

Скороходов Алексей Андреевич,
начальник отдела, Войсковая часть 34011

Титеев Иван Сергеевич,
старший преподаватель 7 кафедры
(управления строительством и эксплуатацией объектов
военной инфраструктуры), ВИ (ИТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УСИЛЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. В статье предложены подходы, основанные на теории игр и методах нечеткой логики, позволяющие учитывать неопределенность и многокритериальность задач в процессе принятия решений по усилению строительных конструкций при реконструкции объектов ракетно-космических комплексов.

Ключевые слова: Реконструкция, усиление конструкций, многокритериальный анализ.

Введение

Ракетно-космические комплексы являются объектами стратегического назначения, эксплуатация которых сопровождается значительными нагрузками, учитывая уникальность данных объектов, реконструкция требует использования современных методов, позволяющих принимать обоснованные решения в условиях многокритериальности и неопределенности [1, 2].

Цель работы – разработать математическую модель принятия решений, которая учитывает особенности реконструкции объектов ракетно-космических комплексов и позволяют выбрать оптимальные методы усиления конструкций.

Постановка задачи

Рассматривается задача выбора оптимального метода усиления строительных конструкций из множества доступных альтернатив. Критерии выбора включают: надежность (устойчивость к нагрузкам, долговечность); экономическая эффективность (стоимость работ, эксплуатационные расходы); сроки выполнения; технологическая применимость.

В условиях неопределенности информации и необходимости учета множества критериев используются методы теории игр и нечеткой логики [3].

Математические методы принятия решений

Применение теории игр

Теория игр применяется для выбора стратегии усиления в условиях взаимодействия различных факторов, влияющих на решение.

Элементы модели:

1. Игроки: заинтересованные стороны (проектировщики, строители, заказчики).
2. Стратегии: доступные методы усиления (например, усиление композитными материалами, усиление железобетонными элементами, усиление стальными элементами).
3. Выигрыши: критерии эффективности, выраженные в виде выигрыша каждого игрока.

Формализация:

Рассмотрим нормальную форму игры, заданную матрицей выигрышей:



$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где, u_{ij} – выигрыш игрока i при выборе стратегии j .

Находится равновесие по Нэшу, которое соответствует стратегии, оптимальной для всех игроков:

$$x^* = \arg \max_{x \in S} \min_i u_i(x), \quad (2)$$

где, S – множество возможных стратегий.

Применение методов нечеткой логики

Для учета неопределенности входных данных применяется нечеткая логика. Этапы решения:

1. Формализация критериев: каждый критерий оценивается через нечеткие множества, например: «Высокая надежность» – $\mu(x) = 0,8$; «Низкая стоимость» – $\mu(x) = 0,6$.

Функция принадлежности для критерия C_k :

$$\mu_{C_k}(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}, \quad (3)$$

где, a и b – параметры функции.

2. Фаззификация данных: преобразование входных данных в нечеткие множества. Для этого используются функции принадлежности, которые отображают значение входного параметра на степень принадлежности к нечеткому множеству, которые зависят от выбора функции принадлежности (таблица 1) [4].

3. Агрегация критериев: используется оператор взвешенного суммирования:

$$\mu_{\text{итог}}(x) = \sum_{k=1}^n W_k \cdot \mu_{C_k}(x), \quad (4)$$

где, W_k – вес критерия C_k .

4. Дефаззификация: преобразование нечеткого результата в четкое значение методом центра тяжести:

$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}. \quad (5)$$

Таблица 1.

Функции принадлежности преобразования четких данных
(например, чисел) в нечеткие множества

| Функция принадлежности | Формула |
|------------------------------------|--|
| Треугольная функция принадлежности | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ или } x \geq c, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c. \end{cases},$ <p>где, a, b, c – параметры определяющие границы треугольника.</p> |
| Гауссова функция принадлежности | $\mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}},$ <p>где, c – центр функции; σ – ширина распределения.</p> |



| | |
|--------------------------------------|--|
| Сигмоидальная функция принадлежности | $\mu_{C_k}(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}$ |
| Линейная функция принадлежности | $\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b, \\ 1, & x \geq b. \end{cases}$ |

Применение теории игр к задаче выбора метода усиления строительных конструкций при реконструкции объектов ракетно-космических комплексов позволяет учитывать интересы всех заинтересованных сторон и множественность критериев [2]. Этот подход позволяет формализовать процесс принятия решений как игру, где каждая сторона стремится максимизировать свою выгоду в рамках определённых ограничений [5].

В данной задаче игроками выступают ключевые участники процесса:

проектировщик: заинтересован в достижении максимальной надежности конструкций;

заказчик: нацелен на минимизацию затрат и соблюдение сроков выполнения работ;

подрядчик: стремится выбрать наиболее технологически удобный и быстрый метод усиления.

Каждый игрок выбирает из набора стратегий. Например, возможные методы усиления: стратегия 1 (использование композитных материалов); стратегия 2 (использование железобетонных элементов); стратегия 3 (усиление стальных элементов).

Выигрыши каждого игрока представляют их удовлетворенность в зависимости от выбранной стратегии. Пример матрицы выигрышей для трёх игроков и трёх стратегий представлен формулой 1.

Игроки могут объединяться для достижения общей цели, распределяя выигрыши пропорционально их вкладу, при этом каждый игрок стремится максимизировать свой выигрыш независимо от действий других игроков.

Для решения задачи используется равновесие Нэша – состояние, при котором ни один игрок не может улучшить свой результат, изменив стратегию, если стратегии других игроков остаются неизменными. Равновесие находится по формуле 2.

Дальнейшее решение осуществляется с применением методов нечеткой логики по формулам 3-5.

Заключение

Предложенный подход демонстрирует эффективность в моделировании процесса принятия решений по усилению конструкций. Методы теории игр и нечеткой логики позволяют учитывать неопределенность и многокритериальность, что особенно важно для реконструкции стратегически важных объектов.

Список литературы:

1. Методика обоснования выбора проектного варианта реконструкции здания на основе системного анализа и сформированной иерархии критериев, влияющих на принятие решений / Ю. А. Бирюков, Ю. Н. Казаков, И. С. Титеев, В. Е. Иванов // Актуальные проблемы военных-научных исследований. – 2024. – № 1 (29). – С. 233-247. – EDN HTOFDN.
2. Солдатенко, Т. Н. Методика оценивания уровня риска аварии железобетонной конструкции стартового сооружения по постоянной износа / Т. Н. Солдатенко, Е. А. Тюрин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2023. – № 687. – С. 305-310. – EDN CNZJEE.



3. Бирюков, Ю. А. оптимизация поставок строительных материалов к объекту реконструкции / Ю. А. Бирюков, И. С. Титеев // Тыловое обеспечение войск национальной гвардии Российской Федерации на современном этапе развития: сборник научных статей XIII научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 20 октября 2023 года. – Пермь: Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2023. – С. 60-65. – EDN PMOLIL.
4. Немчинов В.С. Экономико-математические методы и модели. -М.: Соцэкгиз, 1962. – 478 с.
5. Бирюков, Ю. А. Система поддержки принятия решений как инструмент управления реконструкцией зданий и сооружений при ликвидации последствий вооруженных конфликтов / Ю. А. Бирюков, И. С. Титеев, Р. З. Гизатуллин // Актуальные проблемы естественных и технических наук: Сборник статей межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 10-18.

