

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	v
<b>Пролог. Внезапная встреча</b> .....	1
<b>Глава 1. Что такое бетон?</b> .....	9
1.1. Из чего сделан бетон? .....	12
1.2. О заполнителях бетона .....	19
1.3. О цементе .....	22
1.4. Бетон вокруг нас .....	25
Дополнительный материал .....	31
Что такое бетон .....	31
Бетон, идущий в ногу со временем .....	32
Подбор состава бетона .....	33
Преимущества и недостатки бетона .....	34
Механические свойства бетона .....	34
Составные части бетона .....	35
О заполнителях бетона .....	37
О портландцементе .....	38
<b>Глава 2. С каких пор используется бетон?</b> .....	41
2.1. Происхождение бетона .....	44
2.2. Бетон Древнего Рима .....	47
1.3. Применение бетона в Японии .....	50
1.4. Долговечность бетона .....	52
Дополнительные справки .....	57
Бетон Древнего мира .....	57
Использование примесей для бетона .....	59

История появления бетона в Японии (строительство порта Отару и столетняя проверка бетона на прочность).....	60
Долговечность бетона.....	62

### **Глава 3. Свойства бетонной смеси и реакция гидратации ..... 65**

3.1. Свойства бетонной смеси.....	69
3.2. Механизм реакции гидратации.....	77
Дополнительный материал.....	83
Свойства бетонной смеси и строительство из бетона.....	83
Распływ конуса бетонной смеси.....	85
Работоспособность бетона.....	86
Самоуплотняющийся бетон.....	88
Суперпластификатор АЕ.....	89
Реакция гидратации с цементом.....	91
Зависимость реакции гидратации от температуры.....	93

### **Глава 4. Созревание бетона. Дефекты на начальном этапе ..... 97**

4.1. Созревание бетона.....	102
4.2. Термические трещины.....	106
4.3. Трещины из-за усадки при высыхании.....	110
4.4. Способы борьбы с трещинами.....	112
Дополнительный материал.....	117
Микроструктура затвердевающего цемента.....	117
Реакция гидратации и прочность бетона.....	119
Трещины из-за выделения теплоты при гидратации.....	122
Трещины при усадке.....	124

### **Глава 5. Долговечность бетонных конструкций ..... 127**

5.1. Разрушение бетонных конструкций.....	130
5.2. Причины коррозии арматуры.....	132
5.2.1. Ионы хлорида.....	132
5.2.2. Нейтрализация.....	135

5.3. Способы защиты от коррозии арматуры .....	138
5.4. Разрушение самого бетона.....	140
Дополнительный материал.....	150
Долговечность бетонных конструкций.....	150
Коррозия арматуры .....	150
Процесс разрушения .....	152
Проникновение хлорид-ионов внутрь бетона .....	154
Нейтрализация бетона (карбонизация).....	157
Щёлочно-силикатная реакция.....	161
Заморозка/оттаивание.....	163
Химическая эрозия .....	164

## **Глава 6. Разные виды бетона..... 167**

6.1. Высокоч прочный бетон с хорошей деформируемостью.....	171
6.2. Бетон, который можно использовать в воде .....	174
6.3. Бетон для прибрежных зон .....	176
6.4. Бетон как материал для наружных стен .....	178
6.5. Бетон, умеющий восстанавливаться.....	179
6.6. Бетон, используемый на поверхности Луны .....	181
Дополнительный материал.....	191
Разные виды бетона .....	191
Сверхпрочный бетон, армированный фиброй бетон .....	191
Проницаемый бетон.....	193
Самовосстанавливающийся бетон .....	194
Лунный бетон.....	195

ПРОЛОГ

# ВНЕЗАПНАЯ ВСТРЕЧА



Эта встреча была внезапной...

ПОСТУПИВ ВЕСНОЙ НА КАФЕДРУ  
АРХИТЕКТУРЫ, Я ПОСЕТИЛ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МУЗЕЙ  
ЗАПАДНОГО ИСКУССТВА.

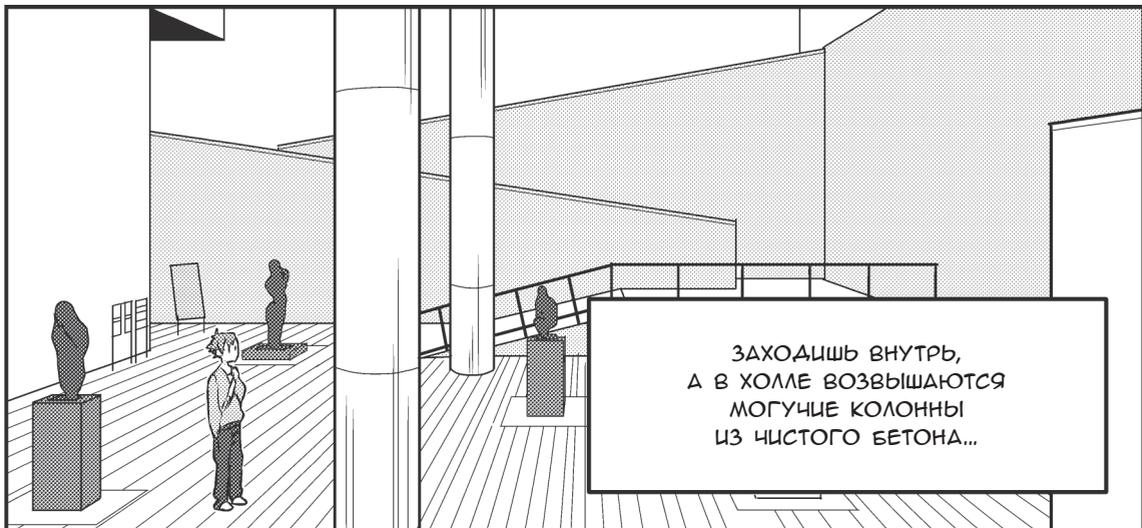


НЕ РАДИ ЭКСПОНАТОВ,  
А РАДИ ОЗНАКОМЛЕНИЯ  
С АРХИТЕКТУРОЙ  
САМОГО МУЗЕЯ...



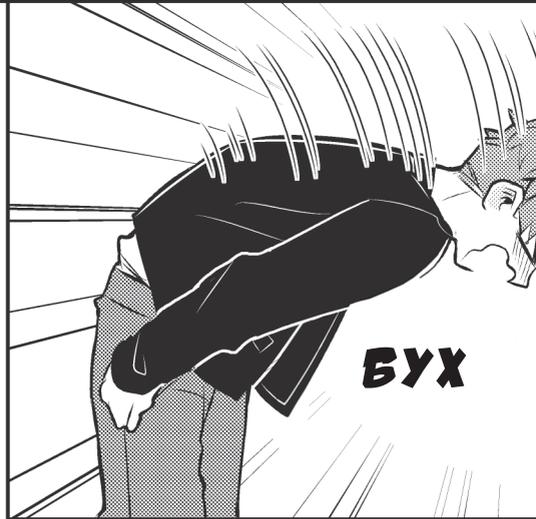
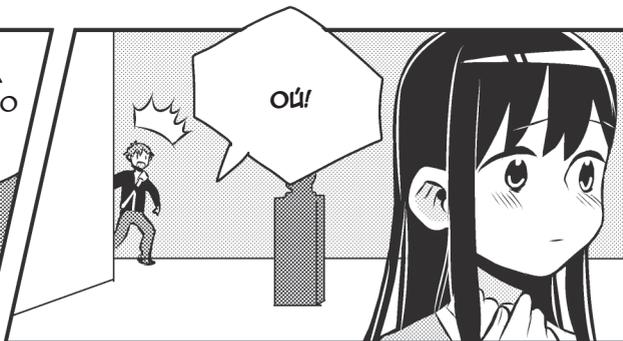
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ ЗАПАДНОГО ИСКУССТВА  
БЫЛ ПОСТРОЕН ФРАНЦУЗСКИМ АРХИТЕКТОРОМ  
ЛЕ КОРЬЮЗЬЕ, КОТОРОГО НАЗЫВАЮТ  
ОЦОМ СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ.

СТРОИТЕЛЬСТВО МУЗЕЯ ЗАВЕРШИЛОСЬ  
В 1959 ГОДУ. ЭТА ПОСТРОЙКА ЯВЛЯЕТСЯ  
ПРИМЕРОМ НОВАТОРСКОГО РЕШЕНИЯ -  
ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА  
В АРХИТЕКТУРЕ.





На следующей неделе...



В СМЫСЛЕ?  
ВЫ ЖЕ НА ПРОШЛОЙ НЕДЕЛЕ МНЕ ЗДЕСЬ  
СКАЗАЛИ "ТЫ МНЕ НРАВИШЬСЯ"...

ЭТО РАЗВЕ БЫЛО  
НЕ В МОЙ  
ДАРЕС...

А,

АГА-А!!!



О-ОХ...

ПРОСТИТЕ,  
ПОЖАЛУЙСТА...

ДЕЛО В ТОМ,  
ЧТО Я ОЧЕНЬ ЛЮБЛЮ  
БЕТОН...

И ПОЭТОМУ  
КАЖДЫЙ РАЗ НЕОСОЗНАННО  
НАЧИНАЮ РАЗГОВАРИВАТЬ  
С ПРЕДМЕТАМИ,  
СДЕЛАННЫМИ  
ИЗ БЕТОНА...

ХА-ХА-ХА...

ЭТО БЫЛО  
В ДАРЕС  
БЕТОНА...

**БЕТОНА?!**

СТРАННО,  
ПРАВДА?

ПОВЛЕНИЕ  
СЛЕЗЫ



ЧТО ВЫ, НИЧЕГО СТРАННОГО В ЭТОМ НЕТ!  
Я ТОЖЕ ОЧЕНЬ ЛЮБЛЮ АРХИТЕКТУРУ  
И ПРИШЕЛ СЮДА, ЧТОБЫ ПОСМОТРЕТЬ  
НА САМО ЗАДАНИЕ МУЗЕЯ!!



**АХ!**

ДА ЧТО ВЫ ГОВОРИТЕ?!



НУ, В СМЫСЛЕ...

Я ПОКА  
ТОЛЬКО СОВСЕМ НЕДАВНО  
ПОСТУПИЛ НА КАФЕДРУ АРХИТЕКТУРЫ  
И ПОЭТОМУ НЕ ЗНАЮ НИКАКИХ  
ПОДРОБНОСТЕЙ...



ЕСЛИ ВАС ИНТЕРЕСУЕТ БЕТОН,  
МОЖЕТЕ ЗАДАВАТЬ МНЕ  
ПРО НЕГО ЛЮБЫЕ ВОПРОСЫ!!!

Я НА СЛЕДУЮЩЕЙ НЕДЕЛЕ  
СОБИРАЮСЬ ЦАТИ НА МОСТ  
ХИАЗИРИБАСИ В ОТЯНОМЦАЗУ!



ЭТО...

ЕСЛИ ВЫ НЕ ПРОТИВ,  
МОЖНО И Я ПОЙДУ С ВАМИ?  
ТОГДА И РАССКАЖЕТЕ  
ПРО БЕТОН!

Ой... КОНЕЧНО!!



Я ВЕДЬ  
ЕЩЕ НЕ ПРЕДСТАВИЛСЯ...  
МЕНЯ ЗОВУТ  
СУНАХАРА КЕНАЗУ!

*Кстати...*

А МЕНЯ ЗОВУТ  
МИАЗУНО СЕБИЛ.  
БУДЕМ ЗНАКОМЫ!



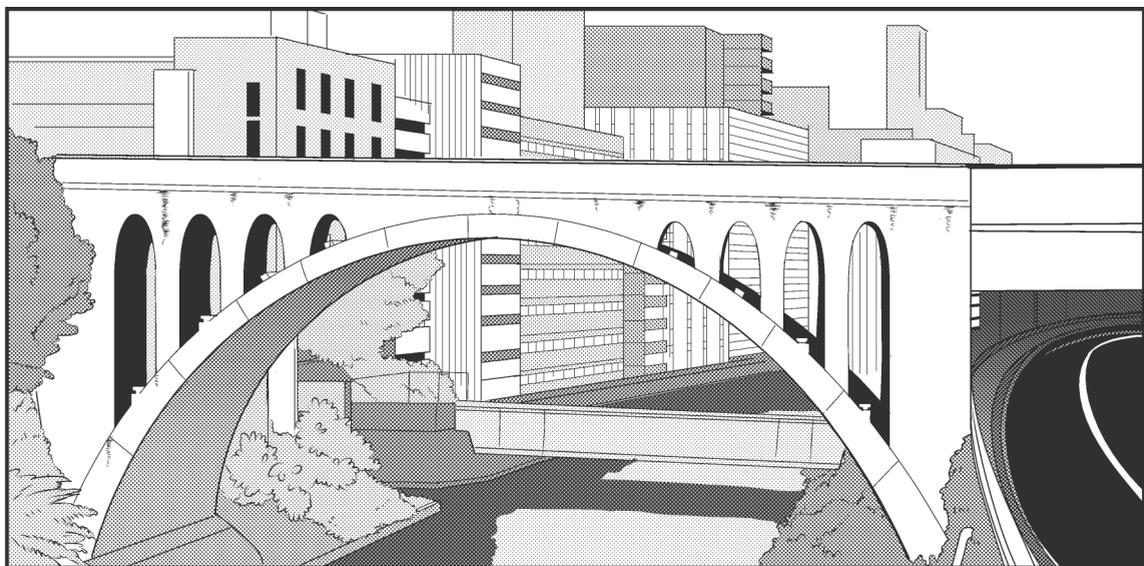
И тут я понял...

...что это я влюбился с первого взгляда.

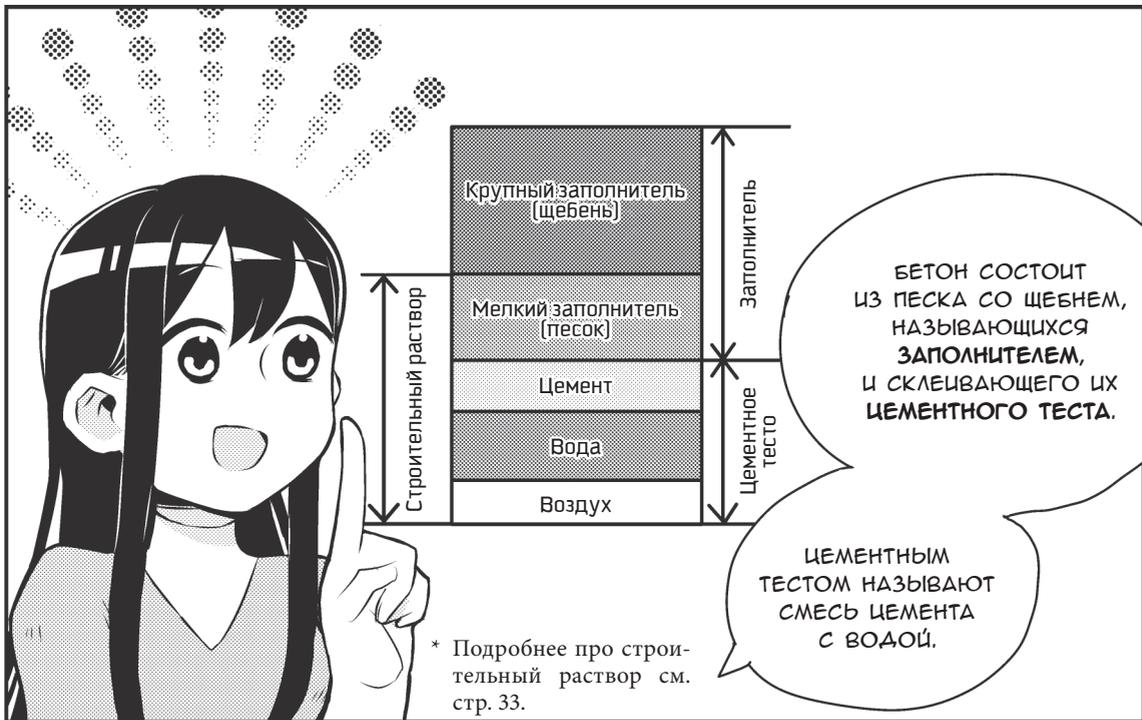
ГЛАВА 1

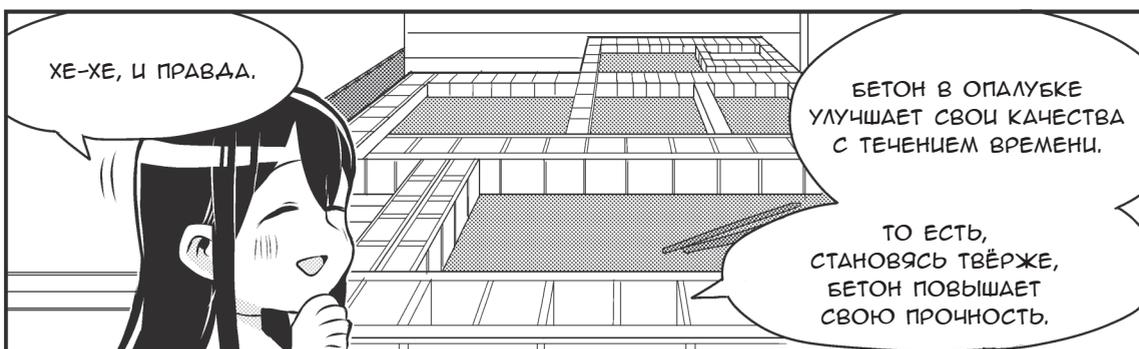
# ЧТО ТАКОЕ БЕТОН?













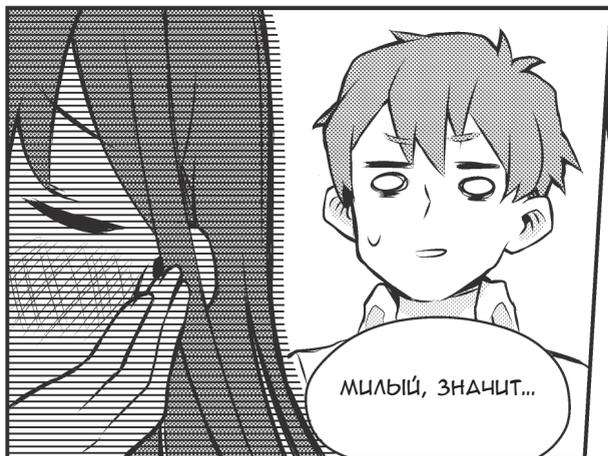
ЕСЛИ ЗА БЕТОНОМ  
ТЩАТЕЛЬНО УХАЖИВАТЬ,  
ТО ОН БУДЕТ ХОРОШО  
"РАСТИ", УЛУЧШАЯ СВОИ  
СВОЙСТВА.

НО ЕСЛИ ЕМУ  
НЕ ОБЕСПЕЧИТЬ  
ПРАВИЛЬНЫЙ УХОД,  
ЕГО КАЧЕСТВА БУДУТ  
НЕИЗБЕЖНО  
УХУДАШАТЬСЯ.



ОН ТАКОЙ МИЛЫЙ.

Axi!



МИЛЫЙ, ЗНАЧИТ...



НЕОБХОДИМОСТЬ В КОНТРОЛЕ  
НАД ИЗМЕНЕНИЯМИ СВОЙСТВ  
С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ ЯВЛЯЕТСЯ  
ОСОБЕННОСТЬЮ БЕТОНА,  
ОТЛИЧАЮЩЕЙ ЕГО ОТ ДРУГИХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.



СООТНОШЕНИЕ ВОДЫ, ЦЕМЕНТА, ЩЕБНЯ И ПЕСКА, ЯВЛЯЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТАМИ БЕТОНА, В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАЗЫВАЮТ **КОМБИНИРОВАНИЕМ**, А В АРХИТЕКТУРЕ - **КОМПАУНДИРОВАНИЕМ**.

Комбини-  
рование

Компаунди-  
рование



ЗНАЧИТ, В СФЕРАХ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ ИСПОЛЗУЮТСЯ РАЗНЫЕ ТЕРМИНЫ.



ИМЕННО.



УСТОЙЧИВОСТЬ К ТЕКУЧЕСТИ И РАСЩЕПЛЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ...

...А ТАКЖЕ ПРОЦЕСС УТВЕРЖДЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ПРОПОРЦИЙ ВОДЫ, ЦЕМЕНТА, ПЕСКА И ЩЕБНЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА, ИМЕЮЩЕГО ТРЕБУЕМЫЕ ДЛЯ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ ВЫНОСЛИВОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ, НАЗЫВАЮТ **ПРОЕКТИРОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАНИЯ (КОМПАУНДИРОВАНИЯ)**.

Проектирование  
комбинирования  
[компаундирования]

ЗНАЧИТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАНИЯ (КОМПАУНДИРОВАНИЯ)...

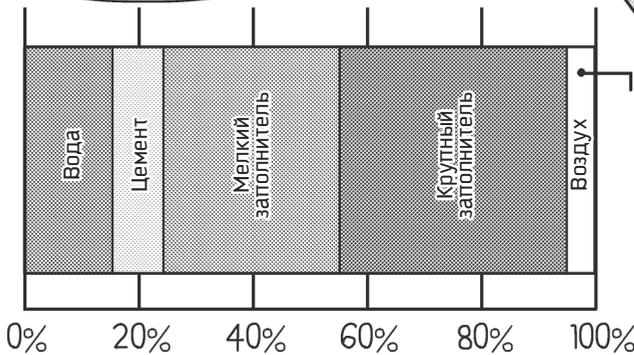
ПЕРИОД  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БЕТОНА ОБЫЧНО  
ОЧЕНЬ ДЛИТЕЛЕН.

НО НЕОБХОДИМО ТЩАТЕЛЬНО  
ПОДБИРАТЬ КОМПОНЕНТЫ  
И ПРОПОРЦИИ, В КОТОРЫХ  
ИХ СМЕШИВАТЬ, ЧТОБЫ ТОЧНО  
ОПРЕДЕЛИТЬ, КАК МЕНЯЮТСЯ  
СВОЙСТВА БЕТОНА ВО ВРЕМЯ  
ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ.



ИМЕЕТСЯ В ВИДУ,  
ЧТО НЕЛЬЗЯ СМЕШИВАТЬ  
НЕУТВЕРЖДЕННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ АБЫ КАК...

ХОТЯ НА ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД  
МОЖЕТ ПОКАЗАТЬСЯ, ЧТО ВСЕ  
ВИДЫ БЕТОНА ВЫГЛЯДЯТ  
ОДИНАКОВО, НА ДЕЛЕ ЖЕ ОНИ  
ВСЕ ИМЕЮТ РАЗНЫЕ СВОЙСТВА  
И КАЧЕСТВА В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ПРЕДНАЗНАЧЕНИЯ.



ЕСЛИ ИЗОБРАЗИТЬ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ  
СООТНОШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ  
БЕТОНА В ВИДЕ ПРОЦЕНТОВ ОТ  
ОБЩЕГО ОБЪЕМА, ТО ОНО  
БУДЕТ ВЫГЛЯДЕТЬ ВОТ ТАК.



КАК ВИДНО,  
ПЕСОК СО ШЕБЕНЕМ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ  
ОСНОВОЙ ДЛЯ ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНА,  
СОСТАВЛЯЮТ ПОЧТИ 80 ПРОЦЕНТОВ  
ОТ ОБЩЕГО ОБЪЕМА...



ЭТО ПОТОМУ,  
ЧТО ЗАПОЛНИТЕЛЬ  
ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПРОЧНОСТЬ  
И УСТОЙЧИВОСТЬ,  
ПО ИСТИНЕ ЯВЛЯЯСЯ  
"КОСТЯКОМ" БЕТОНА.



ЦЕМЕНТНОЕ ТЕСТО, ПОЛУЧЕННОЕ  
ПУТЁМ СМЕШИВАНИЯ ВОДЫ  
С ЦЕМЕНТОМ, ВЫПОЛНЯЕТ  
ФУНКЦИЮ КЛЕЯ, СОЕДИНЯЮЩЕГО  
ЭТОТ "КОСТЯК".



Тесто



ВЖИК-  
ВЖИК



ОНО РЕАГИРУЕТ  
НА ИЗМЕНЕНИЕ  
ВЛАЖНОСТИ  
И ТЕМПЕРАТУРЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ.



Совсем ушла  
в тему

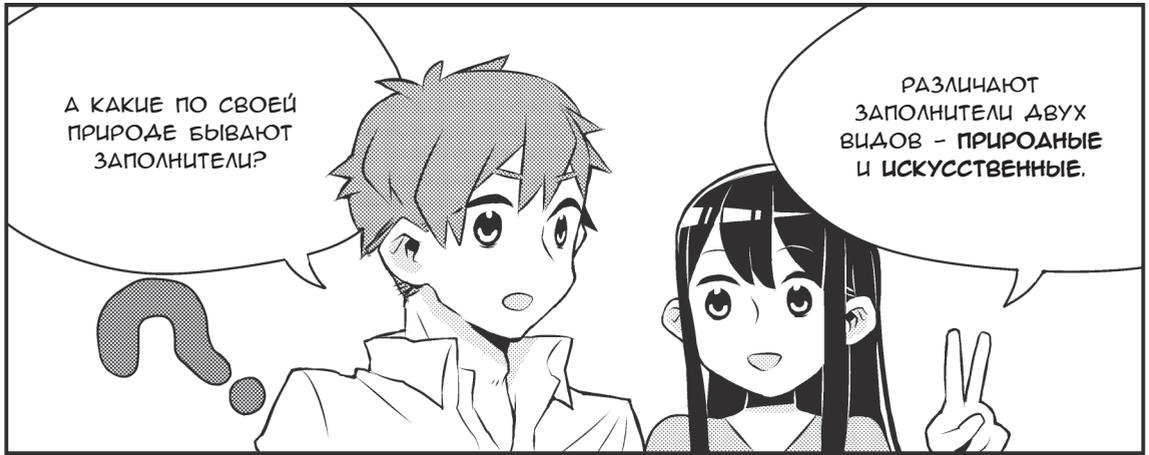


ПРОЧНОСТЬ  
И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ  
ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА МОЖНО  
РЕГУЛИРОВАТЬ, ИЗМЕНЯЯ  
СООТНОШЕНИЕ ВОДЫ И ЦЕМЕНТА.



## 1.2. О ЗАПОЛНИТЕЛЯХ БЕТОНА

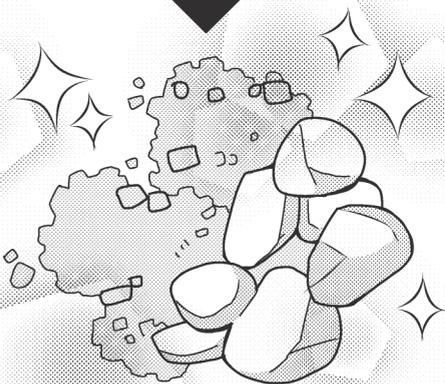




ЕЩЁ ПРЕДПРИНИМАЮТСЯ  
ПОПЫТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВТОРИЧНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ,  
КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ  
В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТСЛУЖИВШЕГО СВОЙ СРОК  
БЕТОНА.



Из переломанного бетона...



...извлекают заполнитель!!

НАСТАЛА  
ЭПОХА ЭКОНОМИИ  
И ДЛЯ ЗАПОЛНИТЕЛЯ...



В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ВИДА ЗАПОЛНИТЕЛЯ  
ТАКИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА, КАК ФОРМА  
И ПРОЧНОСТЬ...

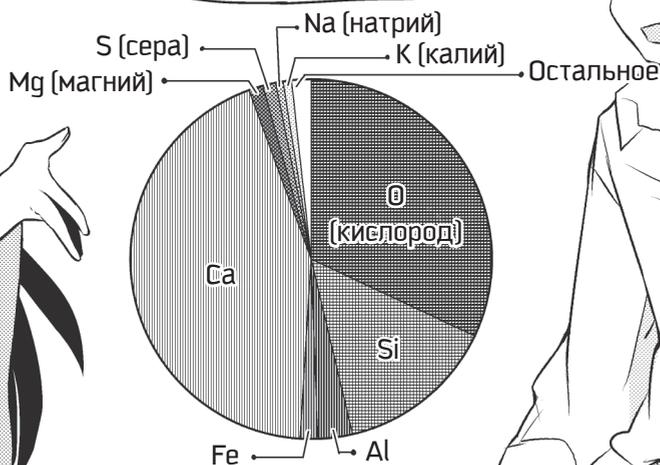
...ВКЛЮЧАЯ  
ХИМИЧЕСКУЮ ИНЕРТНОСТЬ  
ПО ОТНОШЕНИЮ К КИСЛОТАМ  
И ЩЕЛОЧАМ, МЕНЯЮТСЯ, ПОЭТОМУ  
НЕОБХОДИМО ТЩАТЕЛЬНО  
ПРОДУМЫВАТЬ ВОЗМОЖНЫЕ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСТАВА  
ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ГОТОВЫЙ  
БЕТОН.

### 1.3. О ЦЕМЕНТЕ



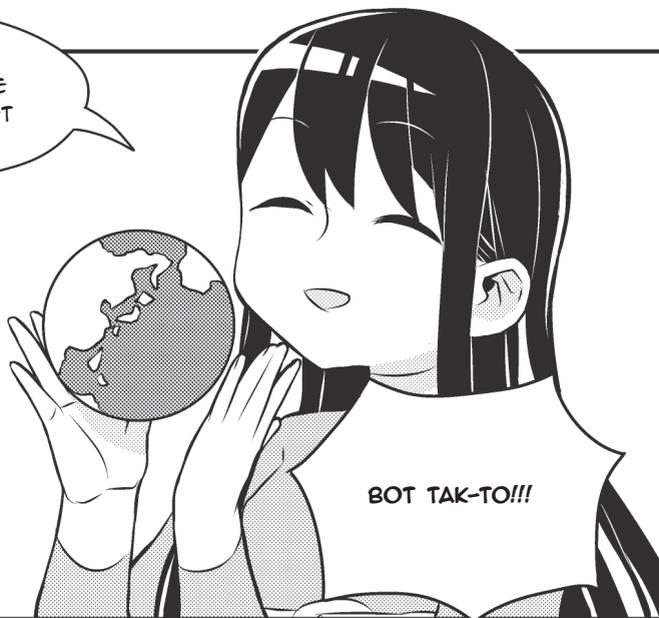
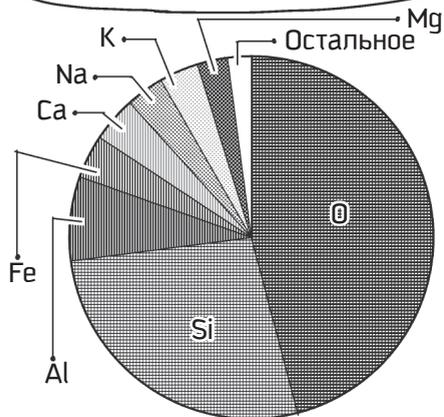
ПРАВИЛЬНО ЦЕМЕНТ,  
ПРИМЕНЯЕМЫЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ,  
НАЗЫВАЮТ **ПОРТЛАНЦЕМЕНТОМ**.  
ОСНОВНЫМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ ЕГО  
ЭЛЕМЕНТАМИ ЯВЛЯЮТСЯ КАЛЬЦИЙ (Ca),  
КРЕМНИЙ (Si), АЛЮМИНИЙ (Al)  
И ЖЕЛЕЗО (Fe).

ЭТИ ЭЛЕМЕНТЫ ВАМ НИЧЕГО  
НЕ НАПОМИНАЮТ?



А? НУ ВОООЩЕ...

ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ КАЛЬЦИЯ,  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ  
ОСТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАПОМИНАЕТ  
СОСТАВ ЯДРА ЗЕМЛИ.

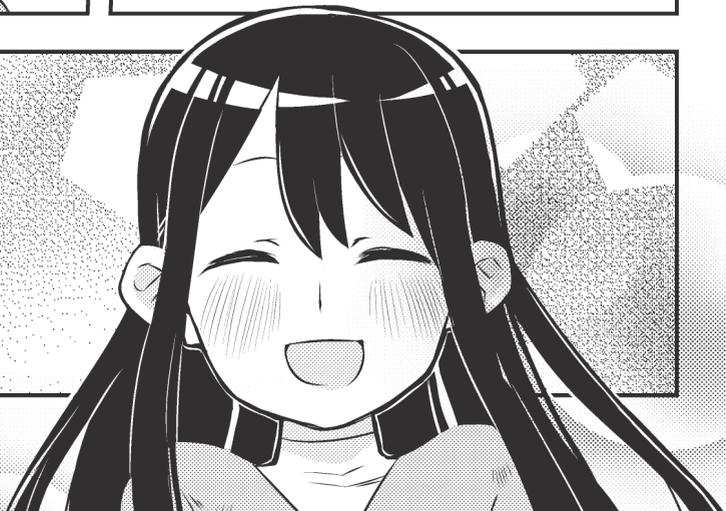


ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ЦЕМЕНТ СОСТОИТ  
ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ, РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННЫХ  
ПО ВСЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ. В ОТЛИЧИЕ  
ОТ ДРУГИХ ПРИРОДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ,  
ТАКИХ КАК НЕФТЬ, РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ  
И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ЕГО  
"МЕСТОРОЖДЕНИЯ" НЕ ПРИВЯЗАНЫ  
К ОПРЕДЕЛЕННЫМ РЕГИОНАМ.



ПОЭТОМУ ЦЕМЕНТ  
ПРОИЗВОДИТСЯ ГДЕ УГОДНО  
И В БОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВАХ  
И ПОВСЕМЕСТНО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ  
В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА  
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
И АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

ИМЕННО ТАК!!



А КАК ЭТОТ ЦЕМЕНТ  
ИЗГОТАВЛИВАЮТ?



Измельчение в порошок  
и обжигание

Сырьё

Известняк  
Кремнезём  
Глина

Клинкер

Охлаждение

Гипс

Пulверизация

Цемент

СЫРЬЕВУЮ  
СМЕСЬ ИЗ ИЗВЕСТНЯКА,  
КРЕМНЕЗЁМА И ГЛИНЫ  
ИЗМЕЛЬЧАЮТ В ПОРОШОК,  
КОТОРЫЙ ОТПРАВЛЯЮТ  
В РАСКАЛЁННУЮ ДО 1450 °С  
ПЕЧЬ И ОБЖИГАЮТ  
ДО ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТА  
ОБЖИГА, НАЗЫВАЮЩЕГОСЯ  
КЛИНКЕРОМ.

СКАТАННЫЙ  
В КОЛОБКИ КЛИНКЕР  
ОТПРАВЛЯЮТ В ОХЛАДИ-  
ТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО  
И РЕЗКО ОХЛАЖДАЮТ,  
ВПОСЛЕДСТВИИ СМЕШИВАЮТ  
С ГИПСОМ И В ПРОЦЕССЕ  
ПУЛЬВЕРИЗАЦИИ  
ПОЛУЧАЮТ ЦЕМЕНТ.

ОГО-О!

МЕЖДУ ПРОЧИМ,  
В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ЦЕМЕНТА  
ТАКЖЕ ИСПОЛЬЗУЮТ ЛЕТУЧУЮ ЗОЛУ,  
ОБРАЗУЮЩУЮСЯ НА ТЭЦ,  
И ДОМЕННЫЙ ШЛАК, ЯВЛЯЮЩИЙСЯ ОТХОДОМ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ,  
ЧТО СПОСОБСТВУЕТ УТИЛИЗАЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ.

ХММ...



БОЛЕЕ ТОГО, ЕЩЁ ЕСТЬ ТАК  
НАЗЫВАЕМЫЙ ЭКОЦЕМЕНТ,  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОТОРОГО  
В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ  
ИСПОЛЬЗУЮТ ЗОЛУ  
ОТ СОЖЖЁННОГО  
ГОРОДСКОГО МУСОРА.

БЛАГОДАРЯ РАЗЛИЧНЫМ  
ТЕХНОЛОГИЯМ ПОДОБНЫЙ  
ЦЕМЕНТ НЕ УСТУПАЕТ ПО  
СВОЙСТВАМ ОРИГИНАЛЬНОМУ  
ПРОДУКТУ ИЗ ПЕРВИЧНОГО  
СЫРЬЯ.



ЭТО ОДНО  
ИЗ ПОСЛЕДНИХ  
ДОСТИЖЕНИЙ ЯПОНСКИХ  
НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ!

ОГО!  
ВОТ ЭТО ДА!



#### 1.4. БЕТОН ВОКРУГ НАС

БЕТОН ЯВЛЯЕТСЯ  
НЕЗАМЕНЫМЫМ МАТЕРИАЛОМ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГИХ  
СООРУЖЕНИЙ ГРАЖДАНСКОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА...

...ТАКИХ КАК МОСТЫ,  
ТУННЕЛИ, ДАМБЫ,  
ПЛОТИНЫ, ЖИЛЬЕ ДОМА,  
НЕБОСКРЁБЫ.



И ПРАВДА,

БЕЗ БЕТОНА НАША ЖИЗНЬ,  
ПОЖАЛУЙ, НЕВОЗМОЖНА...



В АДЕЙСТВЕЛЬНОСТИ  
БЕТОН ЯВЛЯЕТСЯ ВТОРЫМ  
РЕСУРСОМ ПОСЛЕ ВОДЫ  
ПО СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВО ВСЁМ МИРЕ.

И ПРИЧИНАМИ СТОЛЬ  
ИНТЕНСИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ЯВЛЯЕТСЯ ОБЩАЯ  
ДОСТУПНОСТЬ СЫРЬЯ,

СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

И ВАОЕБАВОК  
НИЗКАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ -  
МЕНЬШЕ 6 РУБЛЕЙ ЗА ЛИТР.  
ВСЕ ЭТО ОБЪЯСНЯЕТ  
ПРЕИМУЩЕСТВА БЕТОНА ПЕРЕД  
ДРУГИМИ МАТЕРИАЛАМИ.



КОРОЧЕ,  
БЕТОН -  
ИДЕАЛЬНЫЙ  
КАНДИДАТ  
В КАЧЕСТВЕ  
СТРОЙ-  
МАТЕРИАЛА.



ОДНАКО СВОЙСТВА  
И КАЧЕСТВО  
ГОТОВОГО БЕТОНА  
СИЛЬНО МЕНЯЮТСЯ  
В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ УСЛОВИЙ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА.

ЭТО ПОТОМУ, ЧТО ХОТЬ ВОДА, ЦЕМЕНТ,  
ПЕСОК И ЩЕБЕНЬ ПО ОТДЕЛЬНОСТИ  
ЯВЛЯЮТСЯ ПРОСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ,  
ИХ РАЗЛИЧНОЕ КОМБИНИРОВАНИЕ,  
СПОСОБЫ ИХ СМЕШИВАНИЯ И МЕТОДЫ,  
ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ,  
СИЛЬНО ВЛИЯЮТ НА ИТОГОВОЕ  
КАЧЕСТВО.



К ТОМУ ЖЕ  
ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПРИГОДНОСТИ БЕТОНА  
ДОВОЛЬНО  
ЗАТРУДНИТЕЛЬНО.



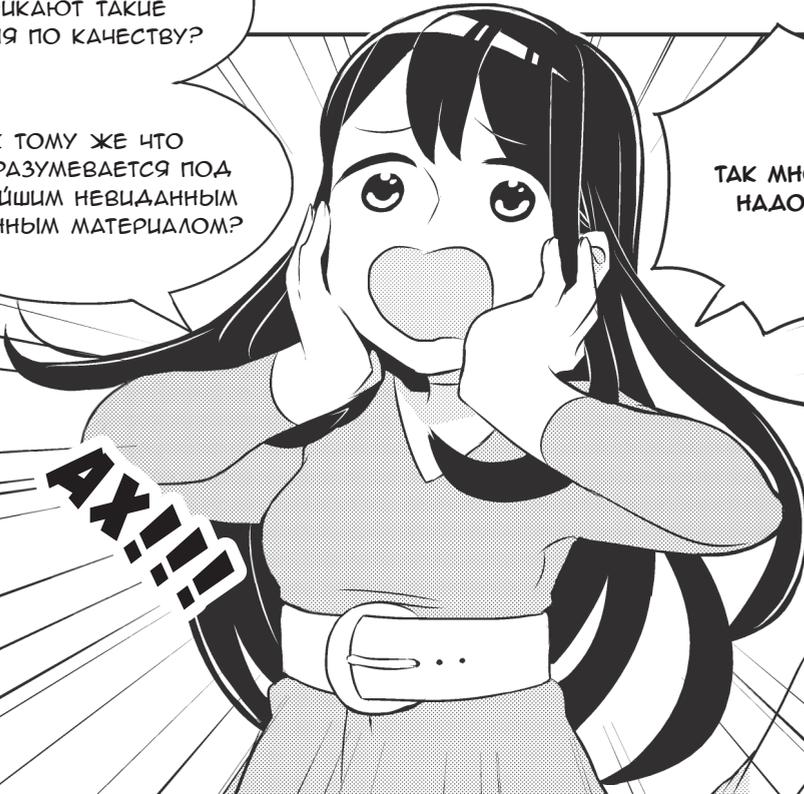
НУ ДА...

ДА И ВООБЩЕ,  
ПОЧЕМУ В ПРИНЦИПЕ  
ВОЗНИКАЮТ ТАКИЕ  
РАЗЛИЧИЯ ПО КАЧЕСТВУ?



КАК ЖЕ СДЕЛАТЬ БЕТОН,  
КОТОРЫЙ БУДЕТ КРАСИВЫМ,  
ПРОЧНЫМ И ПРИ ЭТОМ БУДЕТ  
ЕЩЕ И ДОЛГО СЛУЖИТЬ?

К ТОМУ ЖЕ ЧТО  
ПОДРАЗУМЕВАЕТСЯ ПОД  
НОВЕЙШИМ НЕВИДАННЫМ  
БЕТОННЫМ МАТЕРИАЛОМ?

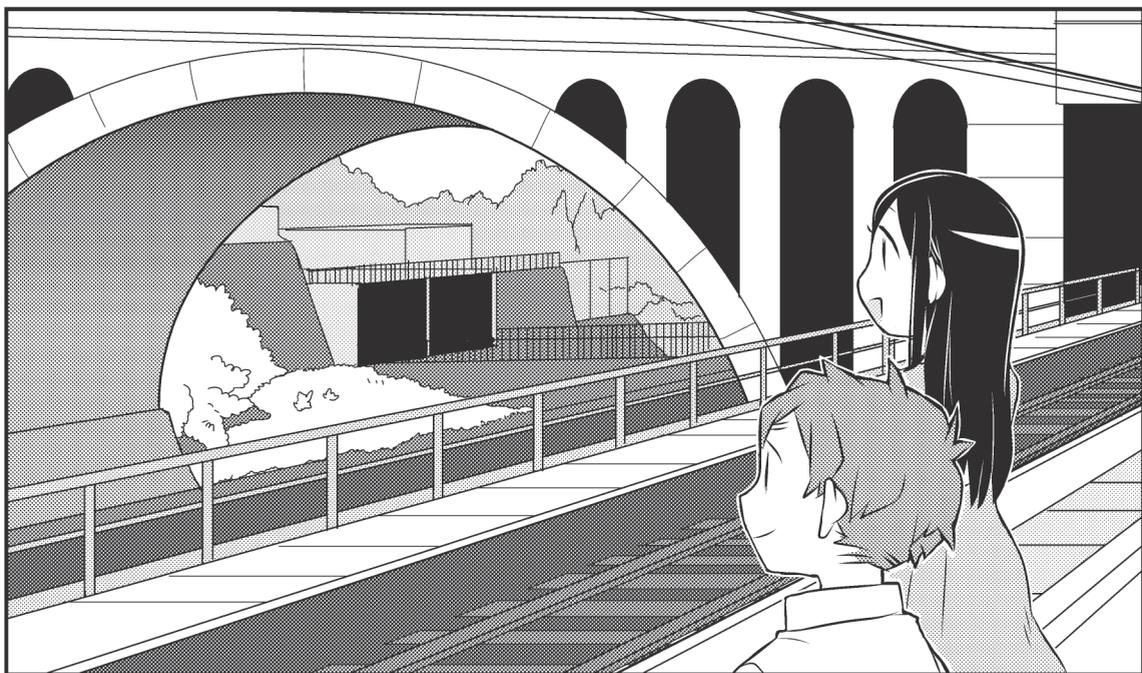
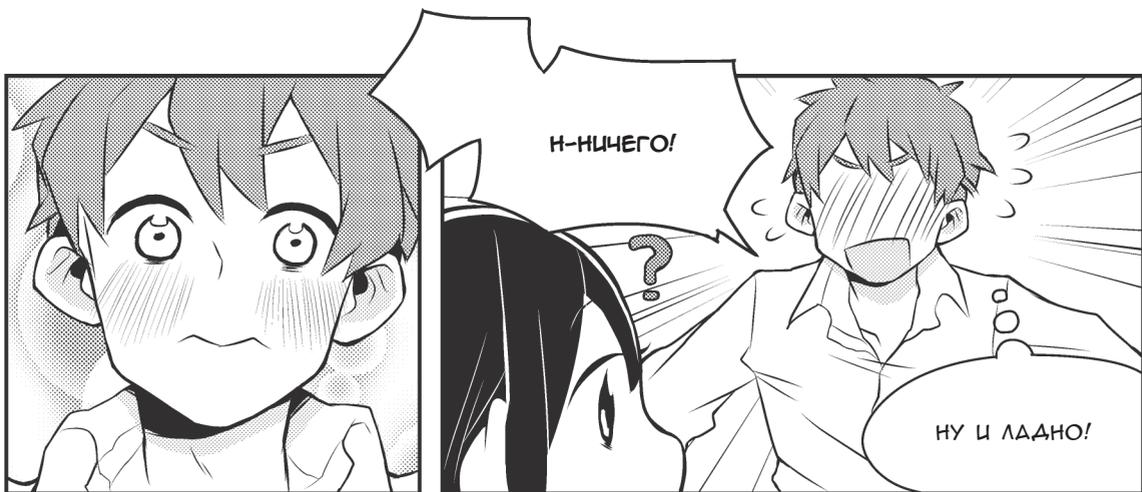


ТАК МНОГО ВЕЩЕЙ ЕЩЕ  
НАДО РАССКАЗАТЬ!!

**АХ!!**









## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

### Что такое бетон

Бетон является самым востребованным в мире стройматериалом, изготавливаемым путём смешивания воды, цемента, мелкого заполнителя (песка) и крупного заполнителя (щебня). Существуют следующие разновидности бетона: бетон, изготовленный непосредственно на месте строительных работ, и свежий бетон с завода по производству бетонной смеси. Готовый продукт либо поставляется на места строительства, либо утилизируется в качестве сырья для переработанного бетона на заводах по производству материалов вторичной обработки.

Устройство для изготовления бетона вблизи строительных площадок называют пневмонагнетателем (пневматическим бетононасосом). Этот агрегат состоит из резервуара для хранения цементного сырья, дозатора для отмеривания количества сырья и бетоносмесителя для смешивания. Пневмонагнетатель устанавливается, когда требуется большое количество бетона для строительства бетонных плотин и снижения финансовых затрат на транспортные перевозки.

На первых порах применения бетона в строительстве его производство в основном осуществлялось на месте строительных работ. Однако благодаря изобретению автобетономешалки стала возможной транспортировка бетона постоянного состава и качества, в связи с чем в Японии с 1955 года начало распространяться использование свежего бетона (бетонной смеси). Производство свежего бетона, коммерческое название которого – бетонная смесь, сильно увеличилось после Второй мировой войны в связи с ростом потребности в нём в период экономического роста в стране. Благодаря удобству транспортировки свежего бетона, быстро доставляемого «по телефонному звонку», отпала необходимость в установке агрегатов для изготовления бетона на самих стройплощадках, в связи с чем свежий бетон широко применяется и в наши дни. Так, общий объём поставок бетона в 2009 году составлял почти 86 млн м<sup>3</sup>. Однако, сравнивая эти цифры с рекордом 1990 года, когда общий объём бетонного груза составил почти 198 млн м<sup>3</sup>, нельзя не заметить, что количество изготавливаемого бетона с тех пор снизилось более чем в половину.

Изделия из бетона, изготавливаемые на специальных заводах ЖБИ, называют сборными железобетонными конструкциями. К сборным железобетонным конструкциям относятся: сегменты туннелей, применяемых при строительстве туннелей щитовым способом (см. главу 3), сборные перекрытия (см. главу 6), водопропускные трубы, несущие стены и даже электрические столбы. Производство сборного железобетона непосредственно на заводе значительно упрощает контроль над процессом строительства и позволяет стабилизировать качество продукта.

## Бетон, идущий в ногу со временем

Мягкая консистенция свежеприготовленного бетона позволяет создавать объекты различной формы путём заливания бетона в предназначенные для этого опалубки. Еще не застывший бетон в мягком состоянии называют свежим бетоном. Пройдёт несколько часов после заливки бетона, прежде чем цемент начнёт постепенно взаимодействовать с водой в ходе химической реакции гидратации, что приводит к его застыванию. Процесс заливания бетона в опалубки называется **бетонированием**, или **укладкой бетона**. При этом одновременно повышаются прочность и плотность бетона благодаря изменению структуры цемента, происходящему в ходе химической реакции. В случае с обычным бетоном реакция гидратации осуществляется на 70–80 % в течение четырёх недель. Подобно тому, как образ жизни в подростковый период сильно влияет на дальнейший рост человека, процесс затвердевания в первый месяц после бетонирования определяет свойства бетона. Качество обеспечения правильного ухода за бетоном решает, длительным будет срок его службы или нет. Поэтому важно не только уметь правильно смешивать сырьё, но и после тщательно следить за дальнейшим формированием конечного продукта. Время влияет на изменения свойств бетона, позволяя мягкой бетонной смеси превращаться в материал, создающий прочный каркас, который можно использовать на протяжении долгого времени (рис. 1.1). Как можно заметить, бетон, идущий в ногу со временем, обладает многими качествами, не свойственными другим промышленным материалам.



Рис. 1.1. Бетон как «живой» материал

## Подбор состава бетона

Свойства бетона определяются соотношением пропорций воды, цемента, песка, щебня и воздуха. Это соотношение в гражданском строительстве называют **комбинированием**, а в области архитектуры – **компаундированием**, а процесс подбора необходимых пропорций называется **проектированием комбинирования (компаундирования)**. При подборе состава бетона следует учитывать желаемые свойства как свежей бетонной массы, так и затвердевшего бетона. При этом требуемые свойства итогового материала нужно продумывать в рамках проектирования не по отдельности, а соотносить как вместе взятые. Порой условия проектирования поставлены таким образом, что необходимо одновременно совмещать свойства бетона, в сущности противоречащие друг другу. Подобная ситуация даёт шанс проектировщику по бетону показать своё мастерство на высшем уровне. В таких случаях при подборе состава бетона следует учитывать не только текучесть и химическую стабильность сырья, но и прочность, необходимую для построения фундамента, и устойчивость к воздействиям окружающей среды готового продукта.

Состав бетона выражают в виде массового расхода материалов (кг), необходимых для приготовления 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси (табл. 1.1). Учитывая особое влияние количества воды и цемента на цену и качество бетона, отдельно указывается расход воды, который выражается водоцементным соотношением, где масса цемента принимается за 1. Эти характеристики бетона будет полезно запомнить, так как они часто используются в бетонном деле.

**Таблица 1.1. Пример подобранного состава бетона**

Водоцементное соотношение (% от массы)	Содержание воздуха (%)	Количество (кг/м <sup>3</sup> )			
		Вода	Цемент	Мелкий заполнитель	Крупный заполнитель
52,1	4,0	150	288	832	1040

Смесь цемента с водой называется цементным тестом, смесь цементного теста с песком – строительным раствором, а сам бетон представляет из себя смесь строительного раствора со щебнем. Указанное в табл. 1.1 водоцементное соотношение используется при изготовлении строительного раствора и является наиболее важной характеристикой, от которой напрямую зависит прочность и долговечность бетона. Чем ниже содержание воды в цементе, тем выше концентрация цемента в строительном растворе, что одновременно повышает прочность и долговечность материала. Содержание воздуха в бетоне выражается в процентах от общего объёма бетона. В данном случае под воздухом подразумеваются воздушные пузырьки с диаметром от нескольких десятков до 200 мкм. Добавление в бетон примеси – пластификатора АЕ – влияет на величину пор в бетоне. Пластифицирующие добавки увеличивают порог замерза-

ния воды в бетонном растворе, повышая тем самым морозостойкость бетона. Однако чрезмерное количество воздуха в бетоне может привести к снижению прочности. Обычно рекомендуется вовлекать воздух объемом от 4 до 7 % от общего объема бетона.

## Преимущества и недостатки бетона

Теперь попробуем разобрать особенности свойств бетона. В качестве преимуществ можно назвать следующие пункты:

- низкая цена;
- возможность изготовления из него различных форм;
- долговечность и огнестойкость.

В то же время нельзя не учитывать следующие недостатки:

- тяжелый вес;
- сложность утилизации;
- высокое сопротивление сжатию, но слабая устойчивость к растяжению;
- невозможность полного устранения глубоких трещин;
- сильная зависимость качеств сооружений (в особенности долговечности) от качества конструкции.

Бетон является одним из примеров того, как недостатки при определенных условиях могут превращаться в достоинства, и наоборот – преимущества могут становиться несовершенствами. Взять, к примеру, тяжёлый вес, рассматриваемый как недостаток бетона. В случае сооружения плотин тяжёлый вес бетона способствует сопротивлению давлению воды, превращаясь из недостатка в преимущество. В случае с архитектурными постройками и опорными структурами мостов для бюджетного строительства желательно использовать более лёгкий по весу материал с той же прочностью, что и у тяжёлой модификации. Однако тяжёлый материал более предпочтителен для громоздких устойчивых конструкций, таких как вышеупомянутые плотины. Несмотря на то что плотность (удельный вес) бетона меняется в зависимости от комбинирования и плотности сырьевых материалов, 1 м<sup>3</sup> бетона в среднем весит около 23 т. В составе бетона решающую роль в изменении веса играет плотность заполнителя (песок и щебень), имеющего наиболее высокий процент содержания по объёму. В связи с этим при изготовлении бетона с пониженным весом используют лёгкие пористые заполнители.

## Механические свойства бетона

Наиболее широко используется бетон с прочностью на сжатие от 20 до 40 МПа. В последние годы начали чаще использовать бетон с более высоким показателем прочности в 200 МПа. 200 МПа означает, что 1 м<sup>3</sup> бетона может выдерживать груз весом до 2 т. Бетон такой исключительной прочности используется при строительстве железобетонных многоэтажных зданий. В настоящее время

идет активная разработка и внедрение бетона особо повышенной прочности из-за увеличения нагрузки на сравнительно небольшое основание при строительстве небоскрёбов. Использование обычных материалов приводит к усилению прочности колонн при сжатии за счёт увеличения их толщины и, следовательно, уменьшению жилого пространства между колоннами. Однако следует заметить, что у модифицированного бетона достаточно низкая прочность на растяжение, по сравнению с его стойкостью к сжатию, что приводит к разрушению бетона лишь от одной десятой доли прилагаемой силы. Поэтому в результате соединения стойкого к сжатию бетона с прочной на растяжение арматурой появился железобетон (Reinforced Concrete, сокращенно RC), сочетающий качества обеих составляющих.

Существует много версий на тему того, кто изобрёл железобетон, но согласно наиболее признанному варианту первое изделие из железобетона было изготовлено одним французским садоводом, который сделал цветочный горшок, обмотав ступку изнутри железной проволокой. К тому же о существовании пропорциональной взаимосвязи между стойкостью к сжатию бетона и обратным водоцементным соотношением (содержанием цемента по отношению к общему количеству воды в бетоне) было известно с незапамятных времен. Так, американский профессор Д. А. Абрамс обнаружил связь между прочностью бетона и содержанием цемента по отношению к содержанию воды в бетоне ещё в 1920-е годы, о чем и написал в своей диссертации, опубликовав её в журнале американского сообщества технологов по бетону<sup>1</sup>. В последние годы вносятся предложения по внедрению моделей, с высокой точностью предсказывающих прочность бетона с учётом сложных процессов реакций гидратации цемента и микроструктуры бетона.

## Составные части бетона

Теперь давайте слегка изменим трактовку табл. 1.1 и рассмотрим сырьевые материалы с точки зрения процентного соотношения по объёму. Для упрощения допустим, что плотность воды – 1,0 г/см<sup>3</sup>, плотность цемента – 3,2 г/см<sup>3</sup>, а плотность мелкого и крупного заполнителей – 2,6 г/см<sup>3</sup>. Поскольку объём можно вычислить, поделив массу на плотность, состав бетона можно выразить через объёмное соотношение, как показано в табл. 1.2.

**Таблица 1.2. Состав бетона в объёмных долях**

Содержание воды в цементе (объем)	Содержание воздуха (%)	Количество (л/м <sup>3</sup> )			
		Вода	Цемент	Мелкий заполнитель	Крупный заполнитель
167	4,0	150	9	320	400

<sup>1</sup> Abrams D. A. Proportioning Concrete Mixtures // ACI Journal. 1922. V. 18 (2). P. 174–181.