



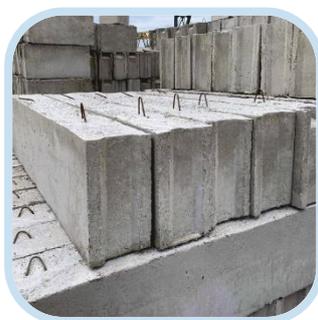
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный  
университет (СибАДИ)»

**М.А. Ращупкина**

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ПРЕДПРИЯТИЙ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

*Учебное пособие*



Омск • 2022

УДК 62  
ББК 35.455  
Р28

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

*Рецензенты:*

канд. техн. наук Е.С Корнев  
(Министерство строительства Омской области, г. Омск, Россия);  
канд. техн. наук С.П. Бобров  
(АО «ФНПЦ Прогресс», г. Омск, Россия)

*Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.*

**Ращупкина, Марина Алексеевна.**

**Р28 Проектирование основных производств предприятий сборного железобетона** : учебное пособие / М.А Ращупкина. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2022. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/MegaPro>, для авторизованных пользователей. – Загл. с экрана.

Рассмотрены классификация бетонов, порядок определения и требования к исходным материалам, свойства бетонной смеси. Изложены основы и последовательность проектирования основных производств предприятий сборного железобетона; выбор, обоснование и расчет основных технологических линий.

Предназначено для студентов направления 08.04.01 «Строительство» при выполнении курсовых работ.

Имеет интерактивное оглавление в виде закладок.

Текстовое (символьное) издание (1,8 МБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 МБ; Windows XP/Visa/7/10

1 ГБ свободного места на жестком диске; программа для чтения pdf-файлов:

Adobe Acrobat Reader / Foxit Reader

Редактор Н.И. Косенкова

Верстка – Е.В. Садиной

Издание первое. Дата подписания к использованию 28.07.2022



Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5  
РИО ИПК СибАДИ  
644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2022

## *Введение*

*В* настоящее время в мировой строительной отрасли наблюдается тенденция применения готовых модульных конструкций, что приводит к сокращению сроков строительства, но вместе с тем разрабатываются и внедряются новые виды бетона, опалубочные системы, машины и механизмы.

Современное строительство предъявляет жесткие требования по прочностным характеристикам применяемых материалов, огне-, морозо- и коррозионной стойкости. Среди известных конструкционных материалов ведущее место принадлежит железобетону. Это объясняется его долговечностью, широким распространением сырьевой базы, простотой технологии изготовления, невысокой капиталоемкостью производства. При сооружении объектов железобетон используется как сборный, так и монолитный.

В настоящее время в различных технически развитых странах (США, Норвегии, Японии и т.д., а также в России) разработаны составы и технологии изготовления бетонов прочностью выше 100 МПа. Такие бетоны применяются при возведении уникальных, особоответственных зданий и сооружений: небоскрёбов, большепролётных мостов и т.п. Так, в железобетоне за последнее десятилетие построены выдающиеся сооружения с рекордными техническими показателями: самый длинный подвесной мост в Японии длиной 3911 м, центральный пролёт которого имеет длину 1991 м, а боковые — по 960 м. Высота пилонов составляет 298 м, небоскрёбы высотой более 400 м в Малайзии, здание в деловом центре Москва-Сити высотой 338,8 м. Небоскрёб «Лахта-центр» в Санкт-Петербурге теперь является самым высоким зданием в Европе, по состоянию на 2021 год (462 м).

Для реализации того или иного проекта сооружения изготовление бетона осуществляется по индивидуальной технологии. Так, к

примеру, российская девелоперская компания Capital Group для возведения башни-небоскреба «Око» в ММДЦ «Москва-Сити» впервые для столичной строительной практики прибегла к использованию бетона класса прочности В100, который был разработан именно для этого случая. Его высокие прочностные характеристики позволили применять на этаже колонны с более узким сечением, в результате чего удалось уменьшить толщину конструкций, не снижая опорные характеристики.

Если в начале прошлого столетия основным видом бетона был классический тяжёлый и незначительное количество облегчённого, изготовляемого на природных лёгких заполнителях, то в настоящий период в наличии у строителей имеется множество бетонов разного функционального значения: лёгкие различных видов, ячеистые, жаростойкие и огнестойкие, поглощающие или экранирующие радиоактивные излучения, биоцидные и др. Среди широкой гаммы бетонов тяжёлые являются наиболее массовыми, их объём составляет порядка 70% общего выпуска всех видов бетонов.

Бетон (бетонная смесь) в настоящее время является одним из наиболее распространенных в мире материалов, его ежегодное применение составляет около 6 млрд т, или более 1 т бетона в год на каждого жителя планеты, что намного превосходит производство других видов промышленной продукции и строительных материалов. Для его производства расходуются сотни миллионов тонн цемента, щебня, песка, что требует существенного изъятия естественных природных ресурсов, а также в широких масштабах используются крупнотоннажные промышленные отходы энергетики, металлургии и других отраслей.

В течение длительного времени прочность бетона была основной её строительно-технической характеристикой. В настоящее время появилась возможность управлять такими технологическими свойствами, как подвижность, сохраняемость бетонной смеси, снижение или полное устранение усадки, обеспечение необходимой прочности в заданное время в зависимости от погодных условий при монолитном способе ведения работ или этапов изготовления в условиях завода. Технологические приёмы проектирования состава позволяют на стадии эксплуатации обеспечивать необходимую морозо-, огне-, ударостойкость, долговечность при агрессивных воздействиях и т.д.

В рамках концепции устойчивого развития в строительстве найдут особое применение долговечные бетоны, требующие в процессе эксплуатации минимальных затрат на ремонт; бетоны с высоким

потенциалом переработки как в подвижном, так и в затвердевшем состоянии; бетоны с высоким уровнем использования местных материалов и минимальной транспортировкой составляющих.

Важное значение имеет дальнейшее совершенствование различных способов ускорения твердения бетона на основе различных химических добавок-модификаторов свойств бетона, а также разработка общей теории морозостойкости различных бетонов и создание методики определения этого показателя для разнообразных условий эксплуатации.

Для производства бетона цементная промышленность предлагает широкую гамму различных вяжущих. Помимо наиболее распространённых портландцемента и шлакопортландцемента выпускаются различные модификации цементных вяжущих, в том числе быстротвердеющие, расширяющиеся, напрягающие, многокомпонентные, тонкомолотые и др.

Одной из серьёзных проблем современного строительства являются возросшие требования к теплотехническим свойствам ограждающих конструкций. Исследования показали, что одним из наиболее эффективных и экономичных утепляющих материалов являются бетоны из поризованного цементного теста и лёгкого заполнителя. Если в таких бетонах-утеплителях использовать ещё и облегчённый цемент, то может быть получено уникальное соотношение между прочностью и массой материала.

Специалистами НИИЖБ разработана экономически целесообразная технология, позволяющая приготовить высокопоризованный бетон, не требующий последующей сушки, что открывает широкую перспективу для применения монолитного поробетона и строительства из железобетона жилых, общественных и многоэтажных производственных зданий.

Для возведения зданий и сооружений, к облику которых представляются особые архитектурные требования, разработаны специальные бетоны, отличающиеся сочетанием высоких декоративных свойств и атмосферостойкостью. Архитектурным деталям может быть придана различная фактура от рельефного орнамента до имитации полированной поверхности. Строительно-архитектурные свойства таких бетонов сопоставимы с природным камнем, так как они обладают высокой прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью.

На конференции, посвящённой бетону и железобетону, прошедшей в 2008 г. в Москве, были рассмотрены следующие проблемы:

- совершенствование расчёта бетонных и железобетонных конструкций на различные виды воздействий;
- железобетон в строительстве зданий;
- железобетон в мостостроении;
- товарный бетон в строительстве;
- перспективы развития сборного железобетона;
- применение лёгких и ячеистых бетонов;
- оборудование и методы монолитного строительства;
- бетоны повышенной прочности и долговечности;
- новые вяжущие для бетона;
- металлическая и неметаллическая арматура;
- новое поколение химических добавок-модификаторов;
- система евростандартов по бетону и железобетону;
- разработка бетонов с ускоренными режимами набора прочности по времени;
- роботизация и компьютеризация производства сборных конструкций и изделий; индустриализация монолитного строительства.

Сложившийся в среднем по России удельный расход энергоресурсов при эксплуатации промышленных и гражданских зданий и особенно жилья в три-четыре раза выше, чем в странах Западной Европы.

Затраты на отопление жилых, промышленных и сельскохозяйственных зданий в совокупности с их обслуживанием составляют четвертую часть средств бюджетов России и её регионов.

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий было увеличено против ранее действующих нормативов в 2...3,2 раза. Принятые новые нормативы теплозащиты жилых зданий должны обеспечить снижение на 40% удельного энергопотребления при малоэтажном строительстве и при реконструкции зданий. Для многоэтажного строительства предусмотрено введение требований по снижению энергопотребления на 20% с 01.07.96 г. и на 40% с 01.01.2000 г.

Для выполнения этих требований толщину наружных стен, например, из керамзитобетона следует увеличить с ныне практикуемых 30...35 до 50...70 см, а из рядового кирпича с 51...64 до 100 – 120 см и более, что является не только нерациональным, но практически невыполнимым требованием.

Ещё в 1985 г. в СССР пришли к выводу, что наиболее оптимальный путь решения проблемы в условиях строительства на огромной территории с семью климатическими поясами – это всемерное увеличение объёмов выпуска прежде всего ячеистых бетонов. Речь шла о 40...45 млн м<sup>3</sup> в год (40...45 млрд шт. усл. кирпича) в основном стеновых материалов.

В настоящее время применение теплоизоляционных и конструкционных изделий из газо- и пенобетонов с плотностью от 200 до 600...700 кг/м<sup>3</sup>. Их использование в сочетании с высокоэффективными теплоизоляционными материалами, такими как минераловолокнистые, пенополимерные и другие будет способствовать выполнению новых требований СП.

При решении вопросов об организации производства изделий из ячеистого бетона рекомендуется исходить из конкретных условий: наличия и кондиционности сырьевых компонентов, наличия и уровня квалификации будущего производственного персонала, возможностей ремонтной и эксплуатационной базы.

В основе дальнейшего развития работ в области направленного регулирования свойств цементных систем лежат установленные закономерности изменения свойств бетонных смесей и получения бетонов заданных строительно-технических свойств в зависимости от строения модификаторов. Работы включали синтез модификаторов заданного состава и строения, физико-химический анализ, изучение особенностей их взаимодействия с минералами портландцемента и их влияния на свойства цементных систем, анализ полученных результатов с учётом фундаментальных закономерностей физической и коллоидной химии, механизма гидратации вяжущих минералов и формирования гидратационных структур твердения.

Бетоном является искусственный каменный материал, получаемый твердением рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды и заполнителей. Бетон обладает способностью твердеть и повышать прочность как на воздухе, так и под водой, а также стойкостью ко многим агрессивным воздействиям.

Бетоны классифицируются:

*по типу структуры:*

1) бетоны плотной структуры, у которых пространство между зёрнами крупного и мелкого заполнителя занято затвердевшим вяжущим;

2) крупнопористые (малопесчаные и беспесчаные) бетоны, у которых пространство между зернами крупного заполнителя не полностью заняты мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим;

3) поризованные бетоны, у которых пространство между зернами заполнителя занято затвердевшим вяжущим, поризованным пено- и газообразователями, воздухововлекающими добавками;

4) ячеистые бетоны с искусственными порами, состоящими из вяжущего (цемент, известь) и кремнеземистого компонента (молотого песка или золы).

Под структурой бетона понимается сумма параметров, характеризующих в пространстве расположение элементов каркаса цементного камня и частиц заполнителя, вид и свойства контактов кристаллов и коллоидных частиц в составе каркаса, а также данные о форме, размере и количестве пор или промежутков между частицами твердой фазы.

Бетон представляет собой систему, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз. В тяжелых бетонах твердая фаза составляет 94–98% от общего объема. Каждая из трех фаз влияет на свойства бетона в большей или меньшей степени. А такие свойства, как морозостойкость, водонепроницаемость, усадка, в первую очередь определяются пористостью бетона.

*По плотности:*

- 1) особо тяжелые – плотность более 2500 кг/м<sup>3</sup>;
- 2) тяжелые – от 2200 до 2500 кг/м<sup>3</sup>;
- 3) облегченные – от 1800 до 2200 кг/м<sup>3</sup>;
- 4) легкие – от 500 до 1800 кг/м<sup>3</sup>;
- 5) особо легкие – плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup> включительно.

*По виду вяжущего:*

- 1) цементные;
- 2) силикатные;
- 3) на гипсовом вяжущем;
- 4) на смешанном вяжущем;
- 5) на специальных вяжущих (органических или неорганических).

*По виду заполнителей:*

- 1) на плотных заполнителях;
- 2) пористых заполнителях;
- 3) специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (жаростойкость, химическая или радиационная стойкость и т.д.).

*По зерновому составу заполнителей:*

- 1) крупнозернистые – с крупным и мелким заполнителем;
- 2) мелкозернистые – только на мелких заполнителях.

*По условиям твердения:*

- 1) естественного твердения;
- 2) подвергнутые тепловой обработке при атмосферном давлении;
- 3) подвергнутые автоклавной обработке.

**Бетонной смесью** называют рационально составленную и тщательно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Состав бетонной смеси определяют исходя из требований к самой смеси и бетону.

По своему строению бетонная смесь представляет единое физическое тело, в котором частицы вяжущего, вода и зерна заполнителя связаны внутренними силами взаимодействия. Основной структурообразующей составляющей в бетонной смеси является цементное тесто. По мере развития процесса гидратации цемента возрастает дисперсность частиц твердой фазы и увеличивается клеящая и связующая способность цементного теста.

При изготовлении железобетонных изделий и бетонировании монолитных конструкций самым важным свойством бетонной смеси является **удобокладываемость**, т.е. способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя свою однородность. Для оценки удобокладываемости используют три показателя: подвижность бетонной смеси, являющуюся характеристикой структурной прочности смеси; жёсткость (Ж), являющуюся показателем динамической вязкости бетонной смеси; связность, характеризующую водоотделением бетонной смеси после её отстаивания.

**Подвижность** бетонной смеси характеризуется измеряемой осадкой (см) конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси, подлежащей испытанию. Подвижность бетонной смеси вычисляют как среднее двух определений, выполненных из одной пробы смеси. Если осадка конуса равна нулю, то удобокладываемость бетонной смеси характеризуется жёсткостью.

**Жёсткость** бетонной смеси характеризуется временем (с) вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости.

Кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения, приведенная на рис. 1, характеризует физический смысл закона прочности.

**Формулы прочности бетона.** Для бетонов с  $C/B < 2,5$  формула прочности имеет вид

$$R = AR_u(C/B - 0,5);$$

для высокопрочных бетонов, изготавливаемых с  $C/B > 2,5$ , применяется формула

$$R = A_1R_u (C/B + 0,5),$$

где  $R_u$  – активность цемента; коэффициенты  $A$  и  $A_1$  характеризуют качество исходных заполнителей и цемента.

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций назначают требуемые характеристики бетона: класс прочности, марки морозостойкости и водонепроницаемости.

Класс бетона – одно из нормируемых значений унифицированного ряда данного показателя качества бетона, принимаемого с гарантированной обеспеченностью.

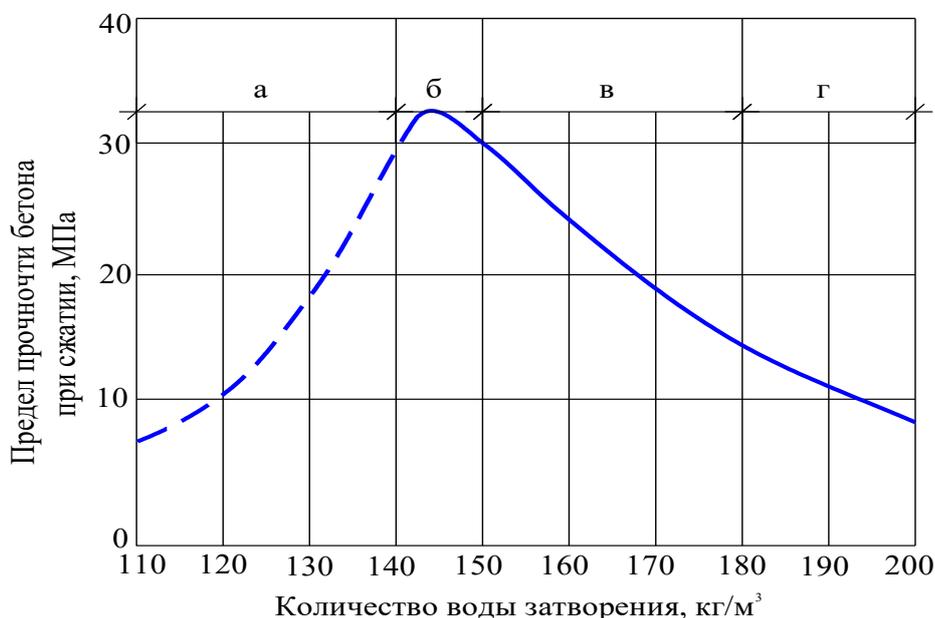


Рис.1. Общая кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (при определенном расходе цемента и способе уплотнения):  
 а – область недоуплотненных жестких бетонных смесей;  
 б – то же, наибольшей прочности и плотности бетона;  
 в – то же, подвижных, бетонных смесей; г – то же, литых

Марка бетона – одно из нормируемых значений унифицированного ряда данного показателя качества бетона, принимаемого по его среднему значению

Класс бетона по прочности определяется прочностью базовых образцов бетона в установленном проектном возрасте, определяемой в соответствии с действующими государственными стандартами.

Класс бетона по прочности нормируется с гарантированной обеспеченностью 0,95.

Бетоны по прочности на сжатие подразделяются на классы: В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В15; В20; В25; В30; В40; В45; В50; В55; В60.

Соотношение между классом и марками бетона по прочности при нормативном коэффициенте вариации  $v=13,5\%$  следует принимать  $R_{бср}=B/0,778$ , например, для класса бетона В5 средняя прочность будет  $R_{бср}=6,43$  МПа.

Предел прочности при растяжении возрастает при повышении марки бетона по прочности при сжатии. Прочность бетона при растяжении составляет 1/10–1/17 предела прочности при сжатии, а предел прочности при изгибе – 1/6–1/10.

Марка бетонов по морозостойкости определяется количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания в воде, которое выдерживают образцы, изготовленные и испытанные на морозостойкость согласно требованиям действующих государственных стандартов.

Марка бетонов по водонепроницаемости определяется максимальной величиной давления воды, при котором не наблюдается ее просачивания через образцы, изготовленные и испытанные на водонепроницаемость согласно требованиям действующих государственных стандартов.

**Железобетон** – это композиционный строительный материал, в котором соединены в единое целое бетон (матрица) и стальная арматура.

Железобетон был изобретен во Франции в середине прошлого века и начали его применять в сборном варианте – небольшие изделия простого сечения: перемычки оконных проемов, балки, плиты перекрытий. Но затем широко железобетонные конструкции стали использоваться в монолите. Впервые железобетон в России применили в 1891 г. на строительстве торговых рядов в Москве (переходные мостики в здании ГУМа). С конца 20-х гг. у нас на стройках использовали как

монолитный, так и сборный железобетон. С конца 50-х гг. преимущественное развитие получил сборный железобетон, по всей стране были построены специальные заводы по производству различных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, иногда в ущерб развитию монолитных конструкций. В западных странах предпочтение всегда отдавалось монолитному строительству. В последние годы в России применение монолитного железобетона значительно расширилось.

Бетон обладает способностью, присущей большинству искусственных и природных каменных материалов: хорошо работать на сжатие, но плохо сопротивляться растяжению. Поэтому растянутую зону конструкций армируют стальной арматурой, которая воспринимает растягивающие напряжения. Совместной работе бетона и стальной арматуры способствует хорошее сцепление между ними и близость коэффициентов температурного расширения; бетон к тому же защищает арматуру от коррозии.

Железобетонные конструкции изготавливают с обычной и предварительно-напряженной арматурой. Основная идея предварительного напряжения железобетонных конструкций заключается в том, что при изготовлении бетон искусственно обжимается. Благодаря этому бетон растягивается только тогда, когда будут преодолены созданные обжатием сжимающие напряжения. Если они превосходят растягивающие напряжения от нагрузки, то можно избежать образования трещин в бетоне.

Предварительно-напряженные железобетонные конструкции более эффективны, чем обычные. В них полнее используется несущая способность арматуры и бетона, поэтому уменьшается масса изделия. Вместе с тем предварительное обжатие препятствует образованию трещин в растянутой зоне.

Железобетонные конструкции подразделяют на сборные и монолитные. Сборные железобетонные конструкции монтируют на строительной площадке из отдельных элементов, изготовленных на заводах и полигонах. Монолитные железобетонные конструкции бетонируют на месте строительства.



# *1. Расчет материального баланса предприятий сборного железобетона*

## *1.1. Задание на курсовую работу*

*В* задании указывается тип и марка железобетонного изделия, производство которого организуется на проектируемом предприятии. Приводится перечень основной нормативной документации, требованиям которой должно удовлетворять данное изделие и его производство. В задании также приводятся некоторые характеристики исходных материалов, способ их доставки на предприятие, мощность последнего и другие данные.

В задании указываются дата выдачи работы и сдачи её на проверку.

Задание оформляется на специальном бланке установленной формы, подписывается руководителем, студентом и утверждается заведующим кафедрой. Заполненный и подписанный бланк задания помещается за титульным листом в пояснительную записку студента к курсовой работе.

## *1.2. Состав курсовой работы*

*К*урсовая работа состоит из нескольких разделов.

1. В первом разделе студент знакомится с государственными стандартами или ТУ на изделие и описывает назначение и область применения данного вида или марки изделия, рекомендации или требования к материалам, бетонной смеси, арматуре, бетону, технологии.

В соответствии с указаниями СП 130.13330.2018 выбирается способ формования изделия или группы технологически однородных изделий. Если по СП 130.13330.2018 рекомендуются несколько способов

формования данного вида изделия, то приводятся доводы в пользу выбираемого. На этой стадии выполнения работы аргументировано определяется способ производства: поточный или стендовый, а также выбирается способ натяжения преднапрягаемой арматуры.

2. Проектирование состава бетона и выбор наиболее оптимального состава.

3. Технологические расчеты потребности материалов, вместимости складов заполнителей и цемента, подбор типовых складов, расчеты и подбор необходимого оборудования бетоносмесительного цеха.

4. Следующим этапом студент определяет состав необходимых, технологических операций для изготовления заданного железобетонного изделия, составляет технологическую схему, которую подробно описывает.

При разработке структуры производственного процесса предлагаются средства механизации для выполнения отдельных технологических операций, что в дальнейшем учитывается при определении длительности выполнения операций и числа постов на поточной линии.

5. Разрабатываются мероприятия по входному, операционному и приемосдаточному контролю готовой продукции, а также по охране труда и технике безопасности на каждом технологическом посту. Составляется технологическая карта.

В пояснительной записке должны быть титульный и заглавный листы, задание, подписанное руководителем курсового проектирования и студентом, содержание, аннотация, расчеты, необходимые рисунки и пояснения по всем разделам курсовой работы, список использованной литературы.

В целом курсовая работа состоит из текстовой части на 30...40 страниц текста.

### *1.3. Выбор номенклатуры изделий проектируемого предприятия и определение производительности по номенклатуре*

*П*ри выборе номенклатуры изделий необходимо учитывать основные направления технического прогресса в строительстве [1]:

– распространение крупнопанельного жилищного, культурно-бытового и производственного строительства увеличивает долю

стеновых панелей и снижает долю панелей перекрытий в общей массе сборного железобетона;

– повышение этажности зданий и более широкое внедрение каркасной схемы в жилищно-гражданском строительстве;

– уменьшение расхода сборного железобетона на фундаменты в связи с облегчением массы конструкций и широким внедрением свайных и монолитных фундаментов;

– более широкое использование сборного железобетона в строительстве инженерных сооружений, подземных коммуникаций и т.д.;

– увеличение объемов производства предварительно-напряженных конструкций;

– увеличение объема использования легкого бетона и бетона на основе отходов других производств при изготовлении ограждающих конструкций, плит перекрытия и покрытия;

– расширение применения конструкций из высокомарочных бетонов;

– увеличение объема производства и применения автоклавных бетонов (ячеистых и силикатных);

– укрупнение сборных железобетонных элементов.

### *1.3.1. Выбор номенклатуры*

*Вид* изделий, производство которых предполагается на проектируемом заводе, и необходимое их количество обосновывают выбор технологии производства, вид и качество сырьевых материалов; определяют вид и составы бетонных смесей, подбор оборудования, комплектацию и компоновку технологических линий.

Поэтому выбор номенклатуры производства проектируемого завода должен быть объективным с учетом реальных условий района строительства и комплектности обеспечения строек сборным железобетоном.

Номенклатура изделий зависит от многих факторов, определяется комплектностью на одно здание или сооружение и выбирается по справочникам проектировщика [2, 3].

Из большого количества марок и типоразмеров железобетонных элементов, представленных в справочниках, назначаются «базовые» средневероятностные и дается их полная характеристика по габаритам,

по расходу материалов (бетона, арматурной стали) и свойствам. Они должны иметь габариты и расход материалов несколько большие, чем среднеарифметический из всего набора типоразмеров.

Например, для промышленного строительства следует выбирать такие, чтобы из них можно было смонтировать одноэтажное здание пролетом 18 м, шагом 6 или 12 м, высотой подкрановых путей 8,2; 8,6 м с мостовым краном грузоподъемностью 10 или 20 т.

Для жилищного строительства следует принимать крупнопанельные дома серии, принятой в данном районе. Для Западной и Восточной Сибири наибольшее распространение получили дома серии 111-97, 111-90; 94 и др.

К железобетонным конструкциям для северных районов Сибири и Крайнего Севера предъявляются дополнительные требования по теплофизическим свойствам, морозостойкости бетона и марке стали для арматуры. Бетоны должны иметь марку по морозостойкости F300...600 в зависимости от назначения конструкций. Поэтому в описании железобетонных изделий для Севера необходимо указывать марку по морозостойкости и учитывать это при проектировании технологии их производства. Арматурная сталь должна быть изготовлена только из хладостойких, спокойных (полностью раскисленных) марок сталей.

### *1.3.2. Производительность проектируемого предприятия по номенклатуре*

*П*роизводительность завода (цеха) по номенклатуре определяется комплектностью поставки железобетонных изделий. Для монтажа целых типовых модулей (пролета промздания, секции жилого дома, моста или его пролета, школы или детского дошкольного учреждения, километра дороги, тоннеля, канала, трассы канализации и т.п.) подсчитывается необходимое количество изделий по видам на один модуль.

Умножая количество одного вида изделий в модуле на объем бетона в одной из них (элементе), определяют потребность железобетона каждого конструктивных элементов одного модуля в кубических метрах. Затем устанавливают расход железобетона на каждый вид (типоразмер) конструктивного элемента для одного модуля в процентах. После проведенных предварительных расчетов заданная

производительность завода (цеха) распределяется по номенклатуре (видам или даже типоразмерам изделий) в соответствии с расходом железобетона в процентах на каждый вид конструктивного элемента для одного модуля.

Расчет производительности завода по номенклатуре можно выполнить, пользуясь табл. 2 [4].

Для окончательного решения по производительности и номенклатуре проектируемого предприятия проводится анализ возможности специализации и кооперации с другими действующими или строящимися в данном регионе заводами ЖБИ и КПД.

Используя данные табл. 1, определяют номенклатуру бетонных смесей как продукцию бетоносмесительного цеха, арматурных элементов – как продукцию арматурного цеха и видов железобетонных изделий – как продукцию формовочных цехов.

В номенклатуру бетоносмесительного цеха входят бетонные смеси, различающиеся требуемой маркой и видом бетона, предельной крупностью заполнителя, видом вяжущего, добавок и удобоукладываемостью смеси.

Вид бетона обуславливается назначением железобетонных элементов, условиями их эксплуатации, наличием вида заполнителей и отходов побочных продуктов других производств, использование которых в бетонах может быть эффективно. Например, бетон с использованием щебня из отвальных доменных шлаков (Новокузнецк), щебня из нерудных отходов (Таштагол, Мундыбаш), зол ТЭЦ или граншлака для экономии песка и вяжущего (Кузбасс), воздухововлекающих, пластифицирующих, противоморозных и других добавок в различных городах и районах Сибири и Крайнего Севера.

Требуемая марка бетона выбирается из каталогов, справочников при определении номенклатуры проектируемого завода (см. табл. 1).

Удобоукладываемость бетонной смеси устанавливается по нормам проектирования [5] или по справочнику [6, табл. 1]. Крупность заполнителя принимается, исходя из наименьших размеров элементов железобетонного изделия и густоты армирования, по условиям

$$D_{нб} = 1/4a; D_{нб} = 1/2b; D_{нб} = 3/4,$$

где  $D_{нб}$  – наибольшая крупность щебня, мм;

$a$  – минимальный размер конструкции, мм;

$b$  – толщина плиты конструкции, мм;

$v$  – наименьшее расстояние между стержнями арматуры, мм.

Таблица 1

**Номенклатура сборных железобетонных элементов  
частей зданий и сооружений (средние данные), %**

Железобетонные элементы (изделия)	Потребность для строительства зданий						
	промышленных				жилищно-гражданских		сельскохозяйственного производства
	всех типов	многоэтажных	одноэтажных		непанельных	крупнопанельных	
			некрупнопанельных	крупнопанельных			
1. Элементы фундаментов, преимущественно свайных	15	12	20	18	13	6	10
2. Колонны и стойки	13	20	14	13	5	0,5	3
3. Балки, прогоны, ригели	10	18	10	9	17	1	8
4. Фермы и арки	6	–	12	10	–	–	1
5. Плиты покрытия и перекрытий	28	35	29	27	50	33	19
6. Стеновые панели	8	10	–	15	–	50	12
7. Лестничные марши и площадки	0,2	2	0,1	0,1	3,4	3,4	0,1
8. Трубы безнапорные	1	0,8	1	0,8	1,7	1,7	3,5
9. Трубы напорные	0,6	0,5	0,6	0,5	2,2	2,2	3,5
10. Опоры ЛЭП	3	1,7	3	2,5	3	0,5	8
11. Элементы для водохозяйственных коммуникаций	–	–	–	–	–	–	15
12. Прочие изделия	15,2	–	10,3	4,1	4,7	1,7	17,9

Вид вяжущего зависит от условий эксплуатации, в которых будут работать конструкции, особенностей конструкций (массивные,

сложной конфигурации, тонкостенные, изгибаемые, сжимаемые и пр.); условий изготовления (возможность интенсивного уплотнения при формовании, пропаривание, автоклавирование, нормальные или другие условия твердения), а также от наличия вида вяжущего в данном районе и возможности обеспечить им перечисленные условия. При решении вопроса замены требуемого вида вяжущего имеющимся рассматриваются все варианты использования добавок.

После того как определена необходимая номенклатура бетонных смесей, составляется сводная таблица производительности бетоносмесительного цеха (БСЦ) по номенклатуре, подсчитывается годовая потребность каждого вида бетонной смеси.

Результаты расчетов сводятся в таблицу, аналогичную табл. 2.

Таблица 2

### Производительность БСЦ по номенклатуре

Вид и марка бетона	Характеристика смеси		Вид цемента	Вид добавки	Годовая потребность завода в смеси	
	Удобоукладываемость, ОК или Ж	Крупность заполнителя <i>Д<sub>нб</sub></i>			%	м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7

Производительность формовочных цехов определяется распределением номенклатуры завода по технологическим группам. В каждую группу включаются изделия общей технологии изготовления, вида бетона, конфигурации, габаритов и сложности изготовления. Например, группа керамзитобетонных изделий – наружные стеновые панели; группа подобных по конфигурации и размерам панельных изделий, но изготавливаемых из обычного бетона, – внутренние стеновые панели и плиты перекрытий; группа доборных элементов – изделия сложной конфигурации, сильно различающиеся по размерам, но изготавливаемые малыми сериями на универсальных агрегатно-поточных линиях или в специализированных формах (термоформах, одиночных, спаренных, групповых или с немедленной распалубкой). К этой группе можно отнести лестничные марши, площадки, элементы шахт лифтов (мусоропроводов), вентиляционные блоки, элементы входа, элементы добора

при строительстве угловых домов на местности сложного рельефа и т.п., группы напорных и безнапорных труб, ферм, балок пролетов, железобетонных шпал, опор КС и ЛЭП и др.

Результаты распределения номенклатуры завода по технологическим группам сводятся в таблицу, где указываются пределы основных характеристик изделий в группе (марка, габариты, расходы в пределах от ... и до ...), годовая потребность, м<sup>3</sup> (шт.). Проводится технологический анализ групп изделий и ориентировочное распределение их по формовочным цехам. Основным признаком распределения – организационно-технологический: наиболее простое и рациональное бесперебойное обеспечение бетонной смесью и арматурными изделиями, подобие основного технологического оборудования, гарантия высокого качества и заводской готовности.

В пояснительной записке приводится сводка результатов распределения номенклатуры по цехам с пояснениями и обоснованием принятых решений.

#### 1.4. Режим работы предприятия

При технологических расчетах заводов сборного железобетона режим работы принимается по [7]:

– номинальное количество рабочих суток в год $T_n$	260
– количество рабочих смен в сутки $n$ :	
– кроме тепловой обработки	2
	или 3
– для тепловой обработки	3
– по приему сырья, материалов и отгрузки готовой продукции железнодорожным транспортом	3
– то же автотранспортом	2
	или 3
– номинальное количество рабочих суток в году по приему сырья и материалов с железнодорожного транспорта	365
– продолжительность рабочей смены в часах $t$	8
– длительность плановых остановок в сутках на ремонт $T_p$ :	
– конвейерных линий	13

– поточно-агрегатных, стандовых линий и кассетных установок, цехов и установок по приготовлению бетонных и растворных смесей	7
– коэффициент использования технологического оборудования $K_u$ :	
– конвейерных линий	0,95
– поточно-агрегатных и др.	0,92

Годовой фонд рабочего времени технологического оборудования в часах подсчитывается по формуле

$$T_{\phi} = (T_n - T_p) \cdot n \cdot t \cdot K_u,$$

где  $T_n$  – номинальное количество рабочих суток в году;  
 $T_p$  – длительность плановых остановок технологических линий на ремонт, сут;  
 $n$  – количество смен, сут;  
 $t$  – продолжительность рабочей смены, ч;  
 $K_u$  – коэффициент использования оборудования.

Номинальное количество рабочих суток в году, равное 260, получено исходя из пятидневной рабочей недели и шести рабочих дней в каждую восьмую неделю. При реконструкции действующих предприятий и сложившихся местных условий допускается трехсменная работа при 23 рабочих часах в сутки.

Наиболее благоприятным для формовочных цехов предприятий сборного железобетона с точки зрения условий труда является двухсменный режим работы. При конвейерном способе производства и на предприятиях большой мощности целесообразно вводить трехсменный режим.

В расчетах годового фонда рабочего времени не учитываются простои оборудования из-за недостатка рабочей силы, сырья, топлива, электроэнергии или организационных неполадок, а также потери рабочего времени, связанные с браком в производстве. Учитываются только технологические неизбежные потери (капитальный и текущий ремонт, переналадка и техобслуживание).

## 1.5. Сырьевая база

Сырьевыми материалами для производства железобетонных изделий являются вяжущие, заполнители различного вида, добавки и арматурная сталь. Для проектирования технологии производства железобетонных изделий необходим правильный выбор сырьевых материалов для каждого вида и марки бетона, обеспечивающий экономию средств и свойства.

### 1.5.1. Вяжущие вещества

Основой современного строительства являются неорганические вяжущие вещества, которые используют для изготовления различных изделий из бетона и в виде растворов.

Вяжущие вещества в бетоне определяют все его свойства. При выборе вида вяжущих учитываются:

- 1) требования, предъявляемые к бетону в зависимости от условий эксплуатации конструкций;
- 2) особенности конструкций и изделий (массивные, тонкостенные, сложность конфигурации, соотношение геометрических размеров, изгибаемые, сжимаемые, преднапряженные, густоармированные и др.);
- 3) условия изготовления изделий (метод формования, вид оборудования и режимы уплотнения, условия твердения и пр.);
- 4) сложность снабжения данного производства необходимым видом вяжущего, выбранного с учетом первых трех условий;
- 5) возможность использования различных добавок, доступных в данном районе, с целью экономии вяжущих, улучшения свойств бетона и утилизации отходов других производств.

В настоящее время накоплен большой опыт в области производства и применения *гипса* – мономинерального вяжущего, которое относится к числу самых, казалось бы, простых и наиболее изученных строительных материалов. Однако, его возможности все еще неисчерпаемы. В развитии производства и применения гипсовых вяжущих следует отметить несколько важных направлений.

Во-первых, гипсовая промышленность стала все шире использовать кроме основного вяжущего вещества – полуводного сульфата

кальция – гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, а также другие смешанные вяжущие, включающие, помимо гипса, доменный гранулированный шлак, горелые породы и некоторые другие компоненты.

Во-вторых, при производстве гипсовых вяжущих в последние годы все более широко используются специальные добавки, позволяющие управлять различными свойствами этих вяжущих, а также растворы для пропитки готовых изделий.

*В зависимости от состава, основных свойств вяжущие объединяют в группы:*

Первую группу составляют воздушные вяжущие вещества, которые способны затвердевать и длительное время сохранять свою прочность только на воздухе:

– гипсовые вяжущие – это вяжущие, состоящие в основном из полуводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \cdot \text{P}_2\text{O}$  или ангидрита  $\text{CaSO}_4$ ;

– известковые вяжущие – продукт умеренного обжига кальциево-магниевого карбонатных горных пород: мела, известняка, доломитизированного известняка, доломита с содержанием глины не более 6%;

– магнезиальные вяжущие – каустический магнезит и каустический доломит – тонкие порошки, главной составляющей частью которых является оксид магния –  $\text{MgO}$ .

Вторую группу составляют гидравлические вяжущие вещества, которые твердеют и длительное время сохраняют или повышают прочность не только на воздухе, но и в воде. Гидравлические вяжущие вещества по химическому составу содержат четыре основных оксида  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ .

*Гидравлические вяжущие делятся на три основных вида:*

1-силикатные цементы, состоящие преимущественно из силикатов кальция (портландцемент и его разновидности);

2-алюминатные цементы, вяжущей основой являются алюминаты кальция (глиноземистый цемент и его разновидности);

3-гидравлическая известь – сырьем служит мергелистый известняк с содержанием глины в пределах 6–20% и  $\text{CaCO}_3$ ; романцемент – сырьем служат известковые или магнезиальные мергели, содержащих в своем составе более 20% глины.

Третью группу составляют вяжущие вещества, способные при автоклавной обработке в среде насыщенного водяного пара при температуре 175–200 °С затвердевать с образованием прочного камня

(известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие, нефелиновый цемент и др.).

Четвертую группу составляет кислотоупорный кварцевый цемент, получаемый на основе натриевого или калиевого жидкого стекла [9, 13, 15].

### *Цемент*

Среди всех минеральных вяжущих веществ наиболее универсальным и широко применяемым является гидравлическое вяжущее вещество – портландцемент (и его разновидности).

Портландцемент является полиминеральным продуктом измельчения клинкера с добавкой гипса (3–5%). Клинкер – продукт спекания смеси известковых и глинистых пород, состоящий из различных силикатов, алюминатов и ферритов кальция. По структуре цементного клинкера под микроскопом преимущественно видны кристаллы минералов-силикатов (алит и белит – до 75–80%), между которыми размещается промежуточное вещество, состоящее из кристаллов алюмината, алюмоферрита кальция и стекловидной фазы [8, 13].

### *Характеристики портландцемента*

**Химический (элементный) состав клинкера** для обычных видов портландцемента различается в следующих пределах (в масс.%): CaO 63–67%; SiO<sub>2</sub> 21–24%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,5–7%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,5–4%; остальные оксиды (MgO, TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.) – не более 3–4%.

**Минералогический (вещественный) состав** отражает содержание в клинкере реальных химических соединений. Основными минералами клинкера являются четыре соли кальция (в масс.%):

C<sub>3</sub>S 45–60% – **алит** (трехкальциевый силикат Ca<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)O) – определяет быстроту твердения, прочность и другие свойства цемента; кристаллы алита имеют гексагональную или призматическую форму, их размеры — 3–20 мкм;

C<sub>2</sub>S 20–30% – **белит** (двухкальциевый силикат β- Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) – силикатный минерал, медленно твердеет, достигает высокой прочности при длительном твердении, представляет собой округлые плотные кристаллы с зазубренными краями со средним размером 20–50 мкм;

C<sub>3</sub>A 3–15% – **трехкальциевый алюминат** Ca<sub>3</sub>(AlO<sub>3</sub>)O<sub>2</sub> – активно взаимодействует с водой, является причиной сульфатной коррозии,

кристаллизуется в кубической системе в виде очень мелких шестиугольников и прямоугольников;

$C_4AF$  10–20% – **цели́т** (четырёхкальциевый алюмоферрит  $Ca_3(Al_2O_5)+Ca_2(Fe_2O_5)$ (тв. раствор) – по скорости твердения находится между  $C_3S$  и  $C_2S$ ; алюмоферритная фаза промежуточного вещества клинкера представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция различного состава.

Клинкерное стекло 5-15% – содержится в промежуточном веществе, состоит из  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  и щелочи  $Na_2O$ ,  $K_2O$ .

$CaO$  и  $MgO$  0,5–1% и не более 5% – свободные оксиды.

$Na_2O$ ,  $K_2O$  0,6% – щелочи входят в алюмоферритную фазу клинкера и присутствуют в цементе в виде сульфатов.

**Формулы пересчета от химического состава к минералогическому и обратно (в масс. %):**

$$C_3S=4,07 \cdot CaO-(7,60 \cdot SiO_2+6,72 \cdot Al_2O_3+1,43 \cdot Fe_2O_3)$$

$$C_2S=2,87 \cdot SiO_2-0,75 \cdot C_3S$$

$$C_3A=2,65 \cdot Al_2O_3-1,69 \cdot Fe_2O_3$$

$$C_4AF=3,04 \cdot Fe_2O_3$$

$$CaO=0,737 \cdot C_3S+0,651 \cdot C_2S+0,623 \cdot C_3A+0,462 \cdot C_4AF$$

$$SiO_2=0,263 \cdot C_3S+0,349 \cdot C_2S$$

$$Al_2O_3=0,377 \cdot C_3A+0,210 \cdot C_4AF$$

$$Fe_2O_3=0,329 \cdot C_4AF$$

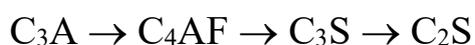
Данные формулы пренебрегают присутствием в клинкере других оксидов и солей [9, 13, 14, 15].

### *Твердение портландцемента*

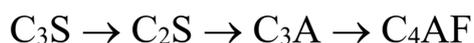
Основная часть продуктов твердения портландцемента является аморфными или слабо закристаллизованными (субмикроструктурированными)

ческими) веществами. На ход реакций гидратационного твердения одних компонентов портландцементного клинкера влияют продукты твердения других компонентов, поэтому химизм процесса в значительной степени определяется минералогическим составом цемента, а также наличием добавок, массовым отношением воды и цемента, температурой и другими факторами. Портландцемент относится к медленно твердеющим вяжущим веществам. При обычных условиях схватывание цементного теста наступает через 2–4 часа после затворения, а марочную прочность цементный камень набирает к 28 суткам твердения. При этом следует учитывать, что, во-первых, между различными сортами цемента существуют значительные различия по срокам схватывания и твердения, а во-вторых, что процессы твердения продолжаются и после 28-суточного срока, завершаясь только примерно через год. Среди минералов клинкера наибольшую скорость взаимодействия с водой демонстрирует трехкальциевый алюминат, а наименьшую – белит.

По убыванию скорости и теплового эффекта реакции взаимодействия с водой цементные минералы можно расположить в ряд:



По убыванию прочности продукта твердения в следующий ряд:



По прочности на сжатие к концу одного года твердения белитовый камень практически догоняет алитовый, несмотря на значительную разницу в скорости взаимодействия с водой. Высокая скорость гидратации  $C_3A$  и  $C_4AF$  является причиной раннего, через 10–45 мин после затворения, схватывания цемента в отсутствие гипса.

Ключевые положения о механизме отвердевания вяжущей системы, которые отстаивал в своих работах профессор М. М. Сычев (С.-Петербургский технологический университет) [15]:

1. Вследствие химического взаимодействия в вяжущей системе «твердое тело–жидкость затворения» и связывания молекул полярной жидкости образуется новая фаза, содержащая полярные группы — кристаллогидраты.

2. Новая фаза возникает в виде частиц высокой степени дисперсности; именно с этим связан переход значительной части жидкости (воды) в «пленочное» состояние. В результате высоких начальных значений отношения Т/Ж, химического связывания воды за счет продолжающейся гидратации, перехода воды в «пленочное» состояние появляются так называемые «стесненные» условия, без которых невозможно образование коагуляционных контактов срастания.

3. В результате «стесненности» и перекрытия пленок воды в местах контактов создаются условия для электростатического и электромагнитного взаимодействия частиц. Происходит иммобилизация свободной воды (она приобретает свойства твердого тела), ионы теряют подвижность — наблюдается схватывание системы.

4. При продолжении перехода безводных соединений в гидраты количество связанной воды увеличивается, поровое пространство заполняется новыми порциями частиц новообразований — количество контактов возрастает, прочность цементного камня повышается.

5. Главной причиной увеличения прочности является постепенный переход адгезионных и когезионных (коагуляционных) контактов в прочные кристаллизационные контакты срастания с химическими связями. Эволюция контактов происходит за счет того, что в этих зонах пленки воды «утончаются» настолько, что возможен плавный переход контактов одного типа в другой, более прочный.

### *Химические реакции*

После затворения цемента водой начинаются химические реакции. В начальной стадии процесса гидратации цемента происходит быстрое взаимодействие алита с водой с образованием гидросиликата кальция и гидроксида, т.е. идет образование свободной щелочи и слабо закристаллизованных гидросиликатов кальция C-S-H(I) и C-S-H(II):



Образующиеся гидросиликаты близки по структуре к кристаллическим гидросиликатам кальция тобермориту (рис.2) и дженниту.

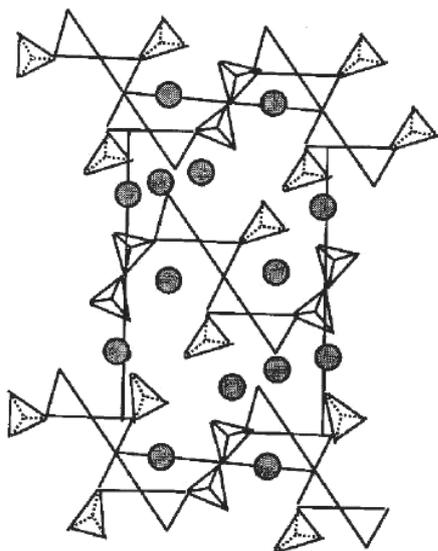


Рис.2. Структура тоберморита с выделением тетраэдров  
  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  (тетраэдр)

После затворения гидроксид кальция образуется из алита, так как белит гидратируется медленнее алита и при его взаимодействии с водой выделяется меньше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :



В результате реакций (1-2) образуется смесь слабо закристаллизованных гидросиликатов кальция (гель С-С-Н) со средними молярными отношениями  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,5-1,8$  и  $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O} = 1-1,5$ . Выделяющийся гидроксид кальция (минерал *портландит*) быстро насыщает воду и таким образом предотвращает гидролиз остальных компонентов клинкера [9, 13, 14].

Взаимодействие трехкальцевого алюмината с водой приводит к образованию гидроалюмината кальция (гидрогранат):



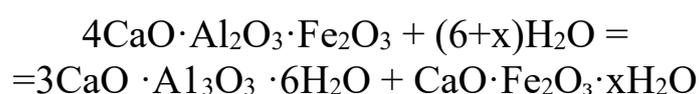
Для замедления схватывания при помолке клинкера добавляют небольшое количество природного гипса (3–5% от массы цемента). Сульфат кальция играет роль химически активной составляющей цемента, реагирующей с трехкальцевым алюминатом и связывающей его в гидросульфоалюминат кальция (минерал этtringит) в начале гидратации портландцемента:



В насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  этtringит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности частиц  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , замедляет их гидратацию и затягивает начало схватывания цемента. Кристаллизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе, и этtringит уже образуется в виде длинных иглоподобных кристаллов. Кристаллы этtringита и обуславливают раннюю прочность затвердевшего цемента. Этtringит, содержащий 31–32 молекулы кристаллизационной воды, занимает примерно вдвое больший объем по сравнению с суммой объемов реагирующих веществ ( $\text{C}_3\text{A}$  и сульфат кальция). Заполняя поры цементного камня, этtringит повышает его механическую прочность и стойкость. Структура затвердевшего цемента улучшается еще и потому, что предотвращается образование в нем слабых мест в виде рыхлых гидроалюминатов кальция.

Гидроалюминат выделяется в виде кристаллов кубической формы. Появление кубических кристаллов –  $\text{C}_3\text{AH}_6$  обуславливается нестабильностью пластинчатых гидроалюминатов кальция при повышении температуры. Также из-за нестабильности гидроалюминатов пластинчатой формы со временем даже при обычных температурах происходит медленный их распад с перекристаллизацией в более стабильные формы – гиббсит  $\text{AH}_3$  и кубический  $\text{C}_3\text{AH}_6$ . Все это приводит к некоторому снижению прочности цементного камня [8, 13, 15].

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой расщепляется на гидроалюминат и гидроферрит:



Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, как указано выше, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Характерным для гидроалюмоферритов кальция является то, что в начальный период гидратации реакция взаимодействия  $\text{C}_4\text{AF}$  с водой идет быстро: через трое суток степень гидратации составляет 50–70%. При температуре выше 35 °C образуются кубические структуры из  $\text{C}_3\text{AH}_6$  и  $\text{C}_3\text{FH}_6$ ; если температура твердения понижается до 15 °C и ниже, то появляются те же фазы в гексагональной форме.

*После завершения гидратационного твердения портландцементный камень состоит из четырех основных компонентов [14]:*

1. Протландит (гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).
2. Фаза гидросиликатов кальция (CSH).
3. Гидроалюмоферритная фаза.
4. Гидросульфоалюминатная фаза, состоящая из этtringита (с частичным превращением на поздних стадиях твердения в сульфоалюминат).

### *Прочность цементного камня*

В суммарную прочность цементного камня вносят продукты твердения силикатов кальция – алит и белит. И если на ранних стадиях схватывания пластическая прочность цементного теста определяется пространственной сеткой гидросульфоалюмината кальция (этtringита), то в последующем прочность твердеющего цемента зависит главным образом от формирования *гидро-силикатных новообразований* волокнистого и пластинчатого строения. В табл. 3 приведены характеристики кристаллических гидросиликатов кальция, встречающихся в продуктах твердения цемента.

Состав и строение гидросиликатов, образующиеся в цементном камне, зависят от отношения  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  (C/S) (тоберморитовой группы). При нормальном твердении образуются минералы типа CSH (I), в котором отношение  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 < 1,5$ , и C-S-H(II) или  $\text{C}_2\text{SH}_2$  (иногда его называют  $\text{C}_2\text{S}\alpha$ -гидрат), в котором отношение  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 > 1,5$ . Гидросиликаты первого вида называются низкоосновными и кристаллизуются в виде тончайших пластинок (лепестков) толщиной  $2-3 \cdot 10^{-3}$  нм (2–3 молекулярных слоя), шириной  $40-55 \cdot 10^{-2}$  нм. Длина кристаллов может достигать нескольких десятков и даже сотен нанометров. Удельная поверхность этих частиц составляет  $250-380 \text{ м}^2/\text{г}$ , характеризуется повышенными прочностными показателями.

С повышением основности тонкие лепестки, напоминающие фольгу, начинают скручиваться, образуя волокна с внутренней полостью, в которой могут размещаться молекулы воды. Такая вода относится к адсорбционной; вода, которая входит в состав кристаллогидратов и размещается между слоями кристаллической решетки, называется *химически связанной*.

Гидросиликаты группы C-S-H(II) имеют более высокие отношения  $\text{CaO}:\text{SiO}_2$  и называются высокоосновными. Такие гидросиликаты кристаллизуются в виде отдельных волокон и пучков, характеризуются более низкими прочностными показателями [14, 15, 16].

Таблица 3

**Характеристики кристаллических гидросиликатов кальция, встречающихся в цементе**

Название	Стехиометрическая формула	Кристаллохимическая формула	Внешняя форма	CaO/SiO <sub>2</sub>	Вязущие вещества
Тоберморит	$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_5 [\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}]_x \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Волокна	0,83	Ц, ПЦ
Ксонотлит	$6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_6(\text{OH})_2[\text{Si}_6\text{O}_{17}]$	То же	1	Ц(T <sup>0</sup> )
Дженнит	$9\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_9(\text{OH})_8[\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}]_x \cdot x\text{H}_2\text{O}$	>>	1,5	Ц
Гиллебрандит	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_6(\text{OH})_6 [\text{Si}_3\text{O}_9]$	>>	2	Ц(T <sup>0</sup> )
$\alpha\text{-C}_2\text{SH}$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2(\text{OH})[\text{HSiO}_4]$	Пластинки	2	Ц(T <sup>0</sup> )

*Примечание.* Ц – портландцемент, ПЦ – пуццолановый цемент, T<sup>0</sup> – тепло-влажностная обработка.

Из таблицы видно, что большинство гидросиликатов кальция представляют собой основные или смешанные кислото-основные соли – силикаты или полисиликаты различных гидроксокальциевых катионов, и только тоберморит является по своей структуре подлинным гидросиликатом (кислой солью).

Силикаты алит и белит содержат мономерные ортосиликат-анионы  $\text{SiO}_4^{4-}$  (рис. 3, а). Поэтому существенной составной частью процесса твердения силикатных компонентов клинкера является реакция поликонденсации кремнекислородных анионов (рис. 3).

Особенно значительный вклад в прочность цементного камня вносят гидросиликатные новообразования с цепочечными и ленточными анионами (иносиликаты, см. рис. 3 б, в, г, д). Отдельные фрагменты цепочечных структур *тоберморита* (рис. 2) и *дженнита* с числом атомов кремния в анионе от 2 до 5 представляют собой основу строения слабо закристаллизованных волокнистых гидросиликатов C-S-H (I) и C-S-H (II) и вносят важнейший вклад в суммарную механическую прочность гидросиликатных новообразований, а следовательно, и затвердевшего цементного камня как целого. По мере развития процесса твердения степень полимеризации кремнекислородных анионов в этих структурах

увеличивается, что способствует нарастанию прочности камня. На поздних стадиях твердения, особенно в присутствии пуццолановых добавок, возможен также частичный переход к двумерной полимерной структуре (типа гиролитовой) путем сшивания тоберморитовых цепочек в поперечном направлении силоксановыми связями [14, 15].

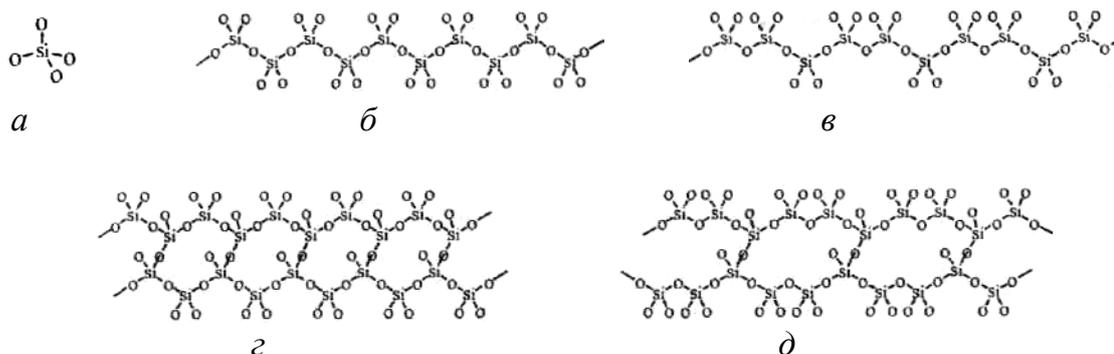


Рис. 3. Строение кремнекислородных анионов в силикатах

*a* – ортосиликат-анионы  $\text{SiO}_4^{4-}$ ; иносиликаты:

*б* – пироксеновая цепочка  $\text{Si}_2\text{O}_6^{4-}$ ; *в* – волластонитовая цепочка  $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$ ;

*г* – амфиболовая лента  $\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}$ ; *д* – ксонотлитовая лента  $\text{Si}_6\text{O}_{17}^{10-}$

### *Тонкость помола цемента*

Оценивается по стандарту:

– просеиванием предварительно высушенной пробы цемента через сито с сеткой № 008 (около 4900 отверстий на  $1 \text{ см}^2$  с размером ячеек в свету 0,08 мм) должно проходить не менее 85% массы просеиваемой пробы. Средний размер частиц цемента составляет 15...20 мкм;

– удельной поверхностью зерен, содержащихся в 1 г цемента. Удельная поверхность цемента составляет обычно 2500–3500  $\text{см}^2/\text{г}$  (суммарная площадь зерен цемента в 1 г).

### *Истинная плотность*

Истинная плотность портландцемента (без минеральных добавок) составляет 3,05–3,15  $\text{г}/\text{см}^3$ . Насыпная плотность зависит от уплотнения – у рыхлого цемента составляет 1100  $\text{кг}/\text{м}^3$ , а у сильно уплотненного – до 1600  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

### *Водопотребность*

Водопотребность цемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста *нормальной густоты*. Нормальной густотой цементного теста считают такую его подвижность, при которой цилиндр-пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5–7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Водопотребность портландцемента в пределах от 22 до 28%. При введении активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) водопотребность цемента повышается и может достигнуть 32–37%.

### *Сроки схватывания и равномерность изменения объема*

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяют в тесте нормальной густоты.

*Сроки схватывания* определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты.

*Началом схватывания* считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 1–2 мм. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин.

*Конец схватывания* - время от начала затворения до того момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1–2 мм. Конец схватывания должен наступить не позднее 10 ч. от начала затворения.

Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера на цементном заводе вводят добавку двуводного гипса.

*Равномерность изменения объема*. Причиной неравномерного изменения объема цементного камня являются местные деформации, вызываемые расширением свободной СаО и периклаза MgO вследствие их гидратации. По стандарту изготовленные из теста нормальной густоты образцы-лепешки через 24 ч предварительного твердения выдерживают в течение 3 ч в кипящей воде. Лепешки не должны деформироваться, не допускаются радиальные трещины.

### *Активность и марка портландцемента*

Активность и марку определяют испытанием стандартных образцов-призм размером 4х4х16 см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1:3 (по массе) и В/Ц = 0,4 при консистенции раствора по расплыву конуса 106–115 мм.

Через 28 сут твердения (первые сутки образцы твердеют в формах во влажном воздухе, а затем 27 сут – в воде комнатной температуры), образцы-призмы сначала испытывают на изгиб, затем получившиеся половинки призм – на сжатие.

Портландцемент разделяют на марки 400, 500, 550, 600. У быстротвердеющих портландцементов нормируется не только 28-суточная прочность, но и начальная, 3-суточная.

### *Выделение тепла при твердении*

Тепловыделение цемента зависит от минерального состава цементного клинкера, типа введенных добавок и тонкости помола. Гидратация цемента сопровождается выделением тепла. Тепловыделение внутренней части массив гидратированного цемента может иметь температуру 40 °С. Снаружи массива остывает быстрее, чем внутри, возникают температурные напряжения, которые нередко являются причиной появления трещин в бетоне. Наибольшие тепловыделения у трехкальциевого алюмината, затем у трехкальциевого силиката, у остальных значительно меньше. Необходимо стремиться использовать низкотермичные цементы, снижать расход цемента в бетоне.

### *Правила приемки цементов*

Цемент отгружают и принимают партиями. Размер партии устанавливают в пределах от 300 до 4000 т в зависимости от годовой мощности цементного завода.

Завод производит паспортизацию цемента и назначает его марку на основании данных текущего контроля производства. В паспорте указывается: полное название цемента, его гарантированная марка, вид и количество добавки, нормальная густота цементного теста, средняя активность цемента при пропаривании. Для проверки качества отгружаемой продукции поставщик производит физические и

механические испытания цемента, определяя его прочность в возрасте 3 и 28 сут По требованию потребителя поставщик сообщает потребителю результаты физико-механических и химических испытаний цемента в 10-дневный срок после их окончания.

Цемент отгружают навалом или в бумажных многослойных мешках; массу мешка указывают на упаковке. При транспортировании и хранении цемент должен защищаться от воздействия влаги и загрязнения. Цементы хранят отдельно по видам и маркам, смешивание разных цементов не допускается.

В производстве клинкерных цементов широко используют побочные продукты других отраслей промышленности: доменные гранулированные шлаки, шлаки электротермического способа производства фосфора и т.д. Такого рода продукты зачастую обладают гидравлической активностью при быстром охлаждении и последующем тонком измельчении, особенно в присутствии активизаторов твердения. Это предопределяет высокую технико-экономическую эффективность использования таких продуктов в промышленности вяжущих веществ.

При производстве, в частности, шлакопортландцемента очень важным является вопрос о количестве шлака в цементе, так как оно определяет стоимость, прочность и коррозионную стойкость цементов. С целью получения наибольшей прочности и плотности шлакопортландцементного камня важно определить наиболее благоприятные условия его твердения, так как шлакопортландцементы имеют пониженную скорость гидратации при нормальных условиях [8, 13].

### *Выбор марки цемента*

Выбор марки цемента зависит от требуемой прочности бетона.

Для низкомарочных бетонов (до В10) клинкерный цемент целесообразно разбавлять тонкомолотыми добавками и золой ТЭС. Для высокомарочных бетонов (более В22,5) рационально предусматривать домол цемента перед подачей его со склада в расходные бункеры бетоносмесительной установки.

При изготовлении низкомарочных бетонов и растворов применение высокоактивных вяжущих приводит к тому, что для обеспечения необходимой прочности требуется небольшое количество вяжущего. Бетонные и растворные смеси до затвердевания получают легкорасплаивающимися, трудно обрабатываемыми (жесткими). Для

устранения этих недостатков необходим повышенный расход цемента или введение в бетонные и растворные смеси тестообразующих добавок, к которым относятся: глиняное тесто, известковое молоко и другие тонкодисперсные суспензии или добавки ПАВ.

Уменьшить расход дефицитных цементов удастся применением *бесклинкерных вяжущих*, активность которых может изменяться в широких пределах в зависимости от технологии изготовления, состава вяжущего и режимов его твердения. Эти вяжущие имеют, как правило, меньшую стоимость по сравнению с клинкерными цементами и несложную технологию изготовления. В качестве сырья могут широко использоваться попутные продукты промышленности. Однако неоднородность сырьевых материалов по химическому и минералогическому составу требует экспериментального уточнения оптимального состава вяжущего при заданных температурах твердения.

В пояснительной записке проекта после описания и обоснования выбора вида и марки вяжущих приводится подробное описание выбранных вяжущих и их технические характеристики.

Качество вяжущих должно отвечать требованиям соответствующих ГОСТов. Для автоклавных бетонов используется строительная известь ГОСТ 9179–2018.

### 1.5.2. *Заполнители*

**З**аполнители являются основными компонентами бетона как по массе, так и по объему (70...90% объема бетона). Они оказывают влияние на технологические свойства бетонной смеси, процессы твердения и на строительные-технические и эксплуатационные свойства бетона. Применение заполнителей позволяет резко сократить расход цемента, являющегося наиболее дорогим и дефицитным компонентом бетона. Кроме того, заполнители улучшают технические свойства бетона. Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль деформации бетона – уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, а также ползучесть бетона – необратимые деформации, возникающие при длительном действии нагрузки.

В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона применяют гравий или щебень из изверженных, метаморфических и осадочных пород, а также щебень из гравия тех же пород и щебень из доменного

шлака. В качестве мелкого заполнителя используется природный кварцевый песок. Кроме природных кварцевых песков в тяжелых и легких бетонах используют искусственные пески, получаемые при дроблении горных пород или искусственных пористых заполнителей.

Наиболее существенное влияние на свойства бетона оказывают зерновой состав, прочность и чистота заполнителя. *Зерновой состав* показывает содержание в заполнителе зерен разной крупности. Его определяют просеиванием пробы заполнителей через стандартные сита с величиной отверстий 0,14...70 мм и более. Различают *рядовой заполнитель*, содержащий зерна различных размеров, и фракционированный, когда зерна заполнителя разделены на отдельные фракции, включающие зерна близких между собой размеров, например 5...10 или 20...40 мм. Заполнитель характеризуют наименьшей и наибольшей крупностью, под которыми понимают размеры наименьших или наибольших крупных зерен заполнителя. Зерновой состав называют *непрерывным*, если в нем встречаются зерна всех размеров – от наименьшего до наибольшего. Если же в заполнителе отсутствуют зерна какого-либо промежуточного размера, то такой зерновой состав называют *прерывистым*.

На строительных объектах или заводах сборного железобетона зерновой состав заполнителя подбирают, используя реальный песок и щебень и устанавливая такое соотношение между песком и отдельными фракциями щебня, чтобы кривая зернового состава по возможности приближалась к идеальной. Идеальная кривая подбирается из условия, чтобы количество пустот в смеси и суммарная поверхность зерен требовали минимального расхода цемента для получения определенной подвижности бетонной смеси и прочности плотного бетона.

С зерновым составом непосредственно связана пустотность заполнителя, определяемая возможностью его плотной укладки. На пустотность влияет также форма его зерен. Пустотность заполнителя является важной характеристикой, так как в известной мере определяет расход цемента (чем больше пустот, тем больше требуется цемента для их заполнения) и другие свойства бетона. Пустотность заполнителей колеблется от 20 до 50%. В бетоне желательно использовать заполнители, состоящие из нескольких фракций и имеющие наименьшую пустотность.

Прочность заполнителя определяется не только прочностью горной породы, из которой он получен, но и крупностью зерен. При

выветривании или дроблении породы разрушение происходит по более слабым местам структуры, и с уменьшением размера зерен прочность их как бы повышается. Естественные пески обладают прочностью при сжатии и растяжении, как правило, более высокой, чем прочность раствора или цементного камня. Превосходят по прочности раствор и крупные заполнители из прочных горных пород (гранита, диабазы и др.).

Пределно достижимая прочность бетона тем ниже, чем меньше прочность крупного заполнителя, причем ее значение зависит также и от содержания заполнителя, постепенно увеличиваясь с повышением его количества.

Большое влияние на прочность бетона оказывает *чистота заполнителя*. Пылевидные и особенно глинистые примеси создают на поверхности зерен заполнителя пленку, препятствующую сцеплению их с цементным камнем. В результате прочность бетона значительно понижается (иногда на 30...40%). Корректировать отрицательное влияние грязного или некачественного заполнителя на свойства бетона путем повышения расхода цемента недопустимо.

Интегральной технологической характеристикой, позволяющей оценить влияние заполнителя на свойства бетонной смеси, является *водопотребность*. Она оценивается по специальной методике сравнением водопотребности цементного теста, растворных и бетонных смесей при одинаковой подвижности. Чем выше водопотребность заполнителя, тем больше расход воды и цемента для получения бетона с определенными заданными свойствами. В результате испытаний различных заполнителей было установлено, что водопотребность  $V_{п}$  песка составляет 4...14%, а крупного заполнителя – 1...10%. Крупнозернистые пески имеют  $V_{п} = 4...6\%$ , пески средней крупности – 6...8%, мелкозернистые пески – 8...10% и очень мелкие пески – более 10%. Стандартный Вольский песок имеет  $V_{п} = 4\%$ . Водопотребность гравия 1...4%, щебня из плотных изверженных пород – 2...6%, щебня из карбонатных пород (с учетом водопоглощения) – 5...10%.

Песком называют природную или искусственную минеральную смесь с размером 5...0,14 мм. Частицы меньшего размера представляют собой пыль и глину. Для тяжелого бетона применяют преимущественно природные пески, представляющие собой обломки различных минералов и горных пород. Наиболее распространенными и пригодными для бетона являются кварцевые пески.

Благодаря высокой прочности зерен они могут применяться для бетона любых марок. Пески, состоящие из зерен осадочных и рыхлых изверженных пород, известняков, доломитов и т. д., применяют лишь после соответствующих лабораторных исследований и при технико-экономическом обосновании.

Для получения дробленых песков используют изверженные, метаморфические или плотные осадочные горные породы, а также гравий. В зависимости от прочности исходной горной породы и гравия эти пески делят на четыре марки: 1000, 800, 600 и 400.

Основные свойства бетона зависят от *сцепления цементного камня с заполнителями*, на величину которого в значительной степени влияют форма и характер поверхности заполнителей, наличие глины и песка. Сцепление увеличивается при остроугольной форме зерен песка и шероховатой поверхности, что характерно для горного (овражного) песка. Морской или речной песок имеет скатанные зерна, однако он в меньшей степени загрязнен и не требует промывки.

*Глинистые и пылевидные частицы* благодаря высокоразвитой поверхности существенно увеличивают водопотребность бетонных смесей и, обволакивая зерна песка, уменьшают его сцепление с цементным камнем. Кроме того, наиболее мелкие пылеватые частицы песка (<0,08 мм) снижают морозостойкость бетона. Содержание в песке зерен размером менее 0,14 мм не должно превышать 10%, а содержание примесей, определяемых отмучиванием, – 3% по массе. Вредными примесями в песке являются *слюда и соединения*, вызывающие химическую коррозию бетона, – сульфиты и сульфаты, гумусовые и другие органические включения, а также аморфные разновидности кремнезема.

*Органические примеси* (например, гумусовые) допускаются только в очень незначительном количестве, так как они (особенно органические кислоты) понижают прочность и даже разрушают цемент. Для определения их наличия песок обрабатывают 3%-ным водным раствором едкого натра (при соотношении раствора к песку 1:1), затем отстаивают в течение 1 сут. Раствор после обработки должен иметь светло-желтый цвет. Этот метод называют колориметрическим (определение по цвету).

*Крупность песка и его зерновой состав* влияют на расход цемента и плотность бетона. Цементное тесто идет на заполнение пустот в смеси заполнителей и обволакивание их оболочкой, выполняющей

роль смазки и цементирующей отдельные зерна в прочный конгломерат. Поэтому чем меньше объем пустот и меньше поверхность зерен песка, тем экономнее будет использовано в бетоне цементное тесто. Крупность песка характеризуется модулем крупности  $M_k$ , под которым понимают сумму полных остатков при просеивании мелкого заполнителя на ситах с размером отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм, деленную на 100:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100.$$

Полный остаток  $A_l$  – это сумма остатков («частных») на данном сите и на более крупных ситах, входящих в комплект для просеивания. По крупности пески делят на крупные, средние и мелкие (табл. 4).

Таблица 4

#### Характеристика песков по крупности

Группа песка	Модуль упругости	Полный остаток на сите 0,63, %	Водопотребность, %
Крупный	Более 2,5	Свыше 45	4...6
Средний	2,5...2,0	30...45	6...8
Мелкий	2,0...1,5	10...30	8...10

Наряду с крупностью песка важнейшее значение имеет и его *пустотность*, или *объем межзернового пространства*. В хороших песках пустотность колеблется от 30 до 38%. В песках, состоящих из зерен практически одинакового размера, пустотность может повыситься до 40...47%. Пригодность песка для бетонов по зерновому составу определяют построением кривой просеивания, которая должна лежать в области, установленной стандартом (рис. 4).

Применение песков, зерновой состав которых не соответствует стандарту, допускается только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Пески с модулем крупности 1,5...2 допускается использовать в бетонах с прочностью до 20 МПа; с модулем крупности 2,5 и более рекомендуются для бетонов с прочностью 30 МПа и выше.

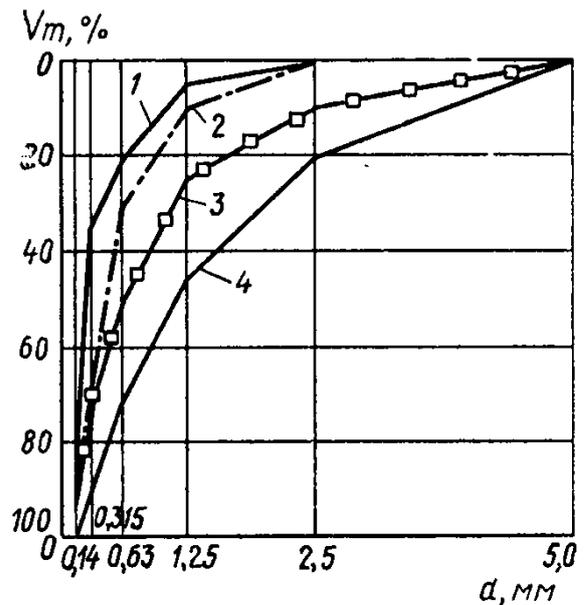
Обладая более развитой поверхностью, мелкие пески увеличивают водопотребность бетона и расход цемента на 8 ... 20% для обеспечения проектной марки бетона.

С целью обеспечения необходимого зернового состава применяют пески, полученные предварительным смешиванием отдельных фракций в требуемых соотношениях. Для улучшения зернового состава природных песков к мелким пескам добавляют крупные фракции природного или дробленого песка, а также крупный песок из отсевов дробления, а для понижения модуля крупности – мелкие пески.

Рис. 4. Зерновой состав песка по ГОСТ 10268–80:

- 1 – допустимая нижняя граница крупности ( $M_k=1,5$ );
- 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности ( $M_k=2,0$ );
- 3 – рекомендуемая верхняя граница крупности ( $M_k=2,5$ );
- 4 – допускаемая верхняя граница крупности ( $M_k=3,25$ );

$V_m$  – полные остатки на контрольных ситах (размером  $d$ )



Содержание зерен, проходящих через сито с сеткой № 014, не должно превышать 5...10% по массе (в зависимости от вида песка). Наличие зерен размером свыше 5 мм не должно превышать (% по массе): в природном и дробленном песках – 10; в песке, дробленном из отсевов, – 15; в обогащенном песке – 5; в крупной фракции фракционированного песка – 10. Содержание зерен размером свыше 10 мм не должно превышать во всех видах песков 0,5 по массе.

Песок, предназначенный для изготовления бетона F300 и более, подвергают испытанию на морозостойкость. При этом он должен выдержать не менее пяти циклов в растворе сернокислого натрия с потерей массы после испытания не более 10%.

Крупный заполнитель образует жесткий каркас бетона. В качестве крупного заполнителя применяют гравий или щебень. Иногда могут быть использованы щебень из гравия или смесь гравия и щебня.

Гравием называют рыхлый материал, образовавшийся в результате естественного разрушения (выветривания) горных пород. Гравий состоит из более или менее скатанных зерен размером 3...70 мм. В нем

могут содержаться зерна высокой прочности, например гранитные, и слабые зерна пористых известняков. Обычно он имеет примеси пыли, глины, иногда и органических веществ, а также песка. При большом содержании песка такой материал называют песчано-гравийной смесью или гравелистым песком. Для бетона желательна малоокатанная (щебневидная) форма зерен гравия. Иголоватых и пластинчатых зерен в составе гравия должно быть не более 15% (по массе). Прочность зерен гравия должна обеспечивать получение бетона, прочность которого на 20...50% превышает заданную.

Щебнем называют материал, полученный в результате дробления камней из горных пород, имеющих предел прочности при сжатии 20...320 МПа. Для производства щебня используют гранит, диабаз и другие изверженные породы, а также плотные осадочные породы – известняк, доломит и измененные – кварцит.

Качество крупного заполнителя, так же как и песка, определяется зерновым составом, формой и поверхностью зерен и содержанием примесей. Существенное значение имеют также петрографические особенности, прочность исходной породы, водостойкость и морозостойкость.

Максимальный размер крупного заполнителя не должен превышать  $1/4$  минимального сечения конструкции и  $2/3$  расстояния между стержнями арматуры. В зависимости от крупности зерен гравий и щебень подразделяют на четыре фракции (мм): 5...10; 10...20; 20...40; 40...70. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в пределах, указанных в табл. 5.

Таблица 5

**Требования к зерновому составу крупного заполнителя**

Наименование	$D_{наим}$ для фракций с наименьшим размером зерен 5(3) ... 10 мм и более		$0,5(D_{наим} + D_{наиб})$ для		$D_{наиб}$	$1,25 D_{наиб}$
			одной фракции	смеси фракций		
Полный Остаток на ситах по массе, %	95...100	90...100	40...80	50...70	0...10	0

Минимальная пустотность достигается смешиванием отдельных фракций до достижения максимальной плотности.

Щебень по форме зерен подразделяется на три группы: *кубовидный* при содержании зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15% (по массе); *улучшенный* – 25; *обычный* – 35%. К зернам пластинчатой (лещадной) и игловатой формы относятся такие зерна, толщина или ширина которых менее длины в 3 раза и более.

Прочность щебня и гравия характеризуется маркой, соответствующей пределу прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии и определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Марки по прочности щебня или гравия устанавливают по результатам испытания сжатием (раздавливанием) в цилиндре в сухом или в насыщенном водой состоянии. В зависимости от потерь массы при определении дробимости различают для заполнителей из осадочных и метаморфических пород марки: 1200, 1000, 800, 600, 400, 300, 200, а из изверженных пород: 1400, 1200, 1000, 800 и 600.

В качестве крупного заполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций, изделий и деталей должен использоваться щебень из изверженных пород не ниже М800, щебень из метаморфических пород не ниже М600 и осадочных пород не ниже М300. Марка щебня из естественного камня должна быть выше прочности бетона не менее чем в 1,5 раза – для бетона с прочностью ниже 30 МПа; в 2 раза – для бетона с прочностью 30 МПа и выше. В крупном заполнителе М1200, 1400 содержание зерен слабых пород (с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа) допускается не более 5%, М400...1000 – не более 10% и М200 и 300 – не более 15% по массе.

По морозостойкости крупный заполнитель подразделяют на следующие марки: F15, 25, 50, 100, 150, 200, 300. Марка соответствует числу циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором потеря в массе не превышает 5% (для F15...25 – 10%).

Для предварительной оценки морозостойкости щебня или гравия разрешается испытывать его в растворе сернокислого натрия (табл. 6).

В зависимости от марки крупного заполнителя по прочности содержание в нем пылевидных, глинистых и илистых частиц не должно превышать в изверженных и метаморфических породах 1%, в осадочных породах М600...1200 – 2%, М200...400 – 3%.

Таблица 6

**Оценка морозостойкости крупного заполнителя**

Испытание в растворе сернокислого натрия	Морозостойкость						
	15	25	50	100	150	200	300
Количество циклов	3	5	10	10	15	15	15
Потеря в массе после испытания, % не менее	10	10	10	5	5	3	2

При выборе между щебнем и гравием следует исходить в каждом конкретном случае из технико-экономических показателей. Гравий не применяют для бетонов высокой прочности. Это объясняется его более слабым сцеплением с цементным камнем из-за скатанной формы. Кроме того, гравий больше загрязнен глинистыми и другими примесями и требует частой промывки. Вместе с тем применение гравия, как правило, дешевле и ведет к большей подвижности бетонных смесей.

В качестве заполнителей для легкого бетона применяют природные и искусственные сыпучие пористые материалы с насыпной плотностью  $\rho_n$  не более  $1200 \text{ кг/м}^3$ . При использовании керамзита в конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных бетонах за счёт уменьшения веса зданий снижаются затраты на монтаж изделий на строительной площадке, существенно уменьшаются нагрузки на здание, что позволяет снизить расходы на возведение фундамента и т.д.

Возможен также вариант производства особо тяжёлого керамзита (керамдора), полученного при пониженных на  $200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$  температурах обжига с насыпной плотностью порядка  $900 \text{ кг/м}^3$ . Такой керамзит будет вполне конкурентоспособным за счёт экономии расхода энергии на его производство с привозным природным щебнем. Область его применения – дорожное строительство, несущие конструкции из железобетона и др.

Кроме технологических и экономических преимуществ керамзит по сравнению с природным щебнем обладает рядом достоинств, связанных с улучшенным сцеплением растворной части бетона с заполнителем за счёт глубокого проникновения цементного камня в поры керамзитовых гранул, что повышает долговечность, прочность и химическую стойкость бетона.

Таким образом, в настоящее время целесообразен выпуск двух видов керамзита:

– особо лёгкого керамзита М150...М250 (для изготовления эффективных ограждающих конструкций, стен, кровель, плитных утеплителей и т. п.);

– прочного керамзита с прочностью 2,5...4 МПа (для производства несущих конструкций, строительства дорог, монолитных зданий и сооружений и т. п.).

Технические условия на пористые заполнители определяются соответствующими ГОСТами.

Для силикатных бетонов используется песок, отвечающий требованиям ОСТ 21–1–80.

Кроме того, в качестве заполнителей применяется щебень и песок из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий.

Рационально использовать в качестве заполнителей или в качестве добавок для улучшения свойств заполнителей бетонных смесей и бетонов различные минеральные алюмосиликатные отходы других производств: металлургические гранулированные и топливные шлаки, золы электростанций, горелые породы из терриконигов угольных шахт или природные и т.п.

По материалам Госгеолтехиздата [17, 18] и другим доступным источникам изучаются сведения о наличии, запасах и возможности разработки новых или использовании уже разрабатываемых месторождений сырьевых материалов. Проводится анализ близ расположенных месторождений горных пород для заполнителей, выбираются источники снабжения заполнителями проектируемого предприятия, обеспечивающими высокое качество и экономичность ЖБИ.

При выборе сырьевой базы следует изучить возможность использования побочных продуктов, отходов промышленности данного района и учесть проблему охраны окружающей среды.

Выбранные и использованные заполнители и другие сырьевые материалы подробно описываются с указанием качественных характеристик и соответствия требованиям ГОСТов.

### 1.5.3. Вода

Для затворения бетонной смеси применяют грунтовые, поверхностные и пресные озерные воды. В воде не должно быть примесей нефтепродуктов, сахаров, фенолов, жиров и органических гуминовых кислот. Содержание растворимых солей допускается в воде для изготовления железобетона с ненапрягаемой арматурой не более 5000 мг/л, в том числе сульфатов не более 2700 мг/л, для бетона преднапрягаемых конструкций – соответственно не более 2000 и 600 мг/л. Водородный показатель воды рН должен находиться в пределах 4...9.

В сомнительных случаях пригодность воды устанавливается сравнительными испытаниями в бетонах.

Морская и другие соленые воды, удовлетворяющие приведенным выше условиям, применяются для приготовления бетонной смеси, за исключением случаев бетонирования внутренних конструкций жилых и общественных зданий. Морскую воду нельзя применять для бетонирования наводных железобетонных сооружений в жарких и сухих местах. Во всех указанных случаях морские соли могут выступить на поверхность бетона, а также вызвать коррозию стальной арматуры.

### 1.5.4. Добавки

Для регулирования свойств вяжущих, для улучшения или придания новых свойств во многих случаях вводят химические добавки. Использование добавок определенного качества и в оптимальном количестве позволяет сознательно управлять процессами структурообразования и создавать высокофункциональные бетоны. Такие искусственные композиты обладают высокой прочностью (более 100 МПа), морозостойкостью (Р400 и выше), водонепроницаемостью W12 и выше), высокой био- и химической стойкостью. Японские исследователи прогнозируют, что срок службы бетонов «нового поколения» – около 500 лет.

Как показала строительная практика, использование добавок позволяет получать ощутимый технико-экономический эффект и повышать долговечность бетонных и железобетонных конструкций и инженерных сооружений, возводимых как из сборного, так и монолитного бетона. Вводимые в небольших количествах – десятых и сотых долях

процента от массы цемента – они существенно влияют на химические процессы твердения цемента и бетона, обеспечивая повышение его технологических и улучшение комплекса физико-механических свойств.

Все добавки (природные или искусственные химические продукты) классифицируются по механизму их действия и разделяются на *четыре класса*:

*1-й* – добавки, изменяющие растворимость минеральных вяжущих материалов и не вступающие с ними в химические реакции (NaCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);

*2-й* – добавки, реагирующие с вяжущими с образованием трудно-растворимых или малодиоцированных комплексных соединений;

*3-й* – добавки – готовые центры кристаллизации («затравки»: CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O);

*4-й* – органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные к адсорбции на поверхности твердой фазы. Снижают гидратацию (замедляют схватывание), но увеличивают подвижность и снижают нормальную густоту.

В зависимости от назначения (основного эффекта действия) *химические добавки для бетонов* по ГОСТ 24211 [19] подразделяются на следующие *виды*:

1. Регулирующие свойства бетонных смесей:

а) пластифицирующие:

– *I группы (суперпластификаторы)*

1. С-3 (разжижитель) — добавка на основе натриевых солей продукта конденсации нафта-линсульфоокислоты и формальдегида. Жидкость темно-коричневого цвета, плотность 1,15–1,20 г/см<sup>3</sup> или несгущивающийся темно-коричневый порошок, легко растворимый в воде. При выпадении осадка перед применением добавки рекомендуется растворить его подогревом или разбавлением горячей водой, после чего тщательно перемешать раствор.

2. 10-03(суперпластификатор) – олигомерный продукт поликонденсации сульфированного три-метилмеламин. Прозрачная, желтоватая, слегка опалесцирующая жидкость, плотность 1,101 г/см<sup>3</sup>, допускается осадок.

3. ДФ (ДОФЕН) – добавка на основе продуктов конденсации сульфокислот нафталина, его производных и аналогов с формальдегидом. При получении используются моечные растворы (отходы)

производства очищенных сортов нафталина. Жидкость темно-коричневого цвета, допускается осадок.

4. МФ-АР (меламинформальдегидная анионоактивная смола марки МФ-АР) – продукт поликонденсации меламина, формальдегида и сульфанилата натрия. Прозрачная, желтоватая жидкость с небольшим количеством взвеси, плотность 1,08...1,12 г/см<sup>3</sup>. Не изменяет своих свойств после замораживания водного раствора до температуры –50 °С и после нагревания до температуры 35 °С. Не допускается разогрев острым паром.

– II группы (*сильнопластифицирующие*)

1. ЛСТМ-2 (лигносульфанат технический модифицированный) – продукт взаимодействия технических лигносульфонатов натрия и водорастворимой карбамидной смолы. Густая жидкость темно-коричневого цвета. Хорошо растворяется в воде.

2. АПЛ (апласан) – продукт переработки сульфатсодержащих отходов акрилатных производств. Темно-коричневая жидкость, плотность 1,10...1,25 г/см<sup>3</sup>, со слабощелочной реакцией. Гарантийный срок хранения 6 мес. По своему действию пластификатор – стабилизатор. Бетонная смесь обладает значительной тиксотропией и повышенной удобоукладываемостью при вибропобуждении. При передозировке возможно замедление темпа твердения.

– III группы (*среднепластифицирующие*)

1. ЛТС – продукт переработки сульфитно-спиртовой барды (ССБ), побочный продукт переработки древесины на целлюлозу сульфитным способом. Вязкая темно-коричневая жидкая (КБЖ) или твердая масса (КБТ), хорошо растворимая в воде. Пожаро-, взрывоопасна, малотоксична. Поверхность КБЖ иногда покрывается налетом плесени, которую рекомендуется удалять. КБТ следует хранить в закрытых проветриваемых помещениях.

2. УПБ (меласная упаренная последрожжевая барда) – смесь гумусовых веществ и минеральных солей – отход производства при изготовлении кормовых дрожжей. Густая сиропообразная темно-коричневая жидкость с запахом жженого сахара, плотность 1,23...1,24 г/см<sup>3</sup>. Гарантийный срок хранения – два года.

3. ВРП-1 (водорастворимый препарат) – смесь натриевых солей продуктов конденсации салициловой кислоты с формальдегидом. Густая жидкость слабо-коричневого цвета, плотность около 1,2 г/см<sup>3</sup>. Пожаро- взрывоопасна, малотоксична. Не замерзает при температуре

–60 °С. Обладает очень низкой воздухововлекающей способностью. Гарантийный срок хранения – 6 мес.

4. С-1 (водорастворимый препарат) – продукт поликонденсации салициловой кислоты, формальдегида и моноэтаноламина. Темно-коричневая жидкость с резким запахом, плотность около 1,2 г/см<sup>3</sup>. Обладает очень низкой воздухововлекающей способностью и выраженным ингибирующим действием. Сохранность подвижности бетонной смеси – около 40 мин.

– IV группы (слабопластифицирующие или пластифицирующие–воздухововлекающие)

1. ЩСПК – щелочной сток производства капролактама, являющийся отходом производства капролактама и представляющий собой водный раствор натриевых солей кислых побочных продуктов воздушного окисления гексана, плотность при 20 °С – 1,1...1,2 г/см<sup>3</sup>, рН раствора 10...13.

2. ЩСПК-м – щелочной сток производства капролактама модифицированный, представляющий собой водный раствор натриевых солей моно- и дикарбоновых кислот, плава соды кальцинированной.

3. СПД-м – продукт, получаемый на основе водорастворимых высококипящих побочных веществ производства изопрена. Представляет собой легкоподвижную, нерасслаивающуюся жидкость от желтого до коричневого цвета.

4. НЧК (нейтрализованный черный контакт) – добавка на основе натриевых или кальциевых солей сульфокислот, хорошо растворима в воде. Жидкость темно-коричневого цвета, плотность 10% – ного водного раствора 1,023 г/см<sup>3</sup>, 30% – ного – 1,063 г/см<sup>3</sup>.

5. КЧНР – водный раствор нейтрализованного кислого гудрона. Жидкость темно-коричневого цвета, хорошо растворима в воде, плотность 1,049 г/см<sup>3</sup>.

6. ГКЖ-10 (этилсиликонат натрия) – прозрачная жидкость от бледно-желтого до коричневого цвета, смешивающаяся с водой во всех соотношениях, плотность 1,19...1,21 г/см<sup>3</sup>.

7. ГКЖ-11 (метилсиликонат натрия) – прозрачная жидкость от бледно-желтого до коричневого цвета, смешивающаяся с водой во всех соотношениях, плотность 1,19...1,21 г/см<sup>3</sup>.

8. ЧСЩ (черный сульфатный щелок) – побочный продукт производства целлюлозы, представляет собой раствор сложной смеси органических и неорганических веществ. Содержит едкий натр,

карбонат, сульфат, тиосульфат и сульфид натрия, лигнин и продукты его деструкции, сахара и продукты разложения гемицеллюлоз, натриевые соли смоляных и жирных кислот.

9.  $M_1$  – натриевые соли нерастворимых в воде органических кислот. Поставляется в виде пастообразного продукта с содержанием сухих веществ не менее 70% в металлических или деревянных бочках:

- а) стабилизирующие;
- б) водоудерживающие;
- в) улучшающие перекачиваемость (гипан ГП, полиоксиэтилен ПОЭ, бентонитовая глина БГ, метилцеллюлоза водорастворимая МЦ);
- г) регулирующие сохранияемость бетонных смесей:
  - замедляющие схватывание;
  - ускоряющие схватывание;
- д) поризующие (для легких бетонов):
  - воздухововлекающие (смола нейтрализованная воздухововлекающая СНВ, смола древесная омыленная СДО, сульфанол С);
  - пенообразующие (неопор, морпен и др.);
  - газообразующие (пудра алюминиевая ПАП и ПАП-1, пергидрольтехнический, пудра алюминиевая ПАК).

2. Регулирующие твердение бетона:

- а) замедляющие твердение (кормовая сахарная патока (меласса) КП, молочная сыворотка);
- б) ускоряющие твердение (поташ П (карбонат калия  $K_2CO_3$ ),  $CaCl_2$  и др.)

3. Повышающие прочность и (или) коррозионную стойкость, морозостойкость бетона и железобетона, снижающие проницаемость бетона:

- а) водоредуцирующие I, II, III и IV групп (вещества, позволяющие получать бетонные смеси требуемой удобоукладываемости с пониженным расходом воды);
- б) кольматирующие (вещества, способствующие заполнению пор в бетоне водонерастворимыми продуктами (битумная эмульсия БЭ, диэтиленгликолевая смола ДЭГ-1 и др.);
- в) воздухововлекающие;
- г) газообразующие;
- д) повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы коррозии стали) (нитрит натрия НН, нитрит-нитрат кальция ННК и др.).

4. Придающие бетону специальные свойства:

- а) гидрофобизирующие I, II и III групп (полигидросилоксаны 136-41 (бывш. ГКЖ-94) и 136-157М9 бывш. ГКЖ-94М);
- б) противоморозные (обеспечивающие твердение при отрицательных температурах) (нитрит натрия, карбамид (мочевина) М и др.);
- в) биоцидные (катамин, ластонокс и др.);
- г) полимерные (метилцеллюлоза водорастворимая МЦ).

5. Тонкодисперсные минеральные добавки:

- а) неактивные (глинистые грунты, пески, известняки-ракушечники);
- б) активные (золы и шлаки ТЭС, диатомит, трепел);
- в) минеральные пластифицирующие (тонкомолотые кремнеземистые горные породы, известковое тесто).

6. Комплексные добавки:

- а) комплексные химические добавки (дефомикс, сульфанол + мездровый клей и др.);
- б) органоминеральные добавки.

Область применения добавок зависит от вида бетона, типа конструкций и условий их эксплуатации. Определить возможность и необходимость использования химических добавок следует по справочным материалам [20, 21].

При выборе химических добавок необходимо учитывать, что некоторые из них обладают токсичностью. Например, добавки НН, ННК и ННХК ядовиты, СПД, ПАЦ – умеренно токсичны.

Основными показателями для принятия окончательного решения по использованию добавок должны быть прежде всего требования охраны труда и окружающей среды, высокое качество продукции завода и экономичность производства.

*Приготовление водных растворов добавок и бетонной смеси*

Приготовление бетонной смеси с добавками отличается от технологии приготовления обычного бетона тем, что в бетоносмеситель вместе с водой затворения подается необходимое на замес количество добавки, установленное при подборе состава бетона. Для введения необходимого количества водорастворимых добавок в бетонную смесь заранее готовят водные их растворы рабочей концентрации, а для нерастворимых в воде добавок – водные суспензии или эмульсии.

Концентрацию рабочего раствора добавки  $K$ , % следует определять по формуле

$$K = 2D/n,$$

где  $D$  – дозировка добавки в расчете на сухое вещество на замес с минимальным расходом цемента, кг;

$n$  – допустимая по классу точности абсолютная погрешность дозатора, кг.

В зависимости от количества вводимого рабочего раствора добавки могут дозироваться либо дозатором воды, либо дозатором добавок с последующей подачей в дозатор воды.

Для объемного дозатора концентрация рабочего раствора добавки должна назначаться такой, чтобы объем раствора не выходил за пределы точности самого дозатора в расчете на замес с минимальным и максимальным расходом цемента.

Расход раствора рабочей концентрации  $A$ , л на 1 м<sup>3</sup> бетона находится по формуле

$$A = Ц \cdot C / (K \cdot П),$$

где  $Ц$  – расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;

$C$  – дозировка добавки, % массы цемента;

$K$  – концентрация рабочего раствора, %;

$П$  – плотность рабочего раствора, г/см<sup>3</sup>.

Количество воды, не достаемое на затворение 1 м<sup>3</sup> бетона  $H$ , л определяется из условия

$$H = B - A \cdot П(1 - 0,01K),$$

где  $B$  – расчетный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона, л.

В случае приготовления рабочего раствора добавки из жидкого продукта необходимое количество последнего  $P$ , л для заправки приготовительной емкости вычисляется по формуле:

$$P = Q \cdot D_1 / D,$$

где  $Q$  – объем приготовляемого раствора, л;

$D_1$  – содержание безводного вещества добавки в 1 л приготовляемого раствора, кг;

$D$  – то же, в 1 л жидкого продукта.

В этом случае необходимое количество воды  $\Phi$ , л для заправки приготовительной емкости определяется по формуле:

$$\Phi = Q - P.$$

Разработаны типовые проекты по приготовлению растворов химических добавок для бетонов на бетоносмесительных узлах.

Функциональная схема приготовления рабочих растворов из жидкого продукта приведена на рис. 5.

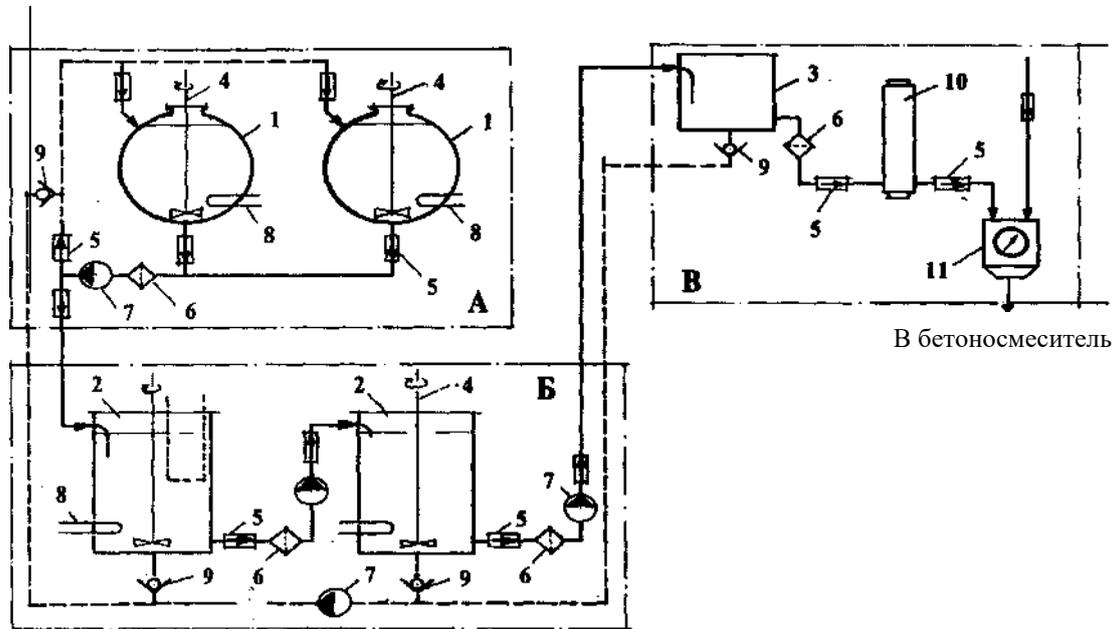


Рис. 5. Технологическая схема приготовления добавок:

- 1 – приемная емкость; 2 – приготовительный бак; 3 – расходный бак;  
 4 – мешалка; 5 – клапан; 6 – фильтры; 7 – насосы; 8 – труба для подачи пара;  
 9 – обратный клапан; 10 – дозатор добавки; 11 – дозатор воды

Отделение добавок предназначено для приема и хранения жидкого продукта (А), приготовления рабочего раствора (Б) и подачи его в бетоносмесительное отделение (В).

Поступающая в цистернах жидкая добавка сливается в один из баков для хранения, которые оборудованы мешалкой и паровыми регистрами. Товарный продукт (жидкая добавка) через клапан и фильтр насосом подается в приготовительный бак, где готовится раствор

добавки рабочей концентрации. В зависимости от содержания сухого вещества в товарном продукте и его количества в приготавительный бак подается определенное количество воды. Для повышения скорости растворения продукта рекомендуется подогревать воду до 40...70°C и перемешивать растворы. Готовый рабочий раствор однокомпонентной добавки через клапан и фильтр насосом подается в расходный бак, расположенный в надбункерном отделении БСУ.

Растворы добавок из твердых и пастообразных продуктов готовятся их растворением в заданном количестве воды (при необходимости твердые продукты следует предварительно дробить). После полного растворения продукта с помощью ареометра проверяется плотность полученного раствора и доводится до заданной величины путем добавления либо воды, либо продукта.

При применении комплексных добавок следует использовать отдельные установки для приготовления и дозирования водных растворов, эмульсий и суспензий каждого из компонентов. Смешивание компонентов комплексной добавки производится непосредственно перед поступлением в бетоносмеситель в дозаторе воды.

Растворы добавок рабочей концентрации следует хранить при положительной температуре (в условиях цеха), а твердые, пастообразные и жидкие продукты добавок – в соответствии с требованиями технических условий и стандартов на добавки. Перед перекачкой растворов-добавок из одной емкости в другую их следует тщательно перемешивать.

Бетонные смеси с добавками следует готовить в смесителях циклического действия гравитационного или принудительного перемешивания. Оптимальная продолжительность перемешивания смеси должна обеспечить получение однородной смеси требуемой консистенции. Время перемешивания определяется по справочным данным и уточняется опытным путем заводской лабораторией.

Последовательность загрузки смесителя материалами зависит от способа дозирования жидкостей. На предприятии могут применяться два способа введения добавки:

- однократное дозирование жидкости – совместное введение воды затворения и добавки в бетоносмеситель;
- двукратное дозирование жидкости – введение раствора добавки в бетонную смесь после её перемешивания с частью воды затворения.

*Основные положения техники безопасности  
и производственной санитарии  
при складировании и приготовлении химических добавок*

Химические добавки должны отпускаться, перевозиться и храниться на складах в закрытой таре. Добавки, затаренные в бумажные мешки, деревянные ящики, металлические барабаны, должны складироваться на поддонах в штабелях. Высота штабеля при механизированной укладке должна быть менее 2,5 м, а при ручной — менее 1,5 м. Добавки в других упаковках (стеклянные бутылки, металлические канистры, картонные коробки и другие) должны храниться на стеллажах.

Вентиляция помещений, в которых производятся работы с добавками, должна соответствовать требованиям СНиП 2.04.05.

В местах приготовления водных растворов добавок должны быть вывешены инструкции по безопасной работе и оказанию первой помощи.

Кристаллические добавки нитрита и нитрата натрия, нитрата кальция должны храниться в упакованном виде в вентилируемых, закрытых и сухих складских помещениях. Запрещается совместное хранение этих продуктов с другими солями, с легковоспламеняющимися газами и жидкостями, органическими веществами, горючими материалами, веществами на спиртовой основе, радиоактивными веществами, а также — с едкими, коррозионно-активными и взрывчатыми веществами.

НН, ННК и ННХК являются ядовитыми веществами. Емкости для хранения, приготовления и переноски водных растворов этих добавок, а также добавок БХН и БХК необходимо обозначать предупредительной надписью «Яд».

Химические добавки мочевины и соединение нитрата кальция с мочевиной, являясь пожароопасными продуктами, должны храниться в отдельных складах с несгораемыми стенами не ниже I степени огнестойкости.

Запрещается применение электропрогрева для бетона с газообразующими добавками: ПАК, ПГЭН, полигидросилоксанов 136-41, 136-157М.

Водные растворы добавок суперпластификаторов неопасны, но продукты, образующиеся после их высыхания, могут образовывать взрывоопасную смесь, поэтому места их проливов в помещении, а также тара и лабораторная посуда должны быть промыты водой.

В местах хранения и работы с концентрированными растворами добавок ЩСПК, ЩСПК-М2 и СПД-м запрещается курение и применение открытого огня.

При производстве газобетонов должны применяться взрывобезопасные алюминиевые пасты, приготовляемые из алюминиевой пудры в отдельном помещении. Алюминиевая пыль по степени воздействия на организм человека относится к 4 классу опасности, поэтому её ПДК в воздухе рабочей зоны не должна превышать  $2 \text{ мг/м}^3$ .

Алюминиевая пудра во взвешенном состоянии в атмосфере воздуха (аэрозоль) взрывоопасна, а в насыпном состоянии (аэрогель) пожароопасна, поэтому металлические банки с пудрой должны храниться на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов. Пылящие места загрузки и выгрузки у бункеров, виброгазобетоносмесителей должны быть оборудованы укрытиями, подключенными к аспирационным системам.

При применении комплексных добавок для приготовления и дозирования водных растворов каждого из компонентов должны использоваться отдельные емкости. Смешивание компонентов комплексных добавок должно производиться в дозаторе воды непосредственно перед их подачей в бетоносмеситель. Подача растворов химических добавок в бетонные смеси должна производиться по трубам из дозаторов с автоматическим управлением.

Перед допуском к работе рабочие должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с добавками. К работе с добавками допускаются рабочие, прошедшие медицинское освидетельствование и обученные безопасным методам работы с химикатами.

При случайном попадании вредных веществ на кожу их следует смыть проточной водой.

### *1.5.5. Арматурная сталь*

*А*рмирование железобетонных конструкций осуществляют отдельными стержнями, сетками, пространственными каркасами, проволокой. Стержневую горячекатаную арматуру изготовляют гладкой (класс А-I) или периодического профиля (классов А-II, А-III, А-IV и А-V). Лучшими характеристиками обладает горячекатаная арматура периодического профиля классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI, подвергнутая термическому упрочнению. При обозначении класса такой арматурной стали

к индексу "А" добавляют индекс "т", стали для конструкций, используемых в районах Севера – "с", например Ат-Шс. Сталь с повышенной стойкостью против коррозионного растрескивания обозначают А-IVК-АVIК, термически обработанную свариваемую сталь – АШС, АIVС. Арматурная холодноотянутая проволока также может изготавливаться гладкой (классов В-I и В-II) либо периодического профиля (классов Вр-I и Вр-II). Высокопрочная проволока класса В-II намного превосходит обыкновенную класса В-I по механическим свойствам. В последнее время в железобетонных конструкциях в качестве ненапрягаемой арматуры предпочтение отдают стержневой арматурной стали классов А-III и Ат-IVС, а также арматурной проволоке Вр-I. К эффективным видам напрягаемой арматуры относятся стержневая арматурная сталь классов А-V, А-VI, Ат-V и Ат-VI, высокопрочная проволока и получаемые из нее арматурные канаты.

Наиболее употребительные виды арматурных сталей и их основные характеристики приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Характеристики стальной арматуры**

Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм	Нормативное значение	
			предела, текучести, МПа, не менее	временного сопротивления разрыву, МПа, не менее
А-I	Ст3сп3	6-40	240	-
А-II	ВСт5сп2	10...40	300	-
	10ГТ	10...32	300	-
А-III	35ГС	6...40	400	-
	25Г2С	6...40	400	-
	80С	10...18	600	-
А-IV	20ХГ2Ц	10...22	600	-
А-V	23Х2Г2Т	10...22	800	-
Ат-IV	-	10...25	600	-
Ат-V	-	10...25	800	-
Ат-VI	-	10...25	1000	-
В-I	-	3...5	-	550
Вр-II	-	3...5	-	550...525
В-II	-	3...8	-	1900...1400
Вр-II	-	3...8	-	1800...1300

## *1.6. Расчет материального баланса*

Расчет выполняется с целью выявления потребностей в сырьевых материалах, полуфабрикатах, комплектующих деталях и готовых изделиях по всем переделам технологического процесса. Данные расчета баланса используются для проектирования складов цемента и заполнителей, бетоносмесительных узлов, бетоносмесительного цеха, склада арматурной стали и арматурного цеха, формовочных линий и тепловых установок формовочных цехов и складов готовой продукции.

Исходными данными для расчета материального баланса служат годовая мощность предприятия, номенклатура продукции цехов и предприятия в целом и допустимые нормы потерь материалов.

Порядок расчета:

- 1) определяются расходы компонентов на каждый вид и марку бетона в соответствии с номенклатурой продукции бетоносмесительного цеха (см. табл. 8);
- 2) определяется усредненно-условный состав бетона;
- 3) рассчитывается материально-производственный поток с учетом потерь по всем технологическим зонам (переделам).

### *1.6.1. Определение расхода компонентов бетона (состав бетона)*

Расход компонентов бетона: воды, цемента, мелкого и крупного заполнителей, химических и тонкомолотых добавок – определяют предварительным расчетом состава бетона по соответствующим методикам [5, 24, 25].

Расчет состава бетона на пористых заполнителях с применением отходов других производств (горелых пород, граншлаков, зол и др.), определение оптимального варианта сочетания различных заполнителей и отходов в композиционных легких бетонах проводится по учебному пособию.

Расчет составов газобетона и силикатного бетона проводится по дополнительным методикам.

Результаты расчетов всех составов бетона сводятся в табл. 8.

## Результаты расчетов составов бетона

Вид бетона	Класс бетона	Предельная крупность заполнителя, мм	Удобукладываемость, см	Расходы материалов, кг/л на 1 м <sup>3</sup> бетона						
				Вода	Цемент	Щебень	Песок кварце- вый	Керамзито вый		Зола
								гравий	песок	
1. Тяжелый	B15	20	4–5	B <sub>1</sub>	Ц <sub>1</sub>	Щ <sub>1</sub>	П <sub>1</sub>	–	–	–
2. Тяжелый	B22,5	20	10–15	B <sub>2</sub>	Ц <sub>2</sub>	Щ <sub>2</sub>	П <sub>2</sub>	–	–	–
3. Керамзито- бетон	B12,5– B22,5	20	2–4	B <sub>3</sub>	Ц <sub>3</sub>	–	П <sub>3</sub>	К <sub>3</sub>	–	–
4. Керамзито- бетон	B7,5– B12,5	40	2–4	B <sub>4</sub>	Ц <sub>4</sub>	–	–	К <sub>4</sub>	П <sub>к</sub>	З <sub>4</sub>

## 1.6.2. Определение усредненно-условного состава бетона

Для определения усредненно-условного состава бетона подсчитывается доля каждого состава в общей производительности бетоносмесительного цеха, для чего данные графы 7 из табл. 2 (годовые потребности завода в смесях всех разновидностей) делят на 100. Например, согласно табл. 2, годовая потребность в бетонной смеси для бетона № 1 принята 50%, следовательно, доля этого бетона  $\Delta_1=0,5$ , для бетона № 2...20%, соответственно доля  $\Delta_2=0,2$ , для бетона № 3...18%,  $\Delta_3=0,18$  и для бетона № 4...12%, доля  $\Delta_4=0,12$ . Затем подсчитываются расходы компонентов усредненно-условного состава бетона ( $B_y$ ;  $Ц_y$ ;  $Щ_y$ ;  $П_y$ ;  $К_y$ ;  $П_{кy}$ ;  $З_y$ ), для чего используются следующие формулы:

$$1. \text{ Расход воды } B_y = \Delta_1 B_1 + \Delta_2 B_2 + \Delta_3 B_3 + \Delta_4 B_4$$

$$2. \text{ Расход щебня } Щ_y = \Delta_1 Щ_1 + \Delta_2 Щ_2$$

3. Расход песка кварцевого  $П_y = \Delta_1 П_1 + \Delta_2 П_2 + \Delta_3 П_3$

4. Расход керамзитового гравия  $K_y = \Delta_3 K_3 + \Delta_4 K_4$

5. Расход цемента  $Ц_y = \Delta_1 Ц_1 + \Delta_2 Ц_2 + \Delta_3 Ц_3 + \Delta_4 Ц_4$

6. Расход песка керамзитового  $П_{кy} = \Delta_4 B_4$

7. Расход золы  $З_y = \Delta_4 Z_4$

Усредненно-условный состав бетона необходим для упрощения расчета потребности проектируемого предприятия в сырьевых материалах в час, в сутки, в год.

Следует применять эту методику и при определении потребностей завода (цеха) в арматурных сталях различных классов и диаметров, а также добавок.

В сокращенных вариантах (в проектах реконструкции, по переоснащению или в проектах с научно-исследовательской частью) расход материалов можно принимать по нормативам ОНТП-7–85 [7].

### *1.6.3. Расчет материального баланса*

*Д*ля расчета материального производственного потока уточняется деление производственного процесса на технологические зоны и нормы неизбежных потерь материалов по зонам.

Зона 1: транспортно-сырьевой участок. Потери цемента 1%, щебня 1%, песка 2%.

Зона 2: склады сырья. Потери цемента 1%, щебня 1,5%, песка 2%.

Зона 3: бетоносмесительный узел (армоцех). Потери бетонной смеси 1%.

Зона 4: формовочные линии. Потери бетонной смеси 0,5%.

Зона 5: участок термообработки и доводки изделий. Потери 0,5%.

Зона 6: склад готовой продукции. Потери 0,5%.

Затем подсчитывают необходимые производительности технологических переделов и потребности в материалах, начиная с зоны 6 (склад готовой продукции) по формуле

$$\Pi_n = \frac{\Pi_{n+1}}{1 - \frac{Q_n}{100}},$$

где  $\Pi_n$  – производительность в зоне  $n$  ( $n$  – номер зоны), м<sup>3</sup>/год;  
 $\Pi_{n+1}$  – производительность в зоне, следующей за рассчитываемой (зона номер  $n+1$ ). Для зоны 6  $\Pi_{n+1}$  равна заданной производительности завода ( $\Pi_{n+1} = \Pi_{завода}$ );

$Q_n$  – производственные потери в зоне, %.

$$Ц = \frac{\Pi_3 \cdot Ц_y}{1 - \frac{Q_2}{100}};$$

$$Щ = \frac{\Pi_3 \cdot Щ_y}{1 - \frac{Q_2}{100}},$$

где  $\Pi_3$  – производительность в зоне 3;

$Ц_y$  – расход цемента на 1 м<sup>3</sup> условного бетона, т;

$Q_2$  – потери цемента (1% в зоне 2);

$Щ_y$  – расход щебня на 1 м<sup>3</sup> условного бетона, т;

$Q_2$  – потери щебня (1,5%) в зоне 2.

Аналогично ведется расчет потребностей завода в других материалах.

После расчета необходимых производительностей переделов и годовых потребностей в материалах в зонах 2 и 1 подсчитываются суточные (м<sup>3</sup>/сут) и часовые (м<sup>3</sup>/ч) производительности (потребности) в зонах:

$$\Pi_{сут} = \left[ \frac{\Pi}{(T_n - T_p) \cdot K_u} \right];$$

$$\Pi_{ч} = \frac{\Pi}{T_{\phi}},$$

где  $T_n$  – номинальное количество суток (260) в году (см. разд. 3);

$T_p$  – длительность плановых остановок на ремонт, сут (см. разд. 3);

$K_u$  – коэффициент использования технологического оборудования;

$T_\phi$  – годовой фонд рабочего времени оборудования, ч (см. разд. 3).

Результаты расчетов заносят в сводную таблицу (табл. 9).

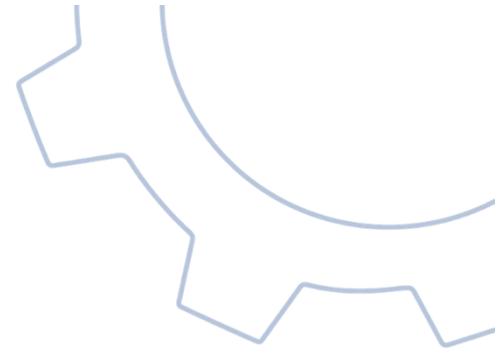
Таблица 9

**Материальный баланс проектируемого предприятия**

Номер зоны	Передел	Неизбежные потери, %	Единица измерения	Потребность в материалах		
				в год	в сутки	в час
0	Реализация ЖБИ	0,0	м <sup>3</sup>	П	$\frac{П}{(T_n - T_p) \cdot K_u}$	$\frac{П}{T_\phi}$
6	Склад готовой продукции	0,5	м <sup>3</sup>	$П_6 = \frac{П}{1 - \frac{0,5}{100}}$	...	...
5	Термообработка	0,5	м <sup>3</sup>	...	...	...
4	Формовочные линии цеха	0,5	м <sup>3</sup>	...	...	...
3	Бетоносмесительный узел, армоцех	1,0	м <sup>3</sup>	...	...	...
2	Склад сырья: цемент	1,0	т	$Ц_2 = \frac{П_3 \cdot Ц_y}{1 - \frac{1}{100}}$	$\frac{Ц_2}{(T_n - T_p) \cdot K_u}$	$\frac{Ц_2}{T_\phi}$
	щебень	1,5	т	...	...	...
	песок	2,0	т	...	...	...
1	Транспортно-сырьевой участок: цемент	1,0	т	$Ц_1 = \frac{Ц_2}{1 - \frac{1}{100}}$	...	...
	щебень	1,0	т	...	...	...
	песок	2,0	т	...	...	...

### *Контрольные вопросы*

1. Как определяется производительность завода по номенклатуре?
2. Какими параметрами следует руководствоваться при расчёте режима работы предприятия?
3. Что необходимо учитывать при выборе вида вяжущих?
4. Каковы основные положения механизма отвердевания вяжущей системы по М.М. Сычёву?
5. Какова роль заполнителей в бетоне?
6. Как классифицируются добавки по механизму действия?
7. Как осуществляется армирование железобетонных конструкций?
8. В чём состоит сущность расчёта материального баланса?



## 2. Проектирование складов и вспомогательных цехов предприятий сборного железобетона

### 2.1. Проектирование склада цемента

Цемент на заводах ЖБИ хранится в силосных складах, которые, в зависимости от вида транспорта (железнодорожного, автомобильного, водного), могут быть: прирельсовые, притрассовые, береговые.

Береговые склады цемента используются, когда экономически выгодно использовать самый дешевый вид транспорта – водный, и при отсутствии других транспортных связей с цементным заводом. В северные районы Сибири и Крайнего Севера цемент транспортируется преимущественно водным транспортом (в исключительных случаях автотранспортом по зимникам).

При проектировании склада цемента необходимо предусматривать раздельное хранение цемента по видам и маркам.

Требуемая вместимость склада цемента определяется по формуле

$$V_{\text{ц}} = \frac{Ц_{\text{сут}} \cdot n}{K_3},$$

где  $Ц_{\text{сут}}$  – суточная потребность завода в цементе, т (см. табл. 9);

$n$  – нормативный запас цемента, сут;

$K_3$  – коэффициент заполнения емкости склада, равный 0,9.

Нормы запаса цемента на складах при поставке железнодорожным транспортом – 7...10 сут; автомобильным – 5...7 сут; водным в районы

Крайнего Севера – 12 мес. (365 сут); в северные районы Сибири – 8 мес. (240 сут); в южные районы Сибири – 5...6 мес. (150...180 сут).

В настоящее время институтом Гипростроммаш разработаны типовые проекты автоматизированных прирельсовых и притрассовых складов цемента (табл. 10) [6].

Схемы типового склада цемента и описание приведены в учебнике [22], чертежи и схемы – в справочнике [29].

Таблица 10

**Типовые склады цемента**

Показатели	Тип склада, шифр					
	прирельсовые				притрассовые	
	409-29-61	409-29-63	409-29-65	409-26-66	409-29-62	409-29-64
Вместимость, т	360	720	1700	4000	860	720
	240	480	1100	2500	240	480
Количество силосов, шт.	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{6}{4}$
	$\frac{17,30}{11,5}$	$\frac{36,72}{24,48}$	$\frac{102,0}{71,4}$	$\frac{204,0}{138,6}$	$\frac{17,30}{11,5}$	$\frac{34,5}{23,0}$
Грузооборот, тыс. т/год	156,1	212	411	482	50,8	50,8
	141,6	208	403	404	60,8	60,8
Себестоимость складирования, р/т	$\frac{1,65}{2,18}$	$\frac{1,02}{1,29}$	$\frac{0,73}{0,87}$	$\frac{0,5}{0,37}$	$\frac{0,68}{0,89}$	$\frac{0,54}{0,42}$
	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$

*Примечание.* В числителе – показатели складов, состоящих из 6 силосов, в знаменателе – из 4 силосов.

Склад размещается вблизи БСУ с подветренной стороны от формовочных и административно-бытовых корпусов. Цементопровод со склада в БСУ выбирается по кратчайшему пути с наименьшим количеством изгибов. С точки зрения экономии цемента при складе рационально предусматривать участок домола с целью повышения или восстановления у залежавшегося цемента активности. Весьма эффективен сухой домол цемента с минеральными добавками (песка до 30...35%, граншлака до 50%). Домол с добавками снижает расход цемента,

улучшает свойства бетонной смеси и повышает скорость и степень гидратации цемента.

В северных районах организация участка домола цемента при складах обязательна, так как необходимость 5...12-месячного запаса цемента влечет за собой значительные потери его активности.

Домолотый цемент сразу подается в расходные бункеры БСУ.

## *2.2. Проектирование склада заполнителей*

Существующие типы складов заполнителей можно классифицировать:

- 1) по способу хранения – открытые, закрытые и частично закрытые;
- 2) по виду емкости – штабельные (материал складировается на выровненной площадке, по длине разделенной стенками на отсеки), бункерные, полубункерные, силосные и траншейные;
- 3) в зависимости от вида транспорта и расположения склада к транспортным путям – прирельсовые, притрассовые, береговые и комбинированные;
- 4) по виду оборудования для загрузки склада – эстакадные (заполнитель загружается в емкости сверху с помощью ленточного транспортера со сбрасывающей тележкой), грейферные (мостовой кран с грейферным захватом ходит над складскими емкостями), со штабелирующей машиной С-492 (ТР-2);
- 5) по виду оборудования для разгрузки склада и подачи заполнителей в БСУ – галерейные (забор материала производится через затворы на ленточный транспортер, расположенный в подземной галерее под складскими емкостями), бункерные (материал из емкостей подается в приемные бункера грейферным краном, автопогрузчиком или бульдозером).

Береговые склады для загрузки и разгрузки обычно оборудуются башенным краном с грейферным захватом. Наиболее надежными с точки зрения сохранения качества заполнителей, полной механизации и автоматизации складских операций в условиях Сибири и Северных районов являются два типа склада [22]:

- 1) комбинированный (прирельсово-притрассовый), полубункерный, эстакадно-галерейный, закрытый;
- 2) комбинированный эстакадно-силосный.

Эти склады по сравнению со штабельно-галерейным с разгрузочно-штабелирующей машиной С-492 требуют на 40...60% больше капиталовложений, но ниже на 10...20% трудоемкость и на 3...7% себестоимость складской переработки заполнителей. Самое главное преимущество полубункерного и силосного складов – это полная гарантия сохранения качества заполнителей, максимальная механизация и возможность автоматизации всех складских операций.

Критериями выбора типа склада являются климатические условия, свойства заполнителей и стоимость их переработки. В районах Сибири, Урала и Дальнего Востока необходимо проектировать только закрытые склады.

Расчет склада проводится, исходя из потребности в сырьевых материалах, нормативных запасов и конкретной характеристики принятого типа склада. Расчеты сводятся к определению вместимости, площади и геометрических размеров склада. Емкость ( $m^3$ ) в складе для хранения каждого вида заполнителя рассчитывается по формуле

$$V_c = Z_{сут} \cdot n \cdot K_\phi \cdot K_3,$$

где  $Z_{сут}$  – суточная потребность предприятия в данном виде заполнителя ( $Щ_2$ ,  $П_2$ ,  $K_2$  и т.д., см. табл. 9);

$n$  – нормативный запас заполнителя, сут (значения  $n$  такие же, как и для цемента);

$K_\phi$  – коэффициент, учитывающий необходимое увеличение емкости склада при хранении нескольких фракций заполнителей (две фракции  $K_\phi=1,05$ ; три –  $K_\phi=1,10$ ; четыре –  $K_\phi=1,15$ );

$K_3$  – коэффициент загрузки; для штабельных, траншейных, полубункерных и бункерных складов  $K_3=1,2$ , для силосных  $K_3=1,1$ .

Общая вместимость склада заполнителей подсчитывается как сумма емкостей для хранения каждого вида заполнителя.

По общей необходимой вместимости склада выбирается типовой склад заполнителя, принятого по климатическим условиям [6, 22, 24].

Привязка типового склада осуществляется вблизи транспортных магистралей и на минимально необходимом расстоянии от БСУ, чтобы транспортная связь (галерея) между ними была как можно короче.

Минимальную длину галереи (расстояние по горизонтали, м) подачи заполнителей из приемных бункеров в склад или со склада в расходные бункера можно подсчитать по формуле

$$L=A \cdot (H+X),$$

где  $A=3,25$  при подаче по галерее щебня и песка (максимальный угол наклона транспортера  $18^\circ$ );

$A=4$  при подаче гравия и керамзита (угол наклона транспортера  $14^\circ$ );

$H$  – высота подачи материала, м;

$X$  – количество перегрузок материала с транспортера на транспортер при изменении направления подачи. В этом случае учитывается потеря высоты подъема материала при перегрузке ленточным транспортером примерно на 1 м.

При выборе силосного склада определяется количество силосов. Силосы могут иметь диаметр 5...10 м и высоту 12...25 м. В типовом складе приняты силосы диаметром 5 м и высотой 14 м.

### *2.3. Проектирование бетоносмесительного узла (БСУ)*

*И*сходными данными для проектирования БСУ являются вид и расчетная потребность предприятия в бетонной смеси, вид и требуемое количество сырьевых компонентов, способ подачи бетонной смеси в формовочные цеха.

БСУ предназначены для приготовления:

- 1) бетонной смеси на плотных заполнителях;
- 2) бетонных и растворных смесей;
- 3) растворной смеси и смеси ячеистого бетона;
- 4) только смеси ячеистого бетона;
- 5) смеси силикатного бетона;

6) смеси бетона на пористых заполнителях и раствора. В настоящее время для производства обычного и легкого бетонов на пористых заполнителях и раствора наибольшее распространение получила типовая автоматизированная высотная (вертикальная) стационарная одно-, двух- и трехсекционная БСУ 409-28-29 циклического действия с двумя смесителями в каждой секции [31]. БСУ состоит из четырех отделений: надбункерного, дозаторного, смесительного и выдачи бетонной смеси.

В смесительном отделении БСУ могут устанавливаться смесители принудительного действия СБ-93, смесители принудительного действия с пароподогревом СБ-112, смесители для приготовления

отделочных растворов и теплоизоляционных керамзитобетонов СБ-108, для приготовления керамзитобетонных смесей СБ-120 и др. [6]. Применяются и другие типовые секции БСУ, приведенные в [6, табл. 27.8].

Расчет БСУ заключается в следующем:

1. Определяется требуемая часовая производительность БСУ по формуле

$$P_{б.ч} = P_3 \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где  $P_3$  – часовая производительность БСЦ по результатам расчета материального баланса (см. табл. 6);

$K_1$  – коэффициент резерва производства,  $K_1 = 1,2$ ;

$K_2$  – коэффициент неравномерности выдачи и потребления бетонной смеси,  $K_2 = 1,25$ .

2. Определяется часовая производительность бетоносмесителя по формуле

$$Q_ч = \frac{60 \cdot V_з \cdot K_u}{t_ч} \quad \text{или} \quad Q_ч = n_ч \cdot V_з \cdot K_u,$$

где  $V_з$  – объем одного готового замеса, м<sup>3</sup>;

$K_u$  – коэффициент использования оборудования, равный 0,97;

$t_ч$  – время цикла приготовления одного замеса, мин.

Для пластичных смесей с осадкой конуса более 6 см  $t_ч = 1,5 \dots 2$  мин, 2...6 см –  $t_ч = 2 \dots 2,5$  мин, для жестких смесей –  $t_ч = 2,5 \dots 3$  мин, для растворных смесей и смесей на пористых заполнителях  $t_ч = 3,5 \dots 4$  мин;

$n_ч$  – расчетное число замесов в 1 час, определяется по нормам технологического проектирования [5] или по справочнику [6].

3. Необходимое количество смесителей подсчитывается по формуле

$$Z = \frac{P_{б.ч}}{Q_ч}.$$

По нормам устанавливается число и емкость расходных бункеров для крупных, мелких заполнителей и цементов.

Так как в настоящее время созданы типовые проекты БСУ и секций, то после определения необходимого количества смесителей выбирается типовая секция или БСУ [6] и делается их привязка к складам сырья и формовочным цехам завода. Место БСУ определяется на генплане завода из условий минимально необходимой длины галереи подачи заполнителей со склада в БСУ и наименьшего расстояния транспортирования бетонной смеси от БСУ к постам формования технологических линий формовочного цеха.

Описание конструкций БСУ и описание конструкций и правил эксплуатации оборудования приведены в [31, 32].

## *2.4. Проектирование арматурного цеха*

*И*зготовление арматуры на заводах железобетонных изделий осуществляется в едином технологическом потоке, который предусматривает приемку с транспортных средств, складирование и хранение арматурной стали на складе, транспортировку ее со склада в собственно арматурный цех. В цехе предусматриваются также складирование некоторого задела продукции арматурного цеха и комплектная ее доставка на участки подготовки форм технологических линий формовочных цехов в соответствии с их потребностями.

Арматурные цехи могут быть узкоспециализированными (выпускают до пяти изделий) и широкой номенклатуры – для обеспечения производства всего комплекта изделий жилищного, промышленного или сельского строительства и др. На заводах сборного железобетона арматурный цех, как правило, блокируют с формовочными цехами по трем вариантам расположения: в пролетах формовочного цеха впереди формовочных линий, в отдельном пролете параллельно пролетам формовочных цехов и в отдельном пролете, расположенном поперек (с торцов) формовочных пролетов.

### 2.4.1. Состав арматурного цеха

Арматурный цех состоит из склада арматурной стали, собственно арматурного цеха, транспортных связей между ними и транспорта продукции арматурного цеха и в технологические пролеты формовочных цехов.

Технологический поток изготовления продукции арматурного цеха условно делится на пять участков:

- 1) заготовительный;
- 2) сварочный;
- 3) участок укрупнительной сборки;
- 4) изготовления закладных деталей;

5) комплектации, складирования и выдачи продукции цеха. Заготовительный участок включает в себя: место для отдельного хранения расходуемого запаса (на 6...24 и более часов), арматурной стали в бухтах, стержнях и профилей; линий правильно-отрезных станков для заготовки элементов арматуры из бухтовой стали (2...5 шт.); линий заготовки элементов из стержневой стали, в т.ч. и безотходной; установок для изготовления анкеров на концах преднапрягаемых арматурных элементов (высадка головок, обжатие муфт, гильз и др.); один-два станка (пресс-ножницы) для резки коротких заготовок из более длинных, два и более гибочных станков для гибки арматурных стержней, петель, хомутов и др. На этом участке при необходимости размещают установки для упрочнения стали (термической или вытяжной), гильотинные ножницы для раскроя листовой, полосовой стали или профиля. Около каждой линии или станка предусматривается место для установки контейнеров с исходным материалом и под обработанные заготовки.

Сварочный участок объединяет следующие посты и сварочные линии: посты с однотоочечными сварочными машинами для производства плоских узких сеток и каркасов; линии с многотоочечными машинами для сварки: а) узких (до 800 и 1200 мм) сеток; б) широких (до 3000 мм) сеток из бухтовой стали диаметром до 10...12 мм; в) широких (до 3050 мм) и узких (до 1500 мм) сеток с тяжелыми продольными стержнями диаметром до 40 мм или для изготовления (сварки) пространственных унифицированных круглого или прямолинейного сечения каркасов; один-два поста электродуговой сварки для изготовления

элементов специальных или особой конструкции арматурных изделий; места для установки контейнеров с заготовками и контейнеров с готовыми сетками и каркасами.

Участок укрупнительной сборки пространственных арматурных изделий оборудован: одной-двумя установками СМЖ-286А (сборка арматурных каркасов в вертикальных кондукторах); горизонтальными установками для сварки пространственных каркасов СМЖ-54Б; станками для гибки сеток в пространственные каркасы; инвентарными кондукторами для сборки и сварки каркасов колонн, свай, балок и ригелей, а также для комплектации унифицированных каркасов до полной готовности; стеллажами и контейнерами готовых изделий.

Участок изготовления закладных деталей включает в себя оборудование чистки заготовок, гнутья и штамповки элементов закладных деталей из листового и профильного раскроя, приварки стержневых и других анкеров, оборудование чистки (пескоструйной) закладных деталей и их металлизация. Рационально изготовление закладных деталей осуществлять на специализированных механических предприятиях, а в арматурном цехе проводить только их подготовку к использованию (чистка, металлизация, комплектация).

На участке комплектации и складирования комплектуются все необходимые элементы и готовые арматурные изделия отдельно для каждого ЖБИ или для каждой формовочной линии. Запас готовых изделий в арматурном цехе должен быть на 8 часов работы завода.

Набор оборудования на участках арматурных цехов зависит от конструкции и технологии армирования изделий, номенклатуры завода ЖБИ.

Все расчеты при проектировании арматурного цеха выполняются с учетом норм технологического проектирования (табл. 11).

Таблица 11

**Нормы проектирования складов арматуры, арматурных цехов и отделений**

Наименование	Единица измерения	Норма
1. Запас арматурной стали на складе $T_{xp}$ (в том числе сеток и каркасов, поступающих со стороны)	Расчетные рабочие сутки	20–25
2. Масса металла, размещаемого на 1 м <sup>2</sup> площади склада:		
сталь в мотках (бухтах)	т	1,2
сталь в прутках и сортовой прокат	т	3,2
полосовая сталь	т	2,1
сетки в рулонах	т	0,4
бухты в бункерах	т	3,0
3. Коэффициент $K$ , учитывающий неполноту использования площади склада при хранении арматурной стали на стеллажах и в закрытых складах емкостью, т:		
до 500	-	3,0
свыше 500	-	2,0
4. Запас полуфабрикатов арматурных элементов между отделениями арматурного цеха	ч	8
5. Запас готовых арматурных сеток и каркасов на складе	ч	8
6. Запас товарных арматурных сеток и каркасов на складе	сут	1–4
7. Высота хранения сеток и каркасов:		
в горизонтальном положении	м	1,5
в вертикальном положении	м	4,0
8. Усредненная масса арматурных конструкций, размещаемых на 1 м <sup>2</sup> площади при хранении в цехе (с учетом проходов)		
из стали диаметром до 12 мм	т	0,01
то же, от 14 до 22 мм	т	0,05
то же, от 26 до 40 мм	т	0,15
то же для стержней	т	1,0
9. Отходы арматурной стали классов: А-I, А-II, А-III, В-I, Вр-I, А-IV Ат-IV, А-V, Ат-V, Ат-VI, Вр-II, В-II, канаты	% %	Не более 3,0 Не более 6,0
10. Отходы стали листовой и сортовой для закладных деталей при использовании:		
полос	%	Не более 2,0
листов	%	Не более 5,0

### 2.4.2. Расчет склада арматуры

На склад арматурная сталь диаметром до 10 мм (включительно) поступает в мотках (бухтах) массой до 1,5 т, более 10 мм – в прутках. Прутки стержневой арматуры поступают в связках массой до 15 т. Канаты поступают на барабанах или бухтах.

Арматурная сталь размещается на складе по маркам, профилям, диаметрам и партиям на стеллажах или подкладках в сухих закрытых помещениях с бетонным полом.

Для определения годовой потребности арматурной стали при большом количестве выпускаемых изделий расчет производится методом расчетных представителей.

Для этого вся номенклатура железобетонных изделий разбивается на группы по сходству в армировании. Из каждой группы выбираются изделия (расчетные представители или базисные изделия), имеющие средние размеры и наиболее характерные признаки по армированию для данной группы.

По рабочим чертежам изделий-представителей производится расчет арматурной стали на программу завода (цеха).

При окончательном определении потребности в арматурной стали по классам необходимо учитывать технологические потери согласно нормам технологического проектирования (см. табл. 11, п. 9, 10).

Аналогично рассчитывается годовая потребность в арматурной стали для всей номенклатуры ЗЖБИ и суммарная потребность завода в стали, отдельно в бухтах (мотках), прутках и другой в год, а затем в сутки. Суточная потребность подсчитывается по формуле

$$Q_{сут} = \frac{Q_{год}}{[(T_n - T_p) \cdot K_u]},$$

где  $Q_{год}$  – годовая потребность в арматурной стали в мотках либо в прутках или др., т;

$T_n$  – номинальное количество рабочих суток в году,  $T_n=260$  сут;

$T_p$  – длительность плановых остановок на ремонт,  $T_p=7$  сут;

$K_u$  – коэффициент использования рабочего времени,  $K_u=0,92$ .

Площадь для складирования арматуры и металла подсчитывается по формуле

$$A = \frac{Q_{сут} \cdot T_{xp} \cdot K}{m},$$

где  $Q_{сут}$  – суточная потребность в арматуре одного вида с учетом потерь (3 – 6%, см. табл. 11, п. 9, 10), т;

$T_{xp}$  – запас арматурной стали на складе, сут (см. табл. 11, п. 1);

$K$  – коэффициент, учитывающий неполноту использования площади склада (см. табл. 11, п. 3);

$m$  – масса металла, размещенного на 1 м<sup>2</sup> площади склада, т/м<sup>2</sup> (см. табл. 11, п. 2).

При компоновке склада арматурной стали в зависимости от условий поставки следует предусмотреть вводы железнодорожного пути или автомобильной дороги, а также рельсовые и асфальтовые дороги для отправки арматурной стали в арматурный цех. Для удобства выгрузки арматурной стали из железнодорожных вагонов отметка подкрановых путей мостовых кранов должна быть не менее 8,15 м, а мостовые краны должны иметь грузоподъемность не ниже 5 т.

### 2.4.3. Расчет арматурных работ

По чертежам изделий выбираются арматурные элементы, которые необходимо изготовить, и составляется сводная ведомость объемов арматурных работ.

При расчете необходимо выбирать наиболее прогрессивное и современное оборудование. Расчет количества оборудования по всем видам технологических операций производится исходя из установленного объема работ и производительности требуемого станка по формуле

$$N = \frac{П_{ч.м.}}{П_{ч.ф.} \cdot K_u},$$

где  $N$  – количество оборудования, шт.;

$П_{ч.м.}$  – требуемая часовая потребность операций на данном станке;

$П_{ч.ф.}$  – часовая фактическая производительность станка;

$K_u$  – коэффициент использования оборудования, равный 0,97.

Фактическая производительность станка отличается от паспортной и определяется по формуле

$$P_{ч.ф} = P_{ч.м} \cdot K_{орг},$$

где  $P_{ч.м}$  – машинная (паспортная) производительность;

$K_{орг}$  – коэффициент организации (для правильно-отрезных и гибочных станков – 0,7, стыковочных машин – 0,85, для однотоочечных контактно-сварочных – 0,25–0,3, многотоочечных неавтоматизированных машин – 0,75, многотоочечных автоматизированных линий – 0,85).

На основании ведомости арматурных работ составляется ведомость расчета оборудования цеха (табл. 12).

Площадь арматурного цеха  $S_{ац}$  подсчитывается по формуле

$$S_{ац} = S_1 + S_2 + S_3,$$

где  $S_1$  – площадь, занимаемая оборудованием,  $m^2$ , определяется как сумма площадей каждого из рабочего места согласно схемам организации рабочих мест, представленным в книге А.И. Кудрякова [22], габаритам оборудования и их количеству, принятому по расчетам (см. табл. 11);

$S_2$  – площадь, занимаемая полуфабрикатами арматурных элементов между участками цеха,  $m^2$  (табл. 11, п. 5);

$S_3$  – площадь, занимаемая готовыми арматурными элементами,  $m^2$  (см. табл. 11, п. 8).

Таблица 12

**Ведомость расчета оборудования цеха**

Вид операции при заготовке арматурных каркасов	Наименование машины и ее марка	Производительность машины		Фактический годовой объем работ	Требуемое количество оборудования	
		Часовая машинная ( $P_{ч.м.}$ )	Годовая машинная ( $P_{г.м.}$ )		расчетное	принятое

Ориентировочно площадь арматурного цеха можно определить по годовому расходу арматурных каркасов по формуле

$$S_{а.ц.} = \frac{Q_{год}}{q},$$

где  $Q_{год}$  – общий годовой расход арматуры, т;

$q$  – съём арматурных каркасов в год, тонн с  $1 \text{ м}^2$  площади цеха (для изделий ДСК –  $1,5 \dots 2 \text{ т/м}^2$ , для изделий заводов ЖБИ промышленного строительства –  $4 \dots 5 \text{ т/м}^2$ ).

## 2.5. Расчет склада готовой продукции

Склады готовой продукции представляют собой открытую прямоугольную площадку, оборудованную подъемно-транспортными механизмами, необходимыми для ведения погрузочно-разгрузочных операций. В качестве подъемно-транспортных механизмов применяются мостовые, порталные, башенные самоходные краны, автокраны и автопогрузчики.

На стационарных заводах сборного железобетона складская площадка имеет бетонное покрытие.

Из заводских цехов готовые изделия подаются на склад самоходными тележками или электрокарами, а также могут использоваться кран-балки, рольганги, электротельферы, конвейеры.

В состав оснастки склада, в зависимости от его назначения, входят сборно-разборные деревянные или металлические кассеты для хранения крупноразмерных панелей в вертикальном или слегка наклонном (под углом  $75 \dots 80^\circ$  к горизонту) положении, кондукторы для индивидуального или группового хранения изделий, инвентарные прокладки сечением  $6 \times 4$  см, кантователи, траверсы, такелаж, роликовые ломы и трапы, ручные скаты. Дороги от складов готовой продукции примыкают к основным магистралям и внутренним проездам. Ширина проезжей части складских дорог равна  $8 \text{ м}$  при необходимости разъезда и  $4 \text{ м}$  без него.

В каждом штабеле должны находиться изделия лишь одного типоразмера или марок. Положение изделий в штабеле и их высота должны соответствовать требованиям действующих стандартов.

Площадь склада готовой продукции подсчитывается по формуле

$$A = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot T_{\text{xp}} \cdot K_1 \cdot K_2}{Q_n},$$

где  $A$  – площадь склада,  $\text{м}^2$ ;

$Q_{\text{сут}}$  – объем изделий, поступающих на склад в сутки,  $\text{м}^3$ ;

$T_{\text{xp}}$ ,  $Q_n$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – условные обозначения и коэффициенты по нормам проектирования (табл. 13).

Таблица 13

**Нормы проектирования складов готовой продукции**

Наименование	Условное обозначение	Ед. изм.	Нормы
Запас готовых изделий на складе	$T_{xp}$	сут	10...14
Объем изделий, хранящихся в горизонтальном положении, на 1 м <sup>2</sup> площади склада:	$Q_n$	м <sup>3</sup>	0,5 1,8
ребристые панели (в бетоне)		м <sup>3</sup>	
пустотные панели (в объеме изделия)		м <sup>3</sup>	
линейные элементы правильной формы (в бетоне)		м <sup>3</sup>	1
Объем изделий (панелей), хранящихся в вертикальном положении в стеллажах, на 1 м <sup>2</sup> площади склада		м <sup>3</sup>	1,2
Коэффициент, учитывающий проходы между штабелями изделий	$K_1$		1,5
Минимальная ширина проходов между штабелями изделий			0,8
Коэффициент, учитывающий проезды и площади под путями кранов, тележек; площади под проезды автомашин и под железнодорожные пути для складов с кранами:	$K_2$		1,3 1,5 1,7
мостовыми			
башенными			
козловыми			

При хранении изделий из ячеистых бетонов склад должен быть крытым. Складская площадка выполняется с уклоном 1...2% в сторону ее внешнего контура для стока поверхностных вод.

## 2.6. Контроль производства

При производстве сборных железобетонных изделий осуществляется входной, операционный и приемочный контроль.

Входной контроль предусматривает проверку качества сырьевых материалов, используемых для изготовления бетона, арматурных изделий, закладных деталей, комплектующих элементов и отделочных

материалов. Этот контроль осуществляется лабораторией и отделом снабжения.

При приеме цемента проверяются вид, марка, наличие паспорта, физико-механические свойства (при необходимости). У заполнителей определяются вид, наличие паспорта, физико-механические свойства, влажность. Для арматурной стали и закладных деталей предусматривается определение вида, класса, марки стали, наличие сертификатов, физико-механические свойства.

*Операционный контроль* – это контроль технологических процессов, осуществляемый во время выполнения определенных операций или после их завершения.

*Технический контроль* качества работ при изготовлении бетонных и железобетонных изделий из смесей с добавками должен осуществляться систематически, в соответствии с требованиями действующих стандартов, нормативно-технической и проектно-технологической документации, как и для производства изделий из бетонов без добавок.

При работе с химическими добавками необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии, согласно требованиям СНиП 12-03–2001, СНиП 12-04–2002, ГОСТ 12.1.007, а также указания технических условий и других нормативно-технических документов.

Для получения бетонов высокого качества и экономичности необходимо проводить постоянный контроль за их производством и на его основе управлять технологическими процессами, внося в них необходимые изменения и коррективы, учитывающие колебания свойств исходных материалов и условий производства и гарантирующие получение заданных свойств бетона при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах.

Контроль организуется на всех стадиях производства бетона и изделий из него. Для контроля используют различные способы и приборы. По полученным результатам вносят коррективы в состав бетона, параметры и режимы технологических операций на основе закономерностей, учитывающих влияние на свойства готового бетона различных технологических факторов. Для большей точности и надежности управления качеством бетона используют зависимости, полученные для условий конкретного производства. Эти зависимости должны постоянно корректироваться по результатам статистического контроля свойств бетона.

Примерный перечень основных видов производственного контроля по этапам технологического процесса приведён в табл. 14 [37].

Таблица 14

**Общая характеристика производственного контроля**

Этапы производственного процесса	Объект контроля	Вид контроля
1	2	3
Заготовка сырья и материалов	Цемент Заполнители Добавки Арматурная сталь	Определение качества Определение физико-технических свойств То же Определение прочности
Производство полуфабрикатов	Бетонная смесь Арматурные каркасы	Правильность дозирования; определение подвижности Проверка размеров каркасов, размеров сечений и марки стали; испытание сварных соединений
Формование напряженно-армированных изделий	Подготовка форм для изделий	Правильность сборки форм и равномерность их смазки
	Укладка Арматурных каркасов	Проверка правильности положения каркаса в форме
	Натяжение арматуры	Степень напряжения
	Отпуск Натяжения арматуры	Заанкеривание концов арматуры в бетоне
	Укладка и уплотнение бетонной смеси	Степень уплотнения; качество открытых поверхностей изделий; формование контрольных кубов

Окончание табл. 14

1	2	3
Тепловая Обработка изделий	Режим тепловой обработки изделий	Контроль температуры, влажности и продолжительности процесса
Осмотр изделий и выдача их на склад	Качество изделий	Внешний осмотр изделий и проверка их разме- ров; физические методы контроля прочности бетона
Прием изделий ОТК и отпуск их потребителям	Правильность укладки изделий	Проверка положения изделий и прокладок в штабеле, маркировка
	Прочность бетона	Испытание контрольных кубов
	Величина Защитного бетона	Проверка размещения арматуры в готовых из- делиях
	Прочность, жесткость и трещиностой- кость изделий	Испытание готовых изделий контрольной нагрузкой
	Укладка изделий на транспортные средства	Правильность положения, крепления изделий

При заготовке материальных ресурсов необходим систематический контроль исходного сырья в соответствии с требованиями стандартов, правильное хранение материалов по видам, маркам и партиям, паспортизация материалов; нельзя допускать употребления непроверенных материалов или материалов не отвечающих требованиям стандартов или технических условия.

Проверка цемента состоит в контрольных испытаниях каждой поступающей на предприятие партии и в повторных испытаниях в случае хранения его больше трех месяцев. При повторных испытаниях ограничиваются проверкой сроков схватывания и пределов прочности цементного раствора. До получения результатов лабораторных испытаний цемент нельзя выдавать на производство.

Химические добавки проверяются только при отсутствии на них заводского паспорта, но необходимо следить за целостью тары, обеспечивающей чистоту добавок.

Контроль качества заполнителей состоит в проверке гранулометрического состава и наличия примесей в каждой поступающей на производство партии заполнителей. Качество заполнителя может определяться электрофизическими и радиационными методами. Влияние заполнителя на свойства бетонной смеси сравнительно просто можно установить по результатам непосредственного испытания смеси: по ее сопротивлению перемешиванию или по оценке ее подвижности.

Контрольные испытания арматурной стали проводят при отсутствии на нее заводского сертификата. От партии стали (весом до 20 г) отбирают 9 образцов. 3 из них испытывают на растяжение для определения предела текучести и предела прочности, 3 – на загиб в холодном состоянии и 3 – на свариваемость.

*Контроль производства бетонной смеси* состоит из проверки правильности дозирования компонентов бетона, продолжительности перемешивания материалов и определения подвижности бетонной смеси. В зимнее время, кроме того, контролируется температура подогретой бетонной смеси при выходе ее из бетономешалки и при укладке в формы.

Особенности контроля за приготовлением и укладкой бетонной смеси с добавками состоят в систематической проверке:

– *плотности раствора рабочей концентрации* и соответствия ее заданной (осуществляется после приготовления новой порции раствора в каждой емкости).

При проверке плотности раствора добавки следует учитывать её изменение в зависимости от температуры раствора:

$$P_m = P_{20} - A(t - 20),$$

где  $P_m$  – проверяемая плотность раствора добавки, г/см<sup>3</sup>;

$P_{20}$  – плотность раствора при температуре 20 °С, г/см<sup>3</sup>;

$A$  – температурный коэффициент плотности;

$t$  – температура раствора в момент определения его плотности, °С;

– *правильности дозирования раствора рабочей концентрации и воды* (не реже двух раз в смену);

– *соответствия подвижности, жесткости, количества вовлеченного воздуха (полученного газа) и объемной массы смеси с пластифицирующе-воздухововлекающими, воздухововлекающими, газообразующими и комплексными на их основе добавками заданным (не реже двух раз в смену);*

– *соответствия времени перемешивания бетонной смеси, особенно с пластифицирующе-воздухововлекающими, воздухововлекающими и комплексными на их основе добавками, заданному; изменение его может привести к недостаточному воздухововлечению, что не обеспечит получения бетона требуемой морозостойкости и водонепроницаемости, а вовлечение избыточного количества воздуха приведет к уменьшению прочности бетона;*

– *соответствия параметров формования бетонной смеси установленным при подборе состава бетона, так как переуплотнение смеси с пластифицирующе-воздухововлекающими, воздухововлекающими или комплексными добавками на их основе из-за уменьшения воздуходержания может привести к снижению морозостойкости и водонепроницаемости бетона, несмотря на увеличение его прочности.*

Подвижность бетонной смеси следует контролировать не реже двух раз в смену и при каждом изменении качества исходных материалов. Отклонения подвижности смеси от заданной не должны превышать 1 см осадки стандартного конуса (для смесей с осадкой конуса 2 см и более), а отклонения жесткости – не более 10% заданной.

Дозирование добавок должно осуществляться с точностью в пределах  $\pm 2\%$  их расчетного количества.

При объемном дозировании растворов добавок необходимо учитывать влияние температуры на содержание добавки в 1 л раствора при данной температуре:

$$D_m = D_{20} \cdot P_m / P_{20},$$

где  $D_m, \text{кг}$  – содержание добавки в 1 л раствора при данной температуре  
 $G, \text{кг}$ ;

$D_{20}$  – то же при температуре 20 °С, кг;

$P_m, P_{20}$  – плотность раствора соответственно при температуре  $T$  и 20 °С.

Контроль правильности дозирования бетонной смеси на большинстве заводов обеспечивается применением автоматизированных

дозаторов, имеющих устройства для сигнализации при нарушении заданного режима. Продолжительность перемешивания бетонной смеси контролируется по специальным часам или регламентируется автоматическими приборами.

Большое значение имеет контроль подвижности бетонной смеси, осуществляемый измерением осадки стандартного конуса (для пластичных смесей) или определением жесткости смеси на техническом вискозиметре (для жестких смесей). В последнее время предложен автоматический способ непрерывного определения подвижности бетонной смеси по величине мощности, затрачиваемой электродвигателем на вращение стального цилиндра с постоянной скоростью в контролируемой массе, одновременно цилиндр используется в качестве датчика для регулирования количества воды, подаваемой в бетономешалку.

Контроль *производства арматурных каркасов* состоит в проверке правильности режимов сварки, качества и прочности сварных соединений, в осмотре и обмере сварных стоек и каркасов. Одновременно проверяются марка стали, число и диаметр стержней, а также их взаимное расположение.

Приемка каркасов и сеток может производиться поштучно или выборочно (партиями) в зависимости от степени механизации арматурного цеха. Соответствующие указания должны содержаться в технологических правилах предприятия.

Если при приемке партии *число стержней или их диаметры не будут соответствовать проекту хотя бы в одном из арматурных каркасов, приемка всех каркасов этой партии производится поштучно.*

Контроль *производства железобетонных изделий* заключается в проверке размеров форм, надлежащей их очистке и смазке, правильности расположения арматурного каркаса в форме и, наконец, в проверке степени уплотнения бетонной смеси. При этом необходимо проверять крепление форм к виброплощадке, соблюдать режим и продолжительность вибрирования. Контроль на этом этапе производства имеет особое значение, так как соблюдение точных размеров изделия и надлежащее уплотнение бетонной смеси являются основными факторами, обеспечивающими высокое качество изделий.

Контроль *тепловой обработки изделий* на многих предприятиях осуществляется посредством автоматических устройств. На некоторых предприятиях температуру и влажность в пропарочных камерах контролируют самопишущими приборами – термографами и

психрографами. При отсутствии термографов применяют термометры сопротивления или удлинённые ртутные термометры, показания которых записывают обычно через каждый час.

В период ускоренного твердения бетона с добавками особое внимание следует уделять контролю времени предварительного выдерживания при стендовом способе производства изделий, а также контролю скорости подъема температуры в начале периода подогрева изделий.

Контроль и оценку прочности бетона с добавками следует осуществлять с соблюдением установленного времени испытаний после окончания цикла тепловлажностной обработки (после выгрузки изделий из камеры).

Для управления производством и качеством бетона используют вычислительную технику и автоматизированные системы управления. Для их работы требуется соответствующее математическое обеспечение, в частности использование математических моделей, которые связывают свойства бетона с качеством используемых материалов, составом бетона и условиями производства.

Управление качеством бетона осуществляется на основе пооперационного контроля производства. Для его проведения используют экспресс-методы, позволяющие быстро оценить свойства материала или параметры процесса, разрабатываются специальные полуавтоматические и автоматические средства, а также используется выборочная проверка объектов контроля. Для оценки свойств цемента предложены рентгенографические и другие методы экспресс-анализа его минералогического состава и способы быстрого определения удельной поверхности цемента. По их результатам прогнозируется возможное влияние качества цемента на свойства приготавливаемой бетонной смеси и бетона и при необходимости производятся изменения состава бетона и режима технологических операций.

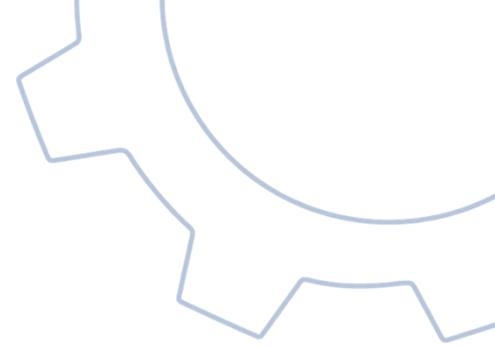
При производстве железобетонных конструкций контролируются: 1) *отпускная прочность бетона* – для сборных конструкций без предварительного напряжения и сборных конструкций с предварительным напряжением, если отпускная прочность выше передаточной; 2) *передаточная прочность бетона* – для предварительно-напряженных конструкций; 3) *прочность бетона в установленном проектной документацией промежуточном возрасте* – для монолитных конструкций (при снятии несущей опалубки и т. д.); 4) *прочность бетона в проектном возрасте* – для сборных и монолитных конструкций. Если отпускная

или передаточная прочность более 90% от установленной для данного класса, то контроль прочности в проектном возрасте не производят. Контроль прочности ведут с использованием данных контроля предыдущих партий. На основе этого контроля определяют характеристики однородности прочности бетона и требуемую прочность бетона для последующего контролируемого периода. Прочность бетона в контролируемой партии  $R_{к.н}$  сравнивают с требуемой  $R_m$ . Если  $R_{к.н} \geq R_m$ , то партия конструкций принимается.

В настоящее время широко используют неразрушающие методы контроля прочности бетона, которые позволяют ориентировочно определить прочность в любой конструкции или на отдельном участке конструкции или изделия без их разрушения. Неразрушающие методы контроля прочности бетона условно можно разделить на две группы: механические, или поверхностные, и физические. В механических методах поверхность изделия или образца подвергают определенному виду механического воздействия, а о прочности бетона судят по сопротивлению, которое он оказывает этому воздействию. Для проведения подобных испытаний обычно применяют сравнительно несложные приборы и приспособления. Физические методы основываются на оценке прочности бетона по скорости прохождения через него ультразвука или по регистрации колебаний и других физических факторов. Эти методы позволяют определить прочность не только поверхностных, но и глубинных слоев бетона, выявлять внутренние дефекты в изделии, возникшие в процессе производства, при эксплуатации или в ходе испытания. Используемые при испытании приборы обладают быстродействием и легко могут быть соединены с ЭВМ в единый испытательный комплекс.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие факторы необходимо учитывать при проектировании склада цемента?
2. Какие вы знаете существующие типы складов заполнителей?
3. Для чего предназначен бетоносмесительный узел?
4. Каковы особенности расчётов при проектировании арматурного цеха?
5. Чем следует руководствоваться при расчёте склада готовой продукции?
6. В чём суть входного, операционного и приёмочного контроля при производстве сборных железобетонных изделий?



### 3. Расчет состава тяжелого бетона

#### 3.1. Постановка задач

Для получения бетона заданной марочной прочности при минимальном расходе вяжущего вещества большое значение имеет правильный выбор материалов для бетона, учитывающий как требования к бетону, так и свойства компонентов бетонной смеси.

Для прогнозируемого класса бетона выбираются марки цемента, вид и физико-механические характеристики крупного и мелкого заполнителей, вид добавки.

Расчет количества компонентов, составляющих бетонную смесь, ведется по методу «абсолютных объемов».

Цементно-водное отношение ( $C/B$ ) как основной фактор прочности бетона, определяется по формуле

$$R_b = A \cdot R_u \cdot (C/B - 0,5);$$

$$R_b = A_1 \cdot R_u \cdot (C/B + 0,5),$$

если  $C/B < 2,5$ , то знак принимается «-»;

если  $C/B > 2,5$ , то знак принимается «+».

$R_b$  – требуемая прочность (марка) бетона;

$R_u$  – марка цемента;

$A$  и  $A_1$  – коэффициенты, зависящие от качества заполнителей:

Таблица 15

#### Прочность бетона

Качество заполнителей	Коэффициент $A$	Коэффициент $A_1$
Высокое	0,65	0,43
Среднее	0,60	0,40
Низкое	0,55	0,37

На прочность бетона влияет и структура самого бетона, в которой значительное место отводится пористости. Пористость бетона складывается из пористости цементного камня, заполнителей и вовлеченного в процессе приготовления смеси, а иногда и специально, воздуха.

Предварительными расчетами определяются следующие типы пор в цементном камне:

– капиллярные поры:

$$P = (C/B - 0,5 \cdot \alpha) \cdot C;$$

– гелевые поры и поры контракции:

$$P_g = 0,29 \cdot \alpha \cdot C;$$

– поры воздухововлечения:

$$P_w = 0,03.$$

Общая пористость подсчитывается по формуле

$$P_o = [(C/B - 0,5 \cdot \alpha) + 0,29 \cdot \alpha] \cdot C + 0,03,$$

где  $\alpha = 0,7$  при твердении бетона в нормальных условиях 28 суток.

Спрогнозированная с помощью математического аппарата величина пористости (колеблется в пределах 11...30%) хорошо коррелируется с результатами экспериментальных исследований.

Предлагаемая программа осуществляет расчет компонентов бетонной смеси на 1 м<sup>3</sup> замеса по методу «абсолютных объемов» и работает в диалогичном режиме. Для работы на ЭВМ следует заготовить задание, в котором должны быть указаны следующие характеристики вяжущего и заполнителей.

1. Вид цемента – портландцемент или шлакопортландцемент;

марка и активность цемента – в кгс/см<sup>2</sup>;

насыпная и истинная плотности цемента – в г/см<sup>3</sup>.

2. Характеристики песка:

насыпная и испитая плотности песка – в г/см<sup>3</sup>;

группа песка согласно зерновому составу – модуль крупности;

3. Характеристики крупного заполнителя:

вид заполнителя – щебень или гравий;

крупность зерен заполнителя;

насыпная и истинная плотности крупного заполнителя – в г/см<sup>3</sup>.

4. Качество заполнителей – высокое, среднее или низкое.

Задается осадка конуса:

– если смесь пластичная, то в см;

– если смесь жесткая, то в секундах.

5. Влажность заполнителей крупного  $W_{cp}$  и мелкого  $W_n$  в долях.

6. Коэффициент  $\alpha$  – степень гидратации бетона (при твердении в нормальных условиях 28 суток  $\alpha = 0,7$ ).

Для программы не создан банк исходных данных, чтобы пользователю вводить индивидуальные данные без внесения изменений в ее рабочую часть. При работе с программой подготовленные данные вносятся с клавиатуры на дисплей, а результаты расчетов komponуются отдельным файлом *bt.dat*. Результаты каждого последующего расчета уничтожают предыдущие данные, поэтому требуемые значения рекомендуется распечатывать по мере их расчета или сохранять отдельно.

### 3.2. Алгоритм решения задач

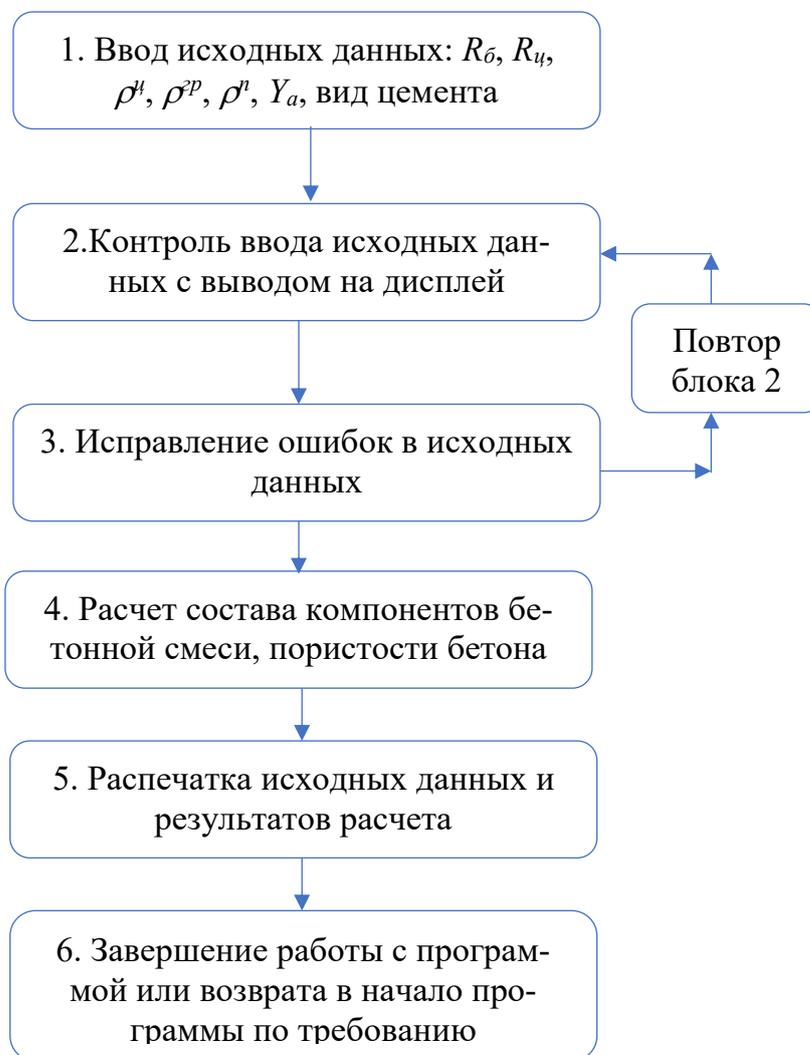


Рис. 6. Блок-схема расчета состава бетонной смеси

Вычисляется величина цементно-водного отношения в зависимости от вида и заданной марки цемента и требуемой марки бетона:

$$Ц / B = \frac{R_b}{A \cdot R_{ц}} + 0,5.$$

Количество воды затворения определяется по формуле

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot B_0,$$

где  $B_0 = 185 - 0,8 \cdot Y_a$ ;

$Y_a$  – удобоукладываемость бетонной смеси, с.

Величины коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  выбираются в зависимости от кучности песка, величины и вида (гравий или щебень) крупного заполнителя, величина  $K_4$  принимается

если  $Ц/B=2$ , то  $K_4 = (Ц/B \cdot 2) \cdot 10,15$ ,

если  $Ц/B \neq 2$ , то  $K_4 = 1$ .

Расход цемента рассчитывается по формуле

$$Ц = \frac{B}{B / Ц}.$$

Расход крупного заполнителя (гравия или щебня) находится по формуле

$$K_{зп} = \frac{1000}{\frac{V_{пуст} \cdot K_{раз}}{\rho_n^{зп}} + \frac{1}{\rho^{зп}}},$$

где пустотность заполнителя  $V_{пуст} = 1 - \frac{\rho_n^{зп}}{\rho^{зп}}$ ,

а коэффициент раздвижки зерен вычисляется по формуле

$$K_{раз} = 1,14 + (B / Ц - 0,4) \cdot 0,6 + \frac{Ц - 250}{50} \cdot 0,08.$$

Расход песка определяется по формуле

$$П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho^u} - B - \frac{K_{zp}}{\rho^{zp}}\right) \cdot \rho^n.$$

Подсчитывается прогнозируемая величина пористости бетона:

$$P_0 = [((B/Ц - 0,5 \cdot \alpha) + 0,29 \cdot \alpha) \cdot Ц] \cdot 0,1 + 0,03.$$

Корректируется количество воды в зависимости от влажности заполнителей. Если заполнители абсолютно сухие, то количество воды  $B$  остается неизменным, если заполнители влажные, то

$$B_{ок} = B - (K_{zp} \cdot W_{zp} + П \cdot W_n).$$

Количество заполнителей в абсолютно сухом состоянии, рассчитанных на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, также корректируется:

$$\text{количество крупного заполнителя } K_{зрок} = K_{зр} + K_{зр} \cdot W_{зр};$$

$$\text{количество мелкого заполнителя } П_{ок} = П + П \cdot W_n.$$

### 3.3. Контрольный пример

*В* результате выполнения расчета пользователь имеет расход компонентов бетонной смеси на 1000 л замеса бетонной смеси, при твердении которой получается бетон требуемого класса.

Расчет состава бетонной смеси выполняется после правильного подбора исходных данных, которые приводятся в соответствии с индивидуальным заданием. Подготовленные данные вводятся с клавиатуры, программа составлена для работы в диалоговом режиме. Результаты расчета выдаются в виде распечатки [34, 35].

Последовательно вводятся данные о классе бетона, марке цемента, выбираются коэффициенты  $A$  и  $A_1$ , вводятся значения  $\rho$  и  $\rho^u$  для гравия (щебня), цемента, песка, выбирается удобоукладываемость –  $Y_a$ , уточняется коэффициент, учитывающий степень гидратации цемента –  $\alpha$ ,

влажность заполнителей в долях, коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  и вид цемента. При этом данные о коэффициентах  $A$  и  $A_1$ , удобоукладываемости  $Y_a$ , коэффициентах  $K_1, K_2, K_3$  можно выбирать из таблиц, высвечиваемых на экране.

Например:

прочность бетона:  $R_b = 400$  кгс/см<sup>2</sup>;

прочность цемента:  $R_y = 400$  кгс/см<sup>2</sup>;

коэффициенты качества заполнителей:  $A=0,6; A_1=0,4$ ;

насыпная плотность крупного заполнителя:  $\rho^{sp_n}=1,45$  т/м<sup>3</sup>;

истинная плотность крупного заполнителя:  $\rho^{sp}=2,6$  т/м<sup>3</sup>;

истинная плотность цемента:  $\rho^y=3,1$  т/м<sup>3</sup>;

истинная плотность мелкого заполнителя:  $\rho^n=2,5$  т/м<sup>3</sup>;

удобоукладываемость:  $Y_a=10,0$ ;

степень гидратации цемента:  $\alpha=0,7$ ;

влажность крупного заполнителя:  $W_{sp}=0,04$ ;

влажность мелкого заполнителя:  $W_n=0,05$ ;

коэффициенты:  $K_1=1,0; K_2=1,0; K_3=1,0$ ;

вид цемента – портландцемент.

Контролируется правильность ввода исходных данных.

Рассчитывается величина цементно-водного отношения:

$$Ц/B = \frac{R_b}{A \cdot R_y} + 0,5 = \frac{400}{0,6 \cdot 400} + 0,5 = 2,17.$$

Подсчитывается количество воды, л:

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot (185 - 0,8 \cdot Y_a) = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot (185 + 0,8 \cdot 10,0) = 176,0.$$

Вычисляется требуемое количество цемента, кг:

$$Ц = B \cdot B/Ц = 176,0 \cdot 2,17 = 381,92 \text{ кг.}$$

Подсчитывается количество крупного заполнителя.

Величина коэффициента раздвижки зерен:

$$K_{раз} = 1,14 + (B/C - 0,4) \cdot 0,6 + \frac{C - 250}{50} \cdot 0,08 =$$

$$1,14 + (0,44 - 0,4) \cdot 0,6 + \frac{381,92 - 250}{50} \cdot 0,08 = 1,38$$

Пустотность заполнителя:

$$V_{пуст} = 1 - \frac{\rho_n^{zp}}{\rho^{zp}} = 1 - \frac{1,45}{2,6} = 0,44.$$

Количество щебня на 1000 л замеса, кг:

$$K_{zp} = \frac{1000}{\frac{V_{пуст} \cdot K_{раз}}{\rho_n^{zp}} + \frac{1}{\rho^{zp}}} = \frac{1000}{\frac{0,44 \cdot 1,38}{1,45} + \frac{1}{2,6}} = 1250.$$

Подсчитывается количество мелкого заполнителя, кг:

$$П = \left(1000 - \frac{C}{\rho^y} - B - \frac{K_{zp}}{\rho^{zp}}\right) \cdot \rho^n = \left(1000 - \frac{381,92}{3,1} - 178 - \frac{1250}{2,6}\right) \cdot 2,5 = 550,08.$$

Корректируется количество воды с учетом влажности заполнителей, л:

$$V_{ок} = B - (K_{zp} \cdot W_{zp} + П \cdot W_n) = 178 - (1250 \cdot 0,04 + 550,08 \cdot 0,05) = 100,5.$$

Уточняется требуемое количество заполнителей, учитывая их влажность:

– количество крупного заполнителя, кг:

$$K_{зрок} = K_{zp} + K_{zp} \cdot W_{zp} = 1250 + 1250 \cdot 0,04 = 1300;$$

– количество мелкого заполнителя, кг:

$$П_{ок} = П + П \cdot W_n = 550,08 + 550,08 \cdot 0,05 = 577,5.$$

Вычисляется прогнозируемая пористость бетона, %:

$$P_0 = [((B/C - 0,5 \cdot \alpha) + 0,29 \cdot \alpha) \cdot C] \cdot 0,1 + 0,03 =$$

$$= [((2,17 - 0,5 \cdot 0,7) + 0,29 \cdot 0,7) \cdot 381,92] \cdot 0,1 + 0,03 = 25,24.$$

### 3.4. Экспериментальная часть

#### *Приготовление бетонной смеси.*

Вмешивают необходимые для пробного замеса количества: цемента, песка, щебня, наливают в мерный цилиндр рассчитанное на пробный замес воды. Бетонную смесь готовят перевешиванием вручную в течение 5 минут. Определяют осадку конуса готовой бетонной смеси и корректируют ее состав по необходимости

#### *Формование образцов.*

Образцы-кубы размерами 10х10х10 см, 15х15х15 см или 20х20х20 см формуют из приготовленной и откорректированной бетонной смеси. Определяют среднюю плотность свежееуложенной и уплотненной бетонной смеси. Твердение образцов происходит по заданному режиму.

#### *Испытание образцов на водопоглощение.*

Высушенные в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 5$  °С до постоянной массы образцы взвешиваются, затем подвергаются замачиванию при температуре  $20 \pm 2$  °С до достижения ими постоянной массы (разница между предыдущим и последующим показаниями не более 1%), определяемой взвешиваемой. Согласно результатам взвешивания рассчитывается водопоглощение образцов:

$$W = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}}$$

Величина водопоглощения характеризует открытую пористость бетонных образцов [24]. Результаты расчетов сравниваются с результатом испытаний.

#### *Испытание образцов и обработка результатов испытаний.*

Образцы, для которых определена средняя плотность в сухом состоянии, испытывается на сжатие. Вычисленные пределы прочности образцов усредняются.

Марочная прочность бетонных образцов подсчитывается с учетом коэффициентов, устанавливаемых на размер образцов и условия твердения.

## *Библиографический список*

1. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. – Москва : Изд-во АСВ, 2016. – 171 с.
2. Справочник проектировщика. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства / под общ. ред. И.Г. Бердичевского. – Москва : Стройиздат, 1981. – 155 с.
3. Конструкции гражданских зданий / Т.Г. Маклакова и др. – Москва : Стройиздат, 1986. – 240 с.
4. Прыкин, Б.В. Проектирование и оптимизация технологических процессов заводов сборного железобетона / Б.В. Прыкин. – Киев : Высшая школа, 1976. – 210 с.
5. СП 130.13330.2018. Производство сборных железобетонных изделий и конструкций : дата введения 20.06.2019. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 31 с.
6. Справочник по производству сборных железобетонных изделий / под ред. К.В. Михайлова и А.А. Фоломеева. – М.: Стройиздат, 1982. – 450 с.
7. ОНТП 07-85 «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона» / Минстройматериалов СССР. – Москва, 1986. – 52 с.
8. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – Москва : Изд-во АВС, 2003. – 500 с.
9. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: учеб. для вузов / А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1986.– 464 с.
10. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов: учебник для хим.-технол. спец. вузов / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – Москва : Высш.шк., 1989. – 384 с.
11. Завадский, В.Ф. Стеновые материалы и изделия: учебное пособие / В.Ф. Завадский, А.Ф. Косач, П.П. Дерябин – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – 254 с.
12. Горчаков, Г.И. Строительные материалы : учеб. для вузов / Г.И Горчаков, Ю.М. Баженов. – Москва : Стройиздат, 1986. – 688 с.
13. Строительные материалы : учебное издание / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов [и др.]. – Москва: Изд-во АСВ, 2004. –536 с.
14. Сидоров, В.И. Общая химия : учебник для вузов / В.И. Сидоров, Э.П. Агасян, Т.П. Никифорова. – Москва : АСВ, 2014 – 440 с.
15. Шमितько, Е.И. Химия цемента и вяжущих веществ : учебное пособие / Е.И. Шमितько, А.В. Крылова, В.В. Шаталова. – Воронеж : ВГАСУ, 2005. – 164 с.
16. Шестоперов, С.В. Дорожно-строительные материалы / С.В. Шестоперов. – Москва : Высшая школа, 1969. – 627 с.

17. Ботвинников В.И. Минерально-сырьевая база строительных материалов Западной Сибири / В.И. Ботвинников, М. Н. Колобков, К. М. Кузнецов, И. Л. Шаманский; СНИИГГИМС. – Москва : Госгелтехиздат, 1961. – 455 с.
18. Ванеев В.А. Сырьевая база строительных материалов Западной Сибири и пути ее рационального использования / В.А. Ванеев. – Новосибирск, 1968. – 386 с.
19. ГОСТ 24211–2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия: дата введения 01.03.2004. – Москва: МНТКС, 2003. – 14 с.
20. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01 – 85). – Москва : СИ, 1989. – 39 с.
21. Руководство по применению химических добавок в бетоне. – Москва : СИ, 1981. – 55 с.
22. Кудяков, А.И. Основы технологического проектирования заводов сборного железобетона / А.И. Кудяков. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1983. – Ч. 1. – 262 с.
23. Маклакова, Т.Г. Архитектура гражданских и промышленных зданий / Т.Г. Маклакова. – Москва : Стройиздат, 1981. – 380 с.
24. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – Москва : Стройиздат, 1984. – 375 с.
25. Баженов, Ю.М. Технология бетонов / Ю.М. Баженов. – Москва : Высшая школа, 1978. – 430 с.
26. Трофимов, Б.Я. Технология бетона, строительных изделий и конструкций : учебное пособие / Б.Я. Трофимов, А.Б. Вальт. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 115 с.
27. Козлов, В.В. отделка железобетонных и бетонных изделий / В.В. Козлов, О.А. Ремейко. – Москва : Высшая школа, 1987. – 536 с.
28. Безбородов, В.А. Проектирование предприятий сборного железобетона для районов Сибири и Крайнего Севера : учебное пособие / В.А. Безбородов, А.М. Коледина. – Новосибирск : Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 135 с.
29. Шихненко, И.В. Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона / И.В. Шихненко. – Киев : Будивильник, 1989. – 234 с.
30. Богданов, В.С. Технологические комплексы для производства изделий из железобетона : учебное пособие / В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, Н.Д. Балера, П.Н. Быков. – Белгород: БелГТАСМ, 1997. – 82 с.
31. Строительные машины и оборудование : справочник / Б. Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. – 608 с.
32. Колодзий, И.И. Формование сборных железобетонных изделий и конструкций : учебник / И.И. Колодзий. – Москва : Высшая школа, 1983. – 271 с.
33. Цителаури, Г.И. Проектирование предприятий сборного железобетона / Г.И. Цителаури. – Москва : Высшая школа, 1986. – 312 с.
34. Дерябин, П.П. Заполнители плотные для тяжелых бетонов: методические указания / П.П. Дерябин, В.И. Задорожная. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – 51 с.

35. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов. – Москва : Министерство строительства и ЖКХ РФ, 2016. – 100 с.

36. Завадский, В.Ф. Основные физико-механические свойства строительных материалов : методические указания / В.Ф. Завадский – Новосибирск : НГСА, 1995. – 43 с.

37. Стефанов, Б.В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Б.В. Стефанов. – Киев : Изд. Будивильник, 1982. – 395 с.