

УДК: 69.059:69.025.3

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.12

EDN: IOZIMD



Алгоритм повышения жизненного цикла конструкций полов при их неравномерной осадке

Р.А. Ибрагимов¹, И.Х. Галиев¹, Э.И. Шагиахметова¹,
М.И. Шагиахметова¹, О.В. Хохряков¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи:* в условиях эксплуатации зданий нередко наблюдаются проявления неравномерной осадки оснований, что приводит к изменению напряжённо-деформированного состояния конструкций полов, их повреждениям и снижению эксплуатационных характеристик. При этом существующие подходы к обследованию таких конструкций зачастую носят фрагментарный характер и не обеспечивают комплексной оценки причин и последствий деформаций. *Цель исследования:* разработка алгоритма повышения жизненного цикла конструкций полов на основе технико-экономического сравнения различных типов их устройства. *Задачи исследования:* выявление признаков и причин осадки полов; разработка алгоритма обследования полов при выявлении осадок; разработка экономического обоснования вариантов устройства новых полов по результатам обследования.

Результаты исследования. В статье рассмотрены вопросы обследования конструкций полов в эксплуатируемых зданиях при наличии признаков их неравномерной осадки. Выполнен анализ основных причин возникновения деформаций, связанных с состоянием грунтового основания, воздействием влаги и эксплуатационными нагрузками. На основе практического опыта сформирован алгоритм обследования полов, включающий этапы предварительного и детального обследования, инструментальные измерения, камеральную обработку результатов и анализ причин дефектов. Экономическое обоснование мероприятий по ликвидации причин неравномерной осадки полов выполнено на основе оценки стоимости жизненного цикла различных вариантов устройства нового пола.

Ключевые слова: обследование зданий, конструкции полов, осадка полов, неравномерная осадка, дефекты полов, шурф

Для цитирования: Ибрагимов Р.А., Галиев И.Х., Шагиахметова Э.И., Шагиахметова М.И. Алгоритм повышения жизненного цикла конструкций полов при их неравномерной осадке // Известия КГАСУ, 2026, № 2 (76), с. 182-194, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.12, EDN: IOZIMD

An algorithm for increasing the life cycle of floor structures at their differential settlement

R. A. Ibragimov¹, I. H. Galiev¹, E. I. Shagiakhmetova¹,
M. I. Shagiakhmetova¹, O. V. Khokhryakov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement:* in the operating conditions of buildings, differential settlement of the foundations often takes place, which leads to a change in the stress-strain state of the floor structures, their damage and decrease in operational characteristics. At the same time, existing approaches to the examination of such structures are often fragmented and do not provide a comprehensive assessment of the causes and consequences of deformations. *The purpose of the*

study: to develop an algorithm for increasing the life cycle of floor structures based upon the engineering and economical comparison of different ways of their construction. *Research tasks*: to identify the signs and causes of floors settlement; development of an algorithm for the examination of floors in case of settlement detection; development of an economic justification for the construction of new floors based on the results of the survey. *The results of the study*. The article discusses the issues of floor structures examination in operated buildings in the presence of signs of differential settlement. The analysis of the main causes of deformations related to the condition of the soil base, exposure to moisture and operational loads has been performed. Based on practical experience, an algorithm for floors examination has been developed, which includes the stages of preliminary and detailed examination, instrumental measurements, in-house processing of results and analysis of the defects causes. The economic justification of measures to eliminate the causes of floors differential settlement is based on the assessment of the life cycle cost (LCC) of various options for installing a new floor.

Keywords: examination of buildings, floor structures, floor settlement, differential settlement, floor defects, pit

For citation: Ibragimov R.A., Galiev I.Kh., Shagiakhmetova E.I., Shagiakhmetova M.I., Khokhryakov O.V. An algorithm for increasing the life cycle of floor structures at their differential settlement // News of KSUAE, 2026№ 2 (76), p. 182-194, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.12, EDN: IOZIMD

1. Введение

В процессе эксплуатации зданий и сооружений важное значение приобретает своевременное выявление и оценка технического состояния строительных конструкций. Обеспечение надежности и эксплуатационной безопасности зданий и сооружений в значительной степени определяется качеством проведения технического обследования, направленного на выявление дефектов, установление причин их возникновения и разработку обоснованных мероприятий по их устранению [1, 2].

Процедура проведения обследования строительных конструкций определяется типологическими характеристиками объекта, условиями его эксплуатации, а также характером и степенью выявленных повреждений. При обследовании объектов, подлежащих реконструкции, особое внимание должно уделяться учету изменений конструктивных решений и возможных расхождений с исходной проектной документацией в том числе на основе методов цифровой реконструкции [3-5]. Современные подходы к диагностике строительных конструкций базируются как на применении традиционных методов визуального, так и инструментального контроля [6-8].

Дополнительные сведения о фактическом состоянии конструкций могут быть получены с использованием методов динамического мониторинга [9-11]. Необходимо учитывать то, что одним из факторов, влияющим на техническое состояние конструкций зданий, в том числе полов, является воздействие влаги [12-14]. Строительство других объектов вблизи от эксплуатируемых зданий часто приводит к развитию неравномерных деформаций основания, поэтому очень важными являются конструктивные решения фундаментов [15-17]. При разработке рекомендаций необходимо учитывать то, что качество материалов и технологии устройства полов влияют на их эксплуатационные характеристики [18-20].

При оценке технического состояния строительных объектов необходимо учитывать разнообразные нагрузки и воздействия и их совокупное влияние [21-23]. Кроме того, особенности архитектурно-планировочных решений, в том числе при сложном рельефе, также могут оказывать влияние на распределение нагрузок и развитие деформаций [24-26].

Таким образом, вопросы обследования конструкций полов в эксплуатируемых зданиях, подверженных неравномерной осадке, являются актуальными и требуют разработки практико-ориентированных методик, позволяющих эффективно выявлять дефекты, определять причины их возникновения и формировать обоснованные рекомендации по их устранению.

Цель исследования: разработка алгоритма повышения жизненного цикла конструкций полов на основе технико-экономического сравнения различных типов их устройства.

Задачи исследования:

- выявление признаков и причин осадки полов;
- разработка алгоритма обследования полов при выявлении осадок;
- экономическое обоснование вариантов устройства новых полов по результатам обследования.

2. Материалы и методы

Обследование проводилось в соответствии с действующими нормативными документами в области обследования зданий и сооружений, а также оценки технического состояния строительных конструкций.

В процессе работы применялся комплексный подход, включающий следующие методы:

- анализ проектной и исполнительной документации;
- визуальное обследование конструкций;
- инструментальные измерения отметок поверхности пола;
- фотофиксация дефектов;
- выполнение обмерных работ;
- устройство шурфов для определения конструкции пола и состояния основания;
- графическая фиксация результатов обследования.

В рамках исследования было выполнено обследование конструкций полов эксплуатируемого здания многоуровневой парковки на объекте «ТатнефтьАрена» в г. Казань и выявлены признаки их неравномерной осадки.

Инструментальные измерения выполнялись с целью определения величин неравномерной осадки и уклонов поверхности пола. Полученные данные фиксировались с привязкой к плану помещений.

Оценка уклона поверхности пола при неравномерной осадке

Одним из показателей, характеризующих деформацию поверхности пола, является величина уклона, возникающего вследствие неравномерной осадки. Оценка уклона может быть выполнена на основании инструментальных измерений отметок поверхности пола в характерных точках помещения. В простейшем случае определяются отметки в двух точках – в начале и в конце участка пола.

Разность отметок позволяет определить величину уклона по следующей формуле:

$$i = \frac{\Delta h}{L} \cdot 100\% \quad (2)$$

где i – уклон поверхности пола, %; Δh – разность отметок поверхности пола, мм; L – расстояние между точками измерения, мм.

Полученные значения уклонов позволяют оценить степень деформации пола и определить необходимость проведения ремонтных мероприятий. Схема определения уклона поверхности пола представлена на рис. 1.

Результаты обследования подвергались камеральной обработке, включающей разработку актуальных планов помещений, построение схем дефектов, а также оформление конструктивных разрезов полов по данным шурфов. Анализ полученных данных выполнялся с целью установления причин возникновения деформаций и оценки технического состояния конструкций пола. Экономическое обоснование вариантов устройства новых полов по результатам обследования включило в себя расчет стоимости жизненного цикла полов (LCC, Life Cycle Cost)¹ по формуле:

$$LCC = I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{I_t}{(1+d)^t} \quad (1)$$

где: I_0 – вложения в демонтаж и новый ремонт после обследования конструкций полов (руб.); I_t – эксплуатационные затраты: текущие ремонты, содержание пола в период времени t (руб.); d – ставка дисконтирования, %; T – горизонт планирования, 30 лет [27-29].

¹ISO 15686-5. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/61148.html> (дата обращения 17.08.2026)

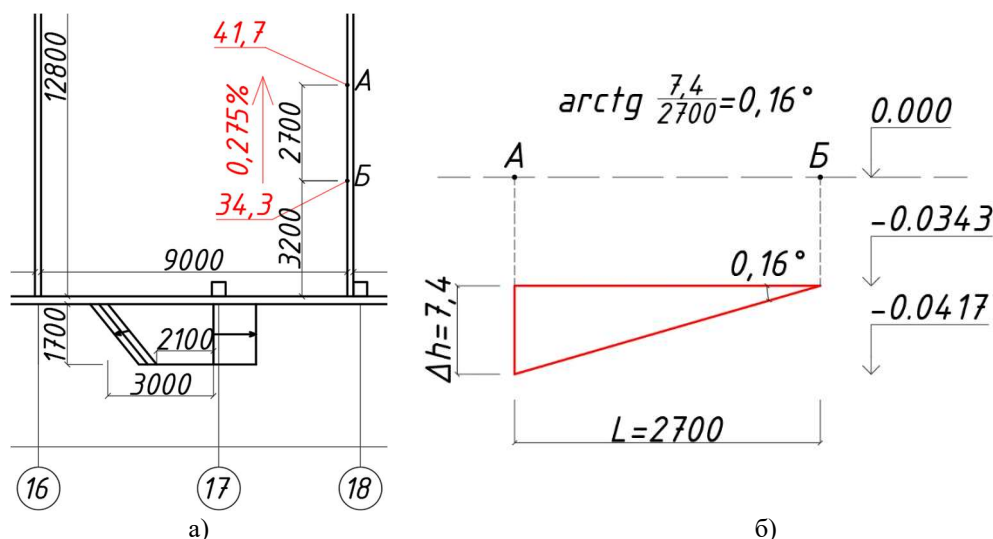


Рис. 1. Схема определения уклона поверхности пола: а) фрагмент плана помещения; б) расчет уклона, где: А, Б – точки, в которых был произведен замер осадки пола с помощью штангенциркуля; 0.000 – проектная отметка пола. (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Floor surface slope calculation diagram: а) room plan fragment; б) slope calculation, where: А, В – points at which floor settlement was measured using calipers; 0.000 – design floor elevation. (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Признаки осадки полов в эксплуатируемых зданиях

В процессе эксплуатации зданий одним из распространенных дефектов конструкций полов является их неравномерная осадка. Деформации подобного типа могут возникать вследствие изменения состояния грунтового основания, нарушения технологии устройства пола либо воздействия инженерных коммуникаций.

Наиболее характерными признаками осадки полов являются:

- образование трещин в конструкции пола (рис.2а);
- появление локальных просадок поверхности конструкций полов;
- нарушение горизонтальности пола и образование уклонов;
- смещение створок дверей от коробки, установленной в проектом положении (рис.2б).

Выявление указанных признаков является основанием для проведения технического обследования конструкций пола с целью определения характера деформаций и возможных причин их возникновения.

Основные причины возникновения осадки полов

Анализ практики обследования зданий показывает, что осадка полов может быть обусловлена рядом факторов, связанных как с конструктивными особенностями пола, так и с состоянием основания.

К наиболее распространенным причинам относятся:

- недостаточное уплотнение грунтового основания при строительстве;
- размыв или переувлажнение грунта основания;
- воздействие утечек из систем водоснабжения или канализации;
- динамические нагрузки от оборудования и транспорта;
- изменение гидрогеологических условий эксплуатируемого участка.

В ряде случаев осадки носят локальный характер и проявляются в отдельных зонах помещений, что может указывать на наличие скрытых дефектов основания либо влияние инженерных коммуникаций.

Алгоритм обследования полов при выявлении осадок

Проведение обследования конструкций полов при выявлении признаков их неравномерных осадок требует последовательного и системного подхода, учитывающего как особенности объекта, так и характер выявленных дефектов. На основании анализа практического опыта обследования зданий сформирована обобщенная последовательность выполнения работ, представленная в виде алгоритма (рис.3).

На первом этапе необходима постановка задачи обследования, включающая определение целей, объема и условий их выполнения. На данном этапе осуществляется сбор исходной информации об объекте, включая проектную и исполнительную документацию, а также данные о ранее выполненных обследованиях.



а)



б)

Рис. 2. Признаки осадки полов: а) образование трещины в покрытии пола шириной 6,4 мм; б) отклонение двери от проектного положения на 16,8 мм (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Signs of floor settlement: a) formation of a 6.4 mm wide crack in the floor covering; b) door deviation from its design position by 16.8 mm. (illustration by the authors)

Далее выполняется предварительное обследование объекта, в ходе которого проводится визуальный осмотр конструкций полов и смежных элементов. На этом этапе выявляются основные дефекты, фиксируются зоны наибольших деформаций, а также уточняются условия эксплуатации (дополнительно можно проводить опрос персонала).

На основе предварительных данных формируется детализированная программа исследований, где определяется, кроме того, необходимость выполнения дополнительных работ, например, устройство шурфов или анализ состояния основания. На следующем этапе выполняется инструментальное обследование, включающее работы по обмеру, фотофиксацию дефектов, привязку их к плану помещений. Камеральный этап включает разработку планов помещений, разработку схем дефектов и анализ результатов измерений. На основании обработанных данных выполняется анализ состояния конструкций пола, устанавливаются возможные причины возникновения деформаций и оценивается степень их развития. Все работы необходимо проводить в соответствии с ГОСТ 31937-2024².

Заключительным этапом является формирование технического заключения, включающего описание объекта, характеристику выявленных дефектов, результаты анализа, а также выводы и рекомендации по устранению выявленных нарушений и дальнейшей эксплуатации конструкций.

Оценка уклона поверхности пола при неравномерной осадке выполнена на основании инструментальных измерений отметок поверхности пола в характерных точках помещения (формула 2).

Обследование основания конструкций пола

Основная часть сведений о техническом состоянии конструкций пола, как правило, получается по результатам обследования, проводимого в открытых шурфах. После устройства шурфа производится определение характеристик залегающих конструктивных слоев пола, включая установление их толщины и физического состояния, а также выполняется фотофиксация (рис. 4).

² ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

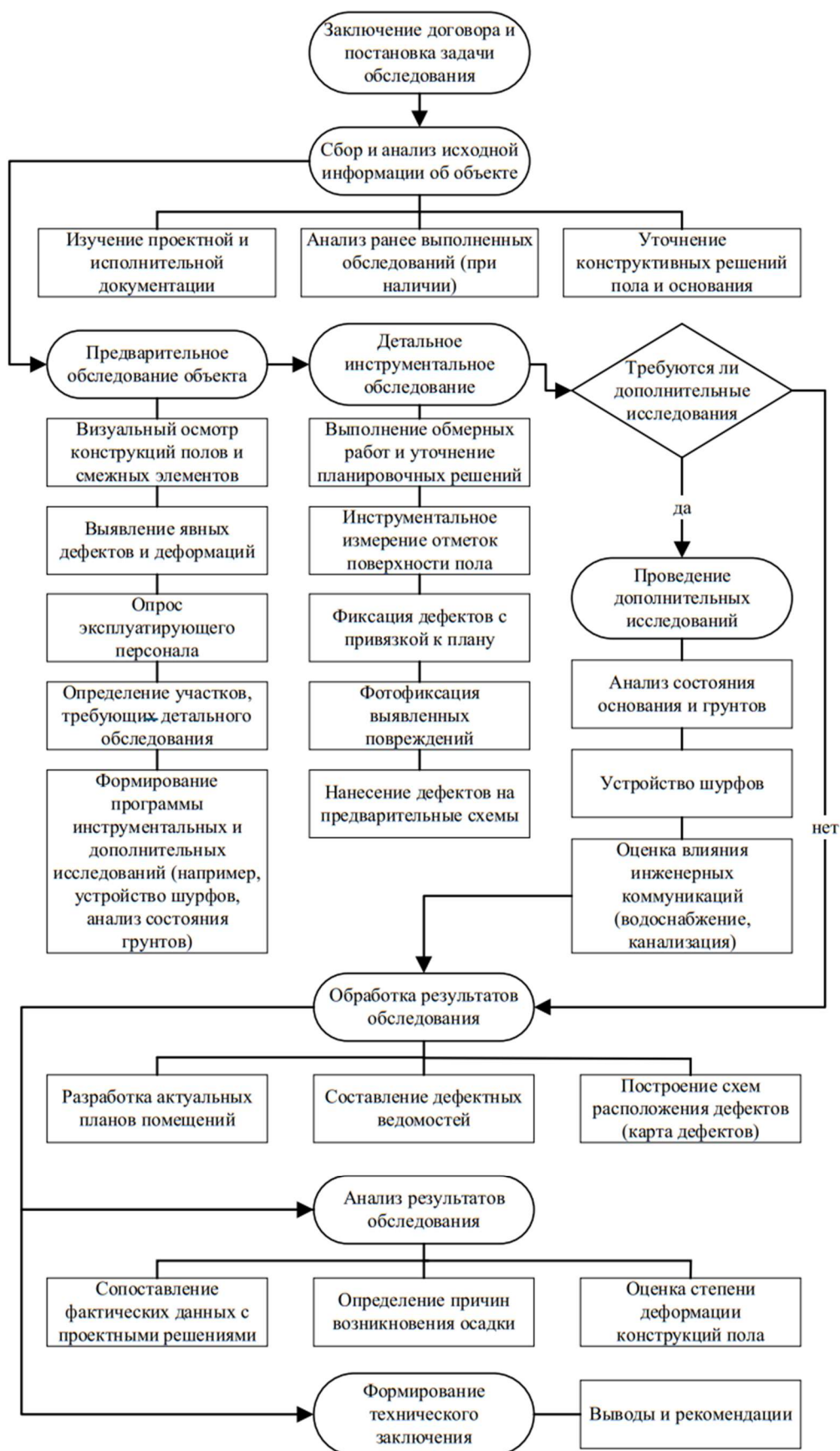


Рис. 3. Алгоритм обследования полов при выявлении осадок (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. Algorithm for floors examination when detecting settlement (illustration by the authors)

При выявлении признаков неравномерной осадки или деформации пола дополнительно проводится обследование грунтового основания. При этом устанавливаются вид и состояние грунта, а при необходимости определяются его основные физико-механические характеристики. Полученные данные позволяют оценить состояние грунтового основания и установить возможные причины возникновения деформаций конструкции пола.

Затем на этапе камеральной обработки результатов разрабатываются чертежи (планы, разрезы) фактического состояния пола с указанием толщины конструктивных слоев и их характеристик (рис. 5). Далее выполняется сопоставление фактических и проектных решений, позволяющее выявить отклонения параметров конструкции от предусмотренных проектом.



Рис. 4. Общий вид шурфа размерами 0,4х1,4 м (иллюстрация авторов)
Fig. 4. General view of a 0.4 x 1.4 m test pit. (illustration by the authors)

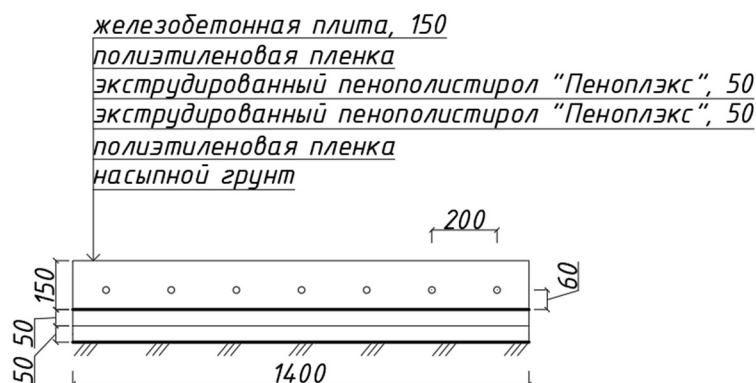


Рис. 5. Состав пола, сконструированный после вскрытия шурфа (размеры даны в мм)
(иллюстрация авторов)
Fig. 5. Floor composition created after opening the pit (dimensions are given in mm)
(illustration by the authors)

Экономическое обоснование вариантов устройства новых полов по результатам обследования

Экономическое обоснование мероприятий по ликвидации причин неравномерной осадки полов может включать в себя оценку стоимости жизненного цикла (LCC) различных вариантов устройства нового пола с учетом затрат на демонтаж старого основания, первоначальные затраты на устройство нового пола, срок службы, текущие ремонты и затраты на ежегодное обслуживание (рис.6, табл. 1). Как видно на рис.6. стоимость жизненного цикла не включает в себя затраты вне стадии строительства, а также прогнозируемые доходы.

$LLC_2 - LLC_1 = 219\,021$ руб. или в относительном выражении 29,1%, то есть второй вариант в итоге дороже первого.

Второй вариант, предполагающий реконструкцию с усилением основания буронабивными сваями, применяется при значительной неравномерной осадке, при недостаточной несущей способности основания. В состав работ входит: демонтаж существующего пола, геодезическая разбивка осей свайного поля и закрепление проектного положения свай, вскрытие основания, бурение скважин, армирование и

бетонирование свай с выдержкой бетона до набора проектной прочности. На заключительном этапе необходимо устройство монолитного ростверка, укладка лаг по нему, а также бетонирование плиты пола.

ПОЛНЫЙ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ (WLC)						
Затраты до строительства	СТОИМОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА (LCC)					Доходы
Покупка земельного участка и др.	Приобретение/создание (строительство) объекта	Эксплуатация	Техническое обслуживание	Замена	Расходы, связанные с выводом объекта из эксплуатации	Аренда, доход от продажи в конце срока службы
Экологические аспекты (включая энергию и коммунальные ресурсы)						

Рис. 6. Границы применения оценки системы (LCC) (иллюстрация авторов)

Fig.6. System assesment application borders (LLC) (illustration by the authors)

Таблица 1

Оценка стоимости жизненного цикла (LCC) различных вариантов устройства нового пола по результатам обследования

Наименование	Значение		Единица измерения
	1 вариант	2 вариант	
Демонтаж	1000		руб./кв.м.
Ремонт	5000	8000	руб./кв.м.
Принятый расчетный срок эффективной эксплуатации конструкций ³	20	30	лет
Частота текущих ремонтных работ	5	10	лет
Текущий ремонт ⁴	1500	1000	руб./кв.м.
Ежегодные затраты на техническое обслуживание и содержание конструкций пола ⁵	200	150	руб./кв.м.
Расчетный период	30		лет
Ставка дисконтирования	25	25	%
LCC ⁶	752 919	971 940	руб.

Первый вариант, предусматривает восстановление конструкции пола без усиления грунтового основания и передачи нагрузки на сваи. В состав работ включены: демонтаж поврежденного пола, устройство подготовительного слоя, армирование и устройство бетонной стяжки.

Для последующего анализа стоимости жизненного цикла выполнено укрупненное экономическое сопоставление вариантов восстановительных мероприятий. Расчет первоначальных затрат осуществлялся по составу работ с использованием нормативов

³ Приложение 3 ВСН 58-88(р). Режим доступа: https://fkr22.ru/upload/iblock/fab/VSN58_88.pdf (дата обращения 18.08.2026)

⁴ Расчёт по ГЭСНр/ГЭСН с учётом различного состава ремонтных работ: ГЭСНр 57-01-017-01, ГЭСН 11-01-011-03 и др.

⁵ СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения».

⁶ Рассчитано авторами на основе Excel

ГЭСН/ФЕР соответствующих сборников. С учетом условий производства работ в эксплуатируемом здании, затрат на демонтаж, механизацию, материалы, накладных расходов и сметной прибыли для расчетной модели принята стоимость 5 000 руб./м² для варианта восстановления пола без усиления основания и 8 000 руб./м² для варианта с усилением основания буронабивными сваями.

В расчётной модели приняты сценарные значения эффективного срока эксплуатации 20 и 30 лет соответственно (приложение 3 ВСН 58-88(р)); их выбор является расчётным допущением и подлежит подтверждению результатами расчёта и обследования.

Для варианта 1 принят расширенный состав текущего ремонта, включающий восстановление повреждённых участков покрытия и локальное восстановление бетонной стяжки в пределах ремонтируемых зон. В обоих вариантах приняты одинаковые затраты на восстановление изнашиваемого чистового покрытия. Различие в среднегодовых эксплуатационных затратах обусловлено различной периодичностью выполнения ремонтных мероприятий, связанных с конструкцией пола. После усиления основания исключается необходимость периодического восстановления элементов пола, связанных с повторным проявлением деформаций основания.

Стоимость технического обслуживания определена расчётным методом исходя из предполагаемого состава периодических эксплуатационных мероприятий, сформированного с учётом различий в конструктивной схеме рассматриваемых вариантов. В состав затрат включены плановые осмотры, контроль состояния конструкции, устранение локальных дефектов и вспомогательные эксплуатационные работы. Перечень и периодичность мероприятий приняты в соответствии с принципами эксплуатации строительных конструкций, установленными СП 255.1325800.2016.

Экономически целесообразный выбор определяется не только стоимостью работ, но и прогнозируемой динамикой осадок, а также требуемым сроком службы конструкций [30].

Анализ результатов расчетов показывает, что вариант реконструкции пола позволяет снизить эксплуатационные затраты, происходит рост периода времени между двумя ремонтами. Но, вместе с тем, увеличение первоначальных затрат на устройство усиленной конструкции пола ведет к росту совокупной дисконтированной стоимости жизненного цикла.

В условиях экономической неопределённости при значениях ставки дисконтирования свыше 11 % более предпочтительным является вариант с минимальными первоначальными затратами и сокращённым сроком службы (вариант 1). Напротив, при стабильной макроэкономической ситуации, характеризующейся диапазоном ставки дисконтирования от 3 до 10 %, экономически обоснованным является выбор усиленной конструкции пола (вариант 2), обеспечивающей снижение совокупных затрат на протяжении жизненного цикла (рис. 7).

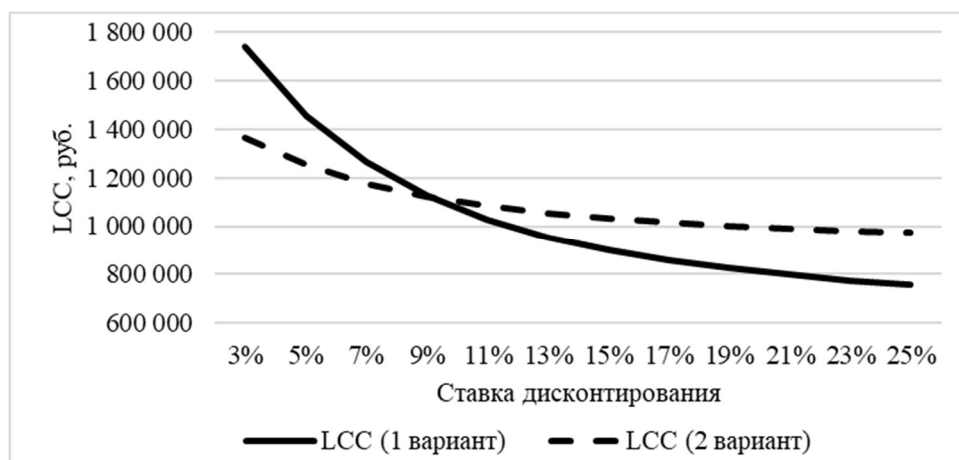


Рис. 7. Значения стоимости жизненного цикла (LCC) различных вариантов устройства нового пола по результатам обследования (иллюстрация авторов)

Fig. 7. Life cycle cost (LCC) values for different options of installing a new floor based on the survey results (illustration by the authors)

Следует отметить, что приведённые расчёты носят укрупнённый характер и не учитывают в полной мере специфику конкретных условий эксплуатации, инженерно-геологических особенностей основания и конструктивных решений здания. В этой связи выбор оптимального варианта должен осуществляться на основе индивидуального анализа каждого объекта с учётом совокупности технических, экономических и эксплуатационных факторов, а также результатов детального обследования и расчётов [31,32].

4. Заключение

В результате проведенного исследования были рассмотрены особенности обследования конструкций полов в эксплуатируемых зданиях при наличии признаков их неравномерной осадки.

На основе анализа практического опыта обследования был разработан алгоритм выполнения работ, включающий последовательные этапы от сбора исходной информации до формирования технического заключения, выполнена оценка уклона поверхности пола при неравномерной осадке.

Предложена технико-экономическая оценка и алгоритм повышения жизненного цикла конструкций полов. Выявлено, что при условиях экономической неопределённости и, как следствие, высоких значениях ставки дисконтирования, превышающих 11 %, наибольшую целесообразность приобретает вариант, характеризующийся сниженным объёмом первоначальных инвестиций, даже при условии его ограниченного срока эксплуатации.

Список литературы / References

1. Римшин В.И., Кецо Е.С., Трунтов П.С. Этапы технического обследования конструкций административного здания // Жилищное строительство. – 2020. – № 6. – С. 22-28. – DOI 10.31659/0044-4472-2020-6-22-28.
Rimshin V.I., Ketsko E.S., Truntov P.S. Stages of technical examination of administrative building structures // Housing construction. - 2020. - No. 6. - P. 22-28. - DOI 10.31659/0044-4472-2020-6-22-28.
2. Shuting Li., Chernoiivan N.V. Innovative approaches and practices of information technology for the technical condition assessment of building structures / Li. Shuting, N. V. Chernoiivan // Vestnik of Brest State Technical University. – 2025. – No. 3(138). – P. 59-62. – DOI 10.36773/1818-1112-2025-138-3-59-62.
3. Николенко С.Д., Анваров Д.М. Особенности экспертизы технического состояния реконструированных торговых объектов // Строительство и недвижимость. – 2025. – № 3(18). – С. 39-45.
Nikolenko S.D., Anvarov D.M. Features of the examination of the technical condition of reconstructed retail facilities // Construction and real estate. - 2025. - No. 3 (18). - P. 39-45.
4. Buatik A. Deformable object removal via exemplar-based algorithm for 3D model of heritage structures // International Journal of GEOMATE. – 2021. – Vol. 21, No. 84. – DOI 10.21660/2021.84.j2076.
5. Keyvanfar A., Shafaghat A. Emerging Dimensions of Unmanned Aerial Vehicle's (UAV) 3D Reconstruction Modeling and Photogrammetry in Architecture and Construction Management // Architecture, City and Environment. – 2022. – Vol. 16, No. 48. – DOI 10.5821/ace.16.48.10492.
6. Шипилова И.А., Рындин П.В. Методы диагностики дефектов в малоэтажном строительстве: современные подходы и технологии // Строительство и недвижимость. – 2025. – № 6(21). – С. 96-102.
Shipilova I.A., Ryndin P.V. Methods for diagnosing defects in low-rise construction: modern approaches and technologies // Construction and real estate. - 2025. - No. 6 (21). - P. 96-102.
7. Бедов А.И., Габитов А.И., Салов А.С., Ганеева Э.И., Парфенова А.А. Развитие и особенности диагностики строительных конструкций с применением тепловизионной съемки // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1(87). – С. 59-70. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-87-1-59-70.

- Bedov A.I., Gabitov A.I., Salov A.S., Ganeeva E.I., Parfenova A.A. Development and Features of Diagnostics of Building Structures Using Thermal Imaging // *Construction and Reconstruction*. - 2020. - No. 1 (87). - P. 59-70. - DOI 10.33979/2073-7416-2020-87-1-59-70.
8. Shatov S.V., Bogachenko S.V. Analysis of the methods for monitoring the technical condition of building structures and legislative and regulatory documents / S. V. Shatov, S. V. Bogachenko // *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*. – 2024. – No. 6 (018). – P. 136-142. – DOI 10.30838/j.bpsacea.2312.261223.136.1016.
9. Савин С.Н., Фан Ч.Д. Контроль технического состояния зданий и сооружений по их динамическим характеристикам // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2024. – № 1(47). – С. 20-27. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-20-27.
Savin S.N., Fan Ch.D. Monitoring the Technical Condition of Buildings and Structures Based on Their Dynamic Characteristics // *Caspian Engineering and Construction Bulletin*. - 2024. - No. 1 (47). - P. 20-27. - DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-20-27.
10. Wu Y., Jin N., Shi Zh., Yue Q., Zhong R. Research Progress on Dynamic Characteristic Monitoring Methods of Super High-Rise Buildings // *Industrial Construction*. – 2024. – Vol. 54, No. 1. – P. 1-10. – DOI 10.3724/j.gyjzg23071809.
11. Liu, Yu. Research on Dynamic Monitoring and Analysis Methods of Construction Project Performance Based on Digital Twin / Yu. Liu // *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. – 2024. – Vol. 22, No. 2. – DOI 10.57239/pjlss-2024-22.2.001499. – EDN NLLMIW.
12. Полищук А.И., Чернявский Д.А., Гуменюк В.В., Солонов Г.Г. Анализ причин появления подземной и атмосферной воды в подвальных помещениях эксплуатируемого здания // *Construction and Geotechnics*. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 86-96. – DOI 10.15593/2224-9826/2021.2.08.
Polischuk A.I., Chernyavskiy D.A., Gumenyuk V.V., Solonov G.G. Analysis of the causes of groundwater and atmospheric water appearance in the basements of an operating building // *Construction and Geotechnics*. - 2021. - Vol. 12, No. 2. - P. 86-96. - DOI 10.15593/2224-9826/2021.2.08.
13. Jeong D.II., Cannon A.J. Projected changes to moisture loads for design and management of building exteriors over Canada // *Building and Environment*. – 2020. – Vol. 170. – P. 106609. – DOI 10.1016/j.buildenv.2019.106609.
14. Zhou X., Kubilay A., Derome D., Carmeliet Ja. Comparison of wind-driven rain load on building facades in the urban environment and open field: A case study on two buildings in Zurich, Switzerland // *Building and Environment*. – 2023. – Vol. 233. – P. 110038. – DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110038.
15. Кроник Я.А., Рабинович М.В. Расчет термонапряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых и оттаивающих оснований зданий при аварийных утечках из коммуникаций // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2019. – № 2. – С. 27-31.
Kronik Ya.A., Rabinovich M.V. Calculation of the thermal stress-strain state of permafrost and thawing foundations of buildings during emergency leaks from utilities // *Foundations, foundations and soil mechanics*. - 2019. - No. 2. - P. 27-31.
16. Mirsayapov I., Shakirov I., Nurieva D. Numerical studies of soil base deformations from reconstructed multi-storey building to nearby buildings// *E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 april 2021*. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3020. – DOI 10.1051/e3sconf/202127403020.
17. Galiev I., Ibragimov R., Ashrapov A., Radaykin O. Technology for reinforcing strip foundations of reconstructed brick buildings based on computer modeling // *IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, April, 29 – May, 15, 2020*. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012140. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012140.
18. Kalabina D., Yakovlev G.I., Saidova Z., Pervushin G., Gordina A.F. Effect of Carbon-Containing Additives on the Properties of Fluoroanhydrite Compositions Used for

- Flooring // *Key Engineering Materials*. – 2022. – Vol. 932. – P. 219-224. – DOI 10.4028/p-1q9dt3.
19. Yakovlev G., Pervushin G., Begunova E., Saidova Z., Smirnova O. The Electrical Conductivity of Fluoroanhydrite Compositions Modified at the Nanoscale Level with Carbon Black // *Environmental and Climate Technologies*. – 2020. – Vol. 24, No. 1. – P. 706-717. – DOI 10.2478/rtuct-2020-0044.
20. Римшин В.И., Трунтов П.С., Кецо Е.С. Комплексный подход к выполнению акустических расчетов при техническом обследовании аварийного жилого фонда // *Строительные материалы*. – 2021. – № 6. – С. 21-24. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-792-6-21-24.
Rimshin V.I., Truntov P.S., Ketsko E.S. An integrated approach to performing acoustic calculations during a technical inspection of emergency housing stock // *Construction materials*. - 2021. - No. 6. - P. 21-24. - DOI 10.31659/0585-430X-2021-792-6-21-24.
21. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Шубина Д.Д. Кургузов, К. В. Вероятностно-статистическое моделирование нагрузок и воздействий // *Вестник МГСУ*. – 2020. – Т. 15, № 9. – С. 1249-1261. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261.
Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Shubina D.D. Kurguzov, K.V. Probabilistic and statistical modeling of loads and impacts // *Bulletin of MGSU*. - 2020. - Vol. 15, No. 9. - P. 1249-1261. - DOI 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261.
22. Cao H. Hypergraph neural network and temporal convolutional network for load forecasting in smart construction sites// *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*. – 2025. – P. 14727978251385143. – DOI 10.1177/14727978251385143.
23. Tran T.H., Nguyen Ba.Ph., Tran T.D. Machine Learning Applications in Pile Load Capacity Prediction: Advanced Analysis of Pile Driving Forces and Depths in Urban Ho Chi Minh City Construction Sites // *Indian Geotechnical Journal*. – 2024. – DOI 10.1007/s40098-024-01055-9.
24. Ivantsov, A. I. Comparative Longevity of Enclosing Structures Depending on Climatic Conditions and Architectural and Constructive Characterites of Buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vladivostok, October, 02–04, 2018. – Vladivostok: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022077. – DOI 10.1088/1757-899X/463/2/022077.
25. Pokka E., Ponomarev E., Timakova V. Pokka, E. Formation factors of the architecture of multilevel public spaces on the example of the countries of North America and Asia // *E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021)*, Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 1012. – DOI 10.1051/e3sconf/202127401012.
26. Ivantsov A., Petrov A. The influence of architectural and construction parameters of residential buildings on energy efficiency in Russian Federation // *IOP conference series : Materials Science and Engineering*, Kazan, April, 29 – May, 15, 2020. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012142. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012142.
27. Modaresi R., Landaas M. Tool Development for Life Cycle Cost (LCC) of Wooden Building Envelope // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. – 2024. – Vol. 35, No. 2. – P. 84-94. – DOI 10.5755/j01.sace.35.2.35937.
28. Ayob M.F., Mohamed Yunus M.Yu., Hashim Kh.S.H.Yu., Sopian A.R., Haron A.T. Life cycle cost (LCC) of university building maintenance: a systematised review // *Planning Malaysia*. – 2025. – Vol. 23. – DOI 10.21837/pm.v23i35.1694.
29. Aristodemou E., Stojceska V., Christantoni I., Tsakanika D., Kolokotroni M. Advancing Sustainability in a Residential Building in Europe: A Case Study on LCA and LCC across Different Scenarios // *Proceedings of The World Conference on Climate Change and Global Warming*. – 2024. – Vol. 1, No. 1. – P. 1-12. – DOI 10.33422/ccgconf.v1i1.339.
30. Ткаченко А. Д. Сравнение современных технологий устройства силового пола промышленного здания по критериям долговечности и стоимости // *Академическая публицистика*. – 2024. – № 6-1. – С. 127-131. – EDN WQPIRF.

- Tkachenko A. D. Comparison of modern technologies for industrial building power floor construction based on criteria of durability and cost // Academic journalism. - 2024. - No. 6-1. - P. 127-131. - EDN WQPIRF.
31. Demertzi M., Silvestre Jo. D., Garrido M., Correia J. R. Life cycle assessment of alternative building floor rehabilitation systems// Structures. – Vol. 26, 2020, P. 237-246, doi: 10.1016/j.istruc.2020.03.060.
32. Balasbaneh A. T., Sher W., Yeoh D., Koushfar K. LCA & LCC analysis of hybrid glued laminated Timber–Concrete composite floor slab system // Journal of Building Engineering. – Vol. 49, 2022, 104005, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.104005.

Информация об авторах

Ибрагимов Руслан Абдирашитович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: rusmag007@yandex.com; ORCID: 0000-0001-8879-1190

Галиев Ильяс Халимович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: galiev-ih@kgasu.ru

Шагиахметова Эльвира Илшатовна, кандидат экономических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань Россия

E-mail: elvirale@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0475-4374

Шагиахметова Майя Ильдаровна, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: mayyashagiakhmetova@gmail.com, ORCID: 0009-0005-2196-5826

Хохряков Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: olvik@list.ru; ORCID: 0000-0001-5337-2850

Information about the authors

Ruslan A. Ibragimov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: rusmag007@yandex.com; ORCID: 0000-0001-8879-1190

Ilyas Kh. Galiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: galiev-ih@kgasu.ru

Elvira I. Shagiakhmetova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: elvirale@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0475-4374

Maya I. Shagiakhmetova, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mayyashagiakhmetova@gmail.com, ORCID: 0009-0005-2196-5826

Oleg V. Khokhryakov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: olvik@list.ru, ORCID: 0000-0001-5337-2850

Дата поступления: 07.04.2026

Дата принятия: 29.09.2026