

УДК 69.058:691.32

А. Х. БАЙБУРИН, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры строительного производства и теории сооружений; **С. Г. АКИМОВ**, магистр кафедры строительного производства и теории сооружений, **Д. А. БАЙБУРИН**, ст. преп. кафедры строительного производства и теории сооружений

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (ЮУрГУ НИУ).
Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76.

Тел.: (351) 267-91-83; эл. почта: abayburin@mail.ru

Ключевые слова: железобетонные конструкции, эксплуатация, тяжелый бетон, прочность бетона, методы неразрушающих испытаний.

Цель исследований – сравнительные испытания прочности бетонных кубов неразрушающими методами упругого отскока, ударного импульса и ультразвукового прозвучивания при различных воздействиях эксплуатационных факторов. Изучалось влияние воздействия отрицательных температур, минерального масла и увлажнения на прочность тяжелого бетона класса В25 при сжатии. Методы определения прочности соответствовали стандартным. Установлено увеличение прочности бетона при замораживании образцов до минус 15 °С. При пропитке минеральным маслом показания прочности значительно снижаются. Увлажнение бетона приводит к снижению прочности для методов пластических деформаций и росту скорости ультразвука. Полученные результаты качественно подтверждают данные ранее выполненных исследований. По результатам испытаний были определены средние значения поправочных коэффициентов прочности по сравнению с нормальными условиями испытаний.

Введение

Последние достижения в области методов неразрушающего контроля (*NDT*) бетона включают: частотный подход, георадары (дефектоскопы, томографы), инфракрасные технологии, волоконно-оптические датчики, методы на основе видеокамер, лазерные сканеры, акустическая эмиссия и ультразвуковые методы [1]. Для повышения точности исследователи применяют методы машинного обучения, искусственный интеллект, комбинированные методы.

Перспективно комбинирование *NDT*, чувствительных к механическим свойствам и содержанию в бетоне влаги. К последним относят электрическое сопротивление, радиолокационный метод (*GPR*), ультразвуковые поверхностные волны и емкостной метод [2]. Диэлектрический метод, метод ядерного магнитного резонанса, ультразвуковые методы применяют для непрерывного мониторинга твердения бетонов [3]. Свои особенности имеет контроль прочности составов, формируемых 3D-печатью [4].

Среди факторов, влияющих на точность *NDT* бетона, отмечают модуль упругости, динамическую вязкость, структурную неоднородность, состав бетона, температуру, влажность, состояние поверхности материала. В работе [5]



оценивалось влияния типа цемента, срока твердения, размеров и влажности образцов бетона на скорость ультразвукового импульса. Доказано прямое влияние влажности бетона и степени гидратации на скорость ультразвука и прочность.

Известно, что нефтепродукты, пропитывая бетон, снижают его прочность, особенно, при растяжении за счет нарушения контакта между цементным камнем и заполнителем [6, 7]. В Руководстве НИИЖБ по защите железобетонных конструкций от действия нефтепродуктов (1983) указано, что сочетание вибрационных воздействий с промасливанием приводит к увеличению эффекта снижения прочности за счет интенсивного образования микродефектов в структуре бетона и проникновения в них нефтепродуктов. Имеет влияние и продолжительность воздействия минеральных масел на бетон [8].

Прямые испытания показывают снижение прочности бетона на сжатие с увеличением влажности, что объясняется расклинивающим действием воды в микротрещинах. Причем ультразвуковые и ударно-импульсные методы не показывают существенного снижения прочности. При влажности бетона более 2 % по массе более объективным является ударно-импульсный метод, применение ультразвуковых приборов приводит к завышенным значениям прочности бетона [9]. Испытания показывают, что увеличение содержания влаги на 10 % может снизить прочность при сжатии примерно на 5–9 %. При этом модуль упругости может возрасти до 30 %. Разница между неразрушающими и разрушающими испытаниями прочности растет с увеличением влажности бетона [10, 11].

После водонасыщения бетона классов по прочности С15, С20 и С30 в течение 10 суток до 48–72 % его прочность на сжатие снижалась на 21–27 % по сравнению с бетоном в сухом состоянии. При этом модуль упругости бетона увеличивался с ростом водонасыщенности в 1,18–1,24 раза [12].

Для замороженного бетона показания приборов *NDT* изменяются: ультразвуковой метод дает завышенные оценки, а метод упругого отскока заниженные. После оттаивания точность *NDT* повышается [13]. Многочисленные исследования показали упрочнение бетона при его замораживании за счет уплотнения его структуры кристаллами льда, а также за счет смерзания микротрещин в бетоне, что приводит к снижению концентрации растягивающих напряжений в их устьях. При температуре минус 54 °С призмная прочность возросла почти в 3 раза, а модуль упругости в 1,3–1,5 раза [14].

Исследование практичности *NDT* бетона остается актуальной задачей, особенно с целью уточнения влияния различных факторов (увлажнение, замораживание, замасливание и пр.), часто осложняющих контроль эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Методы исследования

Цель исследования состояла в оценке влияния увлажнения, замораживания, замасливания бетона на точность определения его прочности на сжатие неразрушающими методами. При определении прочности бетона использовались неразрушающие методы по ГОСТ 22690-2015 и ГОСТ 17624-2021, которые сравнивались с контрольными разрушающими испытаниями образцов бетона по ГОСТ 28570-2019. Методика испытаний соответствовала требованиям указанных государственных стандартов и руководств по эксплуатации приборов.

Основные характеристики примененных измерительных приборов и машин представлены в табл. 1. Используемые средства измерений имели свидетельства о поверке на момент проведения испытаний.



Таблица 1

Характеристики приборов и оборудования для исследования

Метод контроля прочности, норматив	Характеристики оборудования		
	Наименование, марка прибора	Погрешность по паспорту	Предел измерений
Ударного импульса ГОСТ 22690-2015	Измеритель прочности материалов ИПС-МГ4.03	$\pm 8 \%$	3–100 МПа
Ударного импульса ГОСТ 22690-2015	Электронный склерометр ОНИКС-2.5	$\pm 8 \%$	1–100 МПа
Упругого отскока ГОСТ 22690-2015	Молоток для испытаний бетона <i>SilverSchmidt PC N</i>	Не указана	10–100 Н/мм ²
Ультразвуковой метод ГОСТ 17624-2021	Прибор ультразвуковой Пульсар-1.2	$\pm (0,01 \cdot V + 10)$	5–100 МПа
Разрушающий ГОСТ 28570-2019	Гидравлическая испытательная машина <i>WAW-600 kN</i>	$\pm 1 \%$	До 600 кН

Методика исследований прочности бетона неразрушающими методами включала:

изготовление 4-х серий по 6 образцов-кубов ребром 100 мм, класс тяжелого бетона *B25* (серии соответственно замороженного, замасленного и увлажненного бетона, а также контрольная серия);

замораживание образцов серии 1 производилось в морозильной камере КХТВ-24 до минус 15 °С в течение 24 часов;

в серии 2 образцы выдерживались в ванне с минеральным (машинным) маслом при температуре 20 °С в течение 24 часов;

увлажнение образцов серии 3 выполнялось выдерживанием в ванне с водопроводной водой при температуре 20 °С в течение 24 часов;

определение прочности бетона на сжатие неразрушающими методами (см. табл. 1), а также испытания образцов до разрушения на испытательной машине *WAW-600 kN* до воздействия на бетон воды, минерального масла и отрицательной температуры и после воздействия;

определение значений средней прочности, среднеквадратичного отклонения, коэффициента вариации;

определение поправочных коэффициентов, оценивающих влияние воздействия на бетон замораживания, увлажнения и пропитки минеральным маслом и отрицательной температуры на точность контроля прочности бетона.

Результаты сравнительных испытаний

Результаты определения прочности бетона на сжатие различными методами описаны авторами в статье [15]. Приборы ударного импульса показали завышенные значения прочности по сравнению с испытаниями на гидравлическом прессе: на 9 и 23 % соответственно для ОНИКС-2.5 и ИПС МГ-4.03. Наиболее близкие значения прочности к эталонным испытаниям на прессе показали ультразвуковой метод и метод упругого отскока (отличие соответственно 1,2 и 2,8 %). Вариация прочности для косвенных неразрушающих методов изменялась от 5,2 до 8,7 %.

Результаты сравнительных неразрушающих испытаний различными методами прочности бетона в нормальном состоянии и после замораживания,



замасливания и увлажнения приведены в табл. 2. В отдельный столбец таблицы выделено среднее значение близких по физическому принципу действия неразрушающих методов ударного импульса и упругого отскока приборами ИПС, ОНИКС, склерометр Шмидта. Как видим, вариация показаний приборов (из шести образцов) лежала в допустимых пределах, кроме одного значения 0,195.

Таблица 2

Коэффициенты изменения прочности бетона при различных воздействиях

Воздействие на образцы-кубы	Коэффициенты изменения прочности k и вариация v для прибора					
	ИПС МГ-4.03	ОНИКС-2.5	Молоток Шмидта	УЗ Пульсар-1.2	Среднее значение	Среднее без УЗ
Заморозка k_1	1,116	0,982	0,986	1,141	1,056	1,028
Вариация v_1	0,086	0,033	0,083	0,053	0,064	0,067
Масло k_2	0,807	0,898	0,819	0,680	0,801	0,841
Вариация v_2	0,126	0,114	0,139	0,195	0,144	0,126
Влага k_3	0,848	0,868	0,699	1,177	0,898	0,805
Вариация v_3	0,126	0,098	0,070	0,109	0,101	0,098

Усредненные значения поправочного коэффициента, выраженного отношением показаний в замороженном и нормальном состоянии, показаны на графике (рис. 1). Среднее значение поправочного коэффициента равно 1,06. При этом испытания подтвердили данные [13] о завышении результатов ультразвуковым методом и занижении – методом упругого отскока.

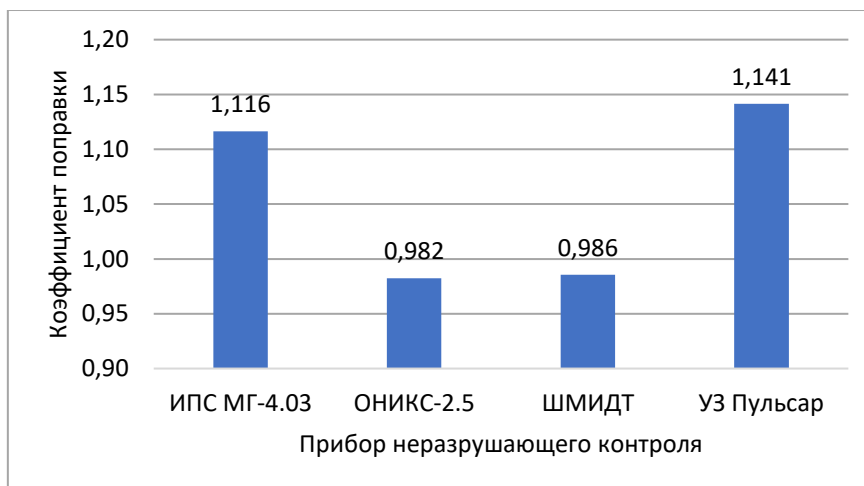
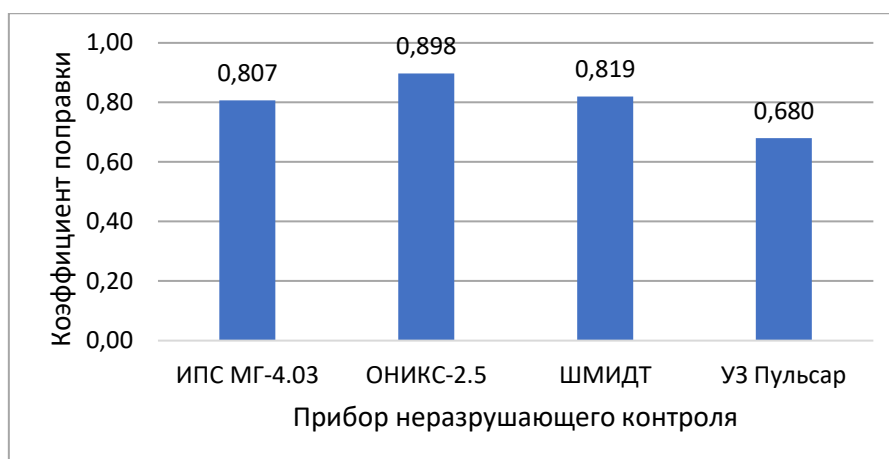
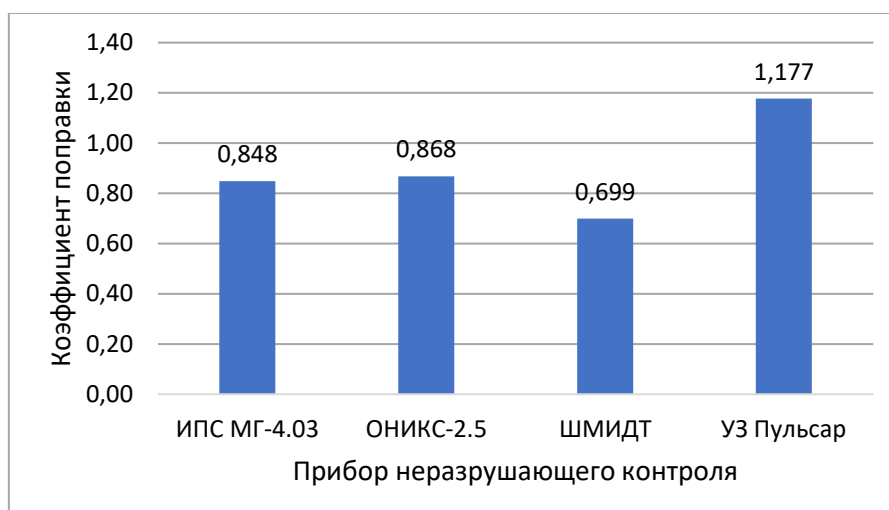


Рис. 1. Влияние замораживания бетона до минус 15 °С на показания приборов *NDT*

Средние значения поправочного коэффициента при переходе от прочности при пропитке минеральным маслом к прочности в нормальном состоянии приведены на рис. 2. Среднее значение поправочного коэффициента равно 0,84, а без учета УЗ метода – 0,80. Результаты испытаний подтверждают данные [6, 7] о значительном влиянии пропитки минеральным маслом на прочность бетона, что объясняется нарушением сцепления различных составляющих бетона при пропитке маслом.

Рис. 2. Влияние замасливания бетона на показания приборов *NDT*

Усредненные значения поправочного коэффициента, выраженного отношением показаний в увлажненном и нормальном состоянии, показаны на графике рис. 3.

Рис. 3. Влияние увлажнения бетона на показания приборов *NDT*

Среднее значение поправочного коэффициента равно 0,90. Ультразвуковой метод показал коэффициент 1,18. Известные данные [12] подтверждают факт снижения прочности при увлажнении бетона. При этом другой принцип действия ультразвукового метода дает прямо противоположный результат.

Заключение

Экспериментально определено влияние замораживания бетона на результаты неразрушающего контроля его прочности различными методами. При замораживании до минус 15 °С в течение 24 часов показания прочности увеличиваются на 12–14 % для различных методов, что объясняется упрочняющим действием льда. Вместе с тем, метод упругого отскока (молоток



Шмитда) и ударного импульса (ОНИКС-2.5), не выявил существенного изменения прочности при процессе замораживания кубов-образцов.

Исследовано влияние при пропитке бетона минеральным маслом на результаты неразрушающего контроля его прочности различными приборами. При выдерживании образцов в ванне с машинным маслом при температуре 20 °С в течение 24 часов показания прочности уменьшаются в интервале 10–32 % для разных методов. Наименьшее влияние характерно для метода ударного импульса (прибор ОНИКС-2.5).

Изучено влияние фактора замачивания бетона на результаты неразрушающего контроля его прочности различными методами. При выдерживании образцов в ванне с водопроводной водой при температуре 20 °С в течение 24 часов показания прочности уменьшаются на 15–30 % для методов пластических деформаций. Испытание ультразвуковым методом, наоборот, показало увеличение прочности на 18 % после увлажнения образцов-кубов.

Перспективы дальнейших исследований могут быть связаны с построением регрессионных зависимостей влияния различных температур замораживания бетона, длительности воздействия минерального масла и замачивания на прочность тяжелого бетона различных классов и составов, а также изучением изменений тарировочных зависимостей косвенных методов контроля прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Recent advancements in nondestructive Advances in Civil Engineering 11 testing techniques for structural health monitoring / P. Kot, M. Muradov, M. Gkantou [et al.] // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, № 6. – P. 1–28.
2. Evaluation of Concrete Properties by Combining NDT Methods / J. P. Balayssac, S. Laurens, D. Breyse, V. Garnier // Nondestructive Testing of Materials and Structures. Proceedings of NDTMS-2011. – Istanbul, Turkey, 2011. – P. 187–192.
3. Schabowicz, K. Non-destructive testing of materials in civil engineering / K. Schabowicz // Materials. – 2019. – Vol. 12, № 19. – P. 3237.
4. Сорокина, Е. А. Анализ и оценка методов определения прочности бетона для аддитивной технологии / Е. А. Сорокина, Н. О. Копаница // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 87–95.
5. Factors influencing ultrasonic pulse velocity in concrete / J. P. Godinho, T. F. De Souza J'uniór, M. H. F. Medeiros, M. S. A. Silva // Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. – 2020. – Vol. 13, № 2. – P. 222–247.
6. Влияние вязкости нефтепродуктов на деформативные свойства бетона / А. П. Свинцов, Ю. В. Николенко, М. И. Харун, А. С. Казаков // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 7. – С. 16–22.
7. Яковлева, М. В. Влияние минеральных масел на железобетонные конструкции / М. В. Яковлева, Ю. Ф. Юсупова // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 9. – С. 116–122.
8. Улыбин, А. В. Изменение прочности промасленного бетона эксплуатируемых конструкций / А. В. Улыбин // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : материалы VII международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – С. 270–283.
9. Несветаев, Г. В. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций / Г. В. Несветаев, А. В. Коллеганов, Н. А. Коллеганов. – Текст : электронный // Науковедение : интернет-журнал. – 2017. –



Т. 9, № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-nerazrushayushchego-kontrolya-prochnosti-betona-ekspluatiruemyh-zhelezobetonnyh-konstruktsiy/viewer>.

10. Бурмин, А. В. Влияние влажности бетона на точность определения прочности / А. В. Бурмин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 4. – С. 135–138.

11. Analysis the effect of moisture content of normal concrete using hammer test / Mujahadah N., Hariyadi, Kencanawati N. N., Ngudiyono // AIP Conference Proceedings. – 2023. – 2609, 050006.

12. Influence of Humidity on the Elastic Modulus and Axis Compressive Strength of Concrete in a Water Environment / G. Zhang, C. Li, H. Wei, M. Wang, Z. Yang, Y. Gu // Materials. – 2020. – № 13 (24) : 5696. – P. 1–14.

13. Снежков, Д. Ю. Повышение достоверности контроля прочности бетона неразрушающими методами на основе их комбинирования / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 1. – С. 25–32.

14. Хомякова, И. В. Исследование прочностных и деформативных параметров бетонов в замороженном состоянии / И. В. Хомякова, Л. В. Узунова // Балтийский морской форум : материалы XI Международного Балтийского морского форума. – Калининград : Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 322–329.

15. Байбурин, А. Х. Анализ точности неразрушающих методов контроля прочности бетона / А. Х. Байбурин, С. Г. Акимов, Д. А. Байбурин // Русский журнал строительных наук и технологий. – 2024. – Т. 10, № 1. – 1001002.

BAYBURIN Albert Khalitovich, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of building technologies and structural engineering; AKIMOV Sergey Gennadievich, master degree student of the chair of building technologies and structural engineering; BAYBURIN Denis Albertovich, senior teacher of the chair of building technologies and structural engineering

INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON THE ACCURACY OF NON-DESTRUCTIVE METHODS OF CONCRETE STRENGTH TESTING

South Ural State University (SUSU).

76, Lenina Prospect, Chelyabinsk, 454080, Russia.

Tel.: (351) 267-91-83, e-mail: abayburin@mail.com

Keywords: reinforced concrete structures, operation, heavy concrete, concrete strength, non-destructive testing methods.

The goal of the research was to perform comparative tests of the strength of concrete cubes using non-destructive methods such as elastic rebound, impact impulse, and ultrasonic testing under various operational influences. The study examined the impact of negative temperatures, mineral oil, and moisture on the compressive strength of heavy concrete of class B25. The strength determination methods complied with standard requirements. It was found that the strength of the concrete increased when the samples were frozen to -15°C . Soaking in mineral oil led to a significant decrease in strength readings. Moistening the concrete resulted in a decrease in strength for plastic deformation methods and an increase in the speed of ultrasound. The obtained results qualitatively corroborate the data from previously conducted studies. Based on the test results, average values of strength correction factors were determined in comparison to normal testing conditions.



REFERENCES

1. Kot P., Muradov M., Gkantou M., Kamaris G. S., [et al.] Recent advancements in nondestructive Advances in Civil Engineering 11 testing techniques for structural health monitoring. *Applied Sciences*. 2021, No. 6 (11), P. 1–28.
2. Balayssac J. P., Laurens S., Breyse D. and Garnier V. Evaluation of Concrete Properties by Combining NDT Methods. *Nondestructive Testing of Materials and Structures. Proceedings of NDTMS-2011. Istanbul, Turkey*. 2011, P. 187–192.
3. Schabowicz K. Non-destructive testing of materials in civil engineering. *Materials*. 2012, No. 12 (19), 3237.
4. Sorokina E. A., Kopanitsa N. O. Analiz i otsenka metodov opredeleniya prochnosti betona dlya additivnoi tekhnologii [Analysis and evaluation of methods for determining the strength of concrete for additive technology]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2021, № 2 (23), P. 87–95.
5. Godinho J. P., De Souza J'uniór T. F., Medeiros M. H. F., and Silva M. S. A. Factors influencing ultrasonic pulse velocity in concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais* [IBRACON Magazine of Structures and Materials]. 2020, No. 2 (13), P. 222–247.
6. Svintsov A. P., Nikolenko Yu. V., Harun M. I., Kazakov A. S. Vliyanie vyazkosti nefteproduktov na deformativnye svoystva betona [The effect of viscosity of petroleum products on the deformative properties of concrete]. *Inzhenerno-stroitel'ny zhurnal* [Civil Engineering Magazine]. 2014, № 7, P. 16–22.
7. Yakovleva M. V., Yusupova Yu. F. Vliyanie mineralnykh masel na zhelezobetonnye konstruksii [The Effect of Mineral Oils on Reinforced Concrete Structures]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction]. 2009, № 9, P. 116–122.
8. Ulybin A. V. Izmenenie prochnosti promaslennogo betona ehkspluatiruemykh konstruksii [Alteration in the strength of oiled concrete in serviceable structures]. *Obsledovanie zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ikh resheniya* [Survey of Buildings and Structures: Problems and Solutions]. *Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2017. P. 270–283.
9. Nesvetaev G. V., Kolleganov A. V., Kolleganov N. A. Osobennosti nerazrushayushchego kontrolya prochnosti betona ehkspluatiruemykh zhelezobetonnykh konstruksii [Features of Non-Destructive Concrete Strength Testing of Operated Reinforced Concrete Structures]. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Internet Journal of Science]. 2017, № 2 (9).
10. Burmin A. V. Vliyanie vlazhnosti betona na tochnost opredeleniya prochnosti [The effect of concrete moisture on the accuracy of strength determination]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2007, № 4, 135–138.
11. Mujahadah N., Hariyadi, Kencanawati N. N., Ngudiyono. Analysis the effect of moisture content of normal concrete using hammer test. *AIP Conference Proceedings*. 2023, 2609, 050006.
12. Zhang G., Li C., Wei H., Wang M., Yang Z. and Gu Y. Influence of Humidity on the Elastic Modulus and Axis Compressive Strength of Concrete in a Water Environment. *Materials*, 2020. No.13 (24):5696, P. 1–14.
13. Snezhkov D. Yu., Leonovich S. N. Povyshenie dostovernosti kontrolya prochnosti betona nerazrushayushchimi metodami na osnove ikh kombinirovaniya [Improving the reliability of non-destructive concrete strength testing by combining different methods]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2018, № 1. P. 25–32.
14. Khomyakova I. V., Uzunova L. V. Issledovanie prochnostnykh i deformativnykh parametrov betonov v zamorozhennom sostoyanii [Research on the strength and deformation



parameters of concretes in a frozen state]. Materialy XI Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma. [Proceedings of the 11th International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2023. P. 322–329.

15. Baiburin A. Kh., Akimov S. G., Baiburin D. A. Analiz tochnosti nerazrushayushchikh metodov kontrolya prochnosti betona [Analysis of the accuracy of non-destructive methods for monitoring concrete strength]. Russkii zhurnal stroitelnykh nauk i tekhnologiy. [Russian Journal of Construction Science and Technology]. 2024, № 1 (10), 1001002.

© А. Х. Байбурин, С. Г. Акимов, Д. А. Байбурин, 2026

Получено: 01.03.2026 г.



УДК 69.05

З. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ, д-р. техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений; **Е. А. СУЛТАНОВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики; **М. З. ЗАРИПОВ**, канд. техн. наук, зав. лабораторией кафедры оборудования и технологии сварки и контроля; **А. А. АЛЛАЯРОВ**, студент кафедры транспорта и хранения нефти и газа

ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ОТРАСЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Тел.: (917) 780-35-05, эл. почта: zinur-1966@mail.ru

Ключевые слова: отраслевые комплексы, организационно-технологические решения, динамическая система, системный подход, устойчивость.

Изучение процесса строительства отраслевых комплексов целесообразно проводить с использованием системного, структурного и динамического подходов. Такая структура исследований позволяет обосновать необходимые и достаточные условия достижения устойчивости и стабильности организационно-технологических решений при строительстве отраслевых комплексов.

Введение

Отраслевые комплексы относятся к комплексам, объединяющим связанные между собой по производственной и потребительской цепочке объекты. Строительство отраслевых комплексов, отличающееся высокой динамичностью, т. е. постоянным изменением форм, методов и условий производства работ, необходимостью соблюдения интересов собственника по эффективному вложению капитала инвестора в строительство является сложной и трудоемкой задачей. Не вызывает сомнения тот факт, что для успешного решения этой задачи необходима эффективная проработка всех возможных вариантов моделей организации работ в целях их сопоставления и выбора наиболее рационального из них для конкретных производственных условий. Основой для решения этой задачи является обеспечение устойчивости проектируемых организационно-технологических решений.

Следует подчеркнуть, что методологическая основа принятия решений по организации строительства промышленных предприятий, рассчитанных на несколько лет, разработана достаточно полно и изложена в работах многих отечественных ученых [1–10].

Но при этом детально не проработаны вопросы, касающиеся обеспечения стабильности и устойчивости разрабатываемых организационно-технологических решений при синхронном строительстве объектов, являющихся составными частями отраслевых комплексов. Поэтому эта проблема при реализации организационно-технологических решений такой многосвязной системы, как строительство комплексов, является актуальной задачей.

Таким образом, ставится задача для организационно-технологического проектирования в разработке стабильных и устойчивых к действиям возмущающих факторов организационно-технологических решений и обладающих потенциалом простоты их корректировки в соответствии с реальной обстановкой в случае изменения ситуации на строительной площадке и, как следствие, повышение скорости принятия решений.

Материалы и методы

Процесс строительства отраслевого комплекса рассматривается как сложная многосвязная динамическая система.

Для решения практических задач методология использует общесистемные принципы, подходы, законы, моделирование, с помощью которых выявляются основные свойства системы и выбираются способы достижения цели исследований (рис.).

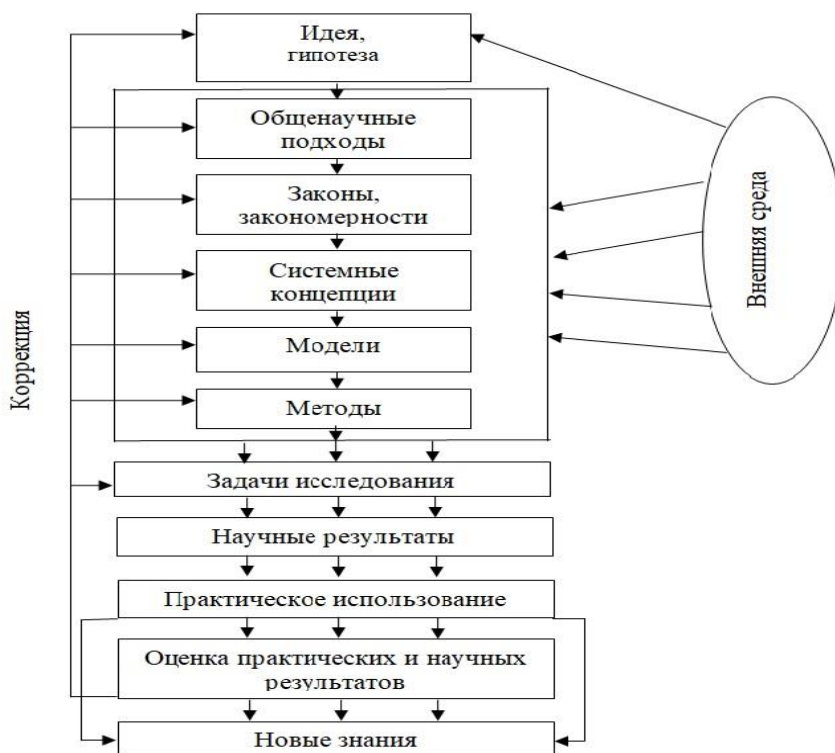


Рисунок. Методология исследования систем

Подходы в методологии, основанные на общенаучных принципах, позволяют обосновать выбор и разработку методики изучения, анализа, моделирования и выявляют взаимодействие поставленных для решения задач (табл.).

Изучение процесса строительства отраслевых комплексов с использованием системного подхода происходит на основе общесистемных принципов. В соответствии с этим процесс строительства отраслевого комплекса представляется в виде строительства множества различных объектов (подсистем), объединенных единой производственно-потребительской цепочкой и принципом отраслевого объединения.



Таблица

**Общенаучные подходы методологии и решаемые задачи
при разработке условий устойчивости организационно-технологических
решений**

Подход	Решаемая задача
1. Системный подход	1.1. Формирование цели строительства отраслевого комплекса 1.2. Деление отраслевого комплекса на подсистемы 1.3. Выявление системных свойств процесса строительства отраслевого комплекса
2. Структурный подход	2.1. Разработка структуры исследований подсистем отраслевого комплекса 2.2. Разработка структуры исследований отраслевого комплекса
3. Динамический подход	3.1. Исследование устойчивости организационно-технологических решений при строительстве объектов (подсистем) 3.2. Исследование устойчивости организационно-технологических решений при строительстве отраслевого комплекса (системы) 3.3. Разработка динамической модели организационно-технологических решений при строительстве объектов (подсистем) 3.4. Разработка динамической модели организационно-технологических решений при строительстве отраслевого комплекса (системы)

Результаты

Анализ свойств отраслевых комплексов выявил наиболее существенные из них для использования при решении задачи по достижению устойчивости организационно-технологических решений. К ним относятся [11]:

1. Отраслевой комплекс является многокомпонентной системой, для которого характерно:

- наличие некоторого количества связанных между собой подсистем (предприятий, объектов), сооружаемых независимо друг от друга, но имеющих общие сроки окончания строительства;
- постоянство цели возведения подсистем (объектов);
- неизменчивость структуры, показателей и параметров строительного процесса подсистем (объектов).

2. Строительство отраслевых комплексов, представленное в виде множества отдельных подсистем, имеющих тесные и прочные связи между собой, собственные локальные цели и функции, представляет собой динамическую систему, для которой характерны динамически равновесные и динамически неравновесные состояния.

3. Строительство отраслевых комплексов происходит в условиях неопределенности внешней среды, которая характеризуется совокупностью действий множества факторов, не поддающихся точному описанию, плохо формализуемых, в том числе экономического и социального характера.

Выделенные свойства общей системы строительства отраслевых комплексов позволяют оценивать процесс строительства, как класс динамических систем, отличающихся множеством связей, многофункциональностью, и рассматривать



процесс строительства отраслевого комплекса, как объединяющего строительство множества объектов, взаимосвязанных между собой единой производственной и потребительской цепочкой. Тогда при анализе устойчивости организационно-технологических решений при строительстве отраслевых комплексов целесообразно изучить условия устойчивости системы организации строительства отдельных объектов (подсистем) и синтезировать структуры и алгоритмы принятия решений, обеспечивающие устойчивую реализацию разработанных организационно-технологических решений при строительстве отраслевых комплексов в целом.

Выявление и сопоставление всех известных научных характеристик, в зависимости от области исследования, понятие «устойчивость» позволяет утверждать, что устойчивость организационно-технологических решений при строительстве отраслевого комплекса должна обладать свойством сохранять динамически равновесное состояние под действием различных воздействий внешней среды. При этом динамически равновесным состоянием системы реализации организационно-технологических решений следует понимать такое состояние, которое способствует выполнению запланированного темпа выполнения строительно-монтажных работ по строительству отраслевого комплекса. С точки зрения моделирования устойчивость разрабатываемых организационно-технологических решений для строительства отраслевого комплекса достигается за счет введения ограничений и условий, которые устанавливают реальный диапазон вокруг равновесной траектории, в пределах которого находятся приемлемые траектории.

Для решения задачи обеспечения устойчивости организационно-технологических решений при строительстве отраслевых комплексов применяется подход, согласно которого характеристики организации строительства отраслевых комплексов описываются через характеристики организации строительства отдельных объектов.

Особенностью такого подхода является использование для исследования метода системного анализа и математического моделирования. В соответствие с системным подходом процесс строительства отраслевого комплекса представляется в виде строительства множества отдельных объектов (подсистем), из которых состоит отраслевой комплекс. В качестве отдельных объектов рассматриваются отдельные предприятия, связанные по производственной и потребительской цепочке, когда выпускаемая продукция одного объекта используется в качестве полуфабриката для обработки другим объектом, единством финансовых потоков, общностью социально-экономических целей, отраслевым принципом.

Для создания условий устойчивой реализации организационно-технологических решений необходимо соблюдать известные системные принципы. Одним из таких принципов является принцип координирования строительства подсистем. Согласно этому принципу подсистемы (объекты) должны своевременно и согласованно друг с другом заканчиваться строительством и вводится в эксплуатацию, т. е. процесс возведения всех объектов должен реализовываться с согласованными темпами выполнения запланированных объемов строительно-монтажных работ.



Выводы

Проведение исследований по предложенной авторами методологии позволяет описать систему принятия организационно-технологических решений при строительстве отраслевых комплексов с использованием параметров организации строительства отдельных объектов, из которых состоит отраслевой комплекс. При этом появляется возможность получить необходимые и достаточные условия достижения устойчивости организационно-технологических решений при строительстве отдельных объектов, исследовать влияние этих условий на устойчивость организационно-технологических решений отраслевых комплексов и на этой основе решить задачу обеспечения устойчивости организационно-технологических решений в целом при строительстве отраслевых комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оптимизация технологии и организации монтажа изотермического резервуара как составного элемента отраслевого комплекса / З. Р. Мухаметзянов, Р. В. Разяпов, Т. А. Могучева, Д. Р. Батырова // Экономика строительства. – 2021. – № 6 (72). – С. 48–57. – EDN BJGOKH.
2. Мухаметзянов, З. Р. Разработка метода капитального ремонта магистральных трубопроводов с применением композитных материалов / З. Р. Мухаметзянов, Н. Э. Урманшина, Р. А. Фаюршин // Вестник НИЦ Строительство. – 2022. – № 1 (32). – С. 141–153. – DOI 10.37538/2224-9494-2022-1(32)-141-153. – EDN UHBNAP.
3. Mukhametzyanov, Z. R. Mechanism of development of organizational solutions based on a technological interaction between construction works and processes / Z. R. Mukhametzyanov, R. V. Razyapov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – No. 3 (39). – P. 85–92.
4. Михальченко, О. Ю. Формирование метода принятия организационно-технологических решений при строительстве объектов капитального строительства в ходе реализации национальных проектов : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Михальченко Олег Юрьевич. – Новосибирск, 2025. – 268 с.
5. Лapidус, А. А. Метод формирования организационно-технических решений при строительстве / А. А. Лapidус, И. Э. Файзуллин, О. Ю. Михальченко // Строительное производство. – 2024. – № 4. – С. 3–8. – DOI 10.54950/26585340_2024_4_3. – EDN BQXJYN.
6. Абиленцев, С. Ю. Практическая реализация проекта в условиях Крайнего Севера на основе комплексного показателя качества организационно-технологических решений / С. Ю. Абиленцев, А. А. Лapidус // Перспективы науки. – 2025. – № 1 (184). – С. 53–63. – EDN AUNJSB.
7. Адамцевич, Л. А. Организационно-технологические решения при управлении жизненным циклом объектов строительства в проектах комплексного развития территорий / Л. А. Адамцевич, А. А. Лapidус // Строительство: наука и образование. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 176–188. – DOI 10.22227/2305-5502.2025.3.11. – EDN KSDBEB.
8. Лapidус, А. А. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений / А. А. Лapidус, П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 4. – С. 70–74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.70-74. – EDN IHPPPR.
9. Олейник, П. П. Определение организационно-технологических параметров жилых зданий из крупногабаритных объемных блоков / П. П. Олейник, Л. А. Пахомова // Real Estate: Economics, Management. – 2023. – № 4. – P. 55–59. – DOI 10.22337/2073-8412-2022-4-55-59. – EDN WLSQEE.



10. Ескалиев, М. Ж. Метод обоснования организационно-технологических решений при малоэтажном жилищном строительстве / М. Ж. Ескалиев. – Текст : электронный // Строительное производство. – 2025. – № 4. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/106025/view?ysclid=mpdsf2xh6b588747765>.

11. Мухаметзянов, З. Р. Развитие методологии и теории разработки организационно-технологических решений по строительству отраслевых комплексов : специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мухаметзянов Зинур Ришатович ; Национальный исследовательский московский государственный строительный университет. – Москва, 2021. – 293 с. – EDN OXHXNH.

MUKHAMETZYANOV Zinur Rishatovich, doctor of technical science, professor of the chair of highways, bridges and transport structures; SULTANOVA Ekaterina Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of computer science and engineering cybernetics; ZARIPOV Mars Zulfatovich, candidate of technical sciences, head of the laboratory of welding equipment and technology chair; ALLAYAROV Ayvar Arturovich, student of the chair of oil and gas transportation and storage

BASES OF SUSTAINABILITY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL COMPLEXES

Ufa State Petroleum Technological University.

1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia.

Tel.: (917) 780-35-05; e-mail: zinur-1966@mail.ru

Key words: industrial complexes, organizational and technological solutions, dynamic system, a systematic approach, sustainability.

The construction process of industrial complexes is best studied using systemic, structural, and dynamic approaches. This research structure allows us to justify the necessary and sufficient conditions for achieving sustainability and stability of organizational and technological solutions in the construction of industrial complexes.

REFERENCES

1. Mukhametzyanov Z. R., Razyapov R. V., Mogucheva T. A., Batyrova D. R. Optimizatsiya tekhnologii i organizatsii montazha izotermicheskogo rezervuara kak sostavnogo elementa otraslevogo kompleksa [Optimization of technology and organization of installation of an isothermal tank as a component of an industrial complex]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. Nizhny Novgorod, 2021, № 6 (72), P. 48–57. EDN BJGOKH.

2. Mukhametzyanov Z. R., Urmanshina N. E., Fayurshin R. A. Razrabotka metoda kapitalnogo remonta magistralnykh truboprovodov s primeneniem kompozitnykh materialov [Development of a method for capital repair of trunk pipelines using composite materials]. *Vestnik NITS Stroitelstvo* [Bulletin of Scientific Research Center of Construction]. Moscow, 2022, № 1 (32), P. 141–153. DOI 10.37538/2224-9494-2022-1(32)-141-153. EDN UHBNAP.

3. Mukhametzyanov Z. R., Razyapov R. V. Mechanism of development of organizational solutions based on a technological interaction between construction works and processes. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. Voronezh, 2018, No. 3 (39), P. 85–92.



4. Mikhaltchenko O. Yu. Formirovanie metoda prinyatiya organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri stroitelstve obyektov kapitalnogo stroitelstva v khode realizatsii natsionalnykh proektov [Formation of a method for making organizational and technological decisions in the construction of capital construction projects during the implementation of national projects] : diss. ... dok. tekhn. nauk. Novosibirsk, 2025, 268 p.

5. Lapidus A. A., Fayzullin I. E., Mikhaltchenko O. Yu. Metod formirovaniya organizatsionno-tekhnicheskikh resheniy pri stroitelstve [Method for forming organizational and technical decisions in construction]. Stroitelnoe proizvodstvo [Construction Production]. Moscow, 2024, № 4, P. 3–8. DOI 10.54950/26585340_2024_4_3. EDN BQXJYN.

6. Abilentsev S. Yu., Lapidus A. A. Prakticheskaya realizatsiya proekta v usloviyakh Kraynego Severa na osnove kompleksnogo pokazatelya kachestva organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy [Practical implementation of a project in the Far North based on a comprehensive quality indicator of organizational and technological solutions]. Perspektivy nauki [Science Prospects]. Moscow, 2025, № 1 (184), P. 53–63. EDN AUHJSB.

7. Adamtsevich L. A., Lapidus A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya pri upravlenii zhiznennym tsiklom obyektov stroitelstva v proektakh kompleksnogo razvitiya territoriy [Organizational and technological solutions in managing the life cycle of construction facilities within integrated territorial development projects]. Stroitelstvo : nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education]. Moscow, 2025, Vol. 15, № 3, P. 176–188. DOI 10.22227/2305-5502.2025.3.11. EDN KSDBEB.

8. Lapidus A. A., Oleynik P. P. Obosnovanie protsessa vybora organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy [Justification of the process for selecting organizational and technological solutions]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. Moscow, 2024, № 4, P. 70–74. DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.70-74. EDN IHPPPR.

9. Oleynik P. P., Pakhomova L. A. Opredelenie organizatsionno-tekhnologicheskikh parametrov zhilykh zdaniy iz krupnogabaritnykh obemnykh blokov [Determination of organizational and technological parameters of residential buildings made from large volumetric blocks]. Real Estate: Economics, Management. Moscow, 2023, № 4, P. 55–59. DOI 10.22337/2073-8412-2022-4-55-59. EDN WLSQEE.

10. Eskaliev M. Zh. Metod obosnovaniya organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri maloetazhnom zhilishchnom stroitelstve [Method for justifying organizational and technological solutions in low-rise housing construction]. Stroitelnoe proizvodstvo [Construction Production]. Moscow, 2025, № 4. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/106025/view?ysclid=mpdsf2xh6b588747765>.

11. Mukhametzyanov Z. R. Razvitie metodologii i teorii razrabotki organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy po stroitelstvu otraslevykh kompleksov [Development of methodology and theory for elaborating organizational and technological solutions for the construction of industrial complexes] : spetsialnost 05.23.08 Tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva : diss. ... dok. tekhn. nauk ; Natsionalny issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet. Moscow, 2021, 293 p. EDN OXHXNH.

© З. Р. Мухаметзянов, Е. А. Султанова, М. З. Зарипов, А. А. Аллаяров, 2026
Получено: 04.03.2026 г.