

Полученные в работе зависимости позволяют с определенным запасом получить нелинейную реакцию системы “сила-перемещение” без привлечения сложных лицензионных комплексов и произвести оценку живучести рамной конструкции в особой расчётной ситуации.

#### **Список цитированных источников**

1. General Actions – Accidental Actions (ТКП EN 1991-1-7 – Общие воздействия. Часть 7. – Особые воздействия): EN 1991-1-7.
2. ТКП EN 1990-2011. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: МАиС, 2012
3. Тур, А.В. Соппротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01/ А.В. Тур; Брест, 2012. – 228 с.

УДК 624.131.2

*Иванович В.Е., Алипова Д.А.*

*Научные руководители: старший преподаватель Демина Г.П.  
старший преподаватель Клебанюк Д.Н.*

### **ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Выбор оптимальных конструктивно-технологических (КТР) решений, при проектировании свайных фундаментов, является сложной технической задачей, требующей реализации принципов комплексности и системности подходов к оценке возможных конкурентоспособных вариантов [1, 2, 3].

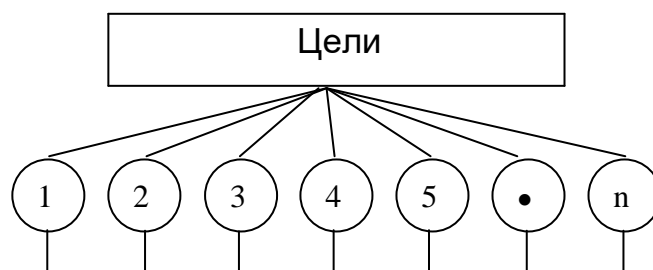
Традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию отдельных параметров, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных КТР только по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения надежности и качества технического решения.

В целом на процесс принятия проектного решения по устройству свайных фундаментов оказывают влияние следующие факторы: инженерно – геологические и гидрогеологические условия стройплощадки; конструктивная схема здания; строительные, заводские, технологические и временные ограничения (несовершенство оборудования и механизмов, стесненность условий, срок строительства и т.д.) [4, 5].

Так как выбор решения необходимо осуществлять на базе «наибольшей предпочтительности», т.е. оптимизации на совокупность показателей эффективности с учетом неопределенности факторов и условий, то собственно решение представимо в виде следующих частных задач [3]:

- выбор способа представления вариантов, удобного для полного их перебора из исходного множества и полного набора показателей эффективности, которые должны учитываться при оценке каждого варианта, а также шкалы и процедуры оценок по каждому показателю эффективности (ПЭ);
- выбор процедуры, позволяющей выделить из исходного множества вариантов (альтернатив) подмножество наиболее предпочтительных вариантов и на их основе построить ряд предпочтительности альтернатив.

Логическая схема, позволяющая реализовать все эти задачи и выбрать альтернативные варианты, представлена на рисунке 1.



Матрица исходных показателей эффективности (P)

Альтернатива	Показатель		
	$X_1$	•	$X_n$
$a_1$	$X_{11}$	•	$X_{1n}$
•	•	•	•
$a_m$	$X_{m1}$	•	$X_{mn}$

Матрица группирования и нормализации показателей эффективности (P)

Альтернатива	Показатель-требование			Оценочный показатель			Учитываемые условия		
	$X_1^1$	•	$X_i^1$	$X_1^2$	•	$X_n^2$	$X_1^3$	•	$X_s^3$
$a_1$	$\bar{X}_{11}^1$	•	$\bar{X}_{i1}^1$	$\bar{X}_{11}^2$	•	$\bar{X}_{n1}^2$	$\bar{X}_{11}^3$	•	$\bar{X}_{s1}^3$
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
$a_m$	$\bar{X}_{m1}^1$	•	$\bar{X}_{mi}^1$	$\bar{X}_{m1}^2$	•	$\bar{X}_{mi}^2$	$\bar{X}_{m1}^3$	•	$\bar{X}_{ms}^3$

Выбор коэффициентов весомости ( $q_j$ ) и рангов ( $r_j$ )

Матрица оценок (взвешенных показателей  $\hat{P}$ )

Альтернатива	Оценочный показатель			Учитываемые условия		
	$X_1^2$	•	$X_i^2$	$X_1^3$	•	$X_i^3$
$a_1$	$\bar{X}_{11}^2$	•	$\bar{X}_{i1}^2$	$\bar{X}_{11}^3$	•	$\bar{X}_{i1}^3$
•	•	•	•	•	•	•
$a_m$	$\bar{X}_{m1}^2$	•	$\bar{X}_{mi}^2$	$\bar{X}_{m1}^3$	•	$\bar{X}_{mi}^3$

Матрица критериев (K)

Альтернатива	Критерии		
	$k_1$	•	$k_n$
$a_1$	$k_{11}$	•	$k_{1n}$
•	•	•	•
$a_m$	$k_{m1}$	•	$k_{mn}$

Матрица предпочтительности (U)

Альтернатива	Значение предпочтительности (полезности)
	$U_1$
$a_1$	$U_1$
•	•
$a_j$	$U_j$
•	•
$a_m$	$U_m$

**Рисунок 1 – Схема реализации задачи по выбору оптимального варианта свайного фундамента в условиях неопределенности**

Рассмотрим предложенную методику по выбору варианта со значимыми показателями эффективности для экспериментального объекта (80-квартирный жилой дом КПД-12 в микрорайоне «Вулька-3» г. Брест).

Инженерно-геологические условия стройплощадки типичны для большинства стройплощадок новых микрорайонов в г. Бресте. Максимальная глубина забивки свай 9,1 м. Сечение свай 30×30 см. Некоторое отличие характерно только для гидрогеологических условий.

В таблице 1 приведены результаты испытаний, позволяющие осуществить выбор варианта конструкции свайного фундамента из ограниченного множества (шести конструктивных схем –  $l_{ce}= 4, 5, 6, 7, 8, 9$ , где  $l_{ce}$  – глубина погружения свай, м).

Таблица 1 – Показатели эффективности свайных фундаментов

Вариант	Конструкция фундамента	Показатели эффективности				
		Стоимость, у.е./м <sup>3</sup>		Удельная стоимость, у.е./кН	Несущая способность (предельная нагрузка), кН/м.п.	Удельная несущая способность, кН/м <sup>3</sup>
		изготовление свай	производство работ			
1	2	3	4	5	6	7
1	$d=4$ м; $n=1,54$	49,9	34,41	0,130	640	1038,90
2	$d=5$ м; $n=1,21$	49,0	33,79	0,127	680	1123,90
3	$d=6$ м; $n=1,08$	52,49	36,21	0,137	630	972,20
4	$d=7$ м; $n=0,92$	52,16	35,97	0,136	690	1071,43
5	$d=8$ м; $n=0,85$	55,08	37,98	0,143	650	955,88
6	$d=9$ м; $n=0,73$	53,22	36,70	0,138	680	1035,01

*Примечание:*  $d$  – длина свай, м;  $n$  – количество свай на 1 п.м.

Исходные данные для определения ряда предпочтительности вариантов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Кардинальные и ординальные показатели эффективности свайных фундаментов

Показатель эффективности	Индекс показателя	Варианты			Значимость показателя
		$a_2$	$a_3$	$a_6$	
1	2	3	4	5	6
Стоимость изготовления свай, у.е./м <sup>3</sup>	$X_1$	49,0	52,49	53,22	0,18
Стоимость производства работ, у.е./м <sup>3</sup>	$X_2$	33,79	36,21	36,70	0,15
Удельная стоимость, у.е./кН	$X_3$	0,127	0,137	0,138	0,23
Общая стоимость, у.е./м <sup>3</sup>	$X_4$	82,79	88,70	92,72	0,21
Объем бетона, м <sup>3</sup> /м.п.	$X_5$	0,61	0,65	0,67	0,07
Относительные энергетические затраты	$X_6$	II	II	III	0,04
Внутренние факторы, независящие от проектировщиков	$X_7$	II	II	II	0,02
Внутренние факторы, независящие от строителей	$X_8$	III	III	III	0,02
Внешние факторы особенностей сваебойного оборудования	$X_9$	I	II	III	0,03
Внешние факторы квалификации специалистов	$X_{10}$	II	II	III	0,02
Внешние факторы неоднородностей и случайности	$X_{11}$	I	II	Ш	0,03

Предпочтительность вариантов анализировалась на основе энтропии [6], для чего, преобразуя исходную матрицу ( $P$ ) в расчетную ( $\bar{P}$ ), были определены уровни энтропии ( $E_j$ ), уровни изменчивости ( $d_j$ ) и абсолютные весомости показателей ( $q_j$ ).

Полученные критерии средневзвешенного успеха принимаемого решения позволяют расположить варианты по предпочтительности следующим образом:  $a_4 > a_3 > a_1 > a_2$ , т.е.  $a_4$  «не хуже чем  $a_3$ » и т.д.

Не менее существен и вопрос направленного улучшения выбранных (из всех конкурентоспособных) вариантов конструктивно-технологических решений, которое базируется на общей функции полезности, учитывающей как независимость по предпочтительности, так и независимость по полезности.

Проверка выполнения условий НПР и НПО проводилась для всех пар переменных, позволила получить эквивалентные пары многомерных альтернатив, а учитывая, что общая функция полезности должна иметь мультипликативную форму вида

$$u(x_i) = \frac{1}{k} \prod_{i=1,4} [1 + k_i \cdot k \cdot u_i(x_i)] - 1; \quad \sum_{i=1}^4 k_i \neq 1$$

показала, что лучшим технологическим вариантом является вариант  $a_3$ .

Все это позволяет сделать вывод, что так как показателями эффективности проектного решения являются стоимостные, временные, ресурсные, эксплуатационные и ряд других показателей, т.е. очень большая группа возможных альтернатив, то для выбора оптимального ресурсосберегающего конструктивно-технологического варианта целесообразно использовать предложенную общую логическую схему выбора ресурсосберегающих решений. При этом основные задачи – составление ряда предпочтительности и выбор окончательного варианта решений – можно решать на любом уровне: очень осторожном, среднечисленном или рисковом с использованием современных математических методов [1, 7].

#### **Список цитированных источников**

1. Шведовский, П.В. Выбор оптимальных решений в строительстве / П.В. Шведовский, Л.К. Вайнгард, Н.И. Мальцева. – М: Ярославль: ЦНИИЭПсельстрой, 1990. – 309 с.

2. Кречин, А.С. Ресурсосберегающие фундаменты на сельских стройках / А.С. Кречин, П.В. Шведовский, В.П. Чернюк. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1990. – 245 с.

3. Завадкас, Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве / Э.К. Завадкас. – Вильнюс: Мокслас, 1987. – 209 с.

4. Рекомендации по рациональной области применения в строительстве свай различных видов. НИИпроект, М., Стройиздат, 1996. – 84 с.

5. Пойта, П.С. Эффективные конструкции свайных фундаментов в инженерно-геологических условиях Беларуси / П.С. Пойта, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ, Строительство и архитектура. – 2008. – № 1. – С. 24- 25.

6. Миркин, Б.Г. Решение проблем группового выбора / Б.Г. Миркин. – М: Наука, 1998. – 316 с.

7. Глюшинский, И.Г. Основы инженерного прогнозирования на примере свайного фундамента / И.Г. Глюшинский. – М: Стройиздат, 1972. – 326 с.