Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2024, Том 16, № 6 / 2024, Vol. 16, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2024.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/34SAVN624.pdf

2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки)

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Михальченко, О. Ю. Бифуркационные процессы в управлении сроками и затратами строительных проектов / О. Ю. Михальченко, А. А. Лапидус, И. Э. Файзуллин // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/34SAVN624.pdf

For citation:
Mikhalchenko O.Yu., Lapidus A.A., Faizullin I.E. Bifurcation processes in managing the timing and costs of construction projects. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(6): 34SAVN624. Available at: https://esj.today/PDF/34SAVN624.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.05

Михальченко Олег Юрьевич
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
Новосибирск, Россия
Доцент кафедры «Технологии и организации строительства»
Кандидат технических наук
E-mail: oleg_mik@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7623-0762

Лапидус Азарий Абрамович
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
Заведующий кафедрой «Технологии и организация строительного производства»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: lapidusaa@mgsu.ru

Файзуллин Ирек Энварович
Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, Россия
Министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации
Кандидат экономических наук, доцент
E-mail: minstroyrf@minstroyrf.gov.ru

Бифуркационные процессы в управлении сроками и затратами строительных проектов

Аннотация. Современные строительные проекты характеризуются высокой степенью сложности и множеством факторов, влияющих на их успешную реализацию. Управление сроками и затратами на всех этапах жизненного цикла как отдельного объекта капитального строительства так и строительного проекта в целом является одним из ключевых аспектов, от которого зависит эффективность реализации такого проекта, его завершение в запланированные сроки и в пределах бюджета. Однако в условиях нестабильности и неопределённости внешней и внутренней среды строительные проекты часто сталкиваются с рисками, которые могут привести к сбоям. В таких условиях строительная система может вести себя как самоорганизованно-критическая, где небольшие изменения параметров могут вызвать значительные изменения в проекте. Это явление носит название бифуркационного процесса.

В данной статье авторами рассматривается природа бифуркационных процессов в управлении сроками и затратами строительных объектов, а также методы их прогнозирования и управления.

Авторами предложен алгоритм моделирования бифуркаций в строительных проектах. Разработанный алгоритм является одним из инструментов анализа поведения сложных вероятностных систем, таких как строительные. Полученные в результате применения данного алгоритма данные предоставляют широкие возможности для дальнейшего анализа поведения сложных строительных систем в стохастических условиях строительного производства.

В статье отмечена необходимость дальнейшего изучения бифуркационных процессов возникающих в строительных проектах с целью минимизировать риски, связанные с отклонениями по срокам и затратам, и обеспечить успешное завершение проектов.

Ключевые слова: управление рисками; бифуркация; строительство; самоорганизованно-критические системы; имитационное моделирование; теория хаоса; метод Монте-Карло

Введение

Современные строительные проекты отличаются высокой степенью сложности и множеством факторов, влияющих на их успешную реализацию. Управление сроками и затратами является одним из ключевых аспектов, от которого зависит эффективность выполнения проекта, его завершение в запланированные сроки и в пределах бюджета [1].

Под строительным проектом здесь и далее понимается комплексная организационно-техническая система, представляющая собой совокупность взаимосвязанных мероприятий, включающих проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию и контроль за качеством выполнения работ. Проект включает ряд объектов капитального строительства, управляется с учётом ограничений по срокам, ресурсам, затратам и качеству, и требует координации между всеми участниками процесса, включая заказчиков, подрядчиков, проектировщиков и управляющие органы.

Строительные проекты включают множество взаимосвязанных процессов, ресурсов и участников, и любая ошибка или задержка может привести к серьёзным последствиям для всей системы. В условиях нестабильности и неопределенности, как внешней, так и внутренней, строительные проекты часто сталкиваются с рисками, которые могут вызвать сбои и задержки. Это могут быть как внешние факторы — изменения в законодательстве, колебания на рынке материалов или неблагоприятные погодные условия, так и внутренние — ошибки в планировании, недостаток ресурсов или нарушение координации между участниками проекта [2].

В таких условиях строительные системы ведут себя как самоорганизованно-критические, где даже незначительные изменения параметров могут вызвать значительные изменения в проекте. Эти изменения часто носят нелинейный характер: небольшие отклонения от плана могут накапливаться и в конечном итоге привести к крупным срывам. Явление, при котором такие незначительные изменения приводят к радикальным изменениям в системе, называется бифуркационным процессом. Бифуркации представляют собой критические точки, где система может резко изменить свое поведение, переходя из одного режима работы в другой. В строительных проектах бифуркации могут проявляться как резкие изменения в сроках или бюджете проекта, что делает их важным элементом для анализа и управления.

Бифуркации могут возникать на любом этапе жизненного цикла проекта и объекта. Например, задержка в поставке материалов может привести к остановке работ на одном участке, что повлияет на график выполнения работ на других участках. Аналогично, перерасход бюджета на ранних этапах проекта может создать дефицит средств на последующих этапах, что в конечном итоге может привести к значительным отклонениям по срокам и затратам. При этом следует отметить, что в статье рассматриваются этапы жизненного цикла за исключением этапа эксплуатации и сноса объекта.

Таким образом, бифуркационные процессы играют важную роль в управлении сроками и затратами строительных объектов. Они возникают в результате накопления небольших отклонений, которые накапливаются до критической точки, после чего система резко меняет своё поведение. Для предотвращения бифуркаций необходимо использовать методы прогнозирования, контроля и гибкого планирования. Прогнозирование помогает заранее выявлять критические точки, а гибкость управления позволяет корректировать планы на каждом этапе проекта, минимизируя риски и обеспечивая его успешное завершение.

Материалы и методы

Материалы и методы исследования: метод анализа иерархий, метод Монте-Карло, теория хаоса, теория вероятности, анализ, синтез, моделирование.

Результаты

Бифуркация представляет собой резкое изменение поведения системы при незначительном изменении одного из её параметров. В нелинейных системах бифуркации приводят к резкому переходу от одного устойчивого состояния к другому, что может выражаться в скачках затрат, сроков или других критических параметров проекта [3]. В строительных проектах бифуркации могут проявляться как неожиданные изменения в графике выполнения работ, перерасход бюджета или нарушение планов по ресурсам. Эти процессы могут быть вызваны множеством факторов, таких как:

- нарушение поставок материалов;
- изменение цен на строительные ресурсы;
- недостаток рабочей силы;
- проблемы с субподрядчиками;
- неблагоприятные погодные условия;
- изменение законодательных и нормативных требований.

Управление этими процессами требует глубокого понимания природы бифуркаций, их влияния на систему и методов их прогнозирования. Для управления бифуркационными процессами в строительстве необходимо использовать методы моделирования, которые позволяют оценить поведение системы в критические моменты и заранее предсказать возможность возникновения бифуркаций.

Одним из эффективных методов является применение бифуркационных диаграмм, которые визуализируют возможные изменения поведения системы при изменении ключевых параметров. Однако, для построения бифуркационной диаграммы необходимо создать модель строительного проекта.

Моделирование бифуркаций в строительных проектах предлагается проводить исходя из анализа двух основных параметров: сроков выполнения работ и затрат проекта.

Эти параметры выбраны для анализа, так как отражают взаимосвязь с множеством других параметров проекта, таких как объемы работ, скорость выполнения задач, доступность материалов, графики поставок, производительность рабочей силы и так далее. Изменение одного из этих параметров может вызвать отклонение в сроках или затрат, что в конечном итоге может привести к возникновению бифуркации.

Моделирование строится на следующих этапах:

1. Сбор и анализ данных. На первом этапе собираются исходные данные по проекту: на основании данных проектов организации строительства объектов капитального строительства, входящих в проект, формируются нормативные параметры каждого элемента системы. Этот этап является важным шагом в планировании и контроле процесса строительства, поскольку нормативные параметры позволяют задать основные ориентиры для оценки сроков выполнения работ и затрат на реализацию проекта.

В качестве основных параметров для анализа и последующего управления проектом приняты:

Нормативные значения продолжительности ($Т_{норм}$) выполнения отдельных видов работ, входящих в жизненный цикл объекта капитального строительства. Эти значения определяются для каждого этапа работ как для отдельных объектов, так и для проектов, в которые они включены.

Нормативные значения затрат ($З_{норм}$) на выполнение отдельных видов работ, входящих в жизненный цикл объекта капитального строительства. Эти затраты включают расходы на материалы, оборудование, рабочую силу и другие необходимые ресурсы. Как и в случае с продолжительностью, нормативные значения затрат устанавливаются для каждого объекта и проекта в отдельности.

Нормативные параметры продолжительности и затрат создают основу для дальнейшего мониторинга и анализа строительного процесса. Они используются для контроля хода выполнения работ, оценки эффективности использования ресурсов, а также для выявления отклонений, которые могут свидетельствовать о необходимости корректировки организационно-технических решений.

2. Построение имитационной модели. На основе собранных данных строится модель проекта, которая учитывает взаимосвязь между сроками выполнения работ и затратами [4–7].

В общем виде модели затрат и продолжительности будут иметь вид:

$$\Delta З_{ОБ} = \sum_{i,n} \Delta З_{Mi} \times \bigcup_{i,n} B^{З}_{Mi}; \quad (1)$$

$$\Delta З_{ПР} = \sum_{j,n} \Delta З_{ОБj} \times \bigcup_{j,n} B^{З}_{ОБj}. \quad (2)$$

$$\Delta T_{ОБ} = \sum_{i,n} \Delta T_{Mi} \times \bigcup_{i,n} B^{T}_{Mi}; \quad (3)$$

$$\Delta T_{ПР} = \sum_{j,n} \Delta T_{ОБj} \times \bigcup_{j,n} B^{T}_{ОБj}. \quad (4)$$

где:

$\Delta З_{ОБ}$, $\Delta З_{ПР}$, $\Delta Т_{ОБ}$, $\Delta Т_{ПР}$ — отклонения по затратам и продолжительности, возникающие в объекте и проекте, в который такие объекты входят соответственно;

$\Delta З_{Mi}$, $\Delta Т_{Mi}$ — отклонения по затратам и продолжительности, возникающие при выполнении отдельных видов работ;

В — вероятность возникновения отклонений.

Отклонения элементов системы по продолжительности и затратам определяются как разность между фактическими и нормативными значениями.

$$\Delta T = T_{факт} - T_{норм}; \quad (5)$$

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

$$\Delta З = З_{факт} - З_{норм}. \quad (6)$$

Тогда, интегрированная оценка осуществляется моделью вида:

$$\Delta З_{ПР} = (\bigcup_{j,n} \Delta З_{Обj} (\bigcup_{i,n} \Delta З_{Mi})); \quad (7)$$

$$\Delta T_{ПР} = (\bigcup_{j,n} \Delta T_{Обj} (\bigcup_{i,n} \Delta T_{Mi})). \quad (8)$$

На основании полученных моделей с использованием статистических методов, с учетом основных положений метода анализа иерархий и метода Монте-Карло [8], формируются матрицы отклонений по продолжительности и затратам для каждого элемента системы с учетом всех возможных сочетаний отклонений, возникающих в такой системе.

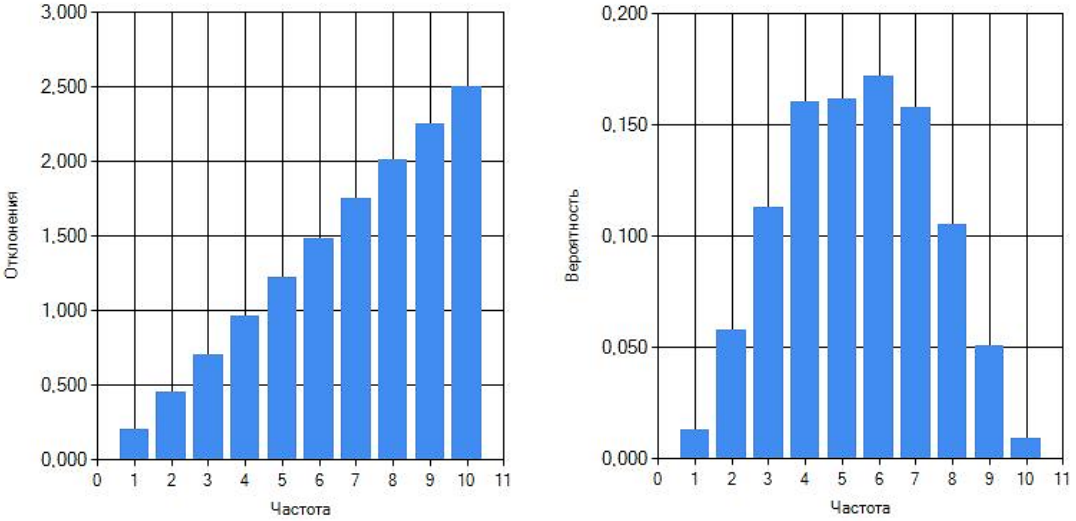

Рисунок 1. *Пример гистограмм плотности распределения вероятностей и отклонений затрат и продолжительности (автор: Михальченко Олег Юрьевич)*

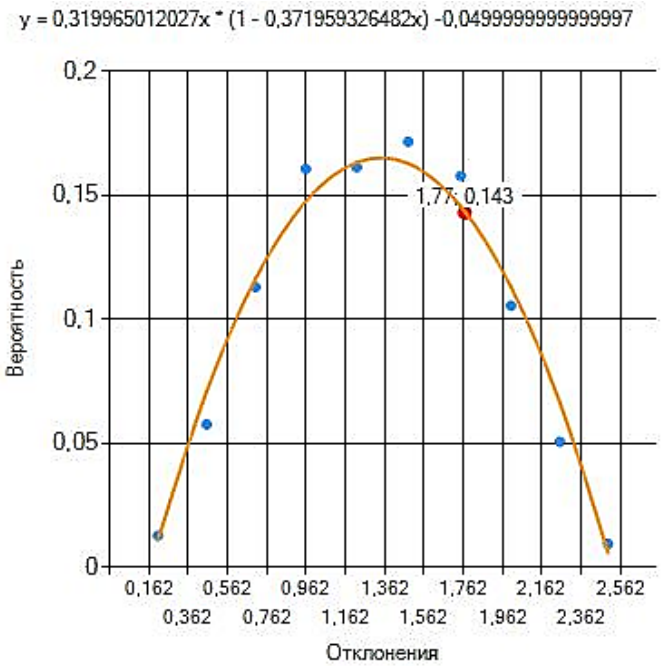

Рисунок 2. *Пример зависимости вероятности от отклонений для элемента системы и ее уравнения (автор: Михальченко Олег Юрьевич)*

На основании полученных данных строятся гистограммы плотности распределения вероятностей и отклонений затрат и продолжительности (рис. 1), а также зависимость вероятности от отклонений для каждого элемента системы (рис. 2). Гистограммы позволяют визуализировать, как часто встречаются определённые значения отклонений от нормативных параметров в ходе выполнения строительных работ.

Графическое представление зависимости вероятности от отклонений позволяет получить уравнение такой зависимости.

Данные зависимости имеют вид квадратного уравнения.

$$Y = -ax^2 + bx + c. \quad (9)$$

3. Построение бифуркационной диаграммы. На этом этапе полученные на предыдущем этапе зависимости путем математических преобразований принимают вид функции Ферхюльста (10) с помощью которой строится бифуркационная диаграмма (рис. 3).

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n). \quad (10)$$

В ходе моделирования определяются возможные сценарии развития проекта при изменении ключевых параметров. Бифуркационная диаграмма отображает критические точки, при достижении которых происходит резкое изменение поведения системы.

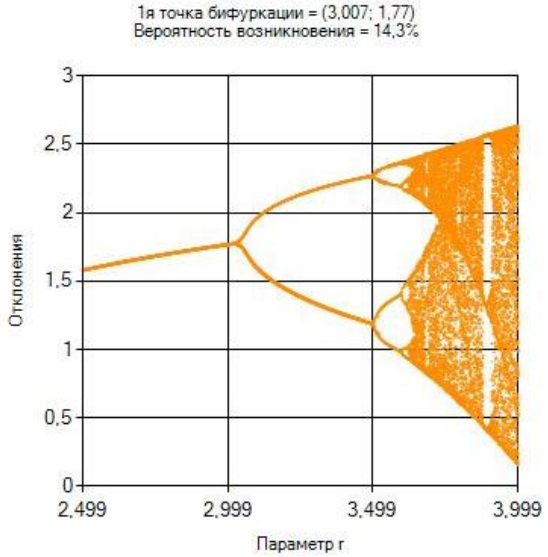

Рисунок 3. *Пример бифуркационной диаграммы (автор: Михальченко Олег Юрьевич)*

4. Анализ бифуркационной диаграммы и прогнозирование. После построения бифуркационной диаграммы и определения точек бифуркации элементов системы можно определить вероятность их возникновения в системе путем подстановки полученных координат точек бифуркации в зависимости, полученные на предыдущем этапе. Анализ диаграммы позволяет выявить моменты, когда система может столкнуться с кризисной ситуацией. Это помогает определить пороговые значения параметров, за пределами которых проект сталкивается с существенными рисками.

Управление бифуркациями для минимизации рисков

Когда в строительной системе начинают проявляться признаки хаотического поведения, выражающиеся в превышении критического уровня вероятности бифуркаций, необходимо немедленно принимать оперативные организационно-технические меры. Такие меры должны

быть заложены ещё на этапе проектирования производственной и организационной структуры [9; 10]. Важно заранее разработать четкий алгоритм действий для быстрого принятия решений, а в экстренных случаях — незамедлительного реагирования. Если такой механизм не будет установлен и понятен всем участникам проекта, это может усилить хаотичность в системе и привести к усложнению ситуации.

Гибкость управления и готовность к оперативным действиям становятся ключевыми факторами для минимизации рисков. Для успешного управления важно не только прогнозировать возможные отклонения, но и быстро реагировать на любые изменения, которые возникают во время строительного процесса. В условиях непредсказуемости и постоянных изменений необходимо разработать механизм, который позволит адаптировать производственные и организационные структуры, сохраняя устойчивость системы в сложных и стохастических условиях строительного производства.

Основной акцент в рекомендациях по организационно-техническим решениям, направленным на предотвращение бифуркаций в строительной системе, следует делать на регулярный мониторинг пограничных значений вероятности их возникновения. Такой мониторинг должен охватывать как всю систему в целом, так и её отдельные элементы. При фиксации пограничных значений необходимо сразу же применять предусмотренные алгоритмом решения, которые помогут снизить вероятность хаотических изменений в системе. Важно не только быстро принимать меры, но и контролировать их реализацию, проводя дальнейший мониторинг системы и, при необходимости, корректируя принятые решения для достижения стабильности.

Таким образом, управление строительными проектами требует не только прогнозирования возможных рисков, но и внедрения гибких и оперативных инструментов управления. Это позволяет эффективно контролировать изменения в системе и предотвращать развитие кризисных ситуаций, обеспечивая стабильное выполнение проектов в условиях нестабильности.

Заключение

Бифуркационные процессы играют ключевую роль в управлении сроками и затратами строительных объектов. Они представляют собой моменты, когда система может резко изменить своё поведение под воздействием незначительных изменений параметров. Для успешного управления строительными проектами важно понимать природу бифуркаций, уметь их прогнозировать и принимать меры для минимизации их последствий. Использование методов моделирования, таких как бифуркационные диаграммы, позволяет заранее выявить критические точки и разработать стратегии для эффективного управления проектами. Это помогает минимизировать риски, связанные с отклонениями по срокам и затратам, и обеспечить успешное завершение строительных проектов в установленные сроки и в пределах бюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафарян, Г.Б. Моделирование стохастических рисков в строительной системе / Г.Б. Сафарян, А.А. Лапидус // Перспективы науки. — 2023. — № 12(171) — С. 155–162.
2. Lawrence, P. Leach Critical Chain Project Management, Third Edition // Artech House — 2014. — 345 p.

3. Бак, П. Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. Пер. с англ. / вступ. ст. Г.Г. Малинецкого. — М.: УРСС: Книжный дом «Либроком», 2013 — 276 с.

4. Михальченко О.Ю. Организационная надежность реализации строительных проектов // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. — Т. 14, № 1(50). — С. 11–15.

5. Гусаков А.А. Системотехника в строительстве / А.А. Гусаков. — Москва: Стройиздат, 1993. — 368 с.

6. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительства / А.А. Гусаков, С.А. Веремеенко, А.В. Гинзбург и др. — Москва: SvR-Аргус, 1994. — 472 с.

7. Герасимов В.В. Интегрированная надежность эффективности управления реализацией проектов / В.В. Герасимов, А.Л. Кунц, О.Ю. Михальченко // Сборник научных трудов «Теория и практика инновационной стратегии региона». — Кемерово: КТУ, 2011. — С. 34–37.

8. Rubinstein, R.Y. Simulation and the Monte Carlo method / R.Y. Rubinstein, D. Kroese // John Wiley & Sons. — 2011. — 428 p.

9. Лапидус, А.А. Теория нечетких множеств на этапах моделирования организации строительных процессов возведения многоэтажных зданий / А.А. Лапидус, А.Н. Макаров // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 6. — С. 66–71.

10. Лапидус, А.А. Критерий оценки допустимости совмещения строительных процессов при производстве отделочных работ в жилых зданиях / А.А. Лапидус, К.С. Толстова // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 5. — С. 68–71.

Mikhalchenko Oleg Yurievich
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia
E-mail: oleg_mik@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7623-0762

Lapidus Azariy Abramovich
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
E-mail: lapidusaa@mgsu.ru

Faizullin Irek Envarovich
Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation, Moscow, Russia
E-mail: minstroyrf@minstroyrf.gov.ru

Bifurcation processes in managing the timing and costs of construction projects

Abstract. Modern construction projects are marked by a high degree of complexity and are influenced by numerous factors impacting their successful completion. Managing timelines and costs across all stages of the life cycle of both individual capital construction projects and broader construction initiatives is essential to ensure their efficient execution, on-time completion, and adherence to budget limits. However, in the face of instability and uncertainty within both internal and external environments, construction projects frequently encounter risks that may lead to disruptions. Under these conditions, the construction system may exhibit characteristics of a self-organized critical state, where small changes in parameters can trigger significant alterations within the project. This phenomenon is known as a bifurcation process.

This article examines the nature of bifurcation processes in managing the timelines and costs of construction projects, as well as methods for forecasting and handling these processes. The authors propose a bifurcation modeling algorithm for construction projects. This algorithm serves as a valuable tool for analyzing the behavior of complex probabilistic systems, such as construction. Data obtained through the use of this algorithm provide extensive opportunities for further analysis of complex construction systems under stochastic conditions within the construction industry.

The article highlights the need for further research into bifurcation processes within construction projects, aiming to minimize risks related to timeline and cost deviations, ensuring successful project completion.

Keywords: risk management; bifurcation; construction; self-organized critical systems; simulation modeling; chaos theory; Monte Carlo method