

## Повышение операционной эффективности строительного производства путем рационального размещения объектов

*С.Г. Шеина, А.И. Соболевский, Л.В. Гиря*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Обоснована актуальность экспериментальных и теоретических исследований повышения операционной эффективности строительного производства. Путем экспериментальных и теоретических исследований установлено, что эксплуатационная эффективность строительной площадки зависит от многих факторов. С целью выявления основных особенностей повышения операционной эффективности строительного производства в данном исследовании были использованы компьютерная методика относительного распределения помещений и компьютеризированное планирование взаимоотношений и компоновки. Определены некоторые особенности работы системы при повышении операционной эффективности строительного производства. На основании проведенных опытов обоснована необходимость дальнейшего изучения повышения операционной эффективности строительного производства. Также на основании ряда экспериментов было доказано влияние операционной эффективности строительного производства на экономический аспект строительства.

**Ключевые слова:** операционная эффективность, организация строительства, планирование, строительная площадка, стоимость проекта, эксплуатационные расходы.

Строительные проекты уникальны по сравнению с другими проектами и требуют особого внимания в области операционной эффективности на всех этапах жизненного цикла. Для процесса строительства важно бесперебойное функционирование деятельности, что в свою очередь контролируется операционной эффективностью и производительностью. Планирование строительного проекта – важная задача, имеющая большое значение и оказывающая большое влияние на стоимость строительства, производительность и безопасность. Термин «операционная эффективность» в том числе включает в себя позиционирование и рациональное перемещение объектов, необходимых для поддержки различных функций проекта.

Из-за сложности планирования работ на строительной площадке, руководители зачастую используют метод, основанный на своем предыдущем опыте, либо подход FIFO – первым пришел – первым обслужен, которые зачастую приводят к не всегда правильным решениям на проекте.

Для того, чтобы выполнить работы, в настоящий момент, разработано несколько моделей и программных продуктов, которые позволяют обеспечить эффективность работы строительной площадки. Хорошо продуманный проект организации строительства способствует общей операционной эффективности строительства, а также способствует снижению эксплуатационных расходов.

Исходя из вышесказанного, цель данного исследования – найти зависимость между операционной эффективностью и размещением объектов на строительной площадке экспериментальным путем. Задачи данного исследования: проанализировать влияние операционной эффективности на строительные процессы, сравнить стоимость перевозок между различными отделами, а также стоимость движения материалов в реальном и оптимальном вариантах.

Для повышения операционной эффективности, в данном исследовании сравнивается стоимость перевозок, а также стоимость движения строительных материалов на строительной площадке. Компьютеризированная методика относительного распределения помещений, далее – «КРАФТ», основана на эвристическом подходе и минимизирует стоимость [1]. Компьютеризированное планирование взаимоотношений и компоновки, далее – «КОРЕЛАП», предназначена для установки рейтинга близости в пределах ограничений объекта [2]. В данном исследовании «КРАФТ» используется для сравнения реальной стоимости существующего проекта организации строительства и нового проекта организации строительства. Был проведен ряд исследований, направленных на повышение операционной эффективности строительных проектов за счет улучшения планирования проекта организации строительства, тем самым эффективно снижая стоимость строительства и одновременно сокращая потери на площадке из-за неэффективного управления [3].

---

В данных исследованиях использовался широкий спектр методологий, инструментов разработки, включая нейронные сети, моделирование и другие алгоритмы, используемые для повышения операционной эффективности [4].

Иногда перемещение сотрудников, выполняющих критически важные операции в смоделированной среде, показывает сокращение времени цикла и более высокую производительность [5].

U-образная линейная компоновка очень полезна на строительной площадке для повышения производительности [6]. Даже небольшое увеличение в операционной эффективности помогает сократить количество отходов на 20-40%, может привести к снижению затрат до 80% [7]. Разделение перерабатываемых и повторно используемых материалов на месте может снизить эксплуатационные расходы [8].

Зонирование различных видов деятельности на территории проекта будет способствовать повышению операционной эффективности [9], временная и постоянная категоризация объектов является основой для повышения операционной эффективности строительного объекта.

Лучшая планировка строительной площадки может быть легко достигнута за счет минимизации времени пути, устранения ненужного перемещения ресурсов и использования надлежащих методов обработки материалов [10, 11].

Основываясь на пробелах, выявленных в обзоре литературы, становится актуальной проблема повышения операционной эффективности строительного производства, а также введения новых методов [12] и метрик.

В данном исследовании была принята планировка строительного проекта, определены помещения для данного участка, для 15 отделов, имеющих на участке проекта, была разработана степень расположения объектов с использованием символов A, B, C, D, E, X, где A = Абсолютно

---

необходимо, чтобы два объекта были рядом; В = Особенно важно, чтобы два объекта были рядом; С = Важно, что два объекта рядом; D = Неважно или нет необходимости; E = Нежелательно; X= Необходимо далекое расположение двух объектов

### **Анализ «КРАФТ»**

«КРАФТ» — это усовершенствованный алгоритм для перераспределения имеющихся мощностей. Алгоритм «КРАФТ» разработан компанией Armo and Buffa. Он начинается с первоначальной компоновки и улучшает имеющуюся компоновку, заменяя отделы попарно, чтобы минимизировать транспортные расходы. Алгоритм продолжается до тех пор, пока не станут возможными дальнейшие перестановки, чтобы снизить стоимость перевозки.

### **Матрица расстояний с при использовании алгоритма «КРАФТ»**

Формируется матрица расстояний между каждым отделом. Она вычисляется в километрах по формуле:

$$(X1 - X2) + (Y1 - Y2),$$

где X1 представляет координату x отдела А; X2 представляет координату x отдела В; Y1 представляет координату у отдела А; Y2 представляет координату у отдела В.

### **Матрица потока с при использовании алгоритма «КРАФТ»**

Матрица формируется на основе количества поездок, которые автомобиль (строительная техника) должен преодолеть между двумя отделениями. Содержание матрицы субъективно и основано на субъективных знаниях. Матрица расстояния поездки формируется со значениями, рассчитанными на основе количества поездок (матрица потока) и расстояния между двумя отделами (матрица расстояний).

Матрица затрат при использовании алгоритма «КРАФТ» - это окончательная определяемая матрица, рассчитанная с использованием

---

входных данных из матрицы пройденных расстояний, умноженных на предполагаемую стоимость километра и стоимость эксплуатации транспортного средства. Стоимость, связанная с каждым отделом, рассчитывается путем суммирования всех затрат в отделе из матрицы затрат с учетом затрат на найм.

### Анализ «КОРЕЛАП»

Это конструктивный алгоритм, который занимается планировкой, размещая отделы прямоугольной формы. Диаграмма отношений обеспечивает основу для порядка размещения различных отделов.

Важным шагом в «КОРЕЛАП» является изучение смежности. Он генерирует макет на основе общего рейтинга близости для каждого отдела. Смежность — это коэффициент между двумя видами деятельности / пространствами. Диапазон смежности составляет от 0 до 1.

Существует три типа смежности: полностью смежные (полный контакт), частично смежные (точечный контакт) и несмежные (отсутствие контакта вообще). Полностью смежный имеет 1 значение коэффициента; частично смежный имеет коэффициент 0,5; и несмежные имеют нулевое значение коэффициента.

«КОРЕЛАП» адаптирует эту теорию. Входные требования «КОРЕЛАП» состоят из:

1. диаграммы взаимосвязи с весами для отделов.
2. количества и площади отделов.

Реализация требует, чтобы пользователь определял веса в порядке убывания А, В, С, D, Е и Х. Отношению «Х» должен быть присвоен отрицательный вес.

Исследование проводилось в жилом комплексе, где в общей сложности над проектом работают 15 отделов. Участок представляет собой проект

жилой застройки. В рамках проекта планируется построить 1224 жилых дома.

Формируется ячейка матрицы затрат  $[c_{ij}]$ . На Рисунке 1 представлено графическое изображение плана расположения существующего участка. Блоки с 1 по 6 представляют собой жилые дома.

Остальные отделы являются вспомогательными функциональными блоками, размещенными вокруг основных блоков. Существующий макет строительной площадки показан на рисунке 1, а полученные сведенные данные показаны в таблице №1. Затем матрица расстояний, матрица потоков, вычисляется в Таблице №2 и №3 соответственно. Используя Таблицу №2 и Таблицу №3, рассчитывается стоимость обработки для существующего мастер-плана строительной площадки. Согласно существующей схеме участка, в среднем за неделю преодолевается 1,95 км километра.

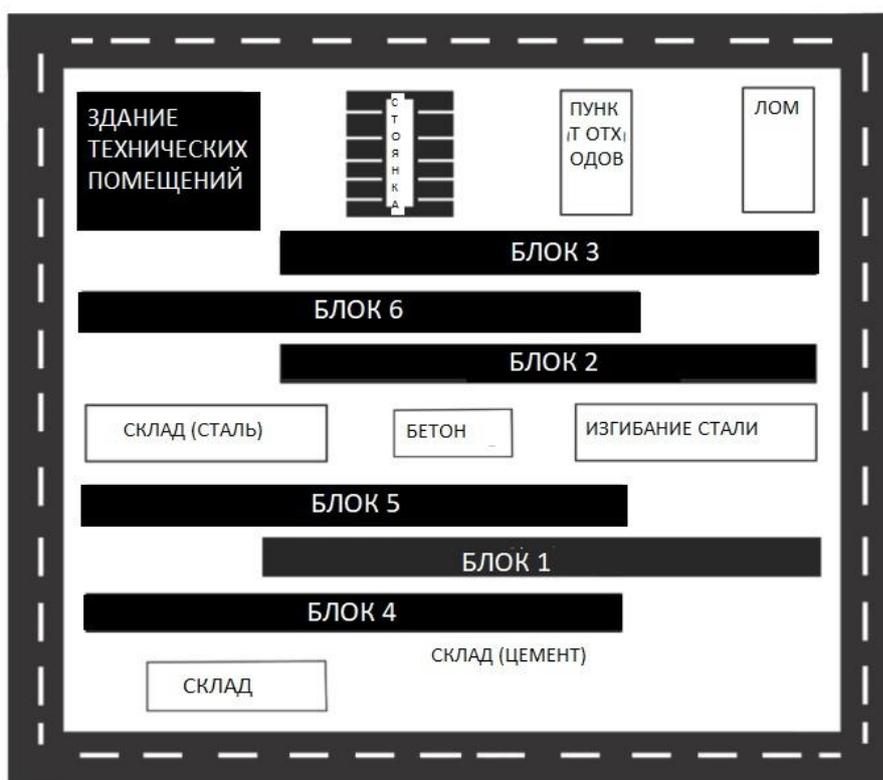


Рис. 1 – Графическое расположение плана расположения

Таблица № 1

Сведенная информация, исходя из графического расположения

Номер отдела	Назначение	Координаты
1	Блок 1 – жилое здание	(104,86)
2	Блок 2 – жилое здание	(104,100)
3	Блок 3 – жилое здание	(104,124)
4	Блок 4 – жилое здание	(104,150)
5	Блок 5 – жилое здание	(104,190)
6	Склад	(98,260)
7	Склад (Цемент)	(152,302)
8	Бетонный завод	(213,335)
9	Стальной лом	(265,368)
10	Склад (Сталь)	(202,230)
11	Изгибание стали	(202,160)
12	Блок 6 – жилое здание	(265,192)
13	Стоянка для строительной техники	(258,112)
14	Здание технических помещений	(225,18)
15	Пункт отходов	(202,113)

После расчета стоимости обработки для существующего макета строительной площадки, новый макет строительной площадки был сформирован в соответствии с рисунком 2. Затем снова рассчитывается с помощью «КРАФТ» для вновь сформированного макета строительной площадки. Матрица расстояний и матрица потока сформулированы для новой схемы расположения объекта (Рисунок 2). Расстояние, пройденное за неделю, составляет 1,67 километра для вновь сформированной схемы с использованием «КРАФТ»

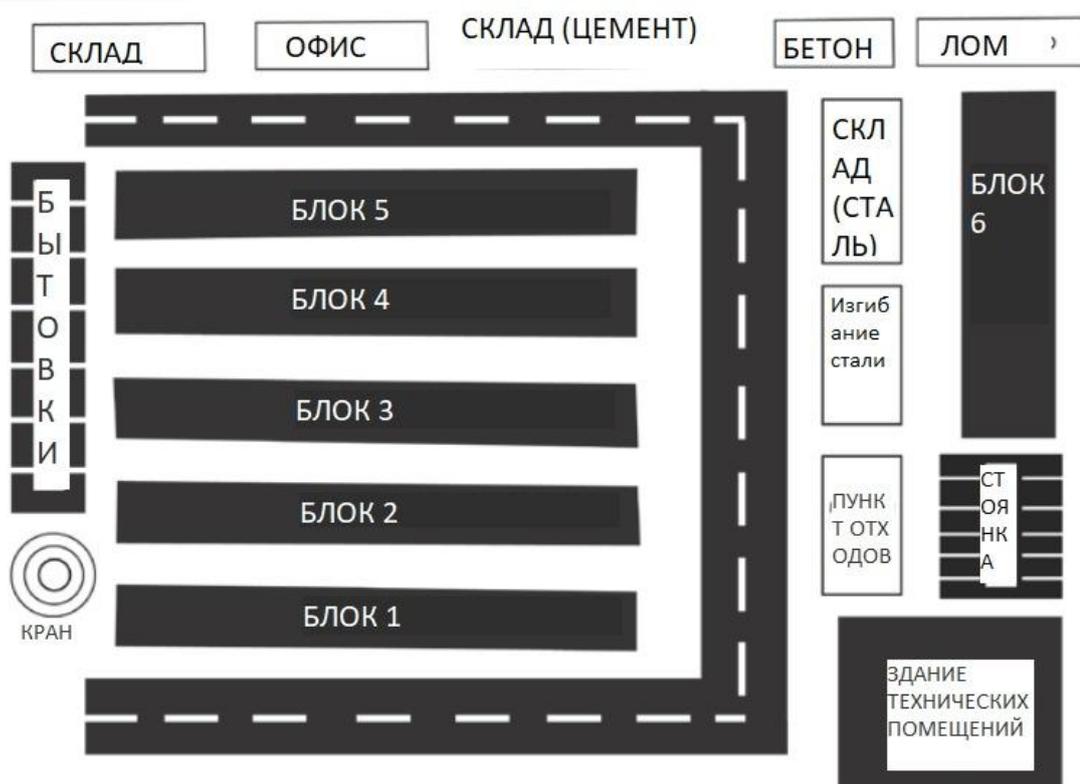


Рис. 2 – Графическое расположение с учетом изменения

Был проведен анализ существующей и новой планировки. Поскольку расстояние прямо пропорционально стоимости, то же самое было отражено в оценке стоимости в неделю. По сравнению с существующей в проекте новой компоновкой экономия значительна. Результаты представлены в таблице №3. Для выполнения анализа были применены допущения и предположения.

Из приведенного выше анализа видно, что можно сэкономить 10 355 рублей в неделю, если тот же проект был выполнен с вновь сформированной компоновкой с использованием «КРАФТ» и «КОРЕЛАП». Это доказывает, что текущий проект организации строительства не является оптимальным. Принимая во внимание рекомендации в текущем сценарии, это позволит сэкономить 2071000 рублей на предполагаемую продолжительность проекта. Эксплуатационная эффективность строительной площадки проанализирована методами «КРАФТ» и «КОРЕЛАП».

Таблица №2

Сведенная информация, исходя из нового расположения

Номер отдела	Назначение	Координаты
1	Блок 1 – жилое здание	(163.07,88.39)
2	Блок 2 – жилое здание	(163.07,240.72)
3	Блок 3 – жилое здание	(163.07,319.96)
4	Блок 4 – жилое здание	(121.9,48.77)
5	Блок 5 – жилое здание	(121.9,128.02)
6	Склад	(60.9,28.2)
7	Склад (Цемент)	(163.07,28.2)
8	Бетонный завод	(143,204.9)
9	Стальной лом	(232.4,382.45)
10	Склад (Сталь)	(60.9,204.9)
11	Изгибание стали	(222.5,204.9)
12	Блок 6 – жилое здание	(121.9,280.34)
13	Стоянка для строительной техники	(129.5,382.45)
14	Здание технических помещений	(53.3,382.45)
15	Пункт отходов	(186.7,382.45)

Таблица № 3

Результаты анализа

Параметры	Действительные расчеты (текущий проект организации стройплощадки)	Действительные расчеты (новый проект организации стройплощадки)
Среднее количество километров в неделю	1,95 км	1,67 км
Общая стоимость в неделю (ОРЕХ)	252 455 руб	242 100 руб
Общая длительность проекта	200 недель	200 недель
Общая стоимость проекта (ОРЕХ)	50 491 000 руб	48 420 000 руб
Снижение операционных издержек в неделю на 10 355 руб		
Снижение операционных издержек за проект 2 071 000 руб		
Процент от общей стоимости 23.38%		

В данной исследовательской работе проанализировано влияние операционной эффективности на строительные процессы. Доказано, что эксплуатационная эффективность строительной площадки зависит от взаиморасположения отделов во время строительного производства.

На примере произведено сравнение стоимости перевозок между различными отделами, а также определена стоимость движения материалов в реальном и оптимальном вариантах с использованием методик «КРАФТ» и «КОРЕЛАП». Было выявлено, что улучшение операционной эффективности строительного производства позволило снизить общую стоимость проекта на 23 %.

### Литература

1. CAI J., Front Matter // Construction Research Congress. 2013. pp. 16-19
2. Handier D.E. Construction workers' efficiency // Journal of Management in Engineering, p.31.
3. Козырев А.Ю., Рубаник Ю.Т. Исследование показателей операционной эффективности бизнес системы девелопмента и обоснование перспективных направлений ее инновационного развития. 2013, с. 245-247.
4. Тарасова А.Н. Оценка эффективности развития бизнес-процессов на предприятиях нефтегазовой отрасли // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2018, с. 47-49.
5. Abdolazez N.K. Determination of construction labour productivity, 2009, pp. 2691-2693.
6. Кабанов В.Н. Оценка надежности в строительстве // Инженерный вестник Дона, 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4879.
7. Burns P., Merz S. Waste minimization in the construction industry // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.



- 2012, pp. 318 – 321.
8. Шеина С.Г., Степаненко В.А., Утилизация твердых коммунальных отходов как часть экологического строительства // Инженерный вестник Дона, 2020, №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588).
9. Гинзбург А.В. Организационно-технологическая надежность строительных систем // Вестник МГСУ. 2010, С. 251.
10. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, University of Sharjah, 2014, p. 61.
11. Зеленцов Л.Б., Маилян Л.Д., Пирко Д.В., Шогенов М.С. Инжиниринговое управление материальными ресурсами при реализации строительных проектов // Инженерный вестник Дона. 2019. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5881](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5881).
12. Зеленцов Л.Б., Цапко К.А., И.Ф. Беликова И.Ф., Пирко Д.В. Современные методы оценки организационно-технологической надежности инвестиционно-строительного комплекса // Инженерный вестник Дона. 2020, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6602](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6602).

### References

1. CAI J., Front Matter Construction Research Congress. 2013. pp. 16-19
2. Handier D.E., Journal of Management in Engineering, p.31.
3. Kozirev A.U., Rubanik U.T., Issledovanie pokazatelej operacionnoj e`ffektivnosti biznes sistemy` developmenta i obosnovanie perspektivny`x napravlenij ee innovacionnogo razvitiya, 2013, pp. 245-247. URL: [oaji.net/articles/2014/561-1394508480.pdf](http://oaji.net/articles/2014/561-1394508480.pdf).
4. Tarasova A.N., Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo



- universiteta. 2018, pp. 47-49 URL:[cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-razvitiya-biznes-protssesov-na-predpriyatiyah-neftegazovoy-otrasli](http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-razvitiya-biznes-protssesov-na-predpriyatiyah-neftegazovoy-otrasli).
5. Abdolazez N.K., Determination of construction labour productivity, 2009, pp. 2691-2693.
  6. Kabanov V.N., Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4879](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4879)
  7. Burns P., Merz S. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012 pp. 318-321.
  8. Sheina S.G., Stepanenko V.A., Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №8. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588).
  9. Ginzburg A.V., Vestnik MGSU. 2010, p. 251.
  10. Shawki K. A. International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, University of Sharjah. 2014, p. 61.
  11. Zelenczov L.B., Mailyan L.D., Pirko D.V., Shogenov M.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №3. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588).
  12. Zelenczov L.B., Czapko K.A., I.F. Belikova I.F., Pirko D.V., Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №9. URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6588).