

УДК 519**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

Глазунова А.В. студент гр. С-111, 1 курс, Аксёнов Д.А. студент
гр. С-111, 1 курс

Научный руководитель: Шматков Р.Н. доцент, канд. физ.-мат. наук,
Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск

Аннотация

В статье рассматривается применение матричного аппарата в строительной отрасли. Анализируются теоретические основы метода конечных элементов (МКЭ), а также управленческие аспекты использования матриц: распределение ответственности (RACI), управление ресурсами и контроль сроков. Выявлены преимущества и ограничения матричного подхода, предложены рекомендации по его внедрению в практику строительных организаций.

Ключевые слова: матрицы, метод конечных элементов, строительство, управление проектами, матрица ответственности, RACI, оптимизация ресурсов.

Введение

Современная строительная отрасль сталкивается с экспоненциальным ростом сложности проектов. Увеличение этажности, усложнение инженерных систем, ужесточение требований безопасности требуют новых подходов к проектированию и управлению. Традиционные методы планирования не всегда справляются с объёмом взаимосвязей между элементами конструкции, ресурсами и участниками строительства. В этих условиях особую актуальность приобретает применение математического аппарата, в частности, теории матриц.

Цель данной работы — изучение возможностей применения матриц в строительстве и оценка их влияния на эффективность управления проектами. Для достижения цели поставлены следующие задачи: рассмотреть теоретические основы матричных методов, проанализировать их практическое применение в управлении ресурсами и ответственностью, выявить риски и ограничения использования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают процессы управления и проектирования в строительной отрасли. Предмет — методы применения матриц для анализа, планирования и оптимизации строительных проектов. В работе использованы методы системного анализа, сравнительного анализа, а также обобщение практического опыта применения матричных моделей в строительстве.

Результаты и их обсуждение

1. Матрицы как математический инструмент в строительстве

Матрица представляет собой прямоугольную таблицу чисел, элементов или функций, расположенных в строках и столбцах. В строительстве матрицы служат удобной формой для представления и обработки больших массивов данных. Ключевыми свойствами, востребованными в отрасли, являются:

- **Транспонирование** — изменение ориентации матрицы, необходимое при преобразовании систем координат в расчётах конструкций;
- **Сложение и умножение** — позволяют комбинировать различные нагрузки на конструкцию;
- **Вычисление определителя** — играет критическую роль в решении систем линейных уравнений, лежащих в основе анализа устойчивости зданий.

2. Матричный анализ сложных систем в строительстве

Строительный проект можно рассматривать как сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных элементов. Матричный анализ позволяет формализовать эти связи. Используя матрицы смежности или инцидентности, можно наглядно представить зависимости между этапами работ, ресурсами и задачами, участниками и процессами. Такой подход исключает хаотичность в планировании и делает структуру проекта прозрачной для анализа «узких мест».

3. Метод конечных элементов (МКЭ) как основа матричных расчётов

Наиболее ярким примером применения матриц в строительстве является метод конечных элементов. Суть метода заключается в разбиении сложной конструкции (например, небоскрёба или моста) на множество мелких простых элементов. Для каждого элемента составляется матрица жёсткости, описывающая его реакцию на приложенные нагрузки. Затем, путём ансамблирования всех матриц, формируется глобальная матрица жёсткости для всей системы. Решение этой глобальной матричной системы

уравнений позволяет инженерам с высокой точностью прогнозировать перемещения, напряжения и деформации в любой точке конструкции при различных сценариях нагружения [2, 4].

4. Матрицы в управлении ресурсами и логистикой

Эффективность строительства напрямую зависит от своевременности поставок материалов и наличия рабочей силы. Матричный подход позволяет оптимизировать эти процессы. Например, можно построить матрицу «Работы — Материалы», где на пересечении указывается необходимое количество ресурса (табл. 1). Путём умножения этой матрицы на вектор-столбец объёмов работ можно получить точный план потребности в материалах на любой период времени. Это минимизирует риски простоев из-за нехватки материалов или затоваривания складов.

Табл. 1

Матрица потребности в материалах по видам работ (условный пример)

Вид работ	Бетон, м ³	Арматура, т	Кирпич, тыс. шт.	Пиломатериалы, м ³
Фундамент	120	8,5	-	2,0
Стены	40	3,0	95	1,5
Перекрытия	85	6,2	-	0,8
Кровля	-	0,5	-	12,0

5. Матрица ответственности (RACI) как инструмент управления проектами

В управлении строительными проектами для чёткого распределения функций используется матрица RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed). Это таблица, где по строкам перечислены задачи, а по столбцам — участники проекта. В ячейках проставляются роли: исполнитель, утверждающий, консультирующий, информируемый (табл. 2). Применение матрицы RACI исключает ситуацию, когда задача остаётся без исполнителя или возникает путаница из-за пересечения полномочий [3].

Табл. 2

Фрагмент матрицы ответственности RACI для строительного проекта

Задача / Этап	Прораб	Инженер ПТО	Заказчик	Поставщик
Подготовка котлована	R	I	A	-
Закупка материалов	C	R	A	I
Приёмка бетона	I	R	A	C
Исполнительная документация	C	R	A	-

Примечание: R — исполнитель, A — ответственный (утверждающий), C — консультирующий, I — информируемый.

6. Матричный контроль сроков и затрат

Матрицы могут служить основой для мониторинга выполнения проекта. Сравнение плановых и фактических показателей удобно выполнять в матричной форме. Например, наложение матрицы плановых трудозатрат на матрицу фактических позволяет быстро выявить участки, где происходит отставание от графика или перерасход бюджета. Это обеспечивает возможность оперативного вмешательства и корректировки планов.

7. Преимущества и риски использования матриц

Внедрение матричных методов даёт ряд существенных преимуществ:

- повышение точности расчётов;
- прозрачность управления;
- оптимизация ресурсов;
- улучшение контроля;
- снижение рисков.

Однако существуют и ограничения: сложность восприятия для персонала, риск формализации процессов, статичность матриц (необходимость регулярного обновления), возможность ошибок интерпретации ролей [1].

Заключение

В ходе исследования установлено, что использование матриц в строительной отрасли выходит далеко за рамки чисто инженерных расчётов. Матричный аппарат является универсальным языком описания сложных систем, позволяющим эффективно работать как с физическими характеристиками зданий (через МКЭ), так и с абстрактными управленческими категориями — ресурсами, сроками, ответственностью.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией матричных методов с цифровыми технологиями (BIM-моделирование) и искусственным интеллектом. Автоматическое формирование матриц жёсткости на основе BIM-модели или динамическое обновление матрицы RACI — это ближайшее будущее строительной отрасли.

Для успешного внедрения матричного подхода строительным компаниям рекомендуется:

1. Проводить обучение персонала основам матричного анализа.
2. Начинать внедрение с простых форм (например, матрица ответственности для пилотного проекта).
3. Обеспечить регулярное обновление матричных данных.
4. Использовать специализированное программное обеспечение, автоматизирующее матричные вычисления.

Список использованных источников

1. Репин, В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В. В. Репин. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 512 с.
2. Агапов, В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций: учеб. пособие / В.П. Агапов. – Изд-во АСВ, 2004. – 248 с.
3. Трофимов, В. В. Управление проектами / В. В. Трофимов // Учебное пособие. – 2019. – С. 62-69.
4. Демьяненко Ю.И. Интеграция информационных технологий в образовательный процесс вуза / Материалы III Межвузовской научно-практической конференции с международным участием / Информационные технологии и информационная безопасность в профессиональной деятельности. Новосибирск, 2024. С. 36–40.
5. Тухфатуллин, Б.А. Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов: учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 100 с.