B}}; k_{\text{T}}); k_{\text{K}})) &= j_3^{M^{\text{III}}} + \gamma(k_{\text{T3}}) \cdot (j_4^{M^{\text{III}}} - j_3^{M^{\text{III}}}) + \gamma k^{\text{II}}(j_3^{M^{\text{II}}} + \gamma(j_3^{M^{\text{I}}} + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot \\ &\cdot (j_4^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{T}}) \cdot (j_5^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot \gamma(k_{\text{T}}) \cdot (j_6^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}} - j_4^{M^{\text{I}}} - j_5^{M^{\text{I}}})) \cdot \\ &\cdot (j_4^{M^{\text{II}}} - j_3^{M^{\text{II}}}) + \gamma(k_{\text{K}}) \cdot (j_5^{M^{\text{II}}} - j_3^{M^{\text{II}}}) + \gamma(j_3^{M^{\text{I}}} + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot (j_4^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{T}}) \cdot \\ &\cdot (j_5^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot \gamma(k_{\text{T}}) \cdot (j_6^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}} - j_4^{M^{\text{I}}} - j_5^{M^{\text{I}}})) \cdot \gamma(k_{\text{K}}) \cdot (j_6^{M^{\text{II}}} + j_3^{M^{\text{II}}} - j_4^{M^{\text{II}}} - \\ &- j_5^{M^{\text{II}}})) \cdot (j_5^{M^{\text{III}}} - j_3^{M^{\text{III}}}) + \gamma(k_{\text{T3}}) \cdot \gamma(j_3^{M^{\text{II}}} + \gamma(j_3^{M^{\text{I}}} + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot (j_4^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{T}}) \cdot \\ &\cdot (j_5^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot \gamma(k_{\text{T}}) \cdot (j_6^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}} - j_4^{M^{\text{I}}} - j_5^{M^{\text{I}}})) \cdot (j_4^{M^{\text{II}}} + j_3^{M^{\text{II}}}) + \gamma(k_{\text{K}}) \cdot \\ &\cdot (j_5^{M^{\text{II}}} - j_3^{M^{\text{II}}}) + \gamma(j_3^{M^{\text{I}}} + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot (j_4^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{T}}) \cdot (j_5^{M^{\text{I}}} - j_3^{M^{\text{I}}}) + \gamma(k_{\text{B}}) \cdot \gamma(k_{\text{T}}) \cdot \\ &\cdot (j_6^{M^{\text{I}}} + j_3^{M^{\text{I}}} - j_4^{M^{\text{I}}} - j_5^{M^{\text{I}}})) \cdot \gamma(k_{\text{K}}) \cdot (j_6^{M^{\text{II}}} + j_3^{M^{\text{II}}} - j_4^{M^{\text{II}}} - j_5^{M^{\text{II}}})) \cdot \\ &\cdot (j_6^{M^{\text{III}}} + j_3^{M^{\text{III}}} - j_4^{M^{\text{III}}} - j_5^{M^{\text{III}}}). \end{aligned} \quad (18)$$

Для количественно измеримых показателей необходимо определить функции приведения, которые в простейшем случае бывают линейными. Функции приведения обычно делят на монотонно возрастающие и монотонно убывающие. В данном исследовании все рассмотренные критерии при росте их значений приводят к росту сложности условий труда, поэтому функции приведения будут монотонно возрастающие:

$$k_i = 3 \cdot (x_i - x_{i_{\min}}) / (x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}) + 1, \quad (19)$$

где x_i – это фактическое значение фактора сложности в натуральных единицах измерения, $x_{i_{\min}}$ – это значение фактора сложности, меньше которого условия считаются неусложненными, $x_{i_{\max}}$ – это предельно допустимое значение фактора сложности, k_i – это приведенное значение фактора сложности к шкале 1–4 (критерия сложности).

В третьей главе описывается созданное на базе полученных результатов во второй главе программное обеспечение многопользовательской информационной системы, прототип которой создан на базе MS Excel[®].

Основой для создания программного обеспечения послужила разработанная модель бизнес-процессов подготовки КП для участия строительной организацией в тендере, описанная в нотации BPMN 2.0 (рисунок 3). При проектировании бизнес-процесса учтено наличие трех функциональных ролей:

1) руководитель коммерческого отдела (Центр), который ставит задачу о подготовке КП в тендере;

2) специалист коммерческого отдела (Агент), который непосредственно готовит КП на основе БД внутрифирменных расценок, учитывает наличие стесненных условий труда, аутсорсинг строительной техники, косвенные затраты, оценивает риски и индексирует полученный результат;

3) специалист по сметному ценообразованию, который при необходимости (запроса) декомпозирует единичные расценки, приведенные в федеральной сметно-нормативной базе (ФСНБ) на строительные операции, руководствуясь сводами правил (СП), едиными нормами и расценками (ЕНиР), а также при необходимости рассчитывает коэффициенты стесненных условий труда пользуясь при этом программным модулем по определению уровня сложности подготовки рабочего места к выполнению СМР и коэффициента стесненных условий труда).

Программа предназначена для определения сметной стоимости отдельных видов работ по монтажу автоматизированных систем управления энергоресурсами: «Монтаж узлов учета энергоресурсов»; «Пусконаладочные работы АСУТП»; «Пусконаладочные работы электротехнических устройств»; «Прокладка кабеля в траншее»; «Устройство фундамента под оборудование»; «Монтаж шкафа учета»; «Монтаж и подключение счетчиков электроэнергии со стороны шкафного оборудования»; «Монтаж металлоконструкций»; «Прокладка и присоединение кабельных линий»; «Заземление конструкций»; «Устройство вентиляционных коробов». В специальных листах книги MS Excel[®], соответствующих определенным работам, созданы вкладки WIZARD, помогающие пользователям с ориентацией в программе.

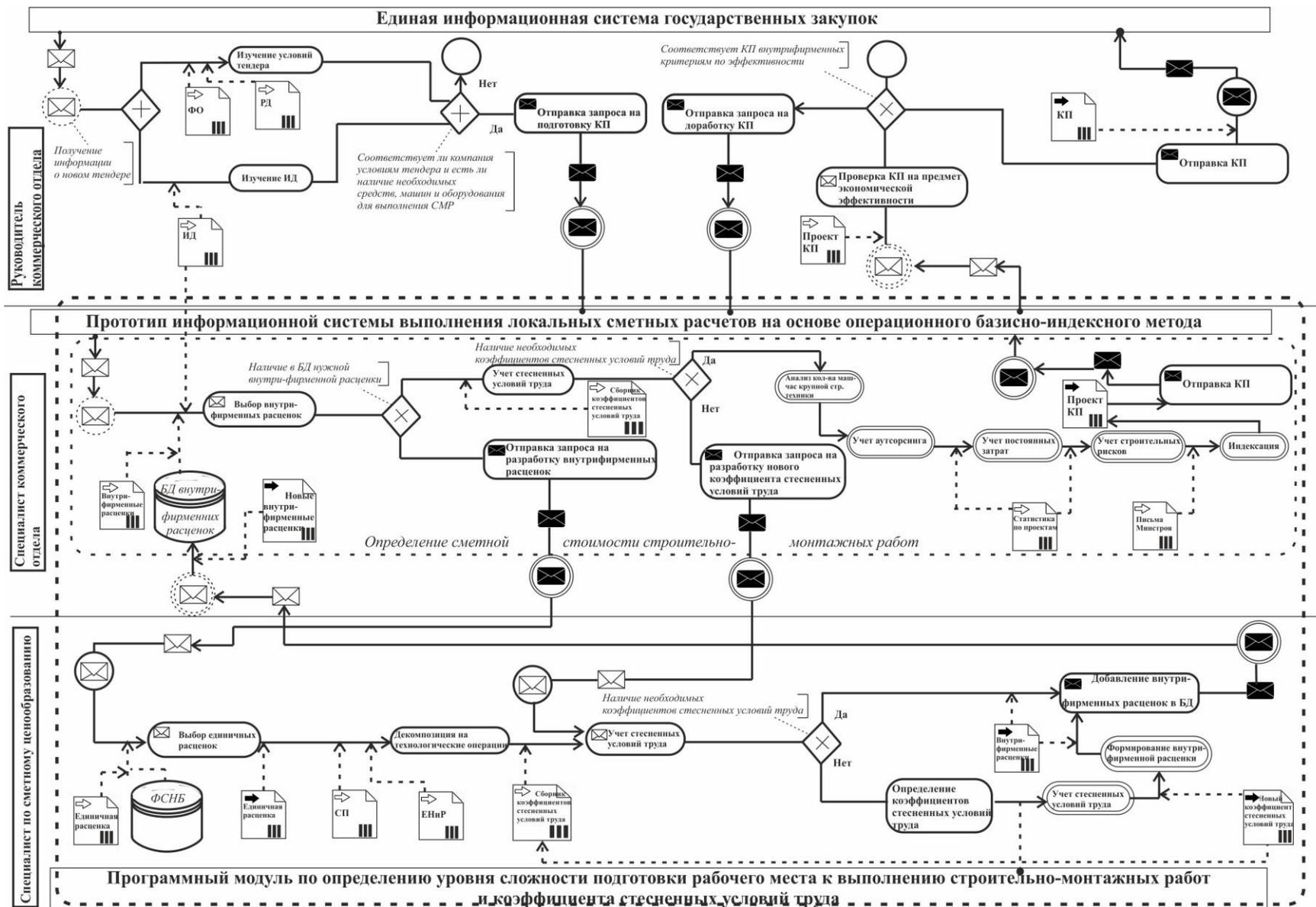


Рисунок 3 – Модель бизнес-процесса подготовки КП для участия строительной организации в тендерной деятельности

В четвертой главе описываются расчеты, при которых были использованы разработанные в настоящей диссертации информационная система и программный модуль, приводятся рекомендации по применению программного обеспечения строительными компаниями. Программное обеспечение содержит механизмы поддержки и принятия решений для двух видов сотрудников: для сметчиков и для специалистов с профессиями, схожими по компетенциям с таковыми для стоимостных инженеров. Кроме того, в данной главе приводятся реальные примеры по использованию разработанных в рамках диссертации информационных систем разными строительными организациями. В ходе опытной эксплуатации были произведены расчеты сметной стоимости с применением традиционного БИМ и разработанного ОБИМ. Результаты внедрения представлены ниже (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты внедрения ОБИМ

№ п/п	Наименование организации	Наименование работ	Стоимость работ, руб. с НДС			Отношение БИМ к факту, %	Отношение ОБИМ к факту, %
			БИМ	ОБИМ	фактические затраты		
1	ООО «Архитектор»	Устройство системы вентиляции корпусов 1808/01 и 1809. ПАО «Метафракс»	49 333,00	116 284,00	103 945,00	47,46	111,87
2	ИП Росский Д.П.	Капитальный ремонт помещений 1-го и 2-го этажа детской поликлиники корпуса ГБУЗ РК «Судакская городская больница», расположенной по адресу: Республика Крым, г. Судак, ул. Гвардейская, 1	348 225,60	159 064,84	99 475,00	350,06	159,9
3	ООО «Тераконт»	Техническое перевооружение узлов учета тепловой энергии и теплоносителя в ЦТП и НС «под ключ» АО «ПТС»	10 896,37	12 930,12	11 500,00	94,75	112,44
4	ЗАО «Проминформ»	Замена (капитальный ремонт) МИТК в здании Государственного Совета Республики Крым по ул. К. Маркса, 18 в г. Симферополь	5 764 668,70	6 604 108,44	н/д*	н/д*	н/д*

Примечание: * – ЗАО «Проминформ», в силу коммерческой тайны, не предоставила данные по фактическим затратам, поэтому было лишь произведено сравнение результата сметной стоимости работ, рассчитанных с помощью ОБИМ с БИМ (ОБИМ больше БИМ на 15,53 %).

Как видно из данных таблицы 3, в трех случаях стоимость работ, определяемая с помощью ОБИМ, больше таковой, определяемой с помощью БИМ. Это не означает, что ОБИМ направлен исключительно на повышение сметной стоимости, например в тендере №2 ОБИМ дал результат практически в 2 раза меньший, чем стоимость, рассчитанная с помощью БИМ. При этом стоимость, которую определила Главгосэкспертиза при экспертизе сметной документации и которую можно считать достоверной, оказалась еще меньше, чем стоимость, определенная с помощью ОБИМ.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Представленный метод определения коэффициента стесненных условий труда при выполнении СМР позволил разработать 4 новых коэффициента. Метод может быть применен для разных видов строительных работ и факторов сложности, а также служить инструментом для разработки других коэффициентов. Метод позволяет учитывать в сметах современные стесненные условия труда, что способствует повышению точности расчетов.

2. Разработанный метод сметного ценообразования, основанный на пооперационном представлении современных технологий производства строительных работ, почти в 3 раза повысил точность результатов стоимостного инжиниринга. Новый метод позволяет учитывать в КП затраты на аренду крупной строительной техники, реальные косвенные затраты строительных организаций, а также – риски, которые могут возникнуть при выполнении договорных работ.

3. Созданный прототип многопользовательской информационной системы позволяет осуществлять сметный расчет на 11 видов работ, используемых при монтаже автоматизированных систем управления энергоресурсами. В программе предусмотрены две пользовательские роли: специалист по сметному ценообразованию, который осуществляет разработку внутрифирменных расценок, и специалист, подготавливающий коммерческие предложения. Второй пользователь с помощью элементов управления формами выбирает условия выполнения работ, в результате чего формируется итоговая стоимость. Примечательно, что программное обеспечение построено таким образом, что специалист, не обладающий квалификацией сметчика, сможет рассчитать КП с ограниченными исходными данными, так как единичные расценки в программном обеспечении подобраны, исходя из выполняемого процесса.

Данное программное обеспечение может использоваться как с интеграцией в существующие программные продукты, так и самостоятельно. Помимо этого, созданный прототип может служить элементом технического задания при создании промышленного программного комплекса.

IV. ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

1. **Гладких, В.С.** Методика определения коэффициента стесненных условий труда на объектах капитального строительства / В. С. Гладких. – текст: непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4. – С. 126–133. DOI: 10.35108/isvp20204(34)126-133

2. Алексеев, А.О. Информационное обеспечение процессов ценообразования и сметного нормирования в строительстве / А. О. Алексеев, **В. С. Гладких**. – текст: непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Информатика, вычислительная техника и управление. – 2021. – № 1. – С. 49–60. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-49-60

3. Алексеев, А.О. Проблемы организационного управления процессом участия строительной организации в тендерах и возможные пути их решения / А. О. Алексеев, **В. С. Гладких** – текст: непосредственный // Системы управления и информационные технологии. – 2021. – № 3 (85). – С. 30–37. DOI: 10.36622/VSTU.2021.85.3.006

Публикации в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах и системах цитирования

4. Gureev, K.A. Tools development for estimated cost management of construction and assembly works = Инструменты развития управлением сметной стоимостью строительно-монтажных работ / K. A. Gureev, U. V. Aftakhova, **V. S. Gladkikh**. – текст: электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 687. – Art. 044003. – Ст. на англ. языке. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044003

5. **Gladkikh, V.** The Problems of Organizational Behavior Control in the Construction Tender Processes = Проблемы организационного управления в строительных тендерных процессах / V. Gladkikh. – текст: электронный // Proceedings of 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 10-12 November 2021, Lipetsk, Russia. – IEEE, 2021. – P. 392–396. – Ст. на англ. языке. DOI: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632248

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611363 Программный модуль по определению уровня сложности подготовки рабочего места к выполнению строительно-монтажных работ и коэффициента стесненных условий труда / Алексеев А.О., **Гладких В.С.**; заявка 2021610388; поступ. 18.01.2021; опубл. 26.01.2021; Бюл. № 1. – 1 с.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616167 Прототип информационной системы выполнения локальных

сметных расчетов на основе операционного базисно-индексного метода / Алексеев А.О., Гуреев К.А., **Гладких В.С.**; заявка 2021615194; поступ. 12.04.2021; опублик. 19.04.2021; Бюл. № 4. – 1 с.

Публикации в прочих изданиях

8. The aggregation method of inhibiting factors in construction = Метод агрегирования факторов сложности в строительстве / А. О. Alekseev, **V. S. Gladkikh**, U. V. Aftahova, A. G. Aftahov, O. V. Takhumova. – текст: электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1083. – Art. 012048. – Ст. на англ. языке. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012048

9. **Гладких, В.С.** Включение операционного базисно-индексного метода в бизнес-процессы стоимостного инжиниринга / В. С. Гладких. – текст: электронный // Математика и междисциплинарные исследования – 2020: мат. все-рос. науч.-практ. конф. мол. учен. с междунар. участ. (г. Пермь, 12–15 октября 2020 г.) / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь: Perm University Press, 2020. – С. 232–236. – URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/mmi-2020.pdf>.

10. Гуреев, К.А. Современный подход в управлении ценообразованием научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок / К. А. Гуреев, **В. С. Гладких**. – текст: непосредственный // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – Вып. 4. – С. 33–36.

11. Гуреев, К.А. Проблема несоответствия сметной стоимости строительно-монтажных работ рыночной / К. А. Гуреев, В. С. Гладких. – текст: непосредственный // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2017. – № 4. – С. 40–51.

12. **Гладких, В.С.** Проблемы современного ценообразования в строительстве / В. С. Гладких, А. Н. Гуреева. – текст: электронный // Российский экономический интернет-журнал. – 2017. – № 4. – URL: <http://www.e-rej.ru/publications/171/#art16032>

13. Гуреев, К.А. Причины различия сметной стоимости строительно-монтажных работ от рыночных расценок на строительство объектов / К. А. Гуреев, **В. С. Гладких**. – текст: непосредственный // Инновационное развитие строительных саморегулируемых организаций. – 2017. – № 7 (007). – С. 56–63.

11. Гагарин, Ю.А. Проблема разработки индивидуальных расценок на производство строительно-монтажных, ремонтно-строительных и пусконаладочных работ для предприятия Пермского края / Ю. А. Гагарин, **В.С. Гладких**, Р. Ю. Шапранов. – текст: непосредственный // Инновационное развитие строительных саморегулируемых организаций. – 2014. – № 4 (004). – С. 55–63.

Подписано в печать 14.04.2022. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 638/2022.

Отпечатано в типографии издательства

Пермского национального исследовательского политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, к. 113. Тел. (342) 219-80-33.