

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БАЗ ЗНАНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ В РЕГИОНЕ

**НОСКО НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА,**

соискатель кафедры «экономика, организация строительства и управление недвижимостью»,  
Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Беларусь)

*В статье изложен методический подход поиска оптимальных решений при выборе эффективных интегрированных структур управления строительством в регионе с применением таких современных инструментов, как экспертные системы на основе баз знаний. Создание экспертной системы поддержки принятия решений обеспечит доступ к интересующей руководителя информации на момент проектирования организационной формы и структуры управления и подскажет пути эффективного решения задачи. В результате складываются научно обоснованные формирования интегрированных структур с учетом конкретных ситуаций и условий деятельности предприятий.*

*The article describes the methodological approach of finding optimal solutions when choosing effective integrated construction management structures in the region using such modern tools as expert systems based on knowledge bases. The creation of an expert decision support system will provide access to the information of interest to the manager at the time of designing the organizational form and management structure and will provide ways to effectively solve the problem. As a result, science-based forms of integrated structures are formulated taking into account specific situations and conditions of enterprises.*

## Введение

Важным фактором, обеспечивающим выработку качественных решений, является создание и применение в управлении автоматизированных информационных систем (АИС). Новый этап в эволюционном развитии АИС связан с широким использованием достижений искусственного интеллекта, в первую очередь экспертных систем (ЭС), на которые опираются базы знаний АИС, и систем поддержки решений [4].

Проблема выработки и принятия рациональных организационно-технологических и управленческих решений относится к числу основных проблем, выдвинутых на первый план в строительной отрасли. Исследования в области проектирования организационных форм и структур управления в строительстве указывают на актуальность создания систем, базирующихся на принципах искусственного интеллекта, в том числе экспертных систем, играющих роль человека-эксперта. Это связано с трудностями,

возникшими в последнее время перед управленцами-строителями.

В управлении строительным производством первые экспертные системы появились в 1985—1986 гг. для выбора необходимых машин и механизмов, проектирования временного обустройства строительной площадки, оперативного корректирования календарных планов и анализа степени риска при заключении контрактов на строительство.

В настоящее время также имеется опыт применения экспертных систем в строительстве: решение задач совершенствования организационного управления инвестиционными проектами и анализа хода и оценки эффективности выполнения проекта, оценка стоимости и продолжительности реализации конкретного проекта. Перспективным является использование экспертных систем на ранних стадиях проектирования [1].

В США, Германии, Японии и других развитых странах разработаны и функционируют многочисленные

системы поддержки принятия решений интеллектуального типа (базирующиеся на ЭС) в различных областях строительства. В России экспертные системы применяются в сфере инвестиционно-строительного процесса.

Сегодня назрела острая необходимость в наличии информационной базы (ИБ) и системы поддержки принятия решений. Предлагается создание экспертной системы поддержки принятия решений, которая обеспечит доступ к интересующей руководителя информации на момент проектирования организационной формы и структуры управления и подскажет пути эффективного решения задачи.

### Основная часть

Существует множество определений ЭС, приведенных в разных отечественных и зарубежных источниках. Обобщая их, можно сказать, что ЭС представляет собой попытку использовать в компьютерных системах некоторые механизмы обоснования и принятия решений, свойственные человеку [4].

Классическая ЭС функционирует в следующем циклическом режиме: {запрос и получение данных} → {анализ полученных данных и интерпретация первичных результатов} → {выдвижение с помощью правил временных гипотез} → {запрос следующей порции данных}. Такой процесс продолжается до тех пор, пока объема полученной информации не будет достаточно для формулировки заключения по рассматриваемому вопросу [5].

Важнейший элемент ЭС — база знаний, которая аккумулирует в себе сумму человеческого опыта в некоторой конкретной области. При этом поставщиком знаний служит специалист конкретной области (эксперт) [6].

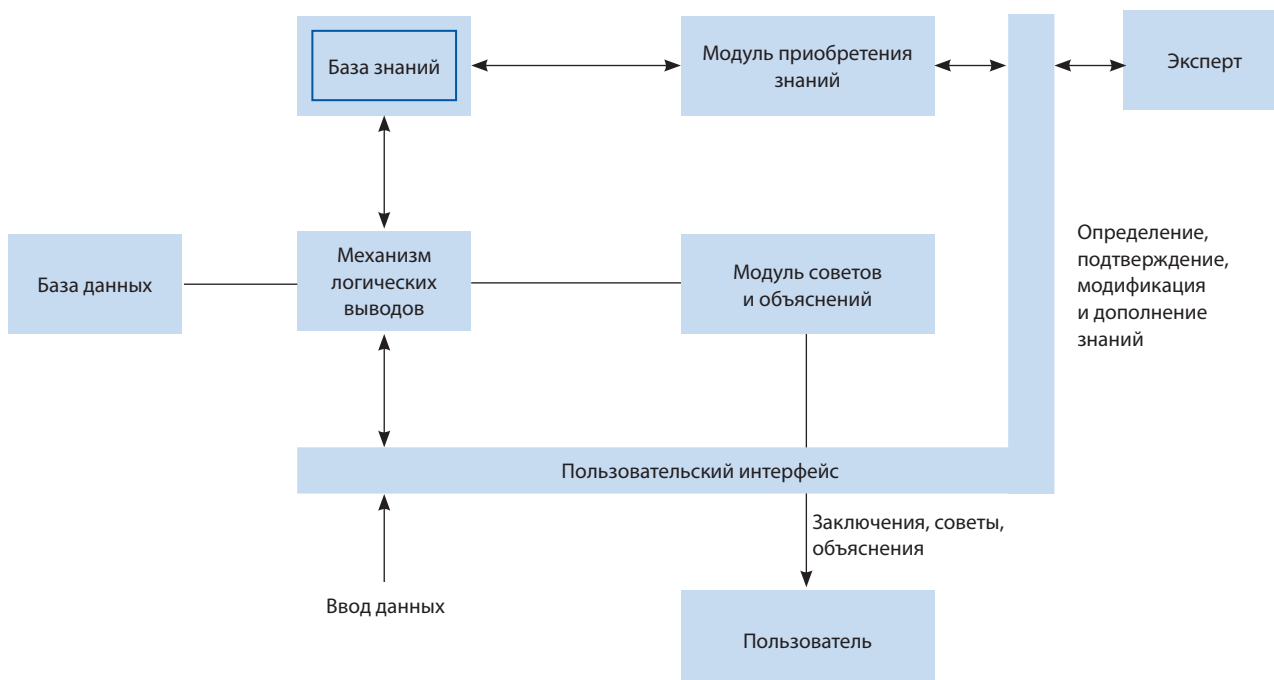
Специфика работы эксперта заключается в принятии решений на основе собственного опыта, который основывается на глубоком всестороннем изучении специальной литературы и учете накопленных в результате практической деятельности знаний. Интуиция подсказывает эксперту, в каком случае надо воспользоваться общепризнанными правилами принятия решения, а когда — опытом практической деятельности, иногда противоречащим этим правилам. Использование таких знаний при создании ЭС позволило получить системы, с помощью которых специалисты средней квалификации принимают решение на уровне лучших экспертов [3].

Типичная экспертная система, представленная в научной работе Ю. М. Богомолова [2], обладает следующей структурой: решатель (механизм логических выводов), база данных (рабочая память), база знаний, средства приобретения знаний, объяснения и диалоговый интерфейс (рис. 1).

Механизм логического вывода, используя знания системы, находящиеся в базе знаний, оперирует фактами базы данных с целью решить задачу пользователя.

База данных предназначена для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи.

Компонента приобретения знаний автоматизирует и облегчает процесс ввода знаний в ЭС пользо-



**Рисунок 1.** Структура экспертной системы

Источник: [2]

вателем-экспертом, обучающим систему решению задач.

Подсистема объяснения дает пользователю сведения о причинах, мотивах, основаниях и методах получения решения поставленной проблемы. Средства организации диалога ориентированы на организацию «дружелюбного» взаимодействия персонального компьютера (ПК) со всеми категориями пользователей, как в ходе решения задач, так и в ходе приобретения знаний, объяснения результатов работы и содержания знаний системы.

Ядро экспертной системы составляет база знаний, которая накапливается в процессе ее построения. Знания в базе выражены в явном виде и организованы так, чтобы упростить принятие решений. Это качество экспертной системы является одним из важнейших.

Обычные программы имеют фиксированную последовательность алгоритмических шагов, точно определенных программистом, путем обработки цифровой информации они ищут оптимальное решение, в то время как экспертные системы, подобно человеку, пользуются для нахождения удовлетворительного решения эвристическим методом проб и ошибок. При этом производится преимущественно символьная обработка содержимого базы знаний [6].

Экспертные системы не рекомендуются применять: в задачах с большим числом математических расчетов; задачах распознавания, решаемых частными методами; задачах, о методах решения которых нет доступных знаний. Важным условием является также наличие хотя бы одного эксперта, способного ясно поставить и реализовать задачу.

Системы, основанные на знаниях, оказываются неэффективными при необходимости проведения скрупулезного анализа, когда число решений зависит от тысяч возможностей и многих переменных, изменяемых во времени. В таких случаях лучше использовать базы данных с интерфейсом на естественном языке [4].

Разработка системы принятия решений включает три основных этапа:

- 1) создание базы данных для тестовой проверки разработанной системы принятия решения;

- 2) формализация правил принятия решений на основе имеющихся правил вывода. Обычно схему решения записывают в виде специального графа — дерева решений;

- 3) компьютерная реализация системы: система принятия решения может быть реализована с использованием языка программирования высокого уровня или в электронной таблице [5].

Одной из основополагающих подсистем в компьютерной системе организации и управления строительным производством является нормативно-справочная база. От того, как построена ее структура, как организован режим ведения, обработки, актуализа-

ции и пополнения базы, зависит жизнеспособность и эффективность всей системы [1].

База данных в совокупности с базой знаний образует интегрированную информационную базу системы.

Структура интегрированной информационной базы предусматривает возможность организации обмена информацией между базой данных и базой знаний, содержащей декларативные (факты) и процедурные (правила продукции) знания (рис. 2).

Содержание базы данных и базы знаний продиктовано составом задач организационно-технологического проектирования строительного производства.

База данных формируется на основе нормативно-справочной информации (справочники, технические нормативные правовые акты (ТНПА): технические регламенты, технические кодексы установившейся практики, строительные нормы и правила, государственные стандарты, общегосударственные классификаторы и т. д.).

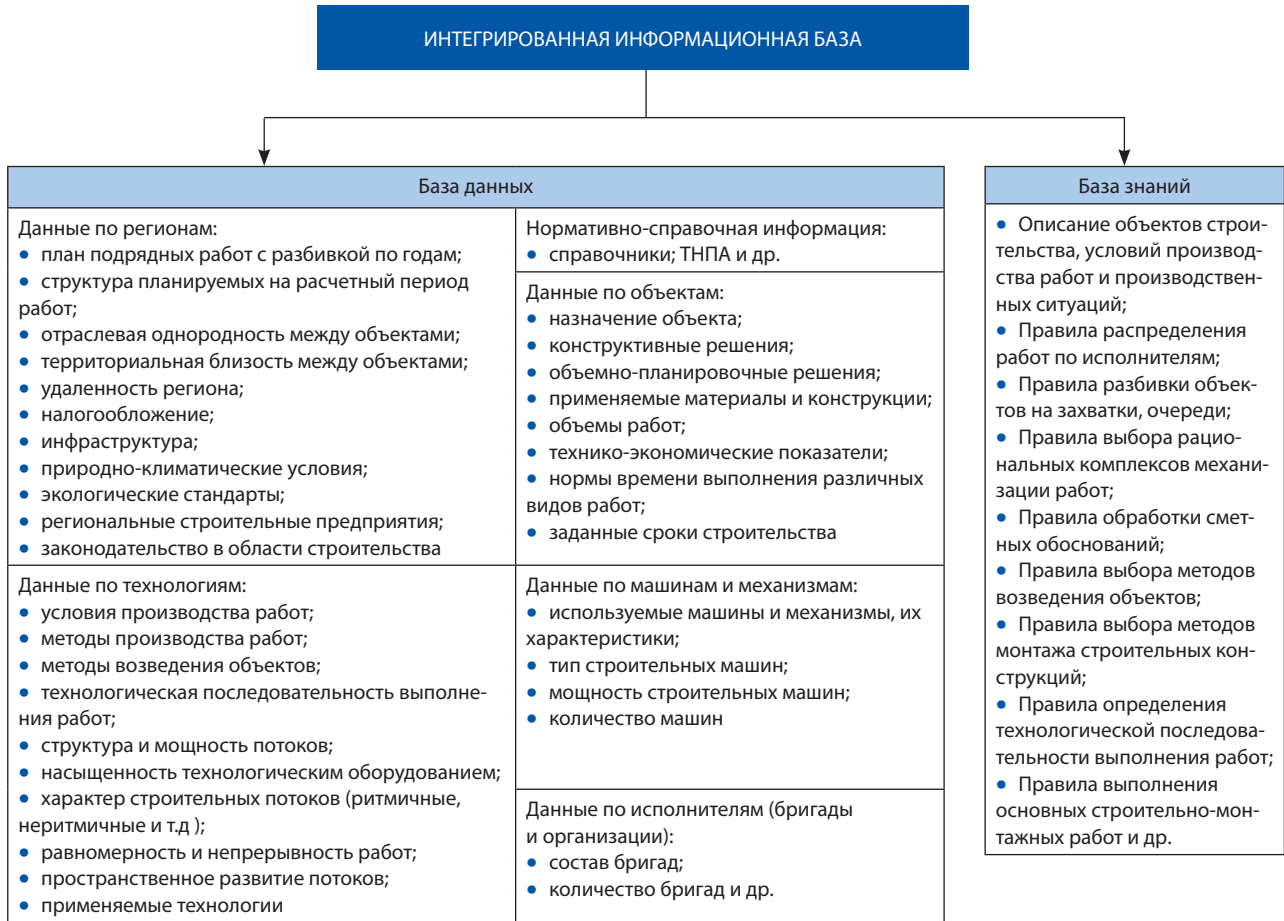
Формирование базы знаний включает накопление информации из справочной, нормативно-инструктивной, методической и учебной литературы по организации и технологии строительно-монтажных работ. После создания прототипа экспертной системы база знаний может пополняться знаниями индивидуального характера, отражающими опыт экспертов в данных областях.

Созданная таким образом система организации и управления строительным производством приобретает поддержку принимаемых управленческих решений в виде комплекса экспертных систем, связанных интегрированной информационной базой (рис. 3).

Основой для образования соответствующей организационной формы и структуры управления строительным производством является организационно-технологическая группа факторов, учитывающая особенности видов и объектов строительства, объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений возводимых объектов, где определяющее воздействие оказывает технология строительного производства.

Таким образом, решение задач организационного проектирования и связанные с этим экономические результаты работы строительной организации в значительной степени предопределяются правильным выбором технологии строительно-монтажных работ. В свою очередь, выбор методов производства работ требует основательных знаний и учета множества факторов (архитектурно-планировочное и конструктивное решение, последовательность работ, погодные условия, специализация исполнителей, рельеф местности, размеры строительной площадки, наличие строительных машин и т. д.).

Распределение объемов работ по исполнителям в ходе обработки локальных смет по объектам строительства сопряжено с необходимостью детального



**Рисунок 2.** Структура интегрированной информационной базы

**Источник:** разработка автора



**Рисунок 3.** Поддержка решения задач организации и управления строительным производством с помощью экспертных систем

**Источник:** разработка автора на основе [2]

анализа принятых в проекте архитектурно-планировочных и конструктивных решений, технологических особенностей запроектированных работ и специализации субподрядчиков.

Быстро и квалифицированно выполнить всю эту работу позволяет экспертная система ЭСКОРТ, разработанная в среде программной оболочки ESIE. Особенность указанной системы — ее встроенный характер. Механизм вывода в системе основан на стратегии обратной логической цепочки. Логический вывод в системе строится на применении дедуктивных методов поиска решений. Экспертная система функционирует в составе комплекса программных средств по подготовке строительного производства [1].

Порядок работы предопределяет иерархический характер построения ЭС. Сначала пользователем задаются основные объемно-планировочные признаки возводимых зданий и сооружений, конструктивные решения, наличие кранового оборудования и т. д.

При разбивке объекта на элементарные участки необходимо исходить из следующих условий: конструктивной, объемно-планировочной и технологической однородности отдельных элементарных участков; возможности размещения на данном элементарном участке исполнителя-бригады (или ведущего звена) в одну смену; формирования из ряда элементарных участков обобщенных переделов с учетом отметок по высоте. При этом желательно, чтобы границы элементарных участков совпадали с принятой для объекта сеткой осей [2].

Для описания конструктивно-технического типа здания используются признаки: этажность, пролетность, тип проекта, а также характеристики, представленные в табл. 1.

Таблица 1

## Конструктивные решения зданий

Код	Конструктивно-технический тип здания
01	Монолитное
02	Кирпичное
03	Сборно-монолитное
04	Блочное
05	Крупноблочное
06	Панельное
07	Крупнопанельное
08	Каркасное
09	Каркасно-панельное
10	Объемно-блочное
11	Полносборное
12	На свайном основании с монолитным ростверком
13	С ленточным монолитным фундаментом
14	Со сплошной монолитной фундаментной плитой
15	Со столбчатым монолитным фундаментом
16	Со столбчатым сборным фундаментом

Источник: [1]

Для описания объемно-планировочного решения используются признаки, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

## Объемно-планировочные решения

Код	Тип объемно-планировочного решения
01	Односекционное
02	Двух-, четырехсекционное
03	Трех-, пятисекционное
04	Шести- и более секционное
05	Линейное
06	Н-образное в плане
07	П-образное в плане
08	С-образное в плане
09	Ступенчатой структуры в плане
10	Сложной конфигурации в плане

Источник: [2]

Характеристика «Материал основных несущих конструкций здания» описывается признаками, указанными в табл. 3. При необходимости значения признаков в таблицах 1—3 могут дополняться.

Таблица 3

## Материал несущих конструкций

Код	Материал основных несущих конструкций здания
01	Кирпич
02	Дерево
03	Сборный бетон
04	Сборный железобетон
05	Монолитный железобетон
06	Металл

Источник: [1]

Методы возведения объектов определяют возможные варианты технологической последовательности выполнения работ.

Последовательность вариантного формирования организационно-технологических решений (ОТР) производства строительных работ следующая:

1) декомпозиция комплексных технологических процессов до уровня простых технологических процессов (определение состава работ);

2) определение альтернативных вариантов технологии выполнения технологических процессов;

3) определение альтернативных организационно-технологических решений осуществления технологических процессов для каждого варианта технологии производства работ (формируются варианты возможных организационно-технологических решений, исходя из имеющихся в наличии у строительной организации ресурсов);

4) вычисление интенсивности производства работ для каждого варианта ОТП производства работ;

5) вычисление продолжительности и стоимости выполнения для каждого варианта ОТП производства работ [7].

Ведущим технологическим процессом возведения объектов является монтаж строительных конструкций.

Следующий уровень системы предназначен для выбора рационального метода монтажа строительных конструкций: поэлементный, комплексный, комбинированный; последовательность монтажа отдельных элементов и конструкций здания и т. д. (табл. 4).

Таблица 4

**Возможные решения по организации монтажного процесса**

Обозначение составляющих	Обозначение структурных элементов
Направление развития монтажного процесса (потока) X1	Поперечное X11
	Продольное X12
	Вертикальное X13
	Горизонтальное X14
	Комбинированное X15
Последовательность установки элементов X2	Раздельная X21
	Комплексная X22
	Комбинированная X23
Укрупнение конструкций X3	Без укрупнения (россыпью) X31
	Конструктивными элементами X32
	Блоками X33
	Частями сооружений X33
	Сооружениями X34
Доставка конструкций под монтаж X4	С транспортных средств X41
	С приобъектного склада X42
	С конвейерной линии X43

**Источник:** [2]

На основании введенных пользователями данных о конкретных условиях строительства объектов осуществляется выбор грузоподъемных и других стро-

ительных машин, устанавливаются места их расстановки и маршруты передвижения.

Формирование возможных вариантов технологии возведения объекта диктуется в первую очередь выбором вариантов комплектов, расстановки и схем работы строительных машин.

Принятые организационно-технологические решения проверяются с позиций соблюдения техники безопасности и охраны труда.

На уровне построения календарных планов строительства объектов и работы строительных организаций после ввода и обработки локальных смет пользователь автоматизированного рабочего места использует экспертную систему для распределения работ по исполнителям. Затем показатели укрупненных видов работ автоматически переносятся в блок расчета физических объемов СМР и на вход блока календарного планирования [1].

На следующем этапе, после выработки основных рациональных организационно-технологических решений, в диалоге с компьютерной системой реализуется центральная задача — определение основных управленческих решений относительно проектирования региональных интегрированных структур.

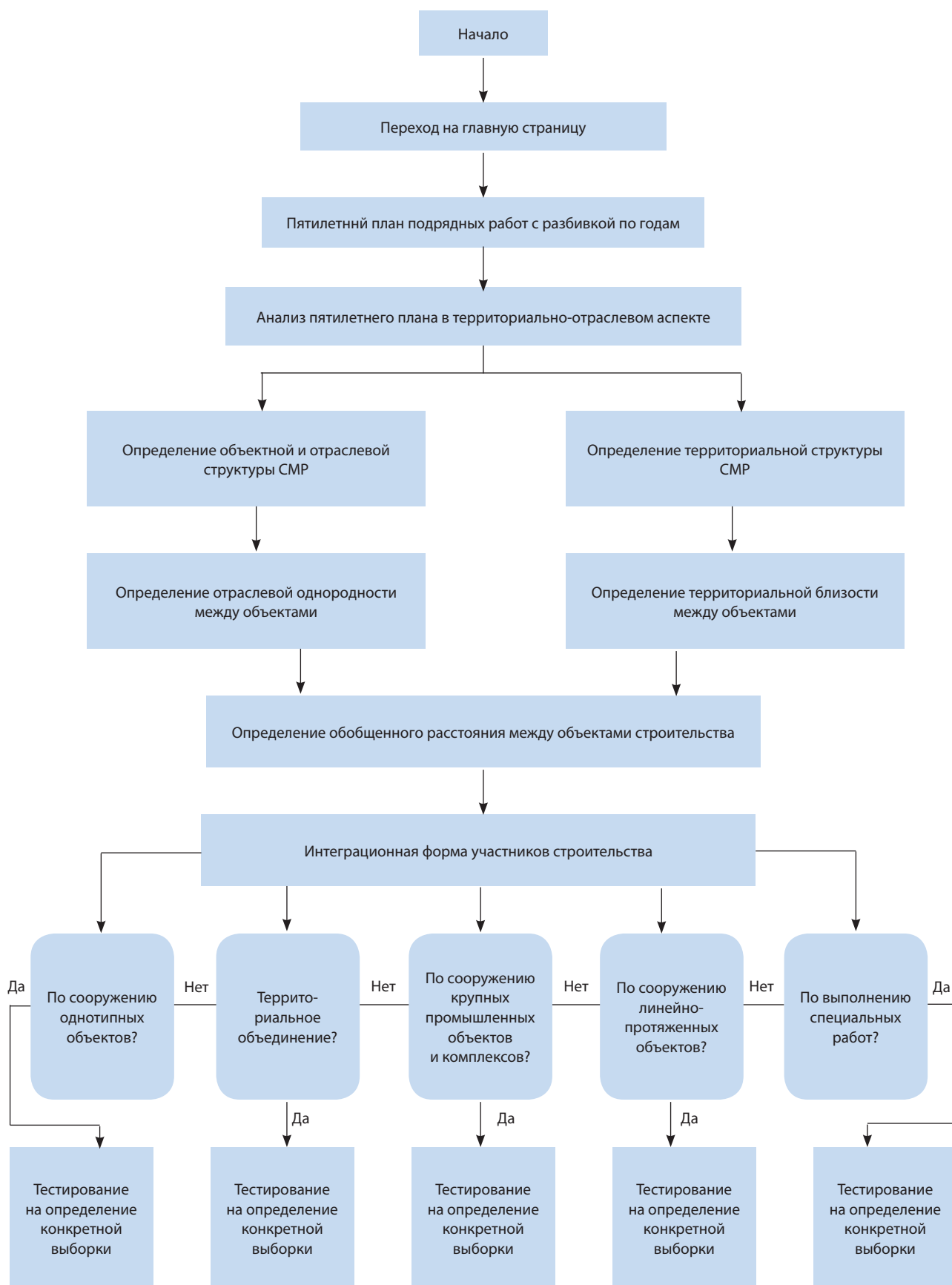
Проблему выбора интеграционной формы в зависимости от потребности пользователя позволит решить применение экспертных систем. Цель ЭС — обеспечить консультацией руководителей. Схема, по которой должно производиться выявление потребности пользователя, представлена на рис. 4.

Для каждой интеграционной формы, включенной в итоговую выборку, был определен ряд основных характеристик, по которым в дальнейшем ЭС будет ее классифицировать как рекомендуемую к потребности пользователя.

Для корректного выявления потребности сконструирован специальный тест, цель которого — определить основные характеристики-маркеры для интеграционной формы участников строительства, которые впоследствии определяют итоговую выборку. На рис. 5 представлен пример определяющих характеристик для конкретной интеграционной формы.

Как видно на представленной схеме, характеристики для некоторых интеграционных форм могут пересекаться, и чем больше будет пересечений, тем труднее системе произвести однозначный выбор, соответственно, тем объемнее будет итоговая выборка.

По итогам анализа основных средств, применяемых для разработки экспертных систем, предлагается использовать язык CLIPS, руководствуясь опытом других разработчиков, представленным в сети. Написание программы можно осуществить в интегрированной среде разработки (IDE) MSVisualStudio, так как в ней есть возможность создания удобного пользовательского интерфейса [3].



**Рисунок 4.** Выявление потребности для определения рекомендуемой интеграционной формы

**Источник:** разработка автора

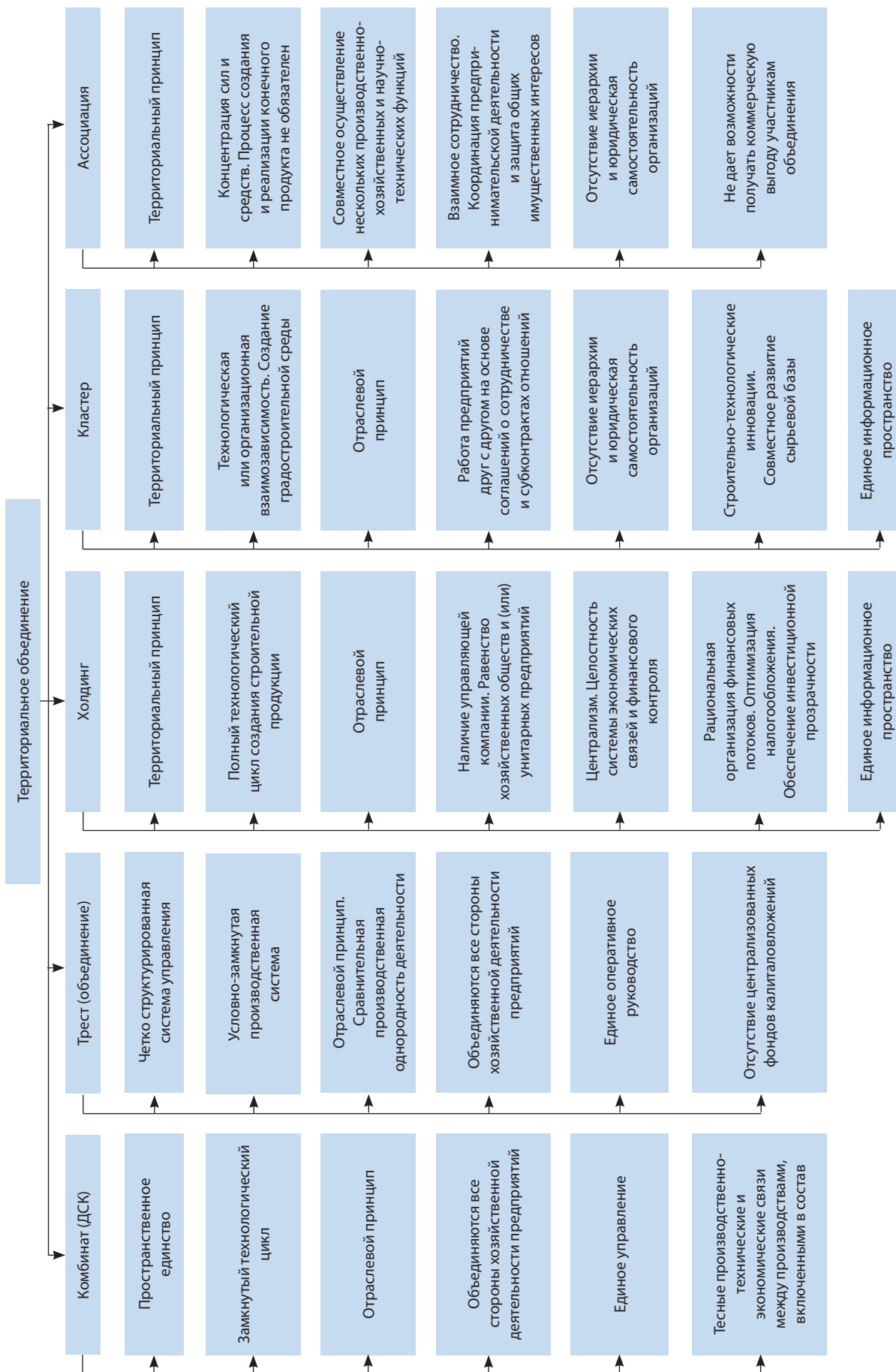


Рисунок 5. Схема определяющих характеристик  
Источник: разработка автора



Таблица 5

## Структура базы знаний по выбору рациональных вариантов интеграционных форм определенного типа

Фактор выбора	Интеграционные формы					
	СУ, ПМК, малое предприятие	ДСК	Трест, объединение	Холдинг	Кластер	Ассоциация
Форма объединения	—	Комбинированная	Предпринимательские объединения на имущественной основе		Договорная	Объединение предпринимателей
Юридическое лицо	СУ; ПМК как структурное подразделение — нет; малое предприятие — да	Да	Да	Нет	Нет	Да
Независимость участников	Нет	Объединяются все стороны хозяйственной деятельности предприятий		Равенство хозяйственных обществ и (или) унитарных предприятий	Работа предприятий друг с другом на основе соглашений о сотрудничестве и субконтрактных отношений	Взаимное сотрудничество
Орган управления	Управление на основе организационной структуры			Наличие управляющей компании	Территориальный орган управления	Общее собрание членов
Объектная специализация	Специализированные на возведении объектов транспорта, магистральных трубопроводов, мелиорации и водного хозяйства, объектов сельскохозяйственного назначения и линий электропередачи	Специализированные на возведении жилых домов	Комплексные: по возведению промышленных объектов, объектов социального назначения, жилых домов			Совместное осуществление нескольких производственно-хозяйственных и научно-технических функций
Конструктивные схемы с учетом материала объекта конструкции	Кирпичные, крупноблочные из ячеистого бетона; монолитные из бетона и железобетона; каркасные	Крупнопанельные				
Форма подряда	Субподряд	Субподряд	Генподряд			—
Интересы участников	Одинаковые	Одинаковые	Взаимозависимые			Одинаковые
Уровень технологической связанности	Не имеет значения	Высокий	Средний или высокий			Не имеет значения

Общий годовой объем СМР	Небольшой	Средний	Большой и средний			Процесс создания и реализации конечного продукта не обязателен. Не дает возможности получить коммерческую выгоду участникам объединения
			Условно-замкнутая производственная система	Полный технологический цикл создания строительной продукции	Технологическая или организационная взаимосвязь. Создание градостроительной среды	
Степень замкнутости цикла «проектирование — строительство»	Низкий уровень замкнутости	Замкнутый технологический цикл				
Территориальная близость объектов	Рассредоточены на больших территориях объекты (сельская местность)	В городской местности	Преимущественно в городской местности		Региональный уровень	
Системообразующий фактор	Комплексы работ	Технология	Технология	Вертикальные связи	Территория	Координация предпринимательской деятельности и защита общих имущественных интересов
Перспективы развития	Развитие специализации; расширение свободной конкуренции	Комбинирование производства	Уникальная форма реализации коллективной собственности, заинтересованность в конечных результатах работы	Рациональная организация финансовых потоков. Обеспечение инвестиционной прозрачности. Единое информационное пространство	Строительно-технологические инновации. Единое информационное пространство	Общественно полезные результаты в таких областях, как профессиональная этика, экономические исследования, статистика, информационное обеспечение

**Источник:** разработка автора

На первом этапе система определяет, по какой ветви экспертизы будут направлены дальнейшие рассуждения (рис. 6).

### Какую цель Вы преследуете при выборе интеграционной формы?

- Обеспечение наиболее эффективных связей в системе «управление — проектирование — производство»
- Интеграция управленческих функций и задач в системе
- Создание рациональных материально-технических взаимосвязей в системе
- Обеспечение рациональных информационных потоков в системе
- Обеспечение рациональной организации финансовых потоков в системе
- Развитие строительно-технологических инноваций в системе
- Охват всех стадий развития производственных процессов в системе

**Рисунок 6.** Определение цели выбора интеграционной формы

**Источник:** разработка автора

Далее выявляется предметная область строительства (рис. 7).

### К какой предметной области строительства относится требуемая интеграционная форма?

- Новое строительство
- Реконструкция и расширение
- Ремонт и восстановление
- Техническое перевооружение

**Рисунок 7.** Выявление предметной области строительства

**Источник:** разработка автора

В зависимости от ответа на предыдущих два вопроса система предлагает конкретизировать область рассмотрения типов интеграционных форм (рис. 8).

### Какая отраслевая направленность деятельности?

- Комплексные объекты: промышленные, жилые дома, социального назначения
- Специализированные объекты: транспорта, магистральных трубопроводов, сельскохозяйственного назначения и линий электропередачи, мелиорации и водного хозяйства

**Рисунок 8.** Выявление отраслевой направленности деятельности

**Источник:** разработка автора

Таким образом, система ведет диалог с пользователем до тех пор, пока на основании правил, которые «вшиты» в нее, и ответов пользователя она сможет сделать однозначный выбор.

Экспертная система по выбору рекомендуемой интеграционной формы сочетает:

а) работу с базой данных, включающей нормативно-справочную информацию; данные по регионам, технологиям, объектам, исполнителям, машинам и механизмам;

б) работу с базой знаний, отражающих правила выбора рациональных (с учетом организационно-технологических решений) вариантов интеграционных форм определенного типа в зависимости от потребности пользователя и конкретных условий строительства (табл. 5).

Завершается экспертиза оценкой выбранных вариантов с точки зрения себестоимости работ, приведенных затрат и экономической эффективности принятых решений.

## Выводы

Таким образом, конечными пользователями системы будут являться опытные управленцы-практики в сфере строительного производства. В результате формулируются научно обоснованные формирования организационных форм и структур с учетом конкретных ситуаций и условий деятельности предприятий.

Как отмечают ведущие специалисты в области искусственного интеллекта, ценность экспертных систем определяется не типом ПК и не выбранной программной оболочкой, а прежде всего характером информации, представленной в банке знаний. Успех в конечном счете зависит от организации экспертизы и от удачного представления опыта профессионалов в виде правил и эвристических алгоритмов. Разработка экспертных систем является одним из приоритетных направлений в исследованиях искусственного интеллекта [6].

## Литература

1. Богомолов, Ю. М. Информационные технологии в организации и управлении строительством : учеб. пособие / Ю. М. Богомолов. — Минск : БелФорт ПС, 2002. — 159 с.

2. Богомолов, Ю. М. Информационные технологии в организации строительства / Ю. М. Богомолов. — Минск : ИРФ «Обозрение», 1997. — 240 с.

3. Дошина, А. Д. Экспертная система. Классификация. Обзор существующих экспертных систем / А. Д. Дошина // Молодой ученый. — 2016. — № 21 (125). — С. 756—758.

4. Математические методы и модели организации управления строительными производственными системами : учеб. пособие / Э. С. Спиридонов [и др.] ; под ред. М. С. Клыкова. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. — 112 с.

5. Муромцев, Д. И. Введение в технологию экспертных систем : учеб. пособие / Д. И. Муромцев. — СПб : СПб.ГУ ИТМО, 2005. — 93 с.

6. Мустафаева, Д. Г. Экспертные системы в организации и управлении производственных процессов / Д. Г. Мустафаева, М. Г. Мустафаев // Организатор производства. — 2013. — № 3. — С. 20—23.

7. Николаев, Ю. Н. Компьютерные технологии проектирования строительного производства: учеб. пособие / Ю. Н. Николаев. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2011. — 100 с.

Статья поступила в редколлегию: 15.04.2021