



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»
в поселке Яблоновском

Кафедра транспортных процессов и техносферной безопасности

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА, СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

**Методические рекомендации
по организации самостоятельной работы студента**

для направления подготовки
08.03.01 Строительство
(для всех форм обучения)



поселок Яблоновский, 2026

УДК 666.97(075.8)
ББК 38.3я73
М-54

Печатается по решению кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности (протокол № 4 от 02.12.2025 г.)

Составители: Ягубов Эмин Зафар оглы, заведующий кафедрой транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском, доктор технических наук, доцент

Удодов Сергей Алексеевич, директор по научно-техническому сопровождению ЦРСТ, кандидат технических наук, доцент

Темрюк Мариет Шамсудиновна, старший преподаватель кафедры транспортных процессов и техносферной безопасности Филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в поселке Яблоновском

Технология бетона, строительных изделий и конструкций: Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента для направления подготовки 08.03.01 Строительство – пос. Яблоновский, 2026. – 16 с.

Методические рекомендации составлены в соответствии с требованиями ГОС ВО и раскрывают теоретико-методологические характеристики и способы организации самостоятельной работы студентов, позволяющие более эффективно работать с учебной и научной литературой, критически осмысливать прочитанный и изученный материал по дисциплине «Технология бетона, строительных изделий и конструкций».

ВВЕДЕНИЕ

Строительный комплекс современного государства находится в состоянии непрерывной технологической модернизации, ключевым вектором которой является разработка и применение конструкционных материалов нового поколения. В мировой строительной практике **бетон прочно удерживает позиции главного конструкционного материала**, объемы производства которого превосходят суммарный объем выпуска всех остальных строительных материалов вместе взятых. На пороге **2026 года** развитие строительной индустрии ставит перед инженерами принципиально новые вызовы: возведение высотных уникальных комплексов, освоение подземных пространств, строительство объектов в экстремальных климатических условиях и реализация концепций «зеленого» строительства (*Green Construction*).

Решение этих задач невозможно без глубокого понимания физико-химических и технологических основ бетоноведения. Современный бетон перестал быть простой трехкомпонентной смесью цемента, воды и заполнителей. Сегодня это высокотехнологичный, многокомпонентный, динамически управляемый материал. В инженерную практику активно внедряются **высокопрочные модифицированные бетоны (HPC/UHPC)**, «самозалечивающиеся» и «умные» строительные системы (*Smart Concrete*), а также экологичные геополимерные вяжущие вещества. Качество, долговечность и безопасность зданий и сооружений напрямую зависят от квалификации инженера, управляющего структурой и свойствами бетона на всех этапах его создания.

Дисциплина **«Технология бетона, строительных изделий и конструкций»** является одной из фундаментальных профилирующих дисциплин в системе подготовки инженеров-строителей, технологов и проектировщиков. Она носит выраженный междисциплинарный характер и базируется на стыке фундаментальных и прикладных наук: *физической и коллоидной химии, механики дисперсных систем, строительной физики,*

реологии и теплофизики. Программа дисциплины полностью аккумулирует требования актуальной нормативно-технической базы, включая фундаментальные стандарты **ГОСТ 25192 «Бетоны. Классификация»**, **ГОСТ 7473 «Смеси бетонные»** и **ГОСТ 26633 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые»**.

Целью изучения дисциплины является формирование у будущих специалистов системных научно-технических знаний и практических навыков в области проектирования составов, управления процессами структурообразования, деформативности и долговечности бетонов, а также освоение современных технологий производства строительных изделий и отделочных систем.

Для достижения поставленной цели в процессе изучения курса решаются следующие **основные задачи**:

- Изучение богатой истории развития науки о бетоне — от римских пуццолановых вяжущих до фундаментальных законов прочности И. Болемея — Н. М. Беляева и современных концепций академика Ю. М. Баженова;
- Освоение физико-химических основ гидратации минералов портландцементного клинкера, механизмов действия современных **супер- и гиперпластификаторов на поликарбоксилатной основе**, а также требований к заполнителям и воде затворения;
- Изучение реологических и технологических свойств бетонных смесей (*тиксотропии, связности, сохраняемости, жесткости и подвижности*), а также факторов, определяющих их стабильность при транспортировке и укладке;
- Освоение многоуровневого характера структуры бетона (от наномасштабных гелей до макропор контактной зоны) и механизмов формирования прочности композита;
- Изучение природы деформаций бетона: классификации видов усадки (*пластической, аутогенной, усадки высыхания*), температурных напряжений при экзотермии цемента, а также механизмов **ползучести и**

упругопластического поведения под кратковременной и длительной нагрузкой;

- Анализ пористого пространства бетона как генерального фактора, определяющего его долговечность, морозостойкость, водонепроницаемость и устойчивость к различным видам коррозии цементного камня (по классификации В. М. Москвина);

- Изучение технологических основ применения современных **отделочных строительных систем**, включая модифицированные сухие строительные смеси (ССС), архитектурный бетон и многослойные системы фасадной теплоизоляции (СФТК).

В результате освоения дисциплины студент должен **знать** теоретические основы гидратации и структурообразования бетона, методы оценки качества его компонентов и готовой продукции; **уметь** рассчитывать и экспериментально корректировать составы бетонов с заданными эксплуатационными свойствами; **владеть** методами лабораторного контроля технологических параметров бетонных смесей и навыками предотвращения дефектов в готовых конструкциях.

Настоящие методические указания призваны структурировать теоретический материал лекций, скоординировать самостоятельную работу студентов при подготовке к лабораторно-практическим занятиям, а также обеспечить надежную базу для выполнения научно-исследовательских и курсовых работ.

Тема 1. Материаловедческие основы технологии бетона

Лекция 1. История развития науки о бетоне. Классификация бетонов. Общие требования к бетонам

Исторический очерк: Использование вяжущих веществ в Древнем Риме (римский бетон). Развитие науки в XIX–XX веках: изобретение портландцемента (Дж. Аспдин, Е.Г. Челиев), труды основоположников отечественной школы технологии бетона (Н.М. Беляев, И.Г. Малюга, Н.А. Житкевич, Ю.М. Баженов). Современные тенденции (**на 2026 год**): «умные» бетоны (*Smart Concrete*), высокопрочные модифицированные бетоны (*HPC/UHPC*) и геополимерные эко-бетоны.

Классификация бетонов (по ГОСТ 25192):

По средней плотности: особо легкие, легкие, облегченные, тяжелые, особо тяжелые.

По виду вяжущего: цементные, силикатные, гипсовые, шлаковые, полимербетоны.

По структуре: плотные, поризованные, крупнопористые, ячеистые.

По назначению: конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные, специальные (гидротехнические, дорожные, жаростойкие, радиационно-защитные).

Общие требования: Обеспечение проектного класса по прочности на сжатие B , осевое растяжение B_t , марок по морозостойкости $F/F_1/F_2$ и водонепроницаемости W при минимальной себестоимости и высокой эксплуатационной надежности.

Лекция 2. Компоненты бетона: вяжущие, заполнители, добавки и вода затворения

Вяжущие вещества: портландцементный клинкер и его минералогический состав (алит C_3S , белит C_2S , трехкальциевый алюминат C_3A , алюмоферрит кальция C_4AF). Влияние минералогии цемента на скорость твердения, тепловыделение и стойкость бетона.

Заполнители: крупный заполнитель (щебень, гравий) и мелкий заполнитель (песок). Требования к зерновому (гранулометрическому) составу по кривым просеивания. Ограничение содержания вредных примесей (пылевидных, глинистых частиц, органики, аморфного кремнезема).

Добавки в бетоны (по ГОСТ 24211):

Модификаторы реологии: суперпластификаторы и гиперпластификаторы (на основе поликарбоксилатов), стабилизирующие добавки.

Регуляторы кинетики твердения: ускорители, замедлители схватывания.

Регуляторы структуры (пористости): воздухововлекающие, пено- и газообразователи.

Специальные: противоморозные, ингибиторы коррозии стальной арматуры, гидрофобизаторы.

Вода для затворения и ухода: требования к качеству технической воды (ГОСТ 23732). Ограничение содержания солей, сульфатов и органических кислот, препятствующих гидратации цемента.

Тема 2. Физико-химия и реология бетонных смесей

Лекция 3. Структура, реологические и технологические свойства бетонной смеси

Структура смеси: Бетонная смесь как концентрированная дисперсная система. Период коагуляционного структурообразования. Три фазы смеси: жидкая (водный раствор), твердая (цемент и заполнители), газообразная (вовлеченный или защемленный воздух).

Реологические свойства: Понятие вязкости, предельного напряжения сдвига τ_0 и тиксотропии (способности смеси разжижаться при динамических воздействиях — вибрации — и восстанавливать структуру в покое).

Технологические свойства (по ГОСТ 10181):

Удобоукладываемость: жесткость, подвижность, растекаемость. Методы контроля (конус Абрамса, вискозиметры).

Связность и сохраняемость: способность не расслаиваться (водоотделение и раствооротделение) при транспортировке и укладке.

Факторы влияния: водоцементное отношение, расход цементного теста, вид и форма зерен заполнителей, температура окружающей среды, применение ПАВ и суперпластификаторов.

Лекция 4. Формирование структуры цементного камня и бетона на различных масштабных уровнях

Гидратация цемента: физико-химический механизм растворения, зародышеобразования и коллоидации. Рост кристаллогидратов (гидросиликатов, гидроалюминатов и гидрогранатов кальция) с образованием кристаллического сростка. Роль двуводного гипса как регулятора схватывания.

Многоуровневая модель структуры бетона:

Микроуровень (наноуровень): структура геля гидросиликата кальция (С-S-H), кристаллы портландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), этtringита, гелевые и капиллярные поры.

Мезоуровень: структура цементно-песчаного раствора (матрицы). Контактная зона «цементный камень — заполнитель» как наиболее слабый элемент структуры с повышенной пористостью.

Макроуровень: бетон как композиционный материал (крупный заполнитель в растворной матрице), макропоры, каверны и технологические трещины.

Тема 3. Деформативность, пористость и долговечность бетона

Лекция 5. Классификация видов усадки и деформативность бетона

Виды усадки:

Первоначальная (пластическая) усадка: интенсивное испарение воды с открытой поверхности свежееуложенного бетона до начала схватывания.

Аутогенная (контракционная) усадка: уменьшение абсолютного объема системы «цемент + вода» в результате химической реакции гидратации (самовысушивание).

Высыхания (физико-химическая усадка): деформация цементного камня за счет потери капиллярной и адсорбционной воды при эксплуатации в сухой среде.

Деформативность при кратковременной нагрузке: диаграмма «напряжение — деформация» $\sigma - \epsilon$ для бетона. Модуль упругости бетона E_b , упругие и пластические деформации.

Ползучесть бетона: Рост деформаций во времени под действием постоянной статической нагрузки. Механизм ползучести (перераспределение влаги в гелевой фазе, микроразрушения контактной зоны). Кратковременная и длительная ползучесть.

Температурные деформации: Коэффициент линейного температурного расширения бетона (α_{bt}). Термические напряжения при массивном бетонировании из-за экзотермии цемента.

Лекция 6. Пористость как определяющий фактор долговечности бетона

Классификация пор: капиллярные поры (избыточная вода затворения), поры гидратации (гелевые), воздушные поры (недоуплотнение или воздухововлечение). Интегральный объем пористости и распределение пор по размерам (дифференциальная пористость).

Физико-технические свойства:

Плотность: истинная, средняя, насыпная. Связь плотности с прочностью (закон И. Боломея — Н.М. Беляева).

Морозостойкость: механизм разрушения бетона при циклическом замораживании и оттаивании за счет давления льда в капиллярах. Пути повышения (воздухововлечение добавками типа СНВ для формирования резервных пор).

Водонепроницаемость: сопротивление фильтрации воды под давлением. Зависимость от замкнутости капилляров.

Истираемость: сопротивление истирающим нагрузкам (важно для полов и дорожных покрытий).

Коррозионная стойкость: виды коррозии цементного камня по В.М. Москвину (выщелачивание извести, действие кислот и солей с образованием растворимых соединений, сульфатная коррозия с образованием «цементной бациллы» — этtringита). Методы защиты (первичная — подбор цемента, вторичная — гидроизоляция).

Тема 4. Современные технологии отделочных систем

Лекция 7. Технология и применение отделочных строительных систем

Строительные изделия должны обладать не только прочностью, но и заданными эстетическими и защитно-декоративными свойствами.

Сухие строительные смеси (ССС): Заводские многокомпонентные системы на основе цементных, гипсовых или смешанных вяжущих, фракционированных песков и редиспергируемых полимерных порошков. Технология применения штукатурных, шпаклевочных составов и плиточных клеев.

Архитектурный (декоративный) бетон: Особенности технологии. Использование белого и цветных цементов, светостойких пигментов, мытого бетона (оголение заполнителя), травления кислотами и штампованного бетона (имитация камня, брусчатки).

Системы наружной теплоизоляции и отделки (СНТКиО / СФТК): Технология «мокрых фасадов» (набрызг, клеевой слой, утеплитель, армирующая сетка, декоративная штукатурка). Требования к совместимости деформационных свойств бетона основания и отделочных слоев.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключались особенности состава и технологии укладки «римского бетона», и за счет каких компонентов обеспечивалась его долговечность?

2. Каковы основные заслуги отечественных ученых (Е. Г. Челиева, Н. М. Беляева, Ю. М. Баженова) в становлении современной науки о бетоне?

3. Сформулируйте принципы классификации бетонов по ГОСТ 25192. Чем конструкционные бетоны отличаются от конструкционно-теплоизоляционных по структуре и плотности?

4. В чем заключается физический смысл понятий «класс бетона по прочности» и «марка бетона по прочности»? Почему в современном проектировании класс вытеснил марку?

5. Какие нормативные требования предъявляются к бетону, эксплуатирующемуся в условиях знакопеременных температур и повышенной влажности?

6. Назовите четыре основных минерала портландцементного клинкера и опишите влияние каждого из них на экзотермию и скорость набора прочности цементного камня.

7. Почему избыточное содержание трехкальциевого алюмината в цементе нежелательно для гидротехнических бетонов?

8. Какие требования предъявляются к гранулометрическому (зерновому) составу песка и щебня? Что такое «кривые просеивания», и как они помогают оптимизировать пустотность заполнителя?

9. Почему содержание пылевидных, глинистых и илистых частиц в заполнителях жестко ограничивается стандартами?

10. Объясните механизм действия супер- и гиперпластификаторов на поликарбоксилатной основе. За счет чего достигается стерический и электростатический эффект отталкивания частиц цемента?

11. Какие химические элементы и соединения в составе воды для затворения по ГОСТ 23732 способны вызвать коррозию арматуры и замедлить

схватывание цемента? Почему морскую воду запрещено использовать для железобетона?

12. Что представляет собой бетонная смесь с точки зрения физико-химической механики дисперсных систем? Опишите стадию коагуляционного структурообразования.

13. 13. Дайте определение реологическим константам бетонной смеси: вязкости и предельному напряжению сдвига. Как они изменяются в процессе вибрирования?

14. Что такое тиксотропия бетонной смеси, и как это свойство используется при формировании изделий на заводах ЖБИ и монолитном строительстве?

15. Что такое водоотделение и раствооротделение бетонной смеси? Какие факторы провоцируют расслоение смеси при транспортировке, и как с этим бороться?

16. Опишите пошагово стадии гидратации цемента: период растворения, индукционный период, стадию активной кристаллизации. Какую роль играет двуводный гипс, добавляемый при помоле клинкера?

17. Что представляет собой тоберморитоподобный гель и как его микроструктура влияет на прочность цементного камня?

18. Каковы геометрические и структурные особенности контактной зоны («переходной зоны») на границе между цементным камнем и крупным заполнителем? Почему эта зона часто является очагом разрушения композита?

19. Как закон водоцементного отношения И. Боломея — Н. М. Беляева объясняет формирование макроструктуры и прочности бетона?

20. В чем разница между пластической (первоначальной) усадкой свежееуложенного бетона и усадкой высыхания затвердевшего бетона? Каковы меры предотвращения пластического трещинообразования?

21. Что такое контракционная (аутогенная) усадка, и почему она особенно опасна в современных высокопрочных бетонах с низким значением В/Ц?

22. Опишите вид диаграммы «напряжение — деформация» при кратковременном сжатии бетона. Чем обусловлена ее криволинейность в отличие от диаграммы стали?

23. Объясните физическую природу и механизм ползучести бетона под длительной статической нагрузкой. Как ползучесть влияет на распределение напряжений в железобетонных конструкциях?

24. Каковы причины возникновения температурных деформаций и термического трещинообразования при бетонировании массивных монолитных фундаментов?

25. Каков точный физический механизм разрушения бетона при циклическом замораживании и оттаивании? Почему лед в крупных порах разрушает матрицу бетона?

26. Каким образом введение воздухововлекающих добавок (например, смолы древесной омыленной) повышает марку бетона по морозостойкости, несмотря на увеличение общей пористости? Что такое «резервный объем пор»?

27. Как определяется марка бетона по водонепроницаемости методом «мокрого пятна»? Какие технологические приемы позволяют получить особо плотный водонепроницаемый бетон?

28. Опишите три вида коррозии цементного камня по классификации В. М. Москвина. Что такое «сульфатная коррозия», и почему эттрингит называют «цементной бациллой»?

29. В чем суть процессов карбонизации бетона, и какую опасность этот процесс представляет для сохранности стальной арматуры в железобетоне?

30. 32. Каков компонентный состав современных сухих строительных смесей (ССС) общего и специального назначения?

31. Какую технологическую функцию выполняют редиспергируемые полимерные порошки (РПП) и водоудерживающие добавки (эфир целлюлозы) в составе плиточных клеев и штукатурок?

32. Назовите особенности подбора сырьевых материалов для производства архитектурного (декоративного) бетона. Какие пигменты допускается использовать, чтобы избежать потери прочности?

33. Опишите технологические методы отделки поверхностей «мытый бетон» и «штампованный бетон». В каких областях строительства они применяются?

34. Перечислите слои в системах фасадных теплоизоляционных композиционных с наружными штукатурными слоями (СФТК). Каковы требования к деформационной совместимости отделочного слоя и бетонного основания фасада?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона : учебник для вузов / Ю. М. Баженов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство АСВ, 2021. — 560 с. — ISBN 978-5-4323-0402-5. (*Фундаментальный базовый учебник дисциплины*).
2. Дворкин, Л. И. Строительное материаловедение : учебник для вузов / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. — Москва : Инфра-Инженерия, 2023. — 468 с. — ISBN 978-5-9729-1123-3.
3. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия : учебник для вузов / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. — 4-е изд., стер. — Москва : Высшая школа, 2022. — 440 с. — ISBN 978-5-06-003712-4.
4. Штарк, Й. Цемент и бетон: физико-химические основы гидратации, структуры и свойств : пер. с нем. / Й. Штарк, Б. Вихманн ; под ред. А. С. Носкова. — Москва : КРАСАНД, 2020. — 432 с. — ISBN 978-5-396-00912-7.
5. Баженов, Ю. М. Проектирование составов бетона: теория и практика : учебное пособие для магистров и аспирантов / Ю. М. Баженов, В. В. Воронин, Л. А. Алимов. — Москва : Издательство АСВ, 2022. — 256 с. — ISBN 978-5-4323-0428-5.
6. Дворкин, Л. И. Проектирование составов бетонов с заданными свойствами : практическое руководство / Л. И. Дворкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 312 с. — ISBN 978-5-507-49114-8.
7. Карапузов, Е. Ю. Сухие строительные смеси: модификация, производство, применение : справочное пособие / Е. Ю. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. — Москва : Стройматериалы, 2021. — 416 с. — ISBN 978-5-94046-041-1. (*Профильная книга по лекции № 7*).
8. Лабораторные работы по технологии бетона и строительных изделий : учебно-методическое пособие для строительных вузов / под ред. Р. А. Мангушева. — Санкт-Петербург : Проспект науки, 2023. — 184 с. — ISBN 978-5-903090-84-6.