

*Алексей Никифоров, Иван Менейлюк, Михаил Ершов*

## **ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЧЕНИЙ**

*Олексій Нікіфоров, Іван Менейлюк, Михайло Єршов*

## **ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПРОТИВАВАРІЙНИХ ЗАХОДІВ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ**

*Aleksei Nikiforov, Ivan Meneiliuk, Michail Ershov*

## **THE SELECTION OF ALTERNATIVES DURING EMERGENCY REPAIR AND CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL CONSTRAINS**

*Проанализированы конструктивно-технологические решения проекта противоаварийных мероприятий инженерного сооружения на примере радиобашни им. Шухова. Приведены результаты экспериментально-статистического моделирования и оптимизации проекта в условиях заданных ограничений по возможным технологическим условиям проведения работ и по величине показателей эффективности проекта. Рекомендованы оптимальные условия проведения строительно-монтажных работ.*

**Ключевые слова:** экспериментально-статистическое моделирование, реконструкция, высотные инженерные сооружения, численные методы оптимизации.

*Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 5*

*Проаналізовано конструктивно-технологічні рішення проекту протиаварійних заходів інженерної споруди на прикладі радіобашни ім. Шухова. Наведено результати експериментально-статистичного моделювання та оптимізації проекту в умовах заданих обмежень щодо можливих технологічних умов проведення робіт та за величиною показників ефективності проекту. Рекомендовані оптимальні умови проведення будівельно-монтажних робіт.*

**Ключові слова:** експериментально-статистичне моделювання, реконструкція, висотні інженерні споруди, чисельні методи оптимізації.

*Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 5*

*The paper contains analysis of structural and technological project solutions of emergency repair works on engineering structures on the example of Shukhov tower in Moscow. The results of experimental statistical modeling and optimization of the project in a given technological constraints on the possible conditions of work and performance indicators of the project are presented. Optimal conditions for carrying out construction works are recommended.*

**Keywords:** experimental statistical modelling, reconstruction, high-rise structures, numerical methods of optimization.

*Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 5.*

**Введение.** В Украине и за её пределами имеется большое количество высотных инженерных сооружений. Большая часть из них эксплуатируется десятки лет и более. Многие высотные инженерные сооружения требуют проведения ремонтно-восстановительных работ, а некоторые – противоаварийных. Реализация таких проектов требует значительных затрат. Как правило, существует множество вариантов выполнения работ по реконструкции. Они могут иметь различную стоимость, сроки выполнения. Специфика некоторых объектов требует определённого графика работ (только в ночную смену, использование ограниченного количества людей или календарного времени). В нормативных документах и изученных информационных источниках отсутствуют указания по выбору эффективных организационно-технологических решений при реконструкции таких сооружений. Поэтому такие работы требуют моделирования и последующей оптимизации по наиболее важным критериям.

Использование традиционных методов моделирования строительных процессов не даёт возможности оценить эффективность вариантов организационно-технологических решений. Моделирование таких вариантов и анализ экспериментально-статистических моделей позволит определить лучшее решение по выбранным критериям эффективности.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является выбор конструктивно-технологических альтернатив противоаварийных мероприятий при реконструкции высотных инженерных сооружениях в условиях заданных ограничений на примере радиобашни им. Шухова. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм численной оптимизации конструктивно-технологических решений проекта противоаварийных мероприятий.
2. Провести численный эксперимент и построить аналитические и графические зависимости исследуемых показателей от влияющих факторов.
3. Рекомендовать оптимальные варианты производства строительно-монтажных работ при конструктивно-технологических ограничениях.

Для решения задачи оптимизации проекта противоаварийных мероприятий радиобашни им. Шухова был проведён численный эксперимент по моделированию вариантов организационных решений этих работ. При проведении численного исследования использовались теории оптимального планирования эксперимента, экспериментально-статистического моделирования, современное программное обеспечение для построения календарно-сетевых моделей строительного производства [1; 2; 3].

Решение задач оптимизации состоит из этапов, показанных на рис. 1.

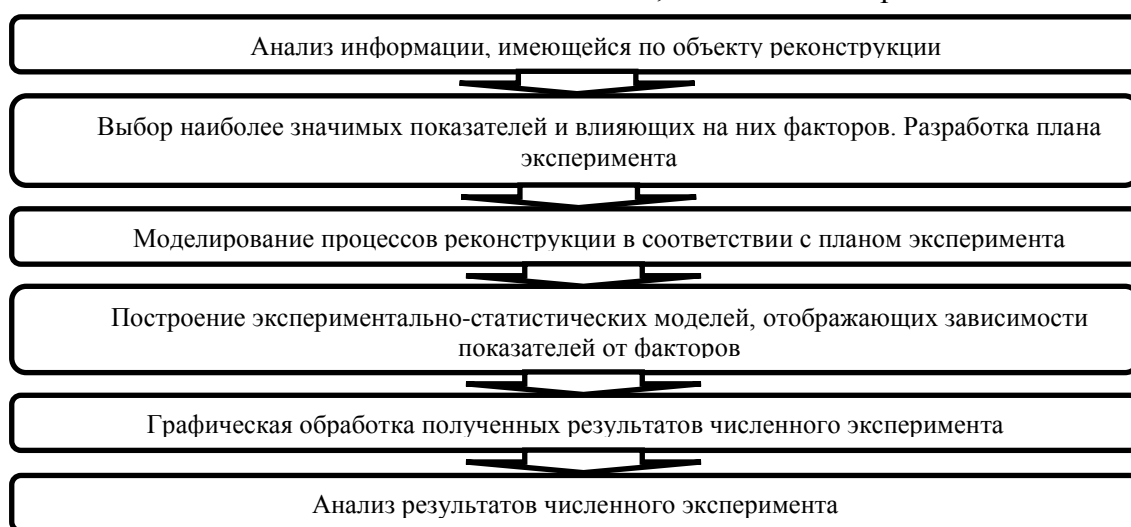


Рис. 1. Блок-схема методики исследования

Проведение численного исследования по разработанному алгоритму позволит обоснованно выбрать оптимальные конструктивно-технологические решения по проведению комплекса восстановительных работ в сложных организационных условиях при ограниченном финансировании [4]. При проведении исследования была использована сметная документация, отражающая актуальные затраты на проведение строительно-монтажных работ. Построение графиков строительства позволило корректно отобразить последовательность и принятые технологические решения при проведении высотных монтажных работ. Таким образом, настоящее исследование даёт количественную оценку альтернатив реализации проекта при изменяющихся вариантах организации комплекса восстановительных работ, условий финансирования и имеющихся ограничений.

Объектом оптимизационного исследования является процесс возведения временных несущих конструкций. Их назначение – поддерживать аварийное сооружение до и во время работ по реконструкции. Оптимизация конструктивно-технологического решения направлена на удешевление и ускорение процесса возведения временных конструкций и их демонтажа после восстановления основных конструкций башни. Обязательным условием при этом является полная сохранность объекта культурного наследия – башни им. Шухова.

Для оптимизации проекта противоаварийных работ было проведено экспериментально-статистическое моделирование процесса возведения временных опор. В процессе моделирования были исследованы следующие показатели:

- длительность монтажа временных несущих конструкций ( $Y_1$ );

– интенсивность финансирования проекта ( $Y_2$ ).

Прямые затраты приняты в соответствии со сметной документацией с учётом необходимых сметных коэффициентов и начислений. При расчёте условно-постоянных расходов применялась ставка, равная 500 тыс. р./мес. На показанные выше показатели наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы:

1. Конструктивно-технологическое решение устройства временных несущих конструкций (КТР) – предполагает два варианта:

а) устройство с помощью сварных соединений временных несущих конструкций в виде полых колонн с последующим заполнением бетоном до отметки +24,65 м – КТР1;

б) устройство временных несущих конструкций в виде полых колонн с заполнением бетоном до отметки +1,50 м, при использовании фланцевых соединений и при условии увеличении толщины стенок трубных элементов – КТР2.

2. Степень укрупнения монтируемых элементов колонн ( $X_1$ ) – предполагает условно непрерывное изменение степени укрупнения элементов в пределах веса одного монтируемого элемента от 1 до 10 т. Это соответствует минимально и максимально возможному весу элементов с учётом условий производства работ и техники безопасности.

3. Количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций ( $X_2$ ) – принято в пределах от 5 до 15 человек. Фактор учитывает возможность постановки одного, двух или трёх полиспастов обслуживания. При этом общее количество рабочих разделяется на звенья в соответствии с наличием полиспастов.

Матрица результатов эксперимента приведена в табл. В ней показаны значения показателей в различных точках факторного пространства, а также уровни варьирования факторов, при которых были получены соответствующие значения показателей.

Таблица

Матрица результатов исследования

№ п.п.	Степень укрупнительной сборки монтируемого элемента М/К колонн ( $X_1$ ), %.	Количество рабочих, занятых на монтаже М/К ( $X_2$ ), чел.	Длительность монтажа М/К ( $Y_1$ ), раб. дней	Интенсивность финансирования проекта ( $Y_2$ ), тыс. р./мес.	№ п.п.	Степень укрупнительной сборки монтируемого элемента М/К колонн ( $X_1$ ), %.	Количество рабочих, занятых на монтаже М/К ( $X_2$ ), чел.	Длительность монтажа М/К ( $Y_1$ ), раб. дней	Интенсивность финансирования проекта ( $Y_2$ ), тыс. р./мес.
Конструктивно-технологическое решение №1 – КТР1					Конструктивно-технологическое решение №2 – КТР2				
1.1	0	5	316	7 160,38	2.1	0	5	269	7 903,22
1.2	50	5	229	8 878,23	2.2	50	5	198	9 396,64
1.3	100	5	221	9 162,19	2.3	100	5	189	9 645,06
1.4	0	10	158	11 205,90	2.4	0	10	134	12 116,72
1.5	50	10	114	13 272,85	2.5	50	10	99	13 832,59
1.6	100	10	110	13 594,12	2.6	100	10	94	14 050,34
1.7	0	15	105	13 923,76	2.7	0	15	89	14 836,34
1.8	50	15	76	15 978,70	2.8	50	15	66	16 396,89
1.9	100	15	73	16 285,84	2.9	100	15	63	16 642,98

По результатам регрессионного анализа [5] были построены аналитические модели изменения показателей проекта противоаварийных мероприятий. Формулы 1 и 2 являются ЭС-моделями показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» в аналитическом виде (при КТР1 и КТР2). Формулы 3 и 4 являются ЭС-моделями показателя «интенсивность финансирования проекта» в аналитическом виде (при КТР1 и КТР2).

$$Y_1^{\text{КТР1}} = \text{EXP}(4,744 - 0,179 x_1 + 0,14 x_1^2 + \dots - 0,549 x_2 + 0,144 x_2^2); \quad (1)$$

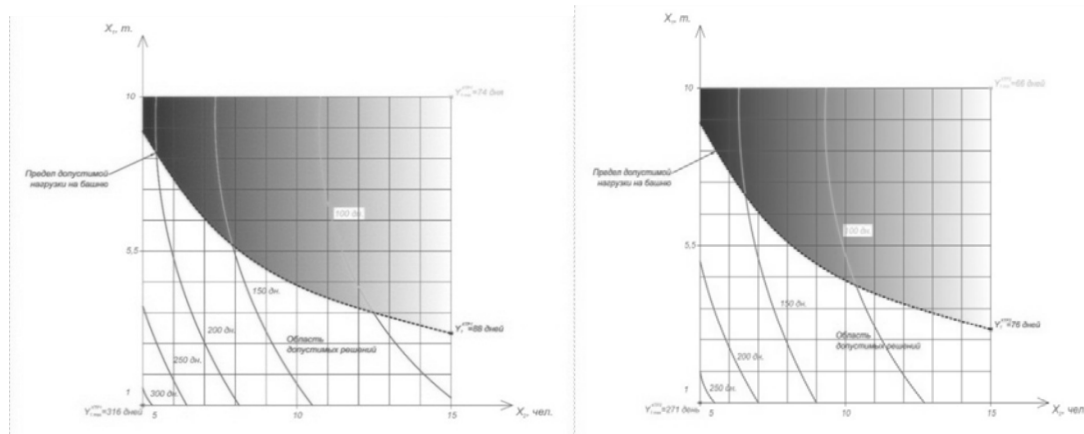
$$Y_1^{\text{КТР}2} = \text{EXP}(4,593 - 0,167 x_1 + 0,138 x_1^2 + 0,012 x_1 x_2 - 0,541 x_2 + 0,152 x_2^2); \quad (2)$$

$$Y_3^{\text{КТР}1} = \text{EXP}(9,494 + 0,1 x_1 - 0,075 x_1^2 - 0,022 x_1 x_2 + 0,305 x_2 - 0,11 x_2^2); \quad (3)$$

$$Y_3^{\text{КТР}2} = \text{EXP}(9,535 + 0,077 x_1 - 0,058 x_1^2 - 0,021 x_1 x_2 + 0,289 x_2 - 0,108 x_2^2); \quad (4)$$

По результатам технического обследования состояния Шуховской башни возникла ситуация, при которой приложение нагрузок к аварийной конструкции было существенно ограничено. Была решена задача поиска минимально возможного значения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при максимально допустимой дополнительной нагрузке, равной 9 т, без учёта веса полиспастов обслуживания и грузозахватных приспособлений.

Данная задача может быть решена графическим способом. Рассмотрим рис. 2. Область допустимых значений на данном рисунке ограничена красной кривой. Любая точка данной кривой имеет значение дополнительной нагрузки на башню им. Шухова, равное 9 т, при различных сочетаниях уровней факторов  $X_1$  и  $X_2$ . Для обоих вариантов КТР наименьшее значение показателя находится в точке ( $X_1=3$  т.;  $X_2=15$  чел.):  $Y_{1 \text{огр.}}^{\text{КТР}1} = 88$  дн.;  $Y_{1 \text{огр.}}^{\text{КТР}2} = 76$  дн. При адаптации данного решения к технологическим реалиям это равно использованию трёх полиспастов, каждый из которых обслуживается одним звеном рабочих, при нагрузке на каждый полиспаст не более 3 т.



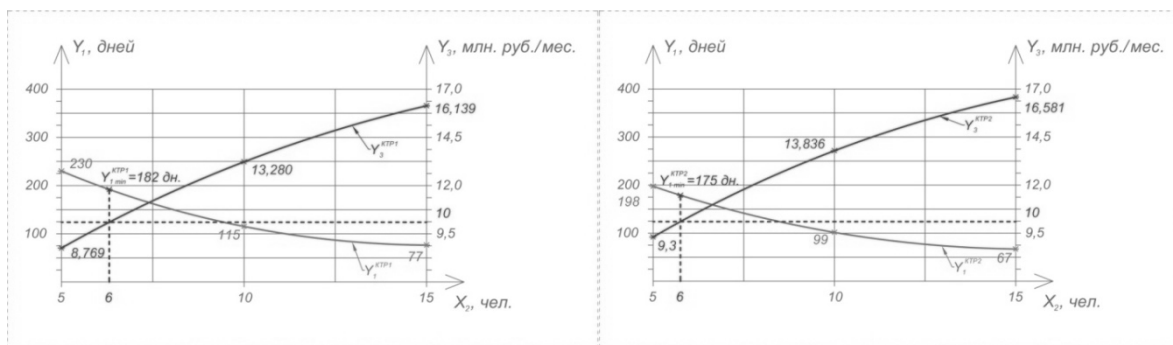
Конструктивно-технологическое решение №1 – КТР1 Конструктивно-технологическое решение №2 – КТР2

Рис. 2. Закономерности изменения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при ограничении по допустимой нагрузке 14 т

Рассмотрим задачу поиска минимально возможного значения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при следующих ограничениях:

- Ограничение по показателю «интенсивность финансирования проекта» –  $Y_{3 \text{огр.}} \leq 10$  млн р./мес.
- Ограничение по уровню фактора «степень укрупнения монтируемых элементов колонн» не более 5 т –  $X_1 = 0$ .

Указанные ограничения и исследуемый показатель приведены на рис. 3. На данном рисунке красными линиями обозначены ограничение по значению показателя, а также уровень фактора  $X_2$ , при котором достигается минимальное значение длительности монтажа М/К. При КТР1 оно равно 182 дня. Для устройства временных металлоконструкций в такие сроки потребуются привлечение не более, чем 1 звена в составе 6 человек. При КТР2 минимальный срок несколько ниже – 175 дней. При этом также требуется привлечение 6 человек.



Конструктивно-технологическое решение №1 – КТР1 Конструктивно-технологическое решение №2 – КТР2

Рис. 3. Совмещённая диаграмма изменения показателей «длительность монтажа временных несущих конструкций» и «интенсивность финансирования проекта» при ограничениях ( $Y_3 \leq 10$  млн р./мес.;  $X_1 = 0$ )

**Выводы:**

1. При ограничении максимальной технологической нагрузки 9 т, наименьшее значение длительности достигается при использовании трёх полиспастов, каждый из которых обслуживается звеном рабочих из 5 человек, при нагрузке на каждый полиспаст не более 3 т: для КТР1 – 88 дн.; для КТР2 – 76 дн.
2. При ограничении по показателю «интенсивность финансирования проекта» -  $Y_{ор.} \leq 10$  млн р./мес. и по уровню фактора «степень укрупнения монтируемых элементов колонн» не более 5 т –  $X_1 = 0$  возможно достичь минимальной длительности работ при привлечении 6 человек: при КТР1 – 182 дн.; при КТР2 – 175 дн.

**Список использованных источников**

1. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е изд. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
3. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 208 с.
4. Краковский Г. И. Планирование экспериментов / Г. И. Краковский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : БТУ, 1982. – 757 с.
5. Вознесенский В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – К. : Вища школа, 1989. – 328 с.

**References**

1. Voznesenskii, V. A. (1981). Statisticheskie metody planirovaniia eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniiah [Statistical methods for experiment planning in technical and economic studies]. Moscow: Finansy i statistika, p. 263 (in Russian).
2. Adler, Iu. P., Markova, E. V., Granovskii, Iu. V. (1976). Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovii [An experiment planning in the search for optimal conditions] (2<sup>nd</sup> ed.). Moscow: Nauka, p. 279 (in Russian).
3. Nalimov, V. V. (1971). *Teoriia eksperimenta [The theory of the experiment]*. Moscow: Nauka, p. 208 (in Russian).
4. Krakovskii, G. I., Filaretov, G. F. (1982). *Planirovanie eksperimentov [Planning of experiments]*. Minsk: BTU, p. 757 (in Russian).
5. Voznesenskii, V. A., Liashenko, T. V., Ogarkov, B. L. (1989). Chislennyye metody resheniia stroitelno-tekhnologicheskikh zadach na EVM [Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer]. Kyiv: Vishcha shkola, 328 p. (in Russian).

**Никифоров Алексей Леонидович** – аспирант кафедры технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина).

**Нікіфоров Олексій Леонідович** – аспірант кафедри технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури (вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна).

**Nikiforov Aleksei** – PhD student of Department of Technology of Building Industry, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (4 Didrichsona Str., 65091 Odessa, Ukraine).

**E-mail:**aleksey-nikiforov@mail.ua

**Менейлюк Иван Александрович** – кандидат технических наук, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина).

**Менейлюк Іван Олександрович** – кандидат технічних наук, Одеська державна академія будівництва та архітектури (вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна).

**Meneliuk Ivan** – PhD in Technical Science, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (4 Didrichsona Str., 65091 Odessa, Ukraine).

**Ершов Михаил Николаевич** – кандидат технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой технологии и организации строительного производства, Московский государственный строительный университет (Ярославское шоссе, 26, г. Москва, 129337, Россия).

**Єршов Михайло Миколайович** – кандидат технічних наук, професор, заступник завідувача кафедрою технології та організації будівельного виробництва, Московський державний будівельний університет (26 Ярославське шосе, 129337 м. Москва, Росія).

**Ershov Michail** – PhD in Technical Sciences, Professor, Deputy of Header of Department of Technology and Organization of Building Industry, Moscow State Building University (26 Yaroslavscoe shosse Str., 129337 Moskow, Russia).