

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт  
*институт*  
Строительные материалы и технологии строительства  
*кафедра*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г.В. Игнатьев  
подпись      инициалы, фамилия  
«26» 06 2017г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**В виде научной работы**

08.03.01 «Строительство»  
*код – наименование направления*

Разработка составов и технологии производства мелкозернистого  
бетона с минеральными добавками

Руководитель

С.В. Дружинкин  
26.06.17г.  
подпись, дата

к.т.н., доцент, С.В. Дружинкин  
должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Выпускники

Ю.А. Горинова  
26.06.17г.  
подпись, дата

Ю.А. Горинова  
инициалы, фамилия

Т.С. Яковлева  
26.06.17г.  
подпись, дата

Т.С. Яковлева  
инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

*институт*

Строительные материалы и технологии строительства

*кафедра*

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.В. Игнатьев

подпись

инициалы, фамилия

«22»

04

2017 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Гориновой Юлие Анатольевне, Яковлевой Татьяне Сергеевне

*фамилия, имя, отчество*

Группа СБ 13-41 Направление (профиль) 08.03.01

*(номер)*

*(код)*

«Строительство» - профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

*наименование*

Тема выпускной квалификационной работы Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками

Утверждена приказом по университету № 3731/с от 23.03.2017 г.

Руководитель ВКР С.В.Дружинкин, к.т.н, доцент кафедры СМиТС ИСИ СФУ

*инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы*

Исходные данные для ВКР бакалавра Разработать составы мелкозернистого бетона с минеральными добавками, изучить физико-механические свойства и подобрать технологическую линию производства.

Перечень разделов ВКР бакалавра Состояние вопроса, экспериментальная часть, технология производства, общие выводы.

Перечень графического материала Экспериментальная часть – 8 листов, технология производства – 3 листа.

Руководитель ВКР

  
подпись

С.В.Дружинкин  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

  
подпись

Ю.А. Горинова  
инициалы, фамилия

  
подпись

Т.С. Яковлева  
инициалы, фамилия

«26» 06. 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками» включает пояснительную записку, содержащую 80 страниц текста, 11 листов графического материала формата А1, 31 использованный источник.

**МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН, ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩАЯ ПОРОДА, МИКРОКРЕМНЕЗЁМ, РАЗРАБОТКА СОСТАВА, ДОБАВКА ПЛАСТИФИКАТОР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ.**

Объектом данной работы является мелкозернистый бетон, включающий в свой состав цеолитсодержащую породу и микрокремнезём в качестве минеральных добавок и добавки пластификаторы.

Целью является разработка оптимального состава мелкозернистого бетона с добавками.

В результате проведенной работы были подобраны составы мелкозернистого бетона с оптимальной дозировкой минеральных и химических добавок и выбрана рекомендуемая технология производства.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	9
1.1 Материалы, используемые в производстве бетона.....	12
1.2 Свойства мелкозернистого бетона.....	16
1.3 Технологические схемы производства мелкозернистого бетона.....	20
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	
2.1 Методика экспериментальных исследований.....	24
2.2 Характеристика применяемых материалов.....	24
2.2.1 Вяжущее.....	25
2.2.2 Мелкий заполнитель.....	26
2.2.3 Минеральные добавки.....	27
2.2.3.1 Исследование минерального состава цеолитсодержащих пород.....	27
2.2.3.2 Физико – механические свойства цеолитсодержащих пород Сахаптинского месторождения.....	29
2.2.3.3 Характеристика микрокремнезёма БрАЗ.....	30
2.2.4 Химические добавки.....	31
2.2.4.1 Muraplast FK49.....	32
2.2.4.2 Centrament N10.....	33
2.2.5 Вода.....	34
2.3 Разработка составов и исследование свойств мелкозернистого бетона с минеральными добавками.....	35
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	
3.1 Выбор способа производства.....	50
3.2 Описание технологического процесса.....	52

3.3 Двухвальный бетоносмеситель непрерывного действия принудительного перемешивания.....	60
3.3.1 Расчёт двухвального смесителя непрерывного действия принудительного перемешивания .....	64
3.3.2 Ведомость основного технического оборудования производства.....	67
3.4 Характеристика выпускаемой продукции.....	69
4 ЭКОЛОГИЯ.....	71
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Во многих сферах строительной индустрии использование мелкозернистого бетона экономически целесообразно. Отсутствие в регионе качественного крупного заполнителя, наличие работ, требующих снижения крупности заполнителя (такие как изготовление тонкостенных и густоармированных конструкций), необходимость в высоких показателях прочности и морозостойкости – факторы, способствующие развитию производства мелкозернистого бетона. Данный вид бетона отличается простой технологией изготовления, удобством транспортировки, высокими физико-механическими характеристиками. Чёткое соблюдение технологий гарантирует получение бетона, который подходит для создания широкой номенклатуры изделий.

Наряду с положительными моментами имеется и ряд недостатков, сдерживающих темпы производства мелкозернистого бетона и применение его в строительстве. Прежде всего, недостатки обусловлены структурой бетона, для которой характерны: большая однородность и мелкозернистость, высокое содержание цементного камня, отсутствие жёсткого каменного скелета, повышенная пористость и удельная поверхность твёрдой фазы.

Одним из эффективных способов повышения качества мелкозернистого бетона, а также снижения затрат при производстве бетонных изделий, является применение минеральных добавок, которые представляют собой тонкомолотые минеральные порошки, состоящие из низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция, аморфного кремнезёма и других веществ, которые обладают самостоятельной гидравлической и пуццолановой активностью. В сочетании с эффективными суперпластификаторами минеральные добавки повышают прочность изделий из мелкозернистого бетона, снижают водопотребность и пористость.

Работа направлена на разработку составов и технологии производства мелкозернистых бетонов, путем улучшения их свойств, введением минеральных и модифицирующих добавок. Это обеспечивает повышение технологичности, прочности, водо – и морозостойкости и эксплуатационной надежности получаемых материалов.

Целью работы является разработка составов мелкозернистого бетона с оптимальной дозировкой минеральных и химических добавок без потери прочности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные и практические задачи:

1. Изучить свойства исходных материалов для получения мелкозернистого бетона;
2. Подобрать оптимальный состав мелкозернистого бетона, изучить влияние минеральных и пластифицирующих добавок на свойства бетонной смеси и мелкозернистого бетона;
3. Выбрать способ производства на основании подобранного состава.



## 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Основным строительным материалом, обеспечивающим высокую несущую способность и длительный срок службы, является бетон [1]. Развитие современного бетоноведения направлено на повышение физико – механических характеристик бетона, а также на снижение затрат при производстве и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Для реализации данных задач необходимо применение инновационных технологий при производстве бетона [2].

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития промышленности строительных материалов является производство песчаных бетонов и изделий из них. Песчаный бетон – это распространенная разновидность мелкозернистого бетона, которая не содержит крупного заполнителя. Сравнительно высокая удельная поверхность заполнителя в песчаном бетоне обуславливает повышенный (на 20 – 40 %) расход цемента, необходимый для заполнения межзерновых пор и создания достаточной обмазки цементного теста. Снижение расхода цемента достигается выбором оптимального гранулометрического состава заполнителя, введением активных минеральных добавок и микрозаполнителей, применением суперпластификаторов и эффективных способов уплотнения.

Наибольшая прочность изделий из мелкозернистого бетона достигается при оптимальном соотношении между цементом и песком (Ц:П). Качество заполнителя для мелкозернистых бетонов сказывается на его основных свойствах в большей мере, чем для обычных тяжелых бетонов. Поданным Ю.М. Баженова, замена в песчаном бетоне крупного песка мелким может уменьшать прочность на 25 – 30 %, а иногда в 2 – 3 раза. Как при оптимальном В/Ц, так и при одинаковой удобоукладываемости смеси при применении песка средней крупности наиболее экономичные составы, обеспечивающие минимальное отношение расхода цемента к прочности

бетона, достигаются при Ц:П = 1:2 – 1:3. При переходе на мелкозернистые пески оптимальными оказываются составы 1:1 – 1:1,5.

Особенностью мелкозернистых бетонных смесей является повышенное воздухововлечение. Введение суперпластификаторов позволяет существенно снизить В/Ц без изменения подвижности, что приводит соответственно к увеличению класса мелкозернистых бетонов по прочности. Для мелкозернистых бетонов характерно повышенное отношение прочности на растяжение и изгиб к прочности на сжатие. При равной прочности на сжатие прочность при изгибе для мелкозернистых бетонов на 10 – 15 % выше, чем у обычных. Повышенные значения прочности при растягивающих и изгибающих напряжениях мелкозернистых бетонов объясняются большой однородностью их структуры. Особенности структуры сказываются также на деформативных свойствах мелкозернистых бетонов. Они имеют модуль упругости на 20 – 30 % ниже, чем у обычного бетона, более высокие значения усадки и ползучести. Деформативность и ползучесть могут быть значительно снижены за счет повышения жесткости бетонных смесей, применения силовых методов уплотнения [3].

Преимуществами использования высокопрочных песчаных бетонов являются:

- Снижение массы конструкций в несущих железобетонных элементах зданий за счёт уменьшения объёма бетона (до 50 %), приводящее к экономии всех материалов, входящих в состав бетона, а при равных размерах и к сокращению расходов арматурной стали (до 30 %), при этом также снижается трудоёмкость изготовления, транспортные расходы и приведённые затраты [4];

- Получение высокопрочных изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками [5];

- Текучесть и пластичность раствора позволяют создавать конструкции различной формы методом литья;

– Структура мелкозернистого бетона позволяет длительно транспортировать его в бетономешалках-миксерах без расслаивания;

– Мелкозернистые бетоны отличаются большей однородностью структуры за счёт отсутствия крупного заполнителя и лучшего сцепления цементного камня с песком, что приводит к увеличению прочности на растяжение;

– Значительное содержание воздушных пор увеличивает морозостойкость мелкозернистого бетона в сравнении с обычным тяжёлым бетоном до двух раз.

Традиционное применение мелкозернистого бетона – регионы, где отсутствует крупный заполнитель. Отказ от привозного заполнителя в таких случаях даёт существенную экономию. Расширение применения тонкостенных и густоармированных конструкций требует снижения крупности заполнителей, что также увеличивает возможности использования мелкозернистого бетона. Эффективность применения мелкозернистого бетона возрастает в тех случаях, когда его состав определяется не прочностью на сжатие, а свойствами, которые имеют у него повышенные значения. Это в первую очередь прочность при растяжении и морозостойкость. В таких случаях разница в расходах цемента по сравнению с обычным бетоном уменьшается. Сочетание повышенной прочности при растяжении и значительной морозостойкости привело к широкому применению мелкозернистого бетона при строительстве дорог, производстве тротуарной плитки и бордюров. Помимо этого, мелкозернистый бетон применяется при производстве тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций, стеновых блоков, черепицы, фасадной плитки, бортового камня для магистралей и газонов, водосточных желобов и других изделий.

## **1.1 Материалы, используемые в производстве мелкозернистого бетона**

Мелкозернистый бетон получают из смеси мелкого заполнителя, цемента и воды в определённых пропорциях. Для повышения экономической эффективности и снижения расхода вяжущего в состав бетонной смеси вводят химические и минеральные добавки. Технические требования к материалам для мелкозернистого бетона приведены в ГОСТ 26633–2015 [6].

В качестве мелкого заполнителя применяется песок, состоящий из зёрен размером 0,16–5 мм и имеющий плотность более 1,8 г/см<sup>3</sup>. Для приготовления мелкозернистого бетона применяют природные пески, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород, а также искусственные, полученные путём дробления твёрдых горных пород и из отсевов.

Качество песка, применяемого для изготовления бетона, определяется минеральным составом, зерновым составом и содержанием вредных примесей. Заполнитель должен состоять из зёрен разных фракций, при этом зерновой состав заполнителя устанавливается на основе проверенных рекомендаций таким образом, чтобы зёрна меньшего размера располагались в пустотах между крупными.

Мелкие частицы (пыль, ил, глина) увеличивают водопотребность бетонных смесей и расход цемента в бетоне. Потому содержание в песке зёрен, проходящих через сито 0,16 мм, должно быть не более 10 % по массе, при этом количество пылевидных, илистых и глинистых частиц, определяемых отмачиванием, не должно превышать 3 %. Глина набухает при увлажнении и увеличивается в объёме при замерзании, снижая морозостойкость. Поэтому содержание глины в песке строго ограничивается, тем более не должно быть комков глины и суглинка [7].

Наиболее универсальным и эффективным способом модифицирования структуры и регулирования свойств бетона является введение в бетонную смесь дополнительных компонентов – добавок. В настоящее время в экономически развитых странах практически весь выпускаемый бетон изготавливается с применением добавок, номенклатура которых чрезвычайно многообразна. Они, как правило, оказывают комплексное воздействие на бетонные смеси и затвердевший бетон [3].

В соответствии с ГОСТ 24211–2008 [8] добавки, применяемые для модифицирования свойств смесей, бетонов и растворов, в зависимости от основного эффекта действия подразделяют на классы, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 – Классы добавок, в зависимости от основного эффекта

Класс добавок	Подкласс добавок
Добавки, регулирующие свойства бетонных и растворных смесей	Пластифицирующие, суперпластифицирующие
	Водоредуцирующие, суперводоредуцирующие
	Стабилизирующие
	Регулирующие сохраняемость подвижности
	Увеличивающие воздухо– (газо) содержание
Добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов	Регулирующие кинетику твердения: ускорители, замедлители
	Повышающие прочность
	Снижающие проницаемость
	Повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре
	Повышающие морозостойкость
	Повышающие коррозионную стойкость
	Расширяющие
Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства	Противоморозные: для "холодного" бетона, для "теплого" бетона
	Гидрофобизирующие
	Фотокаталитические
Минеральные добавки	Тип I – активные минеральные: – обладающие вяжущими свойствами – обладающие пуццолановой активностью – обладающие одновременно вяжущими свойствами и пуццолановой активностью
	Тип II – инертные минеральные

В технологии бетона наибольшее распространение получили пластифицирующие добавки (пластификаторы), улучшающие подвижность бетонной смеси без увеличения водосодержания и снижения прочности. Они позволяют также уменьшать водосодержание без ухудшения удобоукладываемости бетонных смесей и достигать улучшения основных свойств бетона или при заданных свойствах бетона уменьшать необходимый расход цемента

В соответствии с эффективным пластифицирующим действием, то есть увеличением подвижности бетонной смеси без снижения прочности бетона, пластификаторы делят на 4 категории, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация пластификаторов бетонных смесей

Категория	Наименование	Эффективное пластифицирующее действие (увеличение ОК с 2...4 см), см	Уменьшение количества воды, %
I	Суперпластификаторы	До 20 см и более	Не менее 30
II	Пластификаторы	14...19	Не менее 10
III	Пластификаторы	9...13	Не менее 5
IV	Пластификаторы	8 и менее	Менее 5

Суперпластификаторы (СП) начали применять в производстве бетона в начале 1970-х годов. Благодаря им оказалось возможным существенно улучшить свойства бетона без увеличения расхода цемента, получать бетоны из самоуплотняющихся смесей при умеренном водосодержании, высокопрочные бетоны на обычных портландцементе и заполнителях, обладающие низкой проницаемостью, высокой коррозионной стойкостью и т.д. Введение СП является в настоящее время обязательным условием производства высококачественных, высокотехнологичных бетонов [3].

В группу минеральных добавок относят неорганические порошкообразные вещества, вводимые в бетонную смесь для экономии цемента и регулирования свойств бетона. В качестве минеральных добавок

возможно использование отходов металлургии, горной, химической и других видов промышленности, природные и искусственные материалы различной гидравлической активности [9].

Условно все добавки можно разделить на 3 группы:

– неактивные минеральные добавки (глинистые грунты, молотый кварцевый песок, пылевидная фракция отходов дробильно-сортировочных заводов и другие);

– активные минеральные добавки (способные связывать СаО или известь при гидратации минералов цемента: микрокремнезём, молотые шлаки, зола уноса ТЭС и другие);

– добавки, способные химически взаимодействовать с водой затворения и твердеть при нормальных условиях (глинозёмистый цемент) [10].

Такие добавки как доменные гранулированные шлаки содержат вещества, обладающие при определенных условиях (тепловлажностная обработка, введение активизаторов) вяжущими свойствами. Другие добавки преимущественно пуццоланового типа (низкокальцевая зола-унос, ряд других техногенных продуктов, а также природных материалов вулканического или осадочного происхождения) приобретают вяжущие свойства лишь в смеси с известью.

К высокоактивным минеральным добавкам в бетон, все шире применяемым в последние десятилетия, относятся ультрадисперсные отходы производства ферросплавов – микрокремнезем (МК). Микрокремнезем представляет собой конденсированный аэрозоль, улавливаемый фильтрами систем газоочистки плавильных металлургических печей. Он содержит частицы сферической формы со средним диаметром 0,1 мкм и удельной поверхностью 15 – 25 м<sup>2</sup>/г и выше. Его насыпная плотность – 150 – 250 кг/м<sup>3</sup>. Микрокремнезем как добавка в бетоны был впервые предложен в начале 50–х, а начал массово использоваться с начала 70–х годов прошлого столетия

в Норвегии, а затем и других странах. Наряду с МК в качестве эффективных модификаторов бетона при определенных условиях (высокая дисперсность, сочетание с суперпластификаторами и другое) могут служить и другие минеральные материалы, такие как цеолиты, опоки, мергели, метакаолины и другие.

Особый интерес проявляется к природным цеолитам, которые представляют собой каркасные алюмосиликаты с равномерно распределёнными порами. В производстве строительных материалов цеолит применяется в качестве активной минеральной добавки с 60-х годов. Это связано с тем, что цеолит – уникальный материал, обладающий селективными, адсорбционными и ионообменными свойствами. Он представляет собой пористое тело с характерной определенной структурой скелета и регулярной геометрией внутрикристаллических пор, способное химически модифицироваться [11]. За счет минерального состава цеолит является эффективным средством сокращения расхода цемента (15 – 30 %) при производстве легких и тяжелых бетонов, а при изготовлении растворов цеолит может полностью заменить известь. При этом повышается водоудерживающая способность растворных смесей и их трещиностойкость.

Добавка цеолита в портландцемент в количестве более 15 % обеспечивает высокую коррозионную стойкость цементных композиций по отношению к хлоридным и сульфатным рассолам. Главными породообразующими минералами природных цеолитов являются клиноптилолит, морденит, анальцимом и шабазит [12]. Во всём мире добыча природного цеолита оценивается в диапазоне 2,7 – 3,2 млн. тонн/год [13].

## **1.2 Свойства мелкозернистого бетона**

Свойства мелкозернистого бетона определяются теми же факторами, что и обычного бетона. Однако, мелкозернистый бетон имеет некоторые



особенности, обусловленные его структурой, для которой характерны большая однородность, высокое содержание цементного камня, отсутствие жесткого каменного скелета, повышенные пористость и удельная поверхность твердой фазы.

Прочность мелкозернистого бетона зависит от его состава и соотношения основных компонентов. При  $V/C = 0,3$  зависимость прочности от расхода цемента прямолинейна: уменьшение расхода цемента приводит к резкому понижению прочности бетона, так как при малом содержании цемента смесь становится все менее удобообрабатываемой, хуже уплотняется, а ее плотность и прочность постепенно уменьшаются.

При более высоких значениях водоцементного отношения ( $V/C = 0,4$  и выше) наивысшая прочность бетона достигается при определенном оптимальном соотношении между цементом и песком. При этом соотношении достигается максимальная плотность бетонной смеси. При меньших расходах цемента удобообрабатываемость смеси постепенно снижается, что затрудняет ее укладку и приводит к постепенному понижению прочности и плотности бетона. При более высоком содержании цемента возрастает количество избыточной воды в бетоне, соответственно увеличивается пористость и понижается прочность.

Для каждого состава бетона имеется оптимальное значение  $V/C$ , при котором получают наивысшие прочность и плотность бетона. В случае более низких  $V/C$  при обеспечении хорошего уплотнения можно получить песчаные бетоны с прочностью выше, чем у обычных на крупном заполнителе. Однако такие бетоны требуют большого расхода цемента и могут применяться только для специальных конструкций при соответствующем технико-экономическом обосновании. При более высоких  $V/C$  песчаные бетоны обычно имеют прочность ниже, чем обычные бетоны на прочном крупном заполнителе. Степень понижения прочности зависит от качества применяемых материалов и технологии уплотнения бетонной смеси.

Это обусловлено тем, что в мелкозернистом бетоне обычно содержится больше цемента и воды, чем в обычном бетоне, что повышает его пористость, особенно при повышенных значениях В/Ц. На пористость мелкозернистого бетона также влияет степень его уплотнения и другие технологические факторы.

При приготовлении цементно-песчаной смеси и уплотнении ее вибрированием в нее вовлекается воздух, распределенный в виде мельчайших пузырьков по всему объему смеси. Вовлечение воздуха, которое может достигать 3 – 6 % и более, повышает пористость бетона, снижая его прочность. Воздухововлечение увеличивается с повышением жесткости смеси. Поэтому для получения плотного и прочного песчаного бетона следует применять такие методы уплотнения, которые сводили бы воздухововлечение к минимуму.

В песчаном бетоне применение мелкого песка с повышенной удельной поверхностью и пустотностью приводит к увеличению расхода воды с целью сохранения заданной подвижности бетонной смеси, что заметно снижает прочность бетона. Так, замена крупного песка мелким понижает прочность мелкозернистого бетона на 25 – 30 %, а максимальная прочность составов 1:2 – 1:3 иногда снижается в 2 – 3 раза. Поэтому, для мелкозернистых бетонов следует использовать крупные чистые пески или обогащать мелкий песок более крупными высевками от дробления камня, мелким гравием.

Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью при изгибе, водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Для определения прочности мелкозернистого бетона, из-за отсутствия крупного заполнителя, рационально использовать образцы меньших размеров, чем для обычного: кубы 3х3х3 см, 5х5х5 см, 7х7х7 см и балочки 4х4х16 см (как при испытании цемента).

Меньшая крупность и повышенная удельная поверхность песка увеличивает водопотребность бетонной смеси, способствуя вовлечению в

бетонную смесь воздуха при вибрировании. Водопотребность цементно-песчаной смеси определяется не только требуемой подвижностью, но и ее составом.

В результате для получения равнопрочного бетона и равноподвижной бетонной смеси в мелкозернистом бетоне на 20 – 40 % возрастает расход воды и цемента по сравнению с обычным бетоном. Для снижения расхода цемента следует применять химические добавки, эффективное уплотнение песчаных бетонных смесей и крупные пески с оптимальным зерновым составом. В цементно-песчаных смесях с высоким содержанием цемента полезно использовать пластификаторы, суперпластификаторы и органоминеральные добавки.

Хорошее уплотнение цементно-песчаной смеси достигается прессованием, трамбованием, вибрированием с пригрузом, вибровакуумированием, роликовым уплотнением.

Испытания подвижности мелкозернистого бетона целесообразно проводить на образцах малого размера. Подвижность бетонной смеси можно определить по расплыву конуса на встряхивающем столике, как при испытании цемента в пластичном растворе, по удобоукладываемости при вибрировании малого конуса ( $h = 10$  см), в форме 10x10x10 см (по аналогии со способом Б. Г. Скрамтаева для обычного бетона) по истечению смеси из малого цилиндра, по погружению конуса СтройЦНИЛА. Испытания на встряхивающем столике позволяет оценить подвижность мелкозернистых смесей с большей степенью точности, чем другие методы.

При определении состава мелкозернистого бетона необходимо знать влияние состава бетона и качества исходных материалов на подвижность и удобоукладываемость цементно-песчаной смеси.

Подвижность цементно-песчаной смеси определяется содержанием цементного теста и его консистенцией, которая зависит от водоцементного

отношения. Эту зависимость можно представить, как зависимость расплыва конуса от соотношений Ц/П и В/Ц (рисунок 1).

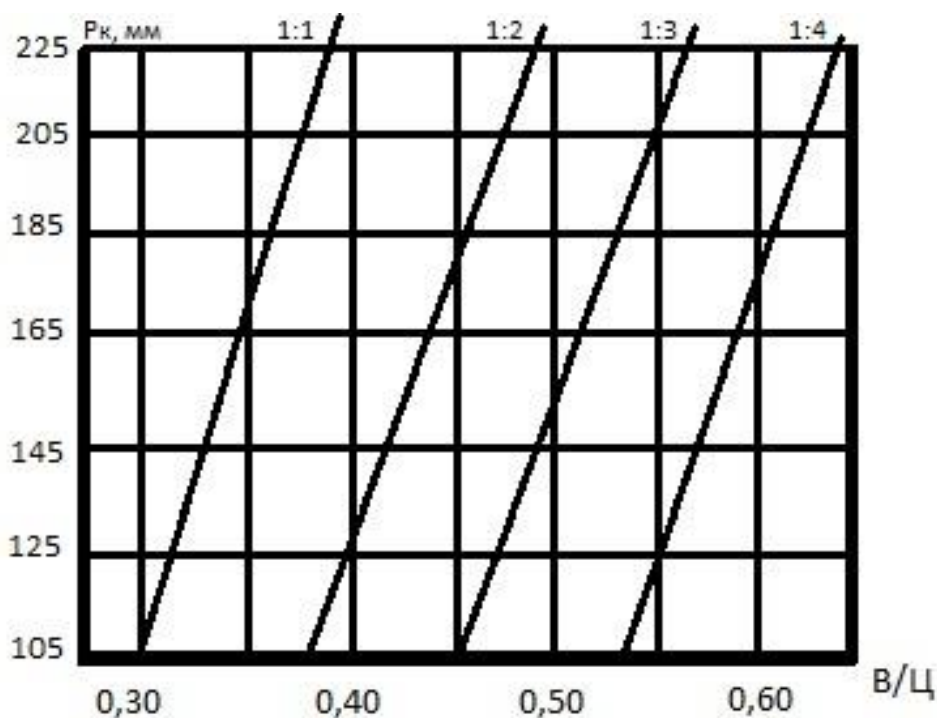


Рисунок 1 – График соотношения между цементом и песком, которое обеспечивает заданный расплыв конуса  $R_k$  при определенном В/Ц.

На расплыв конуса будет влиять качество песка: с уменьшением крупности песка и повышением его удельной поверхности возрастает доля воды, и уменьшается подвижность смеси. Для получения равноподвижных цементно-песчаных смесей требуется повысить расход воды или водоцементное отношение при постоянном Ц/П, либо увеличить Ц/П при постоянном В/Ц, требуемом для получения заданной прочности бетона [14].

### 1.3 Технологические схемы производства мелкозернистого бетона

Технология производства мелкозернистого бетона аналогична технологии, применяемой при производстве тяжёлого бетона. Приготовление бетонной смеси – комплексный технологический процесс, включающий ряд подготовительных операций и операций по непосредственному

приготовлению смеси. В состав первых операций входят, кроме заготовки составляющих бетонной смеси, их хранение и подача в бункера бетонного завода.

Операции по непосредственному приготовлению смеси включают дозирование составляющих, их загрузку в бетоносмеситель, перемешивание в бетоносмесителе и выдачу готовой смеси. Оборудование для осуществления этих операций обычно монтируется в одном сооружении, называемом бетонным заводом или бетоносмесительной установкой.

По принципу действия различают бетонные заводы двух типов: периодического (циклического) действия и непрерывного действия.

Заводы первого типа готовят и выдают бетонную смесь отдельными порциями, второго – готовят и выдают бетонную смесь непрерывно. Заводы включают оборудование и устройства для выполнения упомянутых выше отдельных операций.

Заводы циклического действия компоновка по двум схемам: одноступенчатой (вертикальная или башенная компоновка) и двухступенчатого (партерная компоновка).

Одноступенчатая (башенная) схема характеризуется тем, что все составляющие бетонной смеси сразу, в одну ступень, поднимаются на командную высоту (башню) в бункера и затем под действием собственного веса (вертикально) последовательно поступают в дозаторы, смесители и другое оборудование. Применяют ее обычно на стационарных бетонных заводах.

При двухступенчатой схеме весь процесс приготовления смеси разбивается на две ступени. В первой ступени обычно предусматривают дозирование заполнителей с получением сухой смеси. Далее эта смесь транспортируется (поднимается) на вторую ступень, где расположены бетоносмесители и осуществляется перемешивание и выдача бетонной

смеси. Эту схему применяют в основном на бетоносмесительных установках и небольших заводах (цехах).

По принципу перемешивания бетоносмесители делятся на два типа:

- бетоносмесители гравитационные (свободного перемешивания);
- бетоносмесители принудительного перемешивания.

Принцип действия гравитационных бетоносмесителей – перемешивание за счет падения составляющих смеси и их смешения при вращении барабана. Принцип действия бетоносмесителей принудительного действия – перемешивание в неподвижной чаше за счет вращения ротора с лопастями.

Оба типа циклических бетоносмесителей применяются для приготовления смесей различных составов и консистенций. Однако, гравитационные бетоносмесители наиболее эффективны для приготовления пластичных смесей, а принудительного действия – для жестких бетонных смесей.

Для дозировки составляющих бетонной смеси при использовании циклических бетоносмесителей применяют весовые дозаторы.

Промышленность выпускает полные комплекты оборудования для отдельных секций бетонных заводов и в зависимости от общей мощности бетонного завода, они komponуются из разных количеств секций.

Бетоносмесители непрерывного действия по принципу перемешивания схожи с циклическими бетоносмесителями принудительного действия. Они состоят из горизонтального барабана и вращающегося в нем ротора с лопастями, обеспечивающими перемещение смеси и ее перемешивание вдоль барабана.

На бетонном заводе непрерывного действия преобладает оборудование, обеспечивающее именно непрерывность процесса приготовления бетонной смеси: конвейерные линии подачи составляющих, дозаторы непрерывного действия, бетоносмесители непрерывного действия и другое. Отсутствие

ряда операций по сравнению с циклическими заводами (в частности, циклической загрузки и выгрузки смеси) делает заводы непрерывного действия высокопроизводительными, и с этой точки зрения при больших интенсивностях работ они предпочтительнее. Однако они имеют тот недостаток, что требуют остановки и регулировки при изменении класса бетона, т.е. состава бетонной смеси.

Бетонные смеси тех классов, которые требуется в небольших объемах, готовят на заводах циклического действия, а на заводе непрерывного действия приготавливают бетонные смеси классов, имеющих большой объем и укладываемых непрерывно длительное время [15].

## **2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1 Методика экспериментальных исследований**

В соответствии с поставленной целью, основным направлением исследований является подбор составов мелкозернистого бетона с добавлением минеральных и химических добавок.

Исследование физико-механических свойств, применяемого цемента проводилось в соответствии с ГОСТ 310.1–76\* [16], ГОСТ 310.3–76\* [17], прочность при изгибе и сжатии по ГОСТ 310.4–81 [18]. Испытания прочности на изгиб проводили на образцах – балочках размером 40x40x160 мм.

Исследование физико-механических характеристик мелкого заполнителя проводилось в соответствии с ГОСТ 8736–2014 [19], ГОСТ 8735–88\* [20].

Исследование минерального состава цеолитсодержащих пород проводилось петрографическим методом с применением рентгенофазового анализа.

Испытания образцов на прочность при изгибе проводились на лабораторном прессе МИ–100, на прочность при сжатии – на прессах ИП–100, ЛС–500.

### **2.2 Характеристика применяемых материалов**

Материалы, используемые для изготовления мелкозернистого бетона на цементе вяжущем и плотном мелком заполнителе, должны соответствовать требованиям, изложенным в Государственных отраслевых стандартах на эти материалы. При несоответствии отдельных свойств (характеристик) материалов требованиям ГОСТов и ТУ необходимо



провести их исследования и дать технико-экономическое обоснование целесообразности их применения.

### 2.2.1 Вяжущее

В качестве вяжущего в работе был использован портландцемент ЦЕМ I–32,5Н производителя ООО «Красноярский цемент». Портландцемент должен соответствовать требованиям ГОСТ 31108–2016 [21]. Данные о составе и физико-механических свойствах цемента представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Химический и минералогический состав цемента

Наименование портландцемента	Химический состав, %				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
ЦЕМ I–32,5Н	64,18	20,55	5,01	4,36	1,74
	Минералогический состав, %				
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	
	60	14	5,9	13,3	

Таблица 4 – Физико-механические свойства цемента

Наименование портландцемента	Наименование показателей	Результаты испытаний	
ЦЕМ I–32,5Н	Нормальная густота	26%	
	Начало схватывания	2ч 45 мин	
	Конец схватывания	4ч 25 мин	
	Предел прочности в возрасте 28 суток		
	Прочность при сжатии	28 суток	41,73 МПа
	Прочность при изгибе	28 суток	7,42 МПа

### 2.2.2 Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя для приготовления мелкозернистого бетона используются природные пески, а также смеси природных песков и песков из отсевов дробления. В работе использовался природный песок Березовского месторождения, результаты испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика мелкого заполнителя

Наименование показателя	Значение показателей песка (Березовского месторождения)
Модуль крупности ( $M_k$ )	3,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1607
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2663
Зерновой состав (размер сит, мм), %:	
2,5	17,1
1,25	35,2
0,63	62,7
0,315	83,5
0,16	96,1
Дно	100
Содержание илистых и глинистых частиц, % по массе	3,0

Согласно ГОСТ 8736–2014 [19], данный песок по зерновому составу и содержанию пылевидных и глинистых частиц относится к классу II. В зависимости от крупности зерен (модуля крупности) и класса относится к группе крупные пески. Для данной группы песков полный остаток на сите № 063 должен быть от 45 до 65 %.

Для песка класса II, относящегося к группе крупные пески, содержание в песке зерен крупностью свыше 10 мм не должно превышать 5 %, 5 мм – 15 %, и менее 0,16 мм – 15 %, а содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 3 % по массе.

### 2.2.3 Минеральные добавки

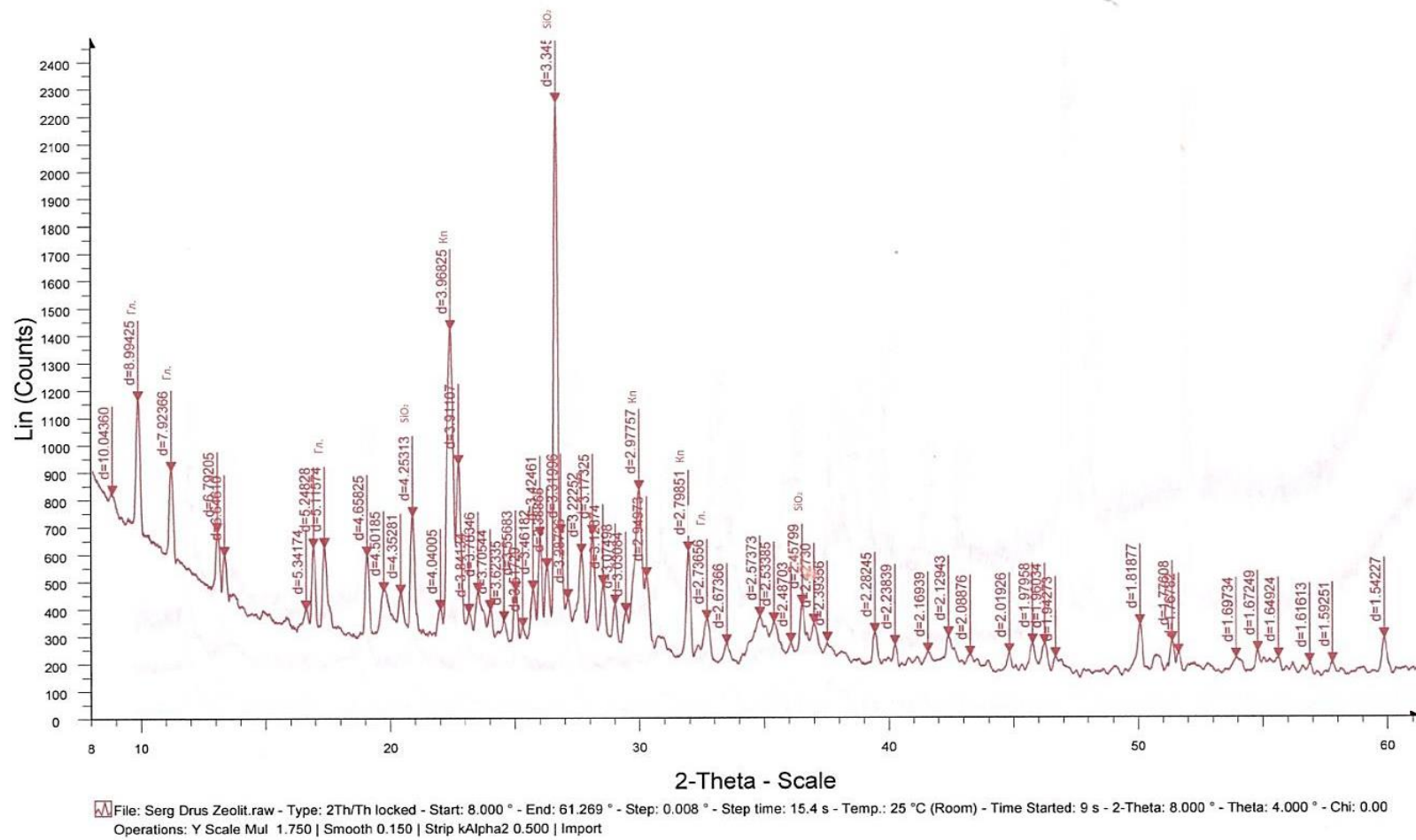
Согласно «Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86)», минеральные добавки следует вводить для снижения расхода цемента, заполнителей, улучшения качества бетонной смеси и бетона, а также для утилизации отходов промышленности.

В качестве минеральных добавок для мелкозернистого бетона в данной работе использовались: добавка природного происхождения – цеолитсодержащая порода и добавка техногенного происхождения – микрокремнезем.

#### 2.2.3.1 Исследование минерального состава цеолитсодержащих пород

Петрографическим методом установлено, что цеолитсодержащие породы Сахаптинского месторождения сложены в основном цеолитовыми минералами группы гейландит–клиноптилолит. Наиболее полные рентгенографические данные цеолитовых минералов приведены в монографии Д. Брека [22] и определителе В.Н. Семушина [23]. Согласно этим источникам, основные межплоскостные расстояния ( $d\text{\AA}$ ) и их интенсивности ( $I$ ) составляет ( $d/I$ ) для клиноптилолита: 8,92 / 100; 3,968 / 100; 3,90 / 57; 2,977 / 80; 2,798 / 30 и для гейландита: 8,85 / 80; 7,80 / 70; 6,63 / 60; 5,116 / 70; 4,658 / 60; 3,911 / 100; 3,425 / 70; 2,96 / 90; 2,81 / 70.

По полученным данным рентгенофазового анализа цеолитсодержащей породы Сахаптинского месторождения (рисунок 2) основные составляющие породы представлены минералами ряда гейландита – клиноптиллолита.



SiO<sub>2</sub> – кварц, Гл – гейландит, Кп – клиноптилолит, Мн – монтмориллонит  
 Рисунок 2 – Диффрактограмма цеолитсодержащей породы Сахатинского месторождения

Наибольшая интенсивность пиков имеет место при  $d = 2,97; 3,968; 8,92$ , характерная для кристаллической решетки клиноптилолита, и при  $d = 2,72; 5,116; 7,80$ , соответствующая гейландиту; пики  $d = 2,12; 2,23; 2,27; 2,45; 4,25$  указывают на наличие  $\text{SiO}_2$ .

Химический состав цеолитсодержащей породы Сахаптинского месторождения приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав цеолитсодержащей породы

Наименование	Содержание оксидов, %				
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$
Цеолитсодержащая порода Сахаптинского месторождения	65,91	12,51	2,36	0,34	2,27
	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\Delta m_{\text{пр}}$	Сумма
	1,66	0,63	3,20	11,12	100

Сахаптинское месторождение в настоящее время хорошо изучено и доступно, поэтому все исследования проводились на цеолитсодержащей породе Сахаптинского месторождения [24].

### 2.2.3.2 Физико – механические свойства цеолитсодержащих пород Сахаптинского месторождения

Физико – механические свойства цеолитсодержащих пород, такие как истинная и насыпная плотность, пористость, твердость, прочность, водостойкость, влажность, имеют важное значение не только для организации разработки месторождений сырья и добычи его, но и при решении технологических задач, связанных с транспортировкой, проектированием емкостей для складирования, переработкой (дробление, помол, сушка) и с использованием непосредственно в технологии.

Физико – механические свойства исследуемой породы цеолитов на основе данных других авторов [25, 26] и собственных исследований представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Физико – механические свойства цеолитосодержащих пород

Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Общая пористость, %	Твердость по Моосу	Предел прочности при раздавливании, МПа	Истираемость, %	Естественная влажность, %
2200	1850	19,25	3 – 3,5	22,6	8	18,5

Н. Ф. Челищев [27] отмечает, что значения физико – механических свойств определяются различной степенью цеолитизации пород данных месторождений. Чем больше степень цеолитизации породы, тем меньше значения истинной, насыпной плотности и больше пористость. Прочность породы зависит от вида цементирующего вещества.

### 2.2.3.3 Характеристика микрокремнезема БрАЗ

В работе использовался кремнеземистый отход производства кристаллического кремния и ферросплавов Братского алюминиевого завода (БрАЗ) с принятым названием микрокремнезем (МК).

Область применения подобных отходов очень широка: от производства бетонных, керамических и других материалов до применения в качестве заменителя асбеста и т.д.

Гранулометрический состав микрокремнезема по данным технического паспорта отходов БрАЗ представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Гранулометрический состав микрокремнезема

Размер частиц, мкм	Менее 0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-1,0	1,0-10	10-50	50-100	Более 100
Содержание, мас. %	8,5	34,5	30,0	8,0	2,5	1,0	5,0	11,0

В таблице 9 приведен химический анализ микрокремнезема по данным БрАЗ.

Таблица 9 – Химический состав микрокремнезема

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	SiC
90-94	1-3	0,7-1,4	0,2-0,4	0,1-0,5	0,7-1,5	до 0,09	до 3

По данным электронно-микроскопического анализа, выполненного по заказу В.В. Шаровой в Институте земной коры (г. Иркутск), микрокремнезем представлен агрегатами из очень мелких чешуек – пластинок и сферических частиц диаметром от 0,01 до 0,7 мкм. Редко между агрегатами просматриваются нити.

Рентгенофазовый анализ свидетельствует о том, что микрокремнезем состоит, преимущественно, из рентгеноаморфной фазы. Кристаллическая фаза присутствует в незначительном количестве и представлена кристаллическим кремнием ( $d = 0,313; 0, 192$  нм) и карборундом ( $d = 0,217$  нм).

Дериватографические исследования микрокремнезема показывают экзотермический эффект в широком температурном интервале (380...755°C) с потерей массы, связанный с выгоранием тонкодисперсного углеродистого вещества. Кроме того, отмечается наличие адсорбционной воды.

В таблице 10 приведены основные физико-технические свойства микрокремнезема.

Таблица 10 – Физико-технические свойства микрокремнезема

Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Водородный показатель, рН	Влажность, %
150-380	2000-2180	25-34	2-3	5-7

#### 2.2.4 Химические добавки

В данной работе использовались пластифицирующая добавка Centrament N10 и суперпластификатор Muraplast FK49 производителя

ООО «Эм–Си Баухеми». В состав бетонной смеси добавки вводят в процентном соотношении от массы цемента.

#### **2.2.4.1 Muraplast FK 49**

Суперпластификатор для товарного бетона, железобетона и предварительно напряжённых железобетонных конструкций

Характеристика продукта:

- Высококонцентрированный модифицированный продукт конденсации нафталин формальдегида сульфоновой кислоты;
- Не содержит компонентов, вызывающих коррозию арматуры;
- Не выпадает в осадок при хранении;
- Сильно пластифицирует бетонную смесь и снижает её водопотребность;
- Снижает расходы на укладку и уплотнение бетона;
- Разрешается применение с воздухововлекающими добавками производства МС–Vauchemie;
- Улучшает удобоукладываемость и однородность бетонных смесей, в том числе и жёстких;
- Даёт возможность получение высокомарочных и высокопрочных бетонов;
- Не замедляет скорость набора прочности;
- Обладает высокой экономической эффективностью.

Области применения:

- Производство товарного бетона;
- Производство сборного железобетона;
- Высокопрочные бетоны.

Рекомендации по применению:



Наибольший эффект достигается при добавлении в бетонную смесь после короткого перемешивания остальных компонентов бетонной смеси с водой затворения. Также возможно дозирование добавки вместе с водой затворения. При смене марки или вида цемента необходимо провести дополнительные испытания на соответствие физико-механических свойств бетона и бетонной смеси требуемым параметрам. Рекомендуемая дозировка добавки – 0,2 – 2,0 % жидкой добавки от массы цемента.

#### **2.2.4.2 Centrament N10**

Сильно пластифицирующая добавка для товарного бетона.

Характеристика продукта:

- Модифицированные поверхностно–активные вещества;
- Используется для увеличения подвижности бетонной смеси;
- Используется для снижения расхода воды для получения качественного бетона;
- Не содержит компонентов, вызывающих коррозию;
- Разрешается применение с воздухововлекающими добавками производства MC–Bauchemie;
- Добавка эффективно пластифицирует при низких и высоких расходах цемента;
- Снижение интенсивности тепловыделения цемента в бетоне;
- Добавка является готовым к применению продуктом и не требует дальнейших операций по растворению или приготовлению.

Области применения:

- Производство товарных бетонов;
- Бетон, перекачиваемый бетононасосами;
- Производство изделий из бетона;
- Массивные конструкции.

Рекомендации по применению:

Centrament N10 находит широкое применение в производстве товарного бетона, улучшая удобообрабатываемость бетонной смеси. При одинаковой консистенции возможно значительное снижение содержания воды в бетонной смеси, снижение водоцементного отношения и за счёт этого, достижение более высокой плотности, прочности и долговечности бетона. При необходимости Centrament N10 комбинируется с другими добавками МС–Ваuchemie, такими как: суперпластификаторы, воздухововлекающие добавки и добавки стабилизирующего действия. Для оптимального эффекта рекомендуется дозировать Centrament N10 после смешивания остальных компонентов бетонной смеси с водой. Также возможно дозирование добавки одновременно с водой затворения. Рекомендуемая дозировка – 0,5 – 1,5 % жидкой добавки от массы цемента.

### **2.2.5 Вода**

Вода для бетонов и строительных растворов должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732–2011 [28].

Согласно данному ГОСТу, не допускается применение сточной, болотной и торфяной воды.

Вода не должна содержать химические соединения и примеси в количестве, превышающие нормы. Максимально допустимое содержание в составе воды нитратов – 500 мг/л; сульфидов, сахаров, фосфатов и цинка – 100 мг/л.

Также не допускается наличие в воде нефтепродуктов, масел и жиров, поверхностно-активных веществ, грубодисперсных примесей в количестве, нарушающие сроки схватывания и твердения цементного теста и бетона, снижающие прочность и морозостойкость бетона.

В воде, применяемой для затворения бетонных смесей, не должно присутствовать запаха, а также окрашивающих пигментов (допускается легкая желтизна воды, согласно данному ГОСТу).

Водородный показатель воды (рН) должен быть не менее 4 и не более 12,5. Окисляемость воды должна составлять не более 15 мг/л.

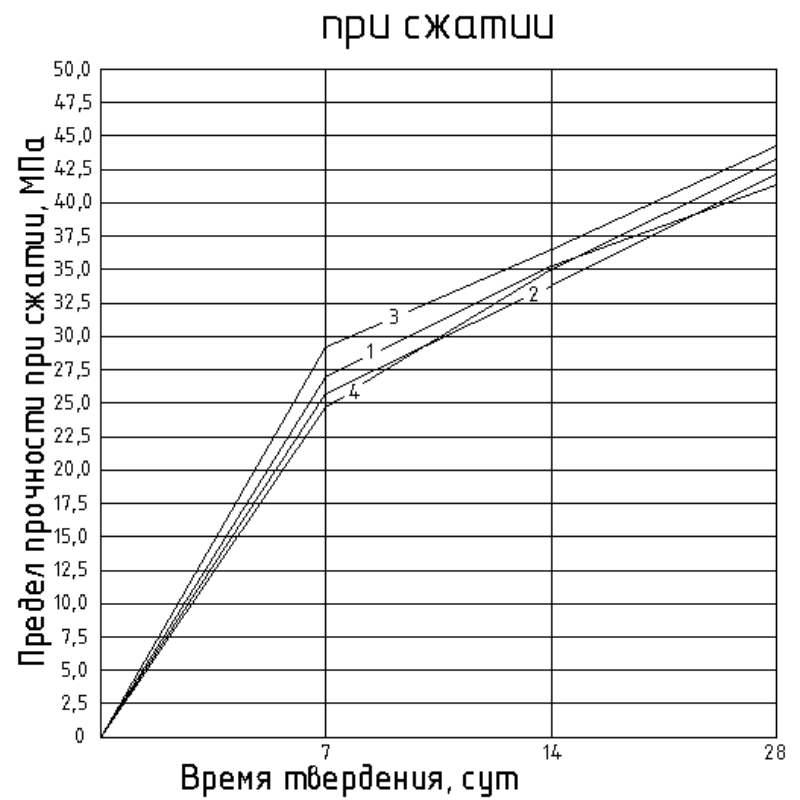
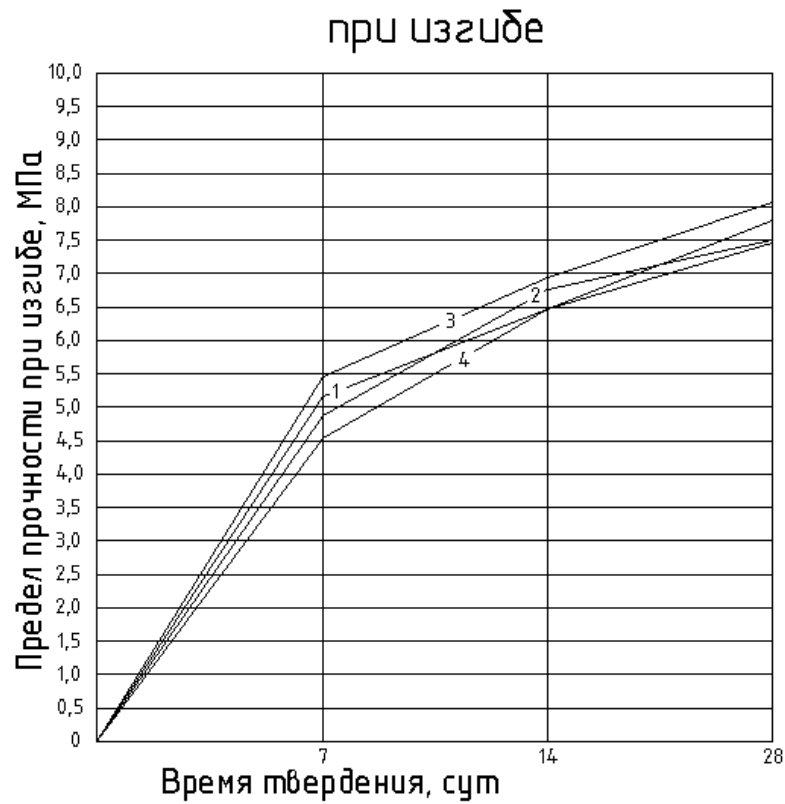
Лучше использовать чистую питьевую воду, но допускается применение морской воды, если содержание солей в ней не превышает 5000 мг/л.

### **2.3 Разработка составов и исследование свойств мелкозернистого бетона с минеральными добавками**

Для изучения свойств мелкозернистого бетона с минеральными добавками приготавливались бетонные смеси с добавкой природного происхождения – цеолитсодержащей породой и добавкой техногенного происхождения – микрокремнеземом, а также без добавок. Компонентами смеси являлись цемент ЦЕМ I–32,5Н производства ООО «Красноярский цемент», песок Березовского месторождения, цеолитсодержащая порода Сахаптинского месторождения, микрокремнезем Братского алюминиевого завода, а также пластификатор Centrament N10 и суперпластификатор Muraplast FK49 производителя ООО «Эм–Си Баухеми».

Прочность бетонных образцов на изгиб и сжатие определялась на образцах – балочках размером 4x4x16 см. В качестве контрольного состава был выбран состав 1:3.

На рисунке 3 представлен график набора прочности контрольного состава и составов с добавкой цеолитсодержащей породы. Расход компонентов и результаты испытаний образцов мелкозернистого бетона на прочность при изгибе и сжатии приведены в таблице 11.



1 – контрольный состав, 2 – добавка цеолитсодержащей породы 5%, 3 – добавка цеолитсодержащей породы 10%, 4 – добавка цеолитсодержащей породы 15%

Рисунок 3 – Влияние цеолитсодержащей породы на прочность мелкогозернистого бетона

Таблица 11 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г				Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолит. порода	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
2	475	1500	290	25	-	-	2162	0,61	140	4,85	6,75	7,51	25,99	34,21	42,44
3	450	1500	290	50	-	-	2128	0,64	130	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
4	425	1500	280	75	-	-	2098	0,66	125	4,53	6,47	7,73	24,93	35,06	43,03

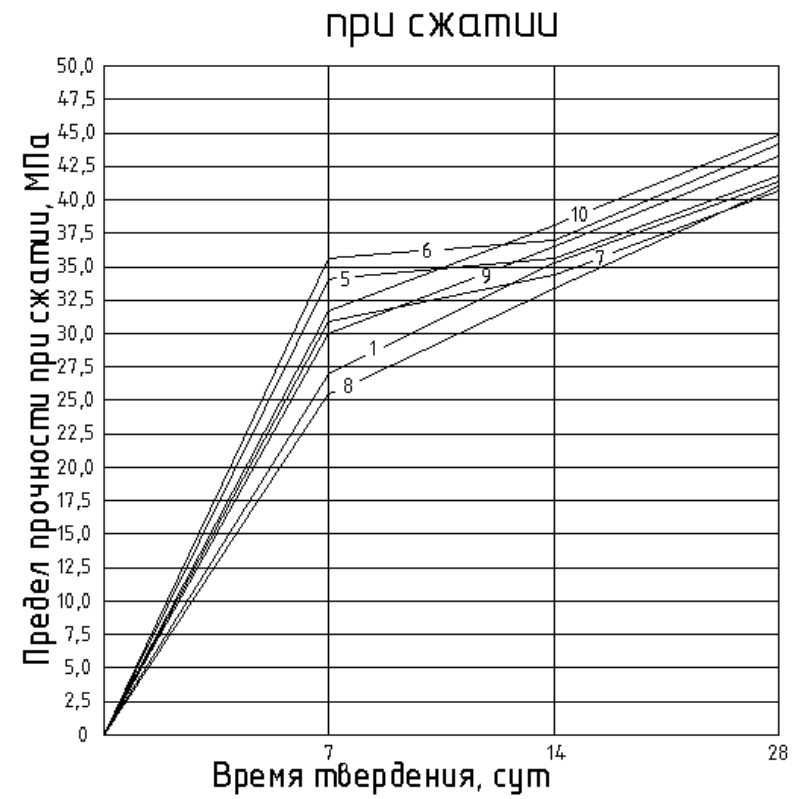
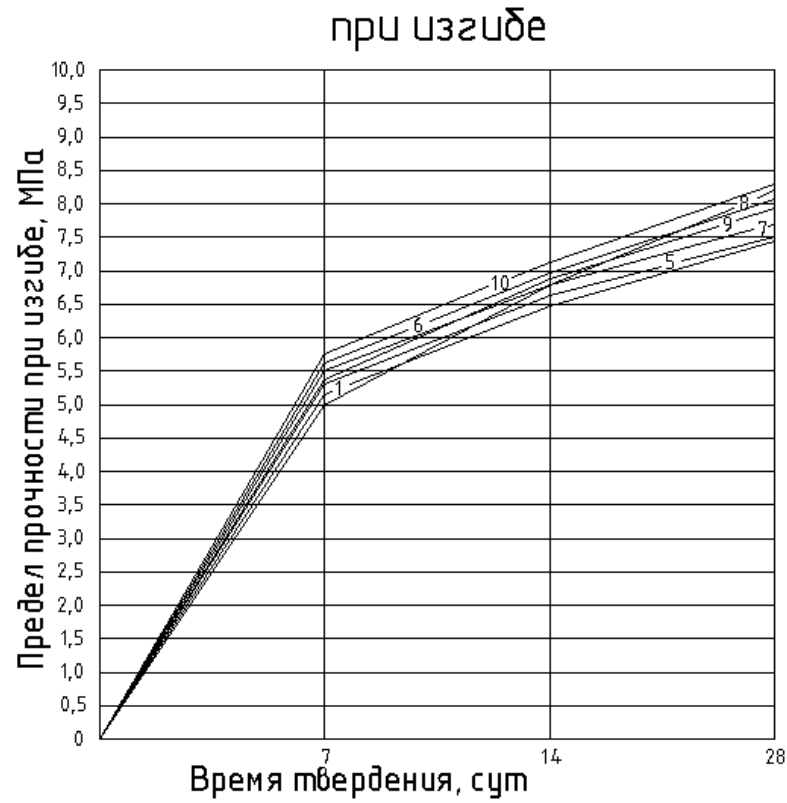
В результате полученных данных можно судить о том, что добавка цеолитсодержащей породы в количестве 5–15 % от массы цемента оказывает существенное влияние на прочностные характеристики. В составах № 2 и № 4 применялась цеолитсодержащая порода с удельной поверхностью 3000 см<sup>2</sup>/г.

С увеличением количества цеолитсодержащей породы в бетонной смеси увеличивается и количество добавляемой в смесь воды. Это связано с тем, что цеолитсодержащая порода обладает высокой адсорбционной способностью.

Введение цеолитсодержащей породы в качестве минеральной добавки взамен части цемента способствует пуццолановому процессу, при котором происходит связывание аморфного кремнезема (SiO<sub>2</sub>) с известью, образующейся при гидратации цемента в результате перехода в низкоосновные гидросиликаты. Происходит уплотнение структуры цементного камня тонкодисперсными частицами, заполняющими пространство между частицами в цементном тесте и продуктами гидратации в цементном камне, это свою очередь приводит к повышению прочности мелкозернистого бетона.

Наибольшее увеличение прочности при сжатии и изгибе достигается при замене цеолитсодержащей породой 10 % цемента. Считаем данную дозировку цеолитсодержащей породы оптимальной и используем её при дальнейшем подборе состава мелкозернистого бетона.

На рисунке 4 представлен график набора прочности образцов с добавкой пластификатора Centrament N10 и суперпластификатора Muraplast FK49. Расход компонентов и результаты испытаний приведены в таблице 12.



1 – контрольный состав, 5 – добавка Centrament N10 0,5%, 6 – добавка Centrament N10 1%, 7 – добавка Centrament N10 1,5%, 8 – добавка Muraplast FK49 0,5 %, 9 – добавка Muraplast FK49 1%, 10 – добавка Muraplast FK49 1,5%

Рисунок 4 – Влияние химических добавок на прочность мелкозернистого бетона

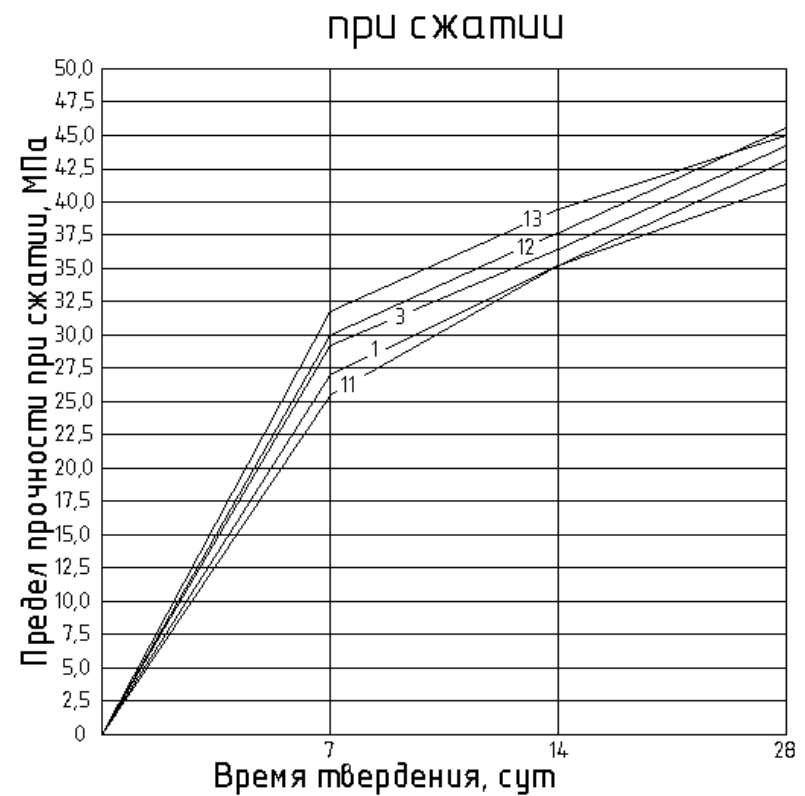
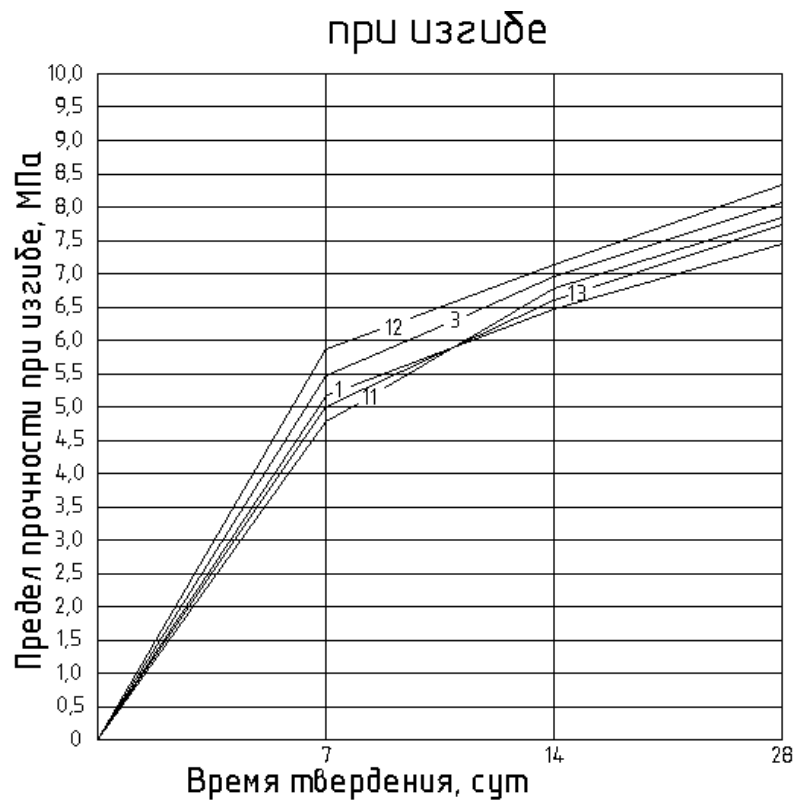
Таблица 12 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г			Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
5	500	1500	280	2,5	-	2078	0,56	135	5,32	6,63	7,52	33,38	35,60	42,09
6	500	1500	250	5,0	-	2096	0,50	125	5,60	6,94	8,08	35,12	37,13	44,51
7	500	1500	220	7,5	-	2088	0,44	120	5,49	6,75	8,14	30,90	34,11	40,51
8	500	1500	280	-	2,5	2082	0,56	120	5,03	6,73	7,70	25,08	33,00	41,06
9	500	1500	250	-	5,0	2110	0,50	115	5,39	6,82	7,94	29,97	36,86	43,11
10	500	1500	230	-	7,5	2096	0,46	115	5,71	7,08	8,22	32,08	37,64	44,82



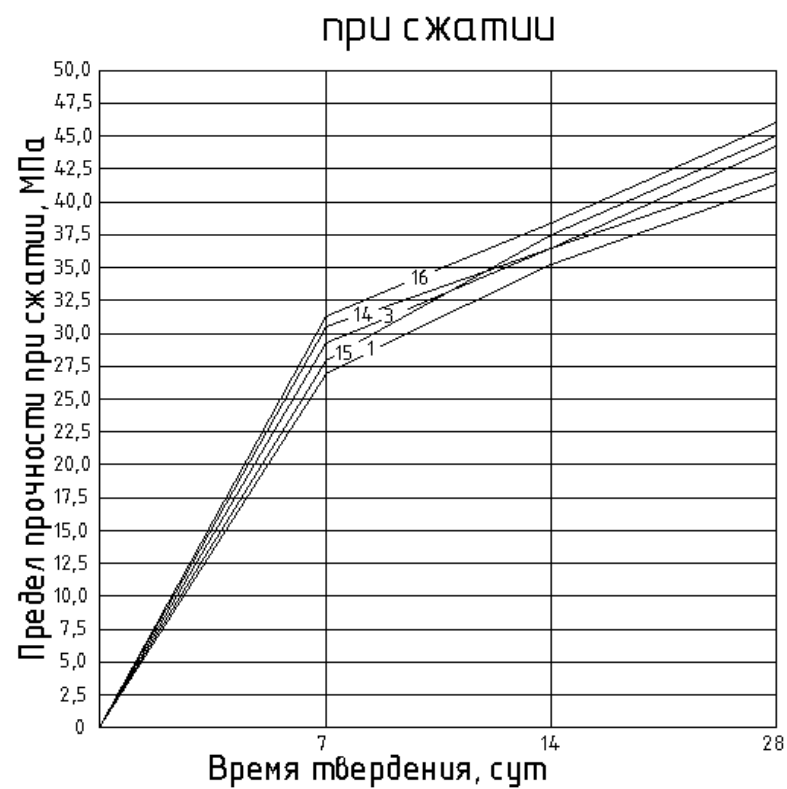
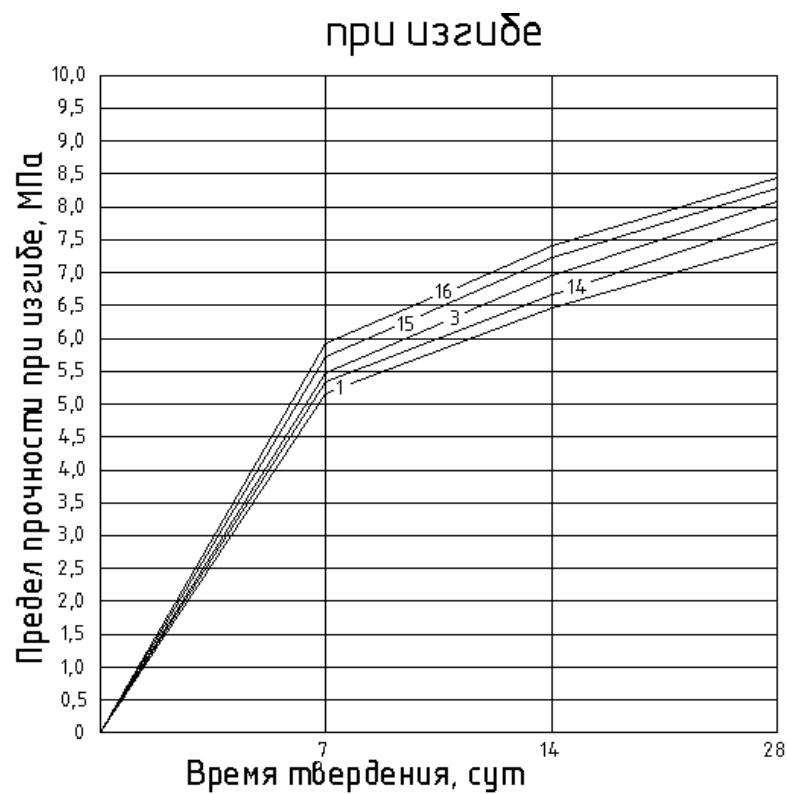
Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что введение химических добавок ведёт к существенному уменьшению водоцементного отношения, и в связи с этим к повышению прочностных показателей. Для пластификатора Centrament N10 наилучшие результаты характерны при введении добавки в количестве 1 % от массы цемента, для суперпластификатора Muraplast FK49 – в количестве 1,5 % от массы цемента.

На рисунках 5 и 6 представлены графики с результатами испытания на прочность образцов мелкозернистого бетона с совместным введением 10 % цеолитсодержащей породы и химических добавок Centrament N10 и Muraplast FK49 соответственно. Расход компонентов и результаты испытаний приведены в таблицах 13 и 14.



1 – контрольный состав, 3 – добавка цеолитсодержащей породы 10%, 11 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с пластификатором Centrament N10 0,5%, 12 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с пластификатором Centrament N10 1%,  
13 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с пластификатором Centrament N10 1,5%

Рисунок 5 – Влияние добавки Centrament N10 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона



1 – контрольный состав, 3 – добавка цеолитсодержащей породы 10%, 14 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с суперпластификатором Muraplast FK49 0,5%, 15 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с суперпластификатором Muraplast

FK49 1%, 16 – добавка цеолитсодержащей породы 10% совместно с суперпластификатором Muraplast FK49 1,5%

Рисунок 6 – Влияние добавки Muraplast FK49 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона

Таблица 13 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г				Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолит. порода	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
3	450	1500	290	50	-	-	2128	0,64	130	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
11	450	1500	290	50	2,25	-	1990	0,67	140	4,77	6,72	7,81	25,32	35,28	42,56
12	450	1500	270	50	4,5	-	2022	0,60	125	5,82	7,13	8,30	30,01	37,54	45,11
13	450	1500	250	50	6,75	-	1994	0,56	130	5,00	6,62	7,71	31,69	39,15	44,98

44

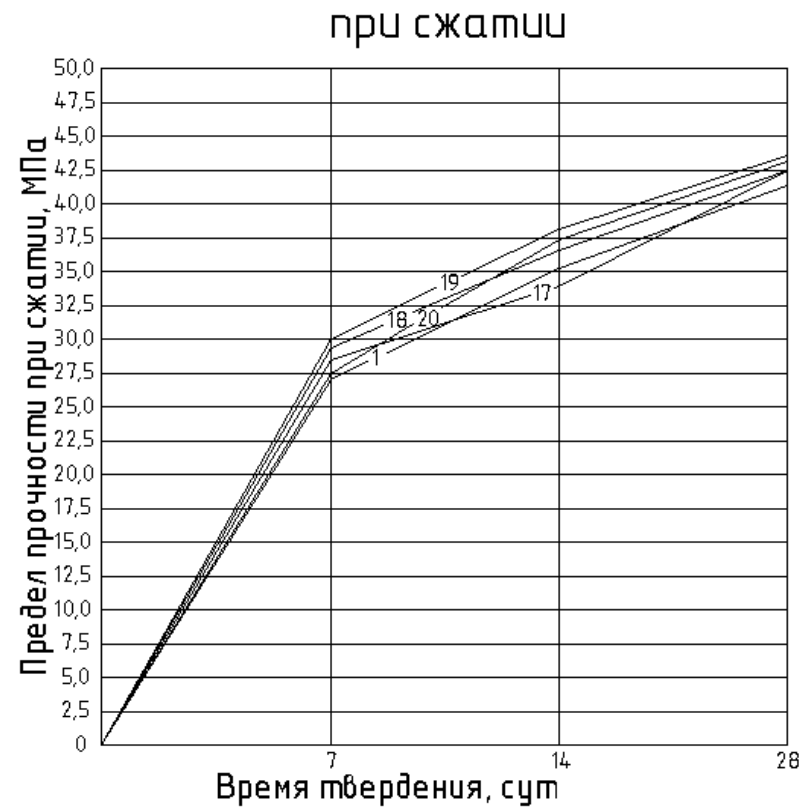
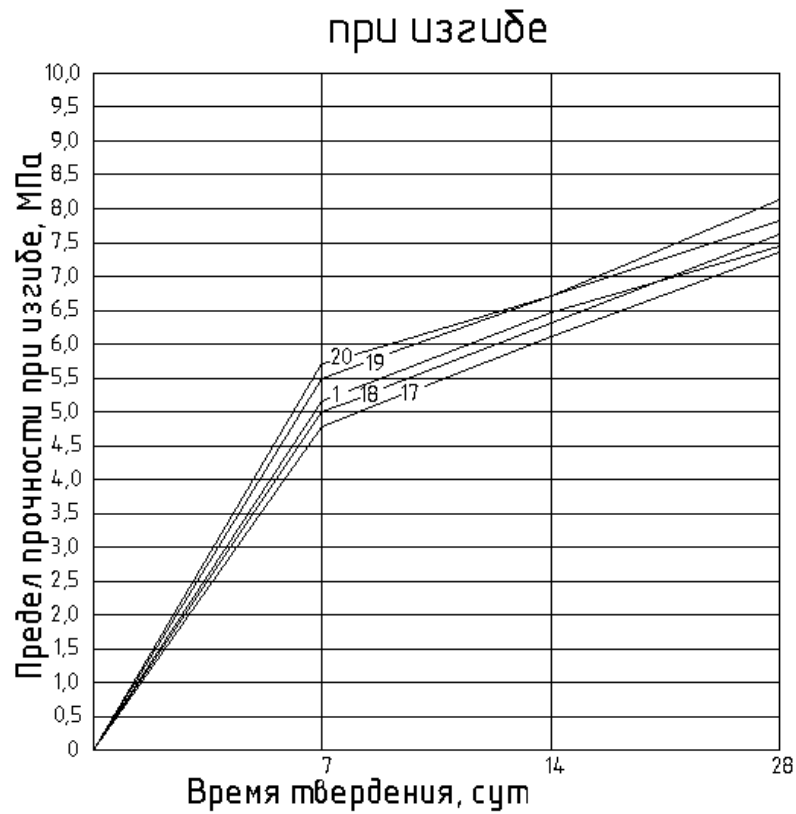
Таблица 14 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г				Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолит. порода	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
3	450	1500	290	50	-	-	2128	0,64	130	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
14	450	1500	290	50	-	2,25	2006	0,67	140	5,31	6,62	7,80	30,08	36,65	42,44
15	450	1500	280	50	-	4,5	2038	0,64	135	5,66	7,24	8,26	27,54	37,50	44,97
16	450	1500	260	50	-	6,75	2010	0,58	150	5,87	7,42	8,42	31,12	38,06	45,19

По результатам полученных данных можно сделать вывод, что совместное введение в мелкозернистый бетон цеолитсодержащей породы и химической добавки увеличивает прочностные показатели, снижает водоцементное отношение и пористость. Полученная смесь обладает повышенной удобоукладываемостью и пластичностью. Наиболее оптимальная дозировка добавок 1–1,5 %.

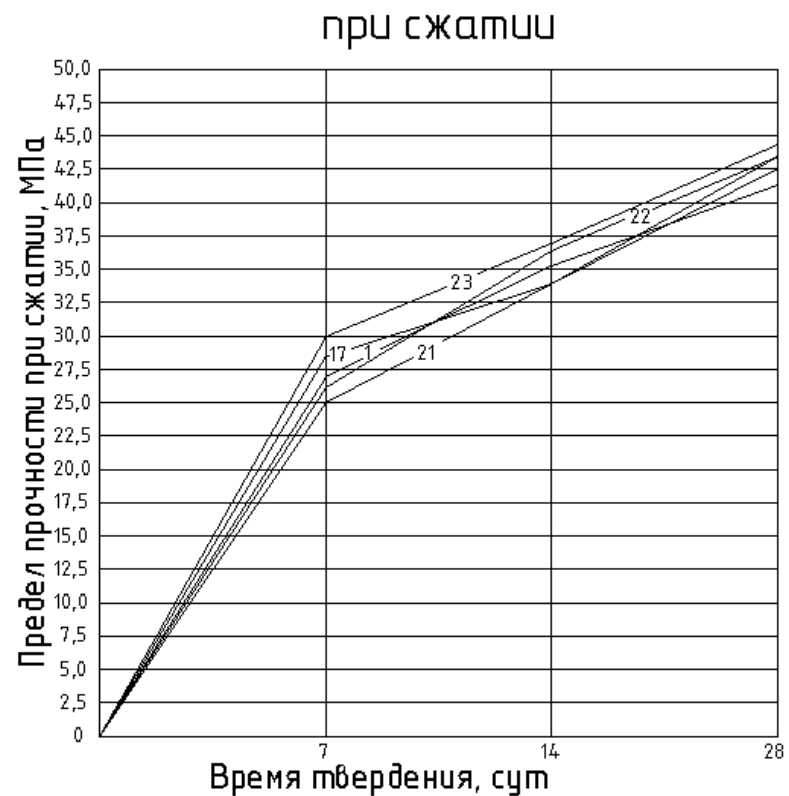
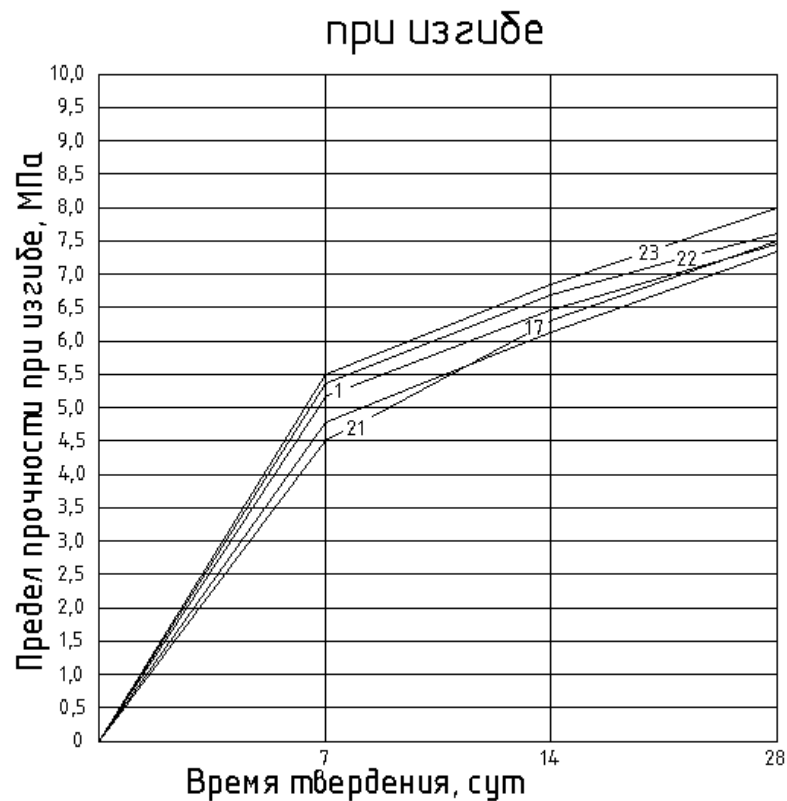
В качестве второй минеральной добавки мы применяли добавку техногенного происхождения – микрокремнезём. После изучения литературных источников, был сделан вывод, что добавка микрокремнезёма в количестве 10–12 % от массы цемента наиболее способствует повышению прочности бетона. Микрокремнезём связывает свободный гидроксид кальция в низкоосновные гидросиликаты кальция, что приводит к повышению прочности. Считаем дозировку микрокремнезёма равную 10 % оптимальной и используем её при дальнейшем подборе состава мелкозернистого бетона.

На рисунках 7 и 8 представлены графики с результатами испытания на прочность образцов мелкозернистого бетона с совместным введением 10% микрокремнезёма и химических добавок Centrament N10 и Muraplast FK49 соответственно. Расход компонентов и результаты испытаний приведены в таблицах 15 и 16.



1 – контрольный состав, 17 – добавка микрокремнезёма 10%, 18 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с пластификатором Centrament N10 0,5%, 19 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с пластификатором Centrament N10 1%, 20 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с пластификатором Centrament N10 1,5%

Рисунок 7 – Влияние добавки Centrament N10 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона



1 – контрольный состав, 17 – добавка микрокремнезёма 10%, 21 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с суперпластификатором Muraplast FK49 0,5%, 22 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с суперпластификатором Muraplast FK49 1%, 23 – добавка микрокремнезёма 10% совместно с суперпластификатором Muraplast FK49 1,5%

Рисунок 6 – Влияние добавки Muraplast FK49 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона

Таблица 15 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г				Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	МК	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
17	450	1500	290	50	-	-	2014	0,73	130	4,72	6,11	7,40	28,42	33,81	42,48
18	450	1500	290	50	2,25	-	1962	0,67	130	5,00	6,28	7,58	29,12	36,25	42,52
19	450	1500	270	50	4,50	-	2000	0,67	125	5,53	6,66	8,15	30,02	38,05	43,12
20	450	1500	250	50	6,75	-	2006	0,71	130	5,72	6,64	7,87	27,50	37,20	42,91

48

Таблица 16 – Расход компонентов и результаты испытаний на прочность при изгибе и сжатии

№	Расход компонентов на замес, г				Химическая добавка, мл		Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	В/Ц	Расплав, мм	Предел прочности при изгибе, R <sub>изг</sub> , МПа			Предел прочности при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	МК	N10	FK49				7 сут	14 сут	28 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	500	1500	290	-	-	-	2135	0,53	120	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
17	450	1500	290	50	-	-	2014	0,73	130	4,72	6,11	7,40	28,42	33,81	42,48
21	450	1500	290	50	-	2,25	2008	0,67	130	4,50	6,10	7,38	25,02	33,80	43,20
22	450	1500	270	50	-	4,50	2014	0,62	140	5,42	6,68	7,55	26,22	36,11	43,01
23	450	1500	250	50	-	6,75	2002	0,67	140	5,51	6,81	7,94	30,00	37,42	44,56



По полученным данным можно сделать вывод, что добавка микрокремнезёма, по сравнению с добавкой цеолитсодержащей породы, даёт меньшие прочностные показатели, влияние химических добавок менее эффективно. Наибольшая прочность достигается при совместном введении 10% микрокремнезёма и 1,5% суперпластификатора Muraplast FK49.

Исходя из полученных результатов считаем составы 12 (10 % цеолитсодержащей породы и 1 % Centrament N10) и 16 (10 % цеолитсодержащей породы и 1,5 % Muraplast FK49) оптимальными и рекомендуем их для производства изделий из мелкозернистого бетона.

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Выбор способа производства

При выборе бетоносмесительного завода, прежде всего, следует оценить перспективу развития строительного производства предприятия и необходимую на данный момент мощность бетоносмесительного завода, учитывая плановые простои технического оборудования на ремонт, а также производственный запас в 20 – 30 % производительности на случай непредвиденных обстоятельств и расширения производства.

Основными параметрами завода будут являться следующие:

- номинальная производительность;
- требуемый объем накопительных бункеров (силосов) для инертных материалов;
- наличие автоматизации, в том числе автоматического взвешивания материалов, определения влажности инертных и так далее;
- требования, предъявляемые к готовой бетонной смеси и возможность получения требуемого качества на данном оборудовании;
- мобильность и удобство эксплуатации.

Исходя из предъявляемых требований, следует сразу определиться с видом производства: стационарным или мобильным, оценив положительные и отрицательные стороны каждого из них.

Стационарные бетонные заводы широко применяются в местах, где необходима неограниченная реализация бетонной смеси, а также изделий из нее. Производительность таких заводов может достигать 200 – 300 и более м<sup>3</sup> в час. Загрузка инертных материалов в бетоносмеситель осуществляется скиповым или конвейерным способом, но также встречаются с элеваторным, грейферным и скреперным способом подачи. Стационарные бетонные заводы устанавливаются на фундамент и оснащаются полной комплектацией

для работы в автономном режиме. Повышенный спрос на данный вид бетонных заводов оправдывается экономичным энергопотреблением, незначительным уровнем износа оборудования, а также возможность выполнения работ во всесезонных вариантах.

Преимущества стационарных бетонных заводов:

- комплектация из модулей (скорость установки);
- легкость транспортировки;
- совмещение с системами подачи инертных компонентов;
- минимальное количество персонала для обслуживания техники.

Популярность применения мобильных бетонных заводов заключается в приготовлении бетона прямо на месте заливки, а также высокая скорость и легкость установки конструкции. Монтаж производится на колесном шасси или разборном фундаменте. Производительность мобильного завода обычно не превышает 60 – 75 м<sup>3</sup> в час.

Преимущества мобильного бетонного завода:

- быстрота и легкость монтажа и демонтажа – при соблюдении требуемых условий весь цикл по сборки и разборки бетонного завода составляет один день;
- компактность установки – данный завод имеет небольшую площадь, что позволяет его размещать непосредственно на стройплощадке;
- экономичность – стоимость мобильного бетонного завода в полтора – два раза ниже стационарных бетонных заводов;
- высокое качество бетона.

К недостаткам можно отнести:

- невысокую производительность заводов;
- необходимость организации частых загрузок инертными материалами и цементом [29].

### 3.2 Описание технологического процесса

Технология производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками состоит из следующих технологических переделов:

- подготовка материалов (дозирование, транспортирование, загрузка в бетоносмеситель всех компонентов бетонной смеси);
- приготовление бетонной смеси (осуществление двух–стадийного перемешивания для достижения наилучшей однородности смеси);
- выгрузка готового продукта.

На завод по производству бетонных смесей, песок поставляется автотранспортом и выгружается в открытый склад-площадку (1). Из открытых складов песок перегружается с помощью автопогрузчика (2) в загрузочный бункер ДКМ–24 (7), объемом 12 м<sup>3</sup>. Загрузочная высота и ширина достигает трех метров. Для защиты от попадания крупных включений в бункера устанавливаются решетки с необходимым размером ячеек. Из бункера песок подается, посредством открытия пневмозатворов, на ленточный конвейер-дозатор (8), установленный на четырех тензодатчиках, повышающих точность дозирования с допустимой погрешностью  $\pm 1$  %. После набора заданной дозы, материал подается в бункер скипового подъемника (9), который направляет компоненты в двухвальный бетоносмеситель БП – 2Г – 750с (15).

Цемент на бетонный завод поставляется цементовозом (2), разгрузка которого происходит пневматическим способом по трубе–закачке (18), непосредственно в силос цемента СЦМ–75 (4), объемом 50 м<sup>3</sup> и вместимостью 75 тонн. Из силоса, шнековым транспортером (6), цемент подается в бак-дозатор ДЦ–300 (10), с пределом взвешивания 300 кг и точностью дозирования  $\pm 1$  %, который подвешивается на трех тензодатчиках, являющимися измерителями массы продукта в бункере. После совершения операции дозирования, посредством вибратора,

установленного с торца бака-дозатора, открываются пневмозатворы и клапаны, и далее происходит сброс цемента в бетоносмеситель (15).

Поставка минеральной добавки – цеолитсодержащей породы, как и цемента, осуществляется цементовозом, так как на завод добавка поступает в тонкодисперсном состоянии. Разгрузка машины осуществляется пневматическим способом, с помощью трубы-закачки (18) в силос СЦ–42 (5), объемом 28 м<sup>3</sup> и вместимостью 42 тонны. Далее, цеолитсодержащая порода поступает по шнековому транспортеру (6) в бак-дозатор ДЦ–150 (11), с пределом взвешивания 150 кг и точностью дозирования  $\pm 1 \%$ , подвешенный на трех тензодатчиках. Принцип сброса цеолитсодержащей породы в бетоносмеситель аналогичен принципу сброса цемента.

Вода из скважины или городской системы водоснабжения насосом подается на бетонный завод, и далее в бак-дозатор воды ДВ–150 (12), точность которого составляет  $\pm 1 \%$ , а максимальный предел дозировки – 150 кг. В зимнее время вода подогревается до 70 °С, в летнее используется без подогрева. Дозатор подвешивается на трех тензодатчиков, которые повышают точность дозирования. После наполнения бака необходимой массой воды автоматически отключается ее подача в бак-дозатор (12) и далее открываются заслонки сброса в бетоносмеситель. Для ускоренного сброса воды установлены насосы слива (14). Процесс сброса занимает не более 10 секунд.

Химические добавки-пластификаторы Centrament N10 и Muraplast FK49 поступают на завод автотранспортом и хранятся в специальной емкости, оборудованной подогревом в зимнее время. Из бака для хранения, химические добавки, с помощью насоса, подаются в дозирующий бак ДД–20 (13) с максимальным пределом взвешивания 20 кг, и точностью дозирования  $\pm 1 \%$ . Дозирующие баки жидкостных химических добавок подвешиваются на одном тензодатчике, которые являются измерителями массы данных добавок.

Данные с тензодатчиков, оборудованных для воды и химических добавок Centrament N 10 и Muraplast FK 49, обрабатываются сумматором, который расположен в распределительном шкафу. После совершения дозирования автоматически отключается подача данных компонентов в баки, после чего открываются заслонки сброса в смеситель и происходит полное опустошение баков.

Загрузка всех компонентов в двухвальный бетоносмеситель БП – 2Г – 750с осуществляется в следующем порядке:

1. Заполнитель (песок).
2. Цемент и цеолитсодержащая порода.
3. Вода, добавка-пластификатор Centrament N 10 или Muraplast FK 49.

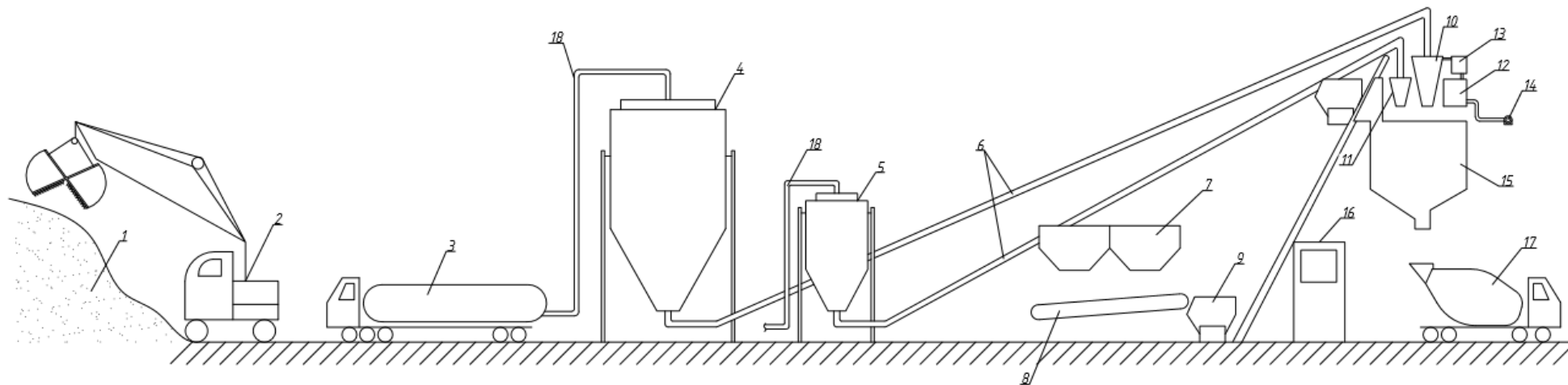
Время перемешивания компонентов бетонной смеси в двухвальном бетоносмесителе БП – 2Г – 750с (15) составляет 10 – 60 секунд. После достижения необходимой однородности смеси открывается пневмозавтор, выгружающий смесь в автобетоносмеситель (17).

Двухвальный бетоносмеситель установлен на эстакаде с высотой выгрузки смеси 4 метра. Паспортная производительность составляет 30 м<sup>3</sup> в час, с установленной мощностью 25 кВт.

Вся бетоносмесительная установка смонтирована на раме, которая устанавливается на ровной площадке без использования фундамента и подготовки скипового приямка.

Режим работы бетонного завода полностью автоматический. Управление процессами приготовления бетонной смеси осуществляется операторами дистанционно, с помощью пульта управления, который располагается в операторской кабине (16), встроенной в раму бетоносмесительной установки и имеющей смотровые окна для наблюдения за данными процессами [30].

Технологическая схема производства представлена на рисунке 9, функциональная схема – на рисунке 10.



- 1 – склад заполнителя (песка); 2 – автопогрузчик; 3 – цементовоз; 4 – силос цемента  $V = 50 \text{ м}^3$ ; 5 – силос цеолитсодержащей породы  $V = 28 \text{ м}^3$ ; 6 – шнековый транспортер; 7 – бункер песка  $V = 12 \text{ м}^3$ ; 8 – ленточный конвейер-дозатор; 9 – скиповый подъемник; 10 – бак-дозатор цемента; 11 – бак-дозатор цеолитсодержащей породы; 12 – бак-дозатор воды; 13 – бак дозатор химической добавки; 14 – насос; 15 – бетоносмеситель; 16 – кабина оператора; 17 - автобетоносмеситель

Рисунок 9– Технологическая схема производства мелкозернистого бетона с минеральной добавкой

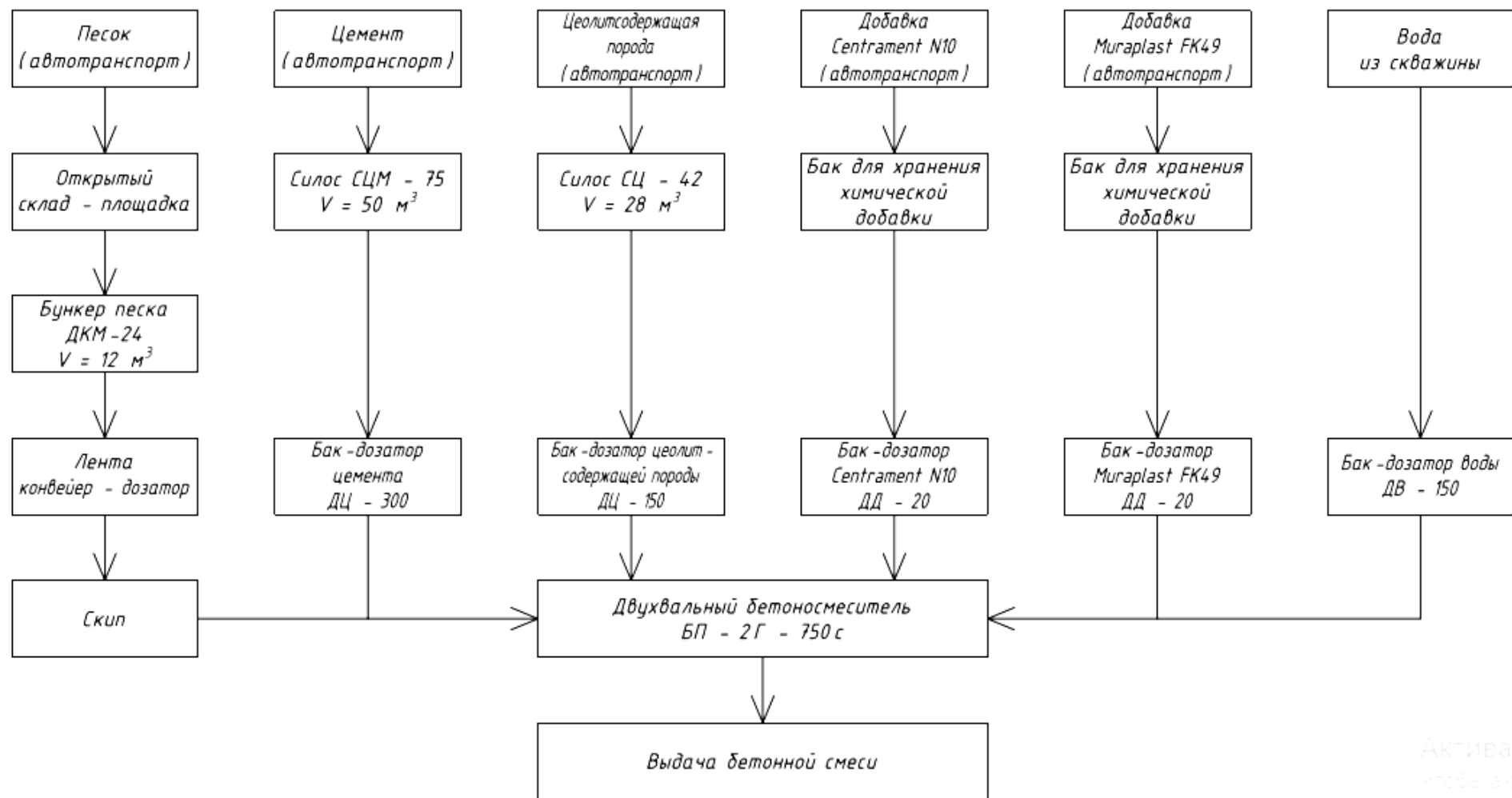


Рисунок 10 – Функциональная схема производства



Устройство завода по производству мелкозернистого бетона представлен на плане масштабом 1:50 и его разрезах (рисунок 11). Основная характеристика данного завода представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Характеристика завода по производству мелкозернистого бетона с цеолитсодержащей породы.

№	Название	Значение
1.	Производительность, м <sup>3</sup> /час	20 – 30
2.	Общая мощность, кВт	38,6
3.	Габаритные размеры, мм: Длина Ширина Высота	12115 3635 7090
4.	Масса не более, кг	8800

Дозатор заполнителя ДКМ – 24 (7) состоит из несущего каркаса, к которому закреплены два бункера. Каждый бункер снабжен затвором с пневмоцилиндром и вибратором для сводообрушения сырья. Конструкция дозатора предусматривает возможность разворота бункеров в разные стороны, обеспечивая безопасную работу одновременно двум автопогрузчикам для бесперебойной подачи инертных сухих компонентов. В состав дозатора заполнителя ДКМ – 24 входит ленточный конвейер-дозатор (8), позволяющий определить массу находящегося на нем материала.

Скиповый подъемник (9) состоит из бункера, который перемещается по наклонным направляющим с помощью троса и привода, смонтированного на раме (2), жестко закрепленной к бетоносмесителю БП – 2Г – 750с (15) и состоит из электродвигателя, червячного редуктора, предохранительного тормозного устройства и барабана для укладки троса.

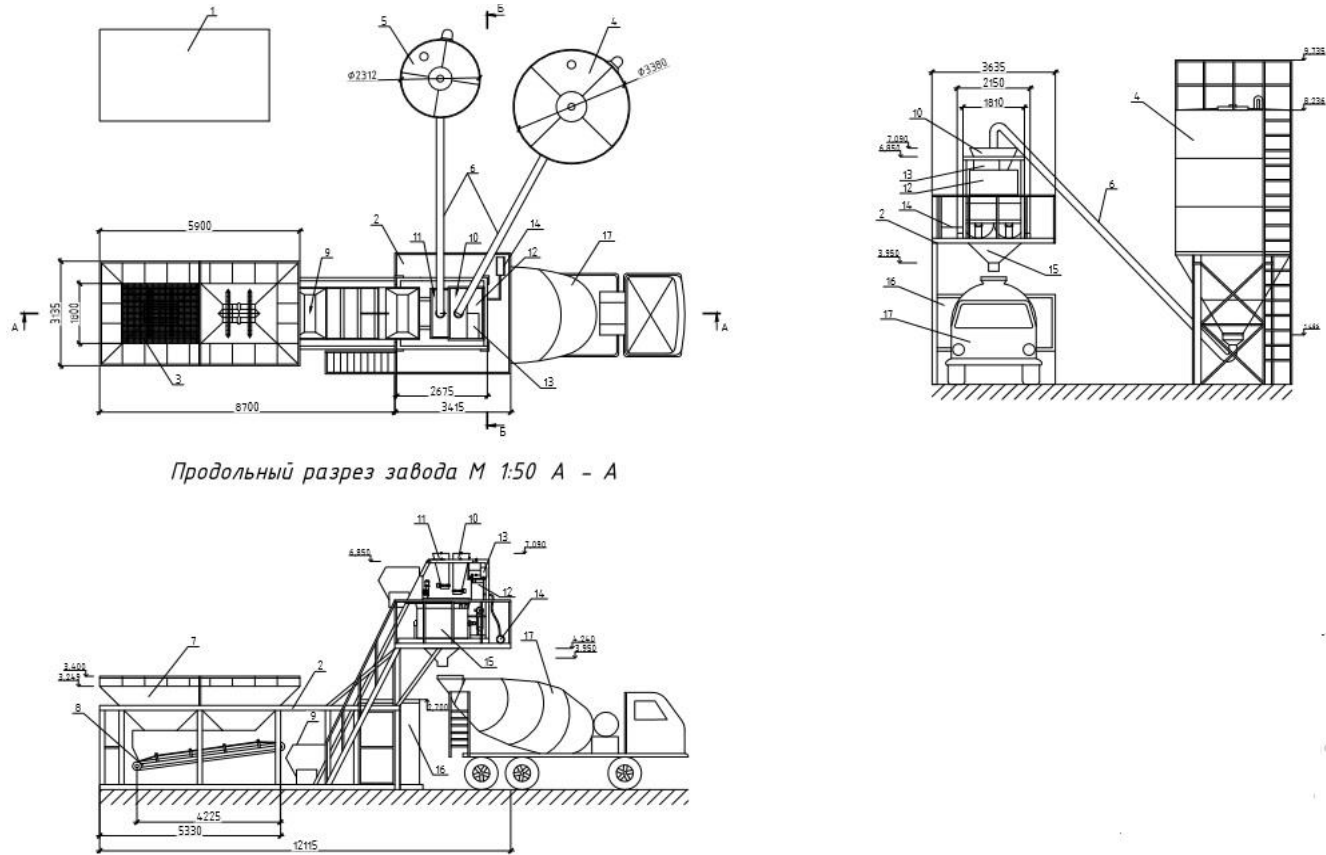
На раме скипового подъемника смонтированы дозаторы цемента ДЦ–300 (10), цеолитсодержащей породы ДЦ–150 (11), бак-дозатор воды ДВ–150 (12) и химической добавки ДД–20 (13). Дозатор цемента и цеолитсодержащей породы представляет собой пирамидообразную емкость с

входным отверстием сверху, через который падает компонент непосредственно в дозатор, и выходным отверстием снизу, на котором смонтирован дисковый затвор с пневмоприводом. При открытии дискового затвора необходимая доза цемента засыпается в смеситель. Дозаторы цемента и цеолитсодержащей породы подвешены на тензодатчики, которые обеспечивают точность дозирования компонентов.

Бак дозатора воды ДВ–150 (12) с насосом (14) и бак дозатора химической добавки ДД–20 (13) представляют собой прямоугольные призмы, подвешенные также на тензодатчики. Подача жидкостей осуществляется посредством насоса (14), который прекращает свою работу после наполнения баков до необходимой для замеса массы. Далее происходит сброс воды и химической добавки в бетоносмеситель.

Эстакада (2) представляет собой П–образную металлическую конструкцию, на верхней площадке которой располагается бетоносмеситель БП – 2Г – 750с (15) с дозаторами цемента, цеолитсодержащей породы, воды и химической добавки (10, 11, 12, 13), насос (14), воронка для подачи готового бетона в автобетоносмеситель (17). Размеры проема эстакады обеспечивают загрузку и сквозной проезд любого автомобиля.

Управление работой всего завода осуществляется с помощью пульта управления, установленного в кабине оператора (16). Связь пульта с исполнительными механизмами осуществляется через кабеля с быстросъемными соединителями. С пульта управления осуществляется дозирование каждого компонента бетонной смеси (согласно рецептуре) посредством цифровых индикаторов и кнопок, при помощи которых устанавливается требуемая доза каждого компонента. Далее, начинается процесс создания бетонной смеси, по окончании которого готовый продукт через воронку, установленную в эстакаде, выгружается в автобетоносмеситель. После, происходит повторение всего цикла.



Продольный разрез завода М 1:50 А - А

1 – открытый склад песка; 2 – эстакада бетоносмесительной установки; 3 – фракционная решетка; 4 – силос цемента; 5 – силос цеолитсодержащей породы; 6 – шнековый транспортер; 7 – дозатор заполнителя; 8 – ленточный конвейер-дозатор; 9 – скиповый подъемник; 10 – бак-дозатор цемента; 11 – бак-дозатор цеолитсодержащей породы; 12 – бак-дозатор воды; 13 – бак-дозатор химической добавки; 14 – насос; 15 – двухвальный бетоносмеситель; 16 – кабина оператора; 17 – автобетоносмеситель.

Рисунок 11 – План и разрезы завода по производству мелкозернистого бетона с минеральной добавкой, масштабом 1:50

### **3.3 Двухвальный бетоносмеситель непрерывного действия принудительного перемешивания**

Смеситель непрерывного действия принудительного перемешивания выполнен с двумя валами для приготовления жестких и подвижных бетонных смесей, растворов [31].

Корпус (1) двухвального бетоносмесителя БП – 2Г – 750с футерован изнутри износостойкой чугунной броней чешуйчатого типа. Такая броня состоит из откидных дверей на боковой стенке, что обеспечивает максимальный доступ внутрь смесителя для его очистки, облегчая его обслуживание и ремонт, не требуя демонтажа скипового подъемника, дозаторов цемента, цеолитсодержащей породы, воды и химических добавок, которые позволяют менять только износившуюся ее часть, что облегчает обслуживание и ремонт.

Внутри неподвижного корпуса размещены два горизонтальных вала (2), вращающиеся навстречу друг другу, которые соединены между собой муфтой-синхронизатором (3), обеспечивающая защиту привода вращения смесительных валов (4). По винтовым линиям горизонтальных валов установлены стальные спицы и скребковые лопасти, изготовленные из износостойкого чугуна. Лопасти повернуты под углом к плоскости, нормальной оси вала, благодаря чему материал перемещается в радиальном и осевом направлениях. Чем ближе значение угла к  $90^\circ$ , тем интенсивнее и длительнее происходит перемешивание компонентов бетонной смеси, при этом снижается скорость перемещения смеси вдоль корпуса, а значит и производительность. Такие изменения угла полезны при переходе на приготовление другой марки бетонной смеси.

Загрузка в смеситель инертных сухих компонентов бетонной смеси происходит через бункер скипового подъемника (5), который снабжен донным затвором. Привод скипа (6) осуществляется от лебедки (9), которая

оснащена встроенным электротормозом. Придя в верхнее положение, принудительно открывается донный затвор бункера, после чего материал засыпается в смеситель.

Для побуждения ускоренного сброса цемента и цеолитсодержащей породы установлены вибратор, пневмозадвижки, клапаны (8), открытие которых сопровождается полным опустошением баков – дозаторов (9, 10).

Далее происходит предварительное перемешивание заполнителя с цементом и цеолитсодержащей минеральной добавкой, после чего в бетоносмеситель подается вода и химическая добавка Centrament N 10 или Muraplast FK 49 из бункеров-дозаторов (11, 12). Все компоненты бетонной смеси передвигаются вдоль смесителя и перемешиваются при помощи расположенных по винтовой линии лопастям, доводя бетонную смесь до готовности.

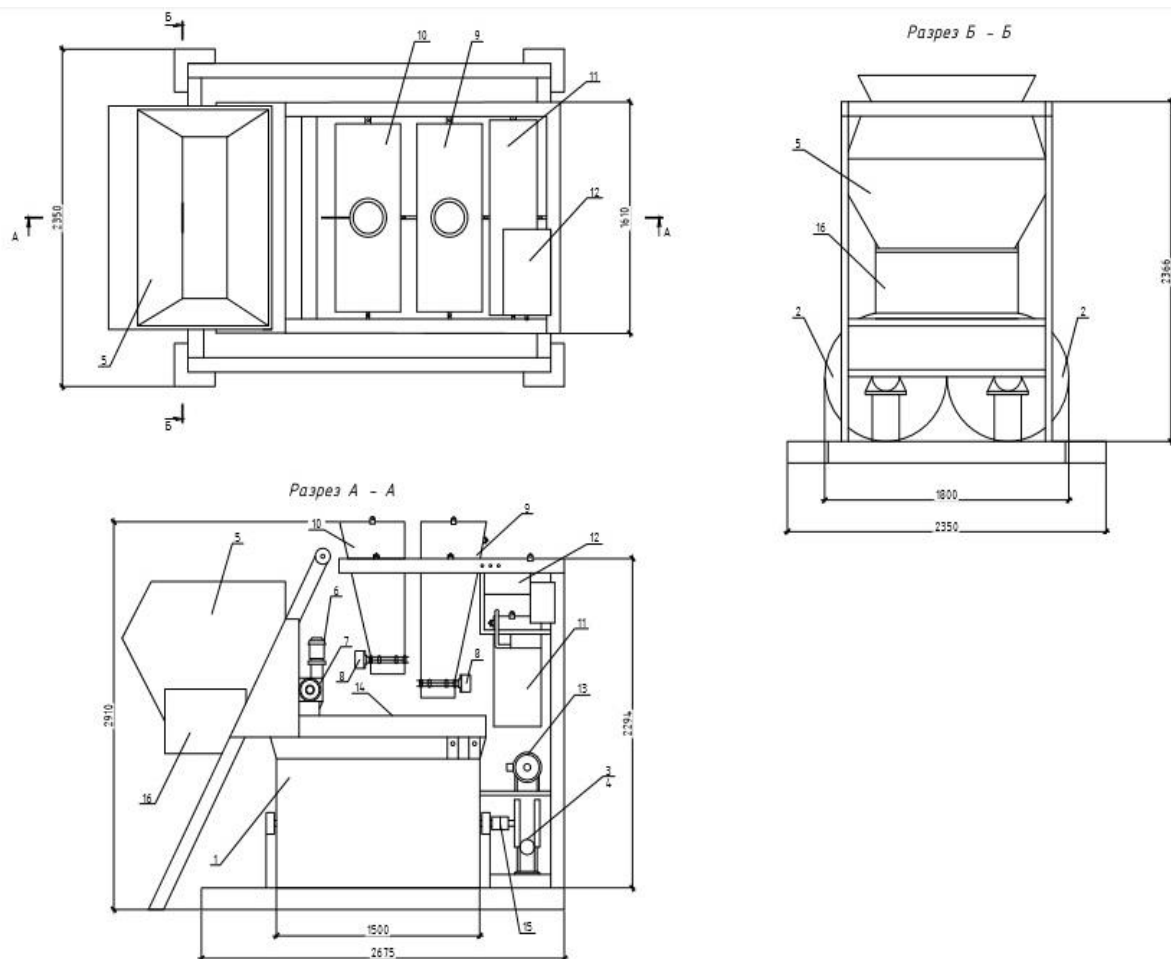
По окончании замеса происходит открытие люка, находящегося в днище смесителя, закрываемое секторным затвором с пневмоприводом. После чего готовая бетонная смесь через воронку, установленную в эстакаде, выгружается в автобетоносмеситель.

Двухвальный бетоносмеситель БП – 2Г – 750с, представленный на рисунке 12, может быть установлен на любой высоте. Для защиты от попадания посторонних предметов предусмотрена защитная решетка. Привод осуществляется от электродвигателя (13) через ременную передачу, оснащенную кожухом (14), и двумя модернизированными усиленными редукторами.

Технические характеристики бетоносмесителя БП – 2Г – 750с приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики оборудования

№	Название	Значение
1	Объем по загрузке, л	750
2	Объем готового замеса по бетону, л	500
3	Объем готового замеса по раствору, л	600
4	Количество циклов за час	60
5	Время перемешивания смеси, сек	10 – 60
6	Крупность заполнителя не более, мм	70
7	Частота вращения валов, об/мин	32
8	Напряжение питания, В/Гц	380/50
9	Общая установленная мощность, кВт	25
10	Затвор секторный	Пневмопривод
11	Масса не более, кг	3600
12	Высота, мм	2910
13	Ширина, мм	2150
14	Длина, мм	2675



- 1 – корпус смесительной камеры; 2 – горизонтальный вал; 3 – муфта-синхронизатор;  
 4 – привод вращения смесительных валов; 5 – бункер скипового подъемника;  
 6 – электродвигатель привода лебедки; 7 – лебедка подъема скипа с тормозом;  
 8 – клапан дозатора; 9 – дозатор цемента ДЦ – 300; 10 – дозатор цеолитсодержащей  
 породы ДЦ – 150; 11 – дозатор воды ДВ – 150; 12 – дозатор химической добавки ДД – 20;  
 13 – электродвигатель привода вращения; 14 – защитный кожух;  
 15 – предохранительные муфты приводных валов; 16 – шиберная заслонка скипа.

Рисунок 12 – Двухвальный бетоносмеситель БП – 2Г – 750с

### 3.3.1 Расчет двухвального смесителя непрерывного действия принудительного перемешивания

Расчет основных параметров двухвального смесителя непрерывного действия производится в следующем порядке. Исходной величиной для определения размеров смесителя является загрузочная емкость  $V_3$ , которую определяют из заданной производительности смесительного агрегата,  $\text{м}^3$  [31].

$$V_3 = \frac{\Pi \cdot T}{3600}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – часовая производительности,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$T$  – время перемешивания смеси,  $T = 90 - 180$  с, меньшее время – для крупнозернистых смесей, большее – для мелкозернистых;

$$V_3 = \frac{30 \cdot 180}{3600} = 1,5 \text{ м}^3$$

Длина корпуса смесителя ориентировочно определяется, м:

$$L = t_{\text{л}} \cdot Z_{\text{л}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{л}}$  – расстояние между соседними лопастями, м ( $t_{\text{л}} = 0,75 \cdot R$ );

$Z_{\text{л}}$  – число пар лопастей на каждом валу, определяется по формуле:

$$Z_{\text{л}} = \delta \cdot K_c \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $\delta$  – число передеформирований смеси для обеспечения качественного перемешивания ( $\delta = 40 - 50$ );

$K_c$  – коэффициент, учитывающий свойства перемешиваемых материалов ( $K_c = 0,3$ );

$\alpha$  – рекомендуемый угол  $45^\circ$ .

$$Z_{\text{л}} = 40 \cdot 0,3 \cdot \sin 45 = 8,49$$

$$L = 0,75 \cdot R \cdot 8,49 = 6,37 \cdot R \quad (4)$$



Выражение для расчета радиуса корпуса смесителя, м:

$$R = \frac{\sqrt[3]{\Pi \cdot T}}{39} \quad (5)$$

$$R = \frac{\sqrt[3]{30 \cdot 180}}{39} = 0,45 \text{ м.}$$

Тогда, длина корпуса смесителя будет равна, м:

$$L = 6,37 \cdot 0,45 = 2,87 \text{ м.}$$

Расстояние между центрами валов, м:

$$\alpha = 2 \cdot R \cdot \cos \alpha = 1,5 \cdot R \quad (6)$$

$$\alpha = 1,5 \cdot 0,45 = 0,68 \text{ м.}$$

Ширина корпуса смесителя, м:

$$B = 2 \cdot R + \alpha = 2 \cdot R + 1,5 \cdot R = 3,5 \cdot R \quad (7)$$

$$B = 3,5 \cdot 0,45 = 1,58 \text{ м.}$$

Высота корпуса от оси вала, м:

$$h = 1,35 \cdot R \quad (8)$$

$$h = 1,35 \cdot 0,45 = 0,61 \text{ м.}$$

Общая высота корпуса, м:

$$H = h + R = 2,35 \cdot R \quad (9)$$

$$H = 2,35 \cdot 0,45 = 1,06 \text{ м.}$$

Ширина лопастей, м:

$$b_{\text{л}} = 0,42 \cdot R \quad (10)$$

$$b_{л} = 0,42 \cdot 0,45 = 0,19 \text{ м.}$$

Высота лопастей, м:

$$h_{л} = 0,5 \cdot R \quad (11)$$

$$h_{л} = 0,5 \cdot 0,45 = 0,23 \text{ м.}$$

Частота вращения смесительных валов

$$n = \frac{0,755}{\sqrt{R}} \quad (12)$$

$$n = \frac{0,755}{\sqrt{0,45}} = 1,13.$$

Мощность электродвигателя бетоносмесителя, кВт:

$$N = \frac{2 \cdot K \cdot Z_{в} \cdot Z_{л} \cdot b_{л} \cdot \cos \alpha \cdot h_{л} \cdot \omega}{1000 \cdot \eta}, \quad (13)$$

где  $K$  – удельный коэффициент сопротивления движению лопасти в смеси, Па ( $K = (25 \dots 30) \cdot 10^3$  – для подвижных бетонных смесей,  $K = (64 \dots 83) \cdot 10^3$  – для жестких);

$Z_{в}$  – количество валов, установленных на бетоносмесителе;

$\omega$  – скорость вращения вала, рад/с;

$\eta$  – КПД привода смесителя ( $\eta = 0,75 - 0,85$ ).

$$N = \frac{2 \cdot 64 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 8,49 \cdot 0,19 \cdot \cos 45 \cdot 0,23 \cdot 1,13}{1000 \cdot 0,85} = 66,3 \text{ кВт.}$$

В таблицу 19 сведены расчетные параметры двухвального бетоносмесителя принудительного действия.

Таблица 19 – Расчетная характеристика оборудования:

№	Название	Значение
1	Загрузочная емкость	1,5 м <sup>3</sup>
2	Радиус корпуса смесителя	0,45 м
3	Расстояние между центрами валов	0,68 м
№	Название	Значение
4	Частота вращения смесительных валов	1,13
5	Мощность электродвигателя	66,3 кВт
6	Длина корпуса смесителя	2,87 м
7	Ширина корпуса	1,58 м
8	Высота корпуса	1,06 м
9	Высота корпуса от оси вала	0,61 м
10	Ширина лопастей	0,19 м
11	Высота лопастей	0,23 м

### 3.3.2 Ведомость основного технического оборудования производства

Характеристика основного оборудования для производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Ведомость основного оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Назначение	Техническая характеристика оборудования		Кол -во
			Параметр	Числ. знач-е	
1	2	3	4	5	6
1.	Бункер ДКМ - 24	Расходный бункер заполнителя	– Общий объем бункера, м <sup>3</sup> – Объем одного бункера, м <sup>3</sup> – Габаритные размеры, мм: длина ширина высота – Масса не более, кг	24 12 5900 3135 3249 4000	1

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6
2.	Ленточный конвейер - дозатор	Дозирование и подача инертных материалов в скип	– Скорость движения ленты, м/с – Погрешность дозирования, % – Максимальная доза взвешивания, кг	1,6 ± 1  1500	1
3.	Двухвальный бетоносмеситель БП – 2Г – 750с	Перемешивание компонентов смеси; Приготовление бетонов, растворов	– Производительность, м <sup>3</sup> /час – Время перемешивания смеси, сек – Общая установленная мощность, кВт – Габаритные размеры, мм: длина ширина высота – Масса не более, кг	20 – 30  10 – 60  25  2675 2150 2910 3600	1
4.	Дозатор ДЦ – 300	Дозирование цемента	– Наибольший предел дозирования цемента, кг – Точность дозирования, %	300 ± 1	
5.	Дозатор ДЦ – 150	Дозирование цеолит-содержащей породы	– Наибольший предел дозирования цеолитсодержащей породы, кг – Точность дозирования, %	150 ± 1	1
6.	Дозатор ДВ – 150	Дозирование воды	– Наибольший предел дозирования воды, кг – Точность дозирования, %	150 ± 1	1
7.	Дозатор ДД – 20	Дозирование химической добавки: Centrament N10; Muraplast FK 49	– Наибольший предел дозирования добавки, кг – Точность дозирования, %	20 ± 1	1
8.	Силос СЦМ – 75	Прием и хранение цемента	– Вместимость силоса, тонн – Объем силоса, м <sup>3</sup> – Габаритные размеры, мм: диаметр банки высота – Масса не более, кг	75 50  3380 9735 4400	1

Окончание таблицы 20

1	2	3	4	5	6
9.	Силос СЦ – 42	Прием и хранение цеолитсодержащей породы	– Вместимость силоса, тонн – Объем силоса, м <sup>3</sup> – Габаритные размеры, мм: диаметр банки высота – Масса не более, кг	42 28 2300 9882 2990	1
10.	Шнек	Подача цемента и цеолитсодержащей породы в бак-дозатор	– Диаметр трубы, мм – Длина трубы, мм – Угол установки шнека, град – Масса не более, кг	219 10000 20 – 45 610	2

### 3.4 Характеристика выпускаемой продукции

В таблице 21 представлены физико-механические характеристики составов мелкозернистого бетона.

Таблица 21 – физико-механические свойства мелкозернистого бетона с цеолитсодержащей породой (10 %) и химическими добавками Centrament N 10 и Muraplast FK 49

Характеристики	ГОСТ 26633 – 2015	Среднее фактическое значение бетон. см. с Centrament N 10	Среднее фактическое значение бетон. см. с Muraplast FK 49
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2000 – 2500	2233	2210
Класс по прочности на сжатие	B3,5 – B40	B35	B35
Класс по прочности при изгибе	B1,2 – B10,0	B5	B5
Класс по морозостойкости	F50 – F1000	–	–
Класс по водонепроницаемости	W2 – W20	–	–
Класс по истираемости	G1, G2, G3	–	–

Согласно ГОСТ 7473 – 2010, можно установить марку выпускаемой бетонной смеси:

БСМ – В35 – ПЗ– F– W

- по типу бетона смесь относится к БСМ – бетонные смеси мелкозернистого бетона;
- класс по прочности на сжатие соответствует В35;
- по показателю удобоукладываемости принимаем ПЗ, так как осадка конуса выпускаемой бетонной смеси соответствует пределу значений 10 – 15 см;
- класс по морозостойкости и водонепроницаемости разработанной бетонной смеси не определялись.

## 4 ЭКОЛОГИЯ

В настоящее время среди общечеловеческих ценностей на передний план выдвигаются экологические проблемы. Известно, что производственно-хозяйственные стандарты качества природной среды регламентируют экологически безопасный режим работы производственного объекта. Качество природной среды контролируется предельно допустимым выбросом загрязняющих веществ в природную среду.

При нормировании концентрации вещества в воздухе или в воде используется принцип лимитирующего показателя, согласно которому нормирование производится по наиболее чувствительному показателю для обслуживающего персонала или окружающей среды показателю.

В качестве меры, ограничивающей содержание загрязняющих веществ в окружающей среде, принята предельно допустимая концентрация (ПДК). ПДК – это такая концентрация, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение жизни, прямо или опосредованно через экологические системы не возникает заболеваний или изменений состояния здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования сразу или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующих поколений.

В практике нормирования и для санитарной оценки степени загрязнения воздушной и водной среды используется предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК рз, мг/м<sup>3</sup>). Это такая концентрация вещества в воздухе, которая не вызывает у работающих при ежедневном вдыхании по 8 ч в течение всего рабочего стажа заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования непосредственно в процессе работы или в отдаленной перспективе. Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Защитные мероприятия по охране атмосферного воздуха на предприятии выбираются согласно СНиП 2.04.05 – 91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», согласно которому необходимо оснащать технологические установки вентиляционными системами с пылеуловителями для защиты воздушного бассейна, а силосы и бункера пылящих материалов должны снабжаться рукавными фильтрами, циклонами или электрофильтрами для очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха.

Запрещается сбрасывать или смывать в водоемы санитарно – бытового использования и в канализацию добавки и другие отходы производства, их растворы, эмульсии, а также отходы, образующиеся от промывки тракта хранения, подачи и дозирования вредных веществ – компонентов.

Для предотвращения загрязнения атмосферного воздуха в нашей стране принято ограничение на выброс вредных веществ в атмосферу промышленными предприятиями. Защита воздушного бассейна регламентируется предельно допустимыми концентрациями (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе, предельно допустимыми выбросами (ПДВ) вредных веществ и временно согласованными выбросами (ВСВ) от источников загрязнения. С целью нормирования содержания примесей в атмосферном воздухе населенных пунктов министерством здравоохранения Российской Федерации установлены нормативные концентрации вредных веществ в виде среднесуточных и максимально разовых ПДК. За основу принято, что допустимая концентрация вредных веществ в воздухе может быть такая, которая не оказывает на человека вредного воздействия, не снижает его работоспособности, не влияет на его самочувствие и настроение, при этом привыкание к таким веществам признается недопустимым. Среднесуточная ПДК установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния. Максимально разовая ПДК – это такая концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе, которая



после 20 – минутного воздействия вызывает у человека рефлекторные реакции (ощущение запаха, привкуса, световой чувствительности).

Технологические операции при производстве имеют ряд вредных производственных факторов, так работа смесительных агрегатов связана с выделением большого количества пыли, что оказывает вредное воздействие на рабочий персонал. Поэтому безопасность рабочего персонала на производстве осуществляется согласно мероприятиям, указанных в СНиП 12 – 03 – 2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования». Указанные мероприятия в данном СНиПе, обеспечивают решения задач:

- по электробезопасности технологического и транспортного оборудования, электросетей, контрольно-измерительных приборов;

- по снижению уровня влияния вредных производственных факторов, таких как пыль, шум, вибрации, по влажности, температуре, освещаемости;

- по пожарной безопасности.

Для защиты работающих в производственном помещении с шумным оборудованием, применяются звукоизоляция вспомогательных помещений, смежных с шумным производственным участком; кабины наблюдения и дистанционного управления; акустические экраны и звукоизолирующие кожухи; обработка стен и потолка звукоизолирующими облицовками или штучными поглотителями; звукоизолирующие кабины и укрытия для регламентированного отдыха работников шумных постов; виброизоляция колебаний виброактивных машин на основе различных систем амортизации.

В необходимых случаях принимают меры коллективной защиты от шума в виде различных наушников, вкладышей, шлемов. Защита производится согласно ГОСТ 12.1003–83–ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» с изменениями от 1 марта 1989 года. Для защиты от теплового облучения проводят комплекс следующих технических и санитарно-гигиенических мероприятий: механизацию и автоматизацию тяжелых и

трудоемких работ в горячих цехах; дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами; теплоизоляцию оборудования, коммуникаций и др. источников тепла таким образом, чтобы температура их наружных стенок не превышала 40 °С; устройство защитных экранов; водяных и воздушных завес; внедрение научно – обоснованных режимов труда и отдыха рабочих; организацию водно – солевого питьевого режима; обеспечение рабочих теплозащитной одеждой и спецобувью.

Применением комплекса технических мероприятий не всегда удается обеспечить нормальные санитарно-гигиенические условия труда в производстве строительных материалов. В этих случаях используют средства индивидуальной защиты. Общие требования к ним содержатся в ГОСТ 12.4.011–75\*.

Для защиты тела работающих применяют различную спецодежду теплозащитную, противопыльную, масло – и кислотостойкую и др. Голова работающего защищается каской , шлемом и др.

Разнообразны виды спецобуви в соответствии с условиями рабочей среды. Она изготавливается на нескользящей подошве, стойкой к действию загрязнений рабочей среды. В необходимых случаях обувь изготавливается утепленной, противоударной, виброзащищенной. Для защиты рук применяются перчатки и рукавицы прорезиненные или из кислотостойких материалов; выпускаются также виброзащитные рукавицы.

Пожарная безопасность на предприятии выполняется согласно ГОСТ 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов». Пожары на предприятиях наиболее часто возникают из – за несоблюдения правил пожарной безопасности рабочими и инженерно – техническим персоналом, например, нарушение правил сварочных работ, применение открытого огня для обогрева коммуникаций, двигателей и помещений, курение в запрещенных местах, короткое замыкание в электропроводах.

Осуществление мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности, возлагается на руководящий персонал. Они несут ответственность за организацию пожарной безопасности, за выполнение в установленные сроки необходимых противопожарных мероприятий, за соблюдение противопожарного режима. Они должны осматривать помещение перед его закрытием по окончании рабочего дня. Выявленные при этом нарушения требований пожарной безопасности должны быть немедленно устранены.

На предприятии должно быть организовано обучение всех рабочих и служащих правилам пожарной безопасности и действиям на случай возникновения пожара. Лица, не прошедшие инструктаж о соблюдении мер пожарной безопасности, не допускаются к работе. Каждый работающий на предприятии обязан выполнять требования «Правил пожарной безопасности», а также принимать меры по устранению выявленных противопожарных нарушений и ликвидации возникающих загораний и пожаров.

При выполнении работ вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, существует опасность случайного прикосновения к ним. При работах на отключенных токоведущих частях, проводах имеется опасность случайного появления на них напряжения в результате ошибочного включения. При работе на электроустановках с целью защиты от поражения электрическим током применяют электрозащитные средства (ГОСТ 12.1.009–76).

Основные изолирующие электрозащитные средства способны длительное время выдержать рабочее напряжение и их использование допускает прикосновение к частям электроустановок, находящихся под напряжением (до 1000 В). К ним относят диэлектрические резиновые перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, токоискатели, в электроустановках напряжением выше 1000 В – изолирующие штанги,

изолирующие и токоведущие клещи, указатели высокого напряжения. Дополнительные изолирующие средства не могут полностью защитить человека от поражения электрическим током. Их основное назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств. К дополнительным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относят диэлектрические галоши, коврики и изолирующие подставки. В электроустановках свыше 1000 В к дополнительным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, коврики и изолирующие подставки. Изолирующие средства проверяют внешним осмотром перед каждым употреблением и периодически испытывают через 6...12 месяцев.

Перед проведением электроремонтных работ (со снятием напряжения) на электроустановках проводят следующие мероприятия: оформляют наряд – допуск; ремонт производят не менее чем двое рабочих; отключают электропитание; вынимают главные предохранители; замыкают короткозамкнутые провода (после снятия напряжения); токоведущие замкнутые накоротко провода (после снятия напряжения); токоведущие (замкнутые накоротко провода или части электроустановки) заземляют.

На распределительных устройствах, рубильниках вывешивают предупредительный плакат «Не включать – работают люди». Мероприятия по защите проводят согласно ГОСТ 12.11.051–90 (СТ.СЭВ 6862–89) ССБТ «Электробезопасность. Расстояние безопасности в охранной зоне линии электропередачи напряжением свыше 1000 В».

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведённых исследований разработанных составов мелкозернистого бетона с оптимальной дозировкой минеральных и химических добавок были сделаны следующие выводы:

1. В результате исследований полученных составов мелкозернистого бетона с цеолитсодержащей породой было установлено, что введение цеолитсодержащей породы в количестве 10 % (состав № 3) приводит к увеличению прочности по сравнению с контрольным составом. Прочность на сжатие состава № 3 составила 44,05 МПа, что соответствует классу В30.

2. По полученным результатам испытания составов с добавкой микрокремнезёма было установлено, что введение микрокремнезёма в количестве 10 % (состав № 17) от массы цемента приводит к увеличению прочности по сравнению с контрольным составом. Но, по сравнению с составом № 3, состав № 17 даёт более низкие показатели прочности на сжатие. Прочность на сжатие состава № 17 составила 42,48 МПа, что соответствует классу В30.

3. Для придания пластичности и уменьшения В/Ц в составы вводились пластифицирующие добавки Centrament N10 и Muraplast FK49 в количестве от 0,5 % до 1,5 % от массы цемента. Наилучшими составами по итогу ввода добавки стали составы № 12 и № 16, прочность на сжатие образцов составила 45,11 МПа и 45,19 МПа, что соответствует классу В35. Данные составы можно рекомендовать для производства изделий из мелкозернистого бетона.

4. При подборе технологической линии по производству мелкозернистого бетона было использовано отечественное оборудование разработанное предприятием ООО "Стройконструкция". Данное оборудование не уступает по качеству зарубежным аналогам, что позволяет выпускать мелкозернистый бетон высокого качества.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ферронская А.В., Кожиев С.Б. Высококачественный мелкозернистый бетон для дорожных покрытий // Строительные материалы. 2005. №4. С. 58-59.
2. Красикова Н.М., Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий // Известия КазГАСУ. 2014. №2. С. 41–47.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение // М.:Инфра-Инженерия. 2013. С. 457–519.
4. Морозов Н.М., Мугинов Х.Г., Хозин В.Г., Антаков А.Б. Высокопрочные песчаные бетоны для монолитного строительства // Известия КазГАСУ. 2012. С. 183–188.
5. Якупов М.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. Модифицированный мелкозернистый бетон для возведения монолитных покрытий взлётно-посадочных полос аэродромов // Известия КазГАСУ. 2013. №4. С. 257–261.
6. ГОСТ 26633–2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 26633–2012; введ. 01.09.2016. – Москва: Стандартинформ. 2016.- 12 с.
7. Микульский В.Г. Строительные материалы// М.: Изд-во АСВ. 2000. С. 254-256.
8. ГОСТ 24211–2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 24211–2003; введ. 01.01.2011 г. – Москва: Стандартинформ. 2010. – 12 с.
9. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. К.: Будивэльнык. 1989. С. 128.
10. Высоцкий С.А. Минеральные добавки для бетонов // Бетон и железобетон. 1994. №2.

11. Н.Н. Морозова, Х. А. Кайс. О роли природного цеолита на прочность мелкозернистого бетона // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. №10.
12. Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Л.Б. Гольденберг. Мелкозернистые бетоны. Учебное пособие. – М.: МГСУ. 1998.- 148 с.
13. В.Г. Батраков. Модифицированные бетоны. Теория и практика /В.Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. 1998. 768 с.
- 14.Баженов, Ю. М. Технология бетона / Ю.М. Баженов – М.: Изд – во АСВ, 2002. – 472 с.
15. Телешев В.И., Ватин Н.И., Марчук А.Н., Комаринский М.В. Производство гидротехнических работ. Часть 1. Общие вопросы строительства. Земляные и бетонные работы. Учебник для вузов. -М.: Издательство АСВ, 2012. – 488 с.
- 16.ГОСТ 310.1–76 Цементы. Методы испытаний. Общие положения. – Взамен ГОСТ 310–60 в части общих положений; введ. 01.01.1978. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 3 с.
17. ГОСТ 310.3–76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – Взамен ГОСТ 310–60 в части определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема; введ. 01.01.1978. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 11 с.
18. ГОСТ 310.4–81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – Взамен ГОСТ 310.4–76; введ. 30.06.1983. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 10 с.
19. ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8736-93; введ. 01.04.2015. – Москва:Стандартинформ. 2015. – 8 с.

20. ГОСТ 8735–88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 8735–75, ГОСТ 25589–83; введ. 30.06.1989. – Москва: Стандартинформ. 2008. – 24 с.
21. ГОСТ 31108–2016 Цементы общестроительные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 31108-2003; введ. 01.03.2017. – Москва: Стандартинформ. 2016. – 12 с.
22. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
23. Семушин, В. Н. Рентгенографические определители цеолитов / В. Н. Семушин. – Новосибирск: Наука, 1986. – 126 с.
24. Овчаренко, Г. И. Цеолиты в строительных материалах / Г. И. Овчаренко, В. Л. Свиридов, Л. К. Казанцева. – Барнаул: изд – во АлтГТУ, 2000. – 320 с.
25. Годовиков, А. А. Минералогия / А. А. Годовиков. – М.: Недра, 1975. – 519 с.
26. Бетехтин, А. Г. Минералогия / А. Г. Бетехтин. – М.: Изд – во геологической лит., 1950. – 956 с.
27. Челищев, Н. Ф. Ионообменные свойства минералов / Н. Ф. Челищев. – М.: Наука, 1973. – 174 с.
28. ГОСТ 23732–2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 23732–79; введ.01.10.2012. – Москва: Стандартинформ. 2012.- 12 с.
29. Преимущества и недостатки стационарных и мобильных заводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zzbo.ru>. (Дата обращения: 30.05.2017).
30. Технологический регламент на производство бетонных и растворных смесей. – Б. Толбино, 2007 – 18 с.
31. Лецинский А. В. Расчет бетоносмесительных установок / А. В. Лецинский. – Хабаровск: Изд – во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 104 с.



# Характеристика исходных материалов

## Химический состав цемента

Наименование портландцемента	Химический состав, % по массе				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
ЦЕМ I - 32,5 Н	64,18	20,55	5,01	4,36	1,74

## Химический состав цеолитсодержащей породы

Наименование	Химический состав, % по массе							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Цеолитсодержащая порода Сахантинского месторождения	65,91	12,51	2,36	0,34	2,27	1,66	0,63	3,20

## Минералогический состав цемента

Наименование портландцемента	Минералогический состав, % по массе			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
ЦЕМ I - 32,5 Н	60	14	5,9	13,3

## Химический состав микрокремнезёма

Наименование	Химический состав, % по массе							
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	SiC
Микрокремнезём	90-94	1-3	0,7-1,4	0,2-0,4	0,1-0,5	0,7-1,5	до 0,09	до 3

## Физико-механические свойства цемента

Наименование портландцемента	Наименование показателей	Результаты испытаний
ЦЕМ I - 32,5 Н	Нормальная густота	26%
	Начало схватывания	2 ч 45 мин
	Конец схватывания	4 ч 25 мин
	Предел прочности в возрасте 28 суток, не менее	
	Предел прочности при сжатии	41,73
	Предел прочности при изгибе	7,42

## Характеристика мелкого заполнителя

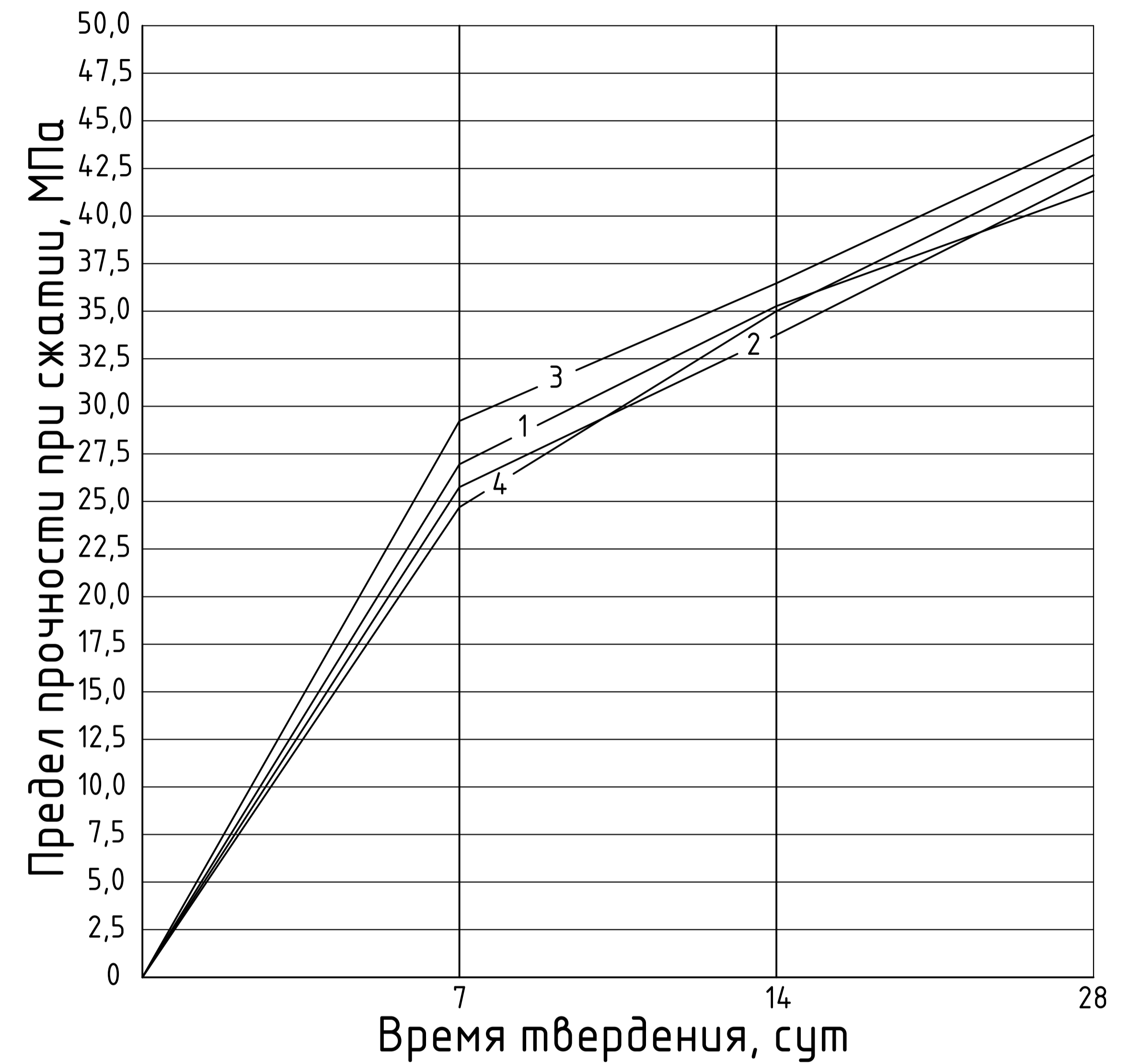
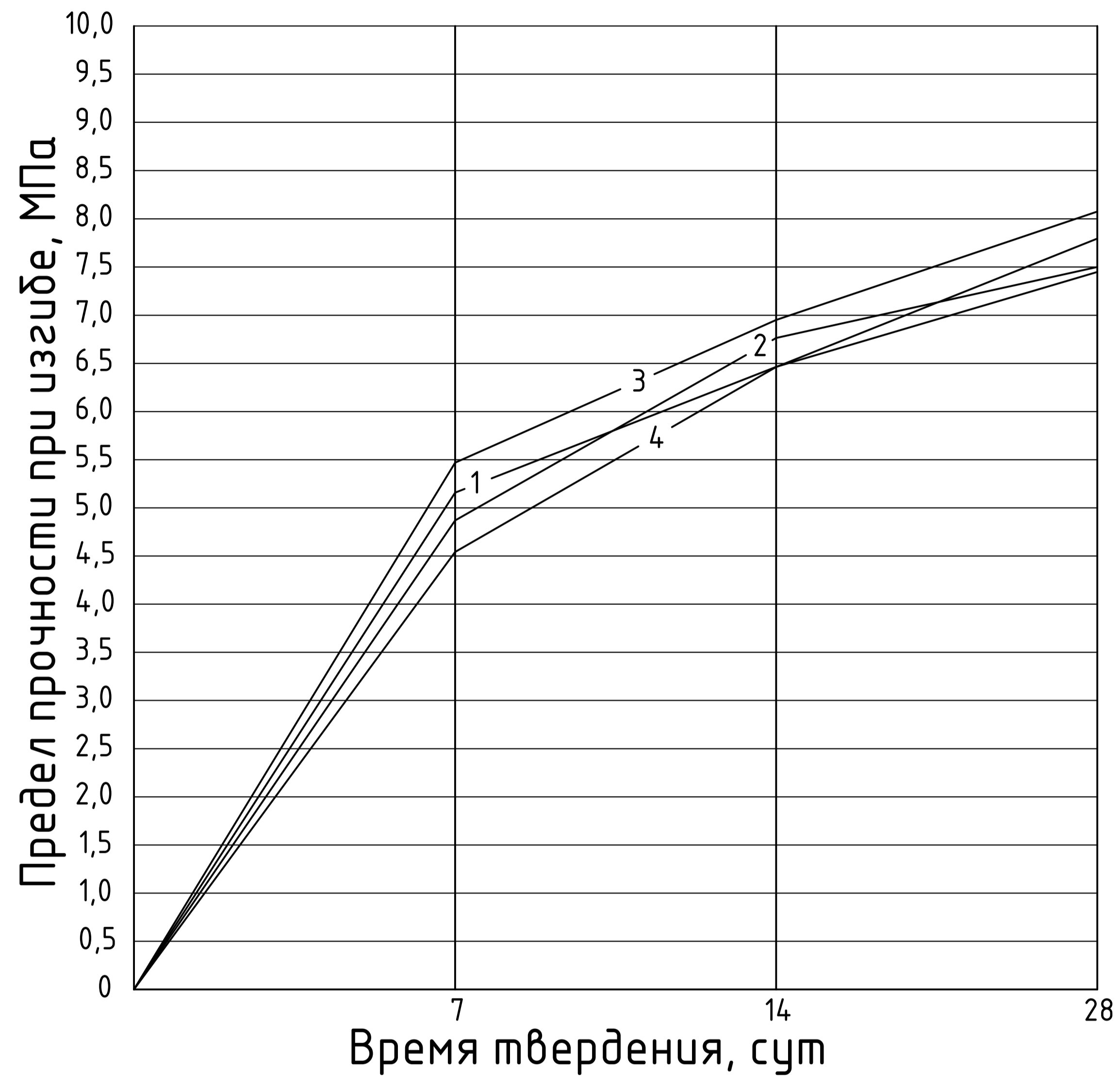
Наименование показателей	Значение показателей
Модуль крупности	3,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1607
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2663
Содержание илистых и глинистых частиц, % по массе	3,0
Зерновой состав (размер сит, мм), %	
2,5	17,1
1,25	35,2
0,63	62,7
0,315	83,5
0,16	96,1
дно	100

## Технические характеристики химических добавок

Наименование добавки	Плотность, кг/дм <sup>3</sup>	Дозировка, % жидкой добавки от массы цемента
Centrament N10	1,150 - 1,180	0,5 - 1,5
Muraplast FK49	1,180 - 1,210	0,2 - 2,0

					БР - 08.01.04 - 2017 СБ		
					Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка состав и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками	
Разраб.		Горюнова Ю.А.				Стандия	Лист
Руковод.		Яковлева Т.С.				У	1
Н.контр.		Дружникин С.В.					11
Зав. каф.		Игнатьев Г.В.				Характеристика исходных материалов	
						СМТС	

# Влияние цеолитсодержащей породы на прочность мелкозернистого бетона при изгибе

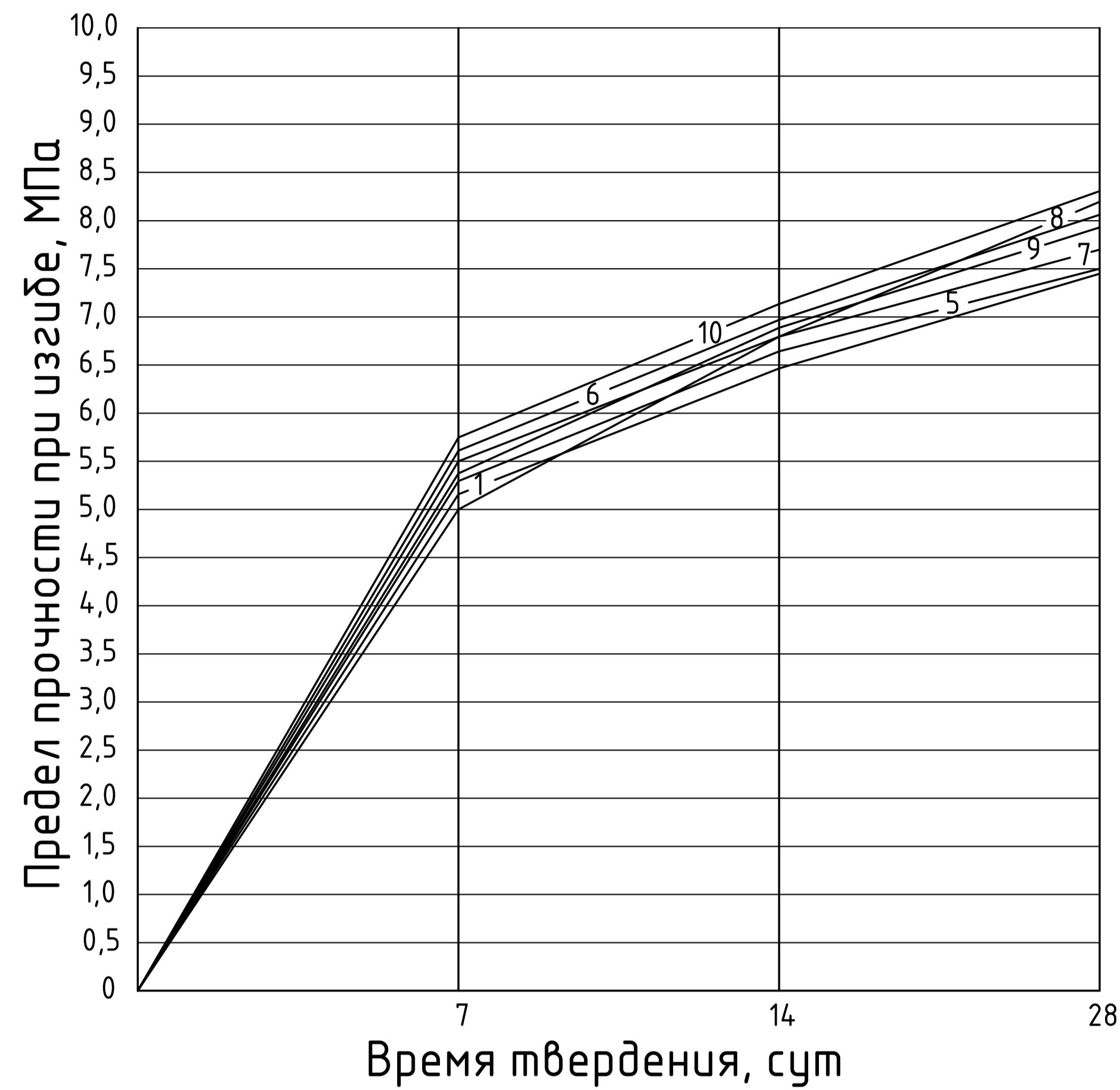


№	Расход компонентов на замес, г				$R_{изг}$ , МПа			$R_{сж}$ , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолитсодерж. порода	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
2	475	1500	290	25	4,85	6,75	7,51	25,99	34,21	42,44
3	450	1500	290	50	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
4	425	1500	280	75	4,53	6,47	7,73	24,93	35,06	43,03

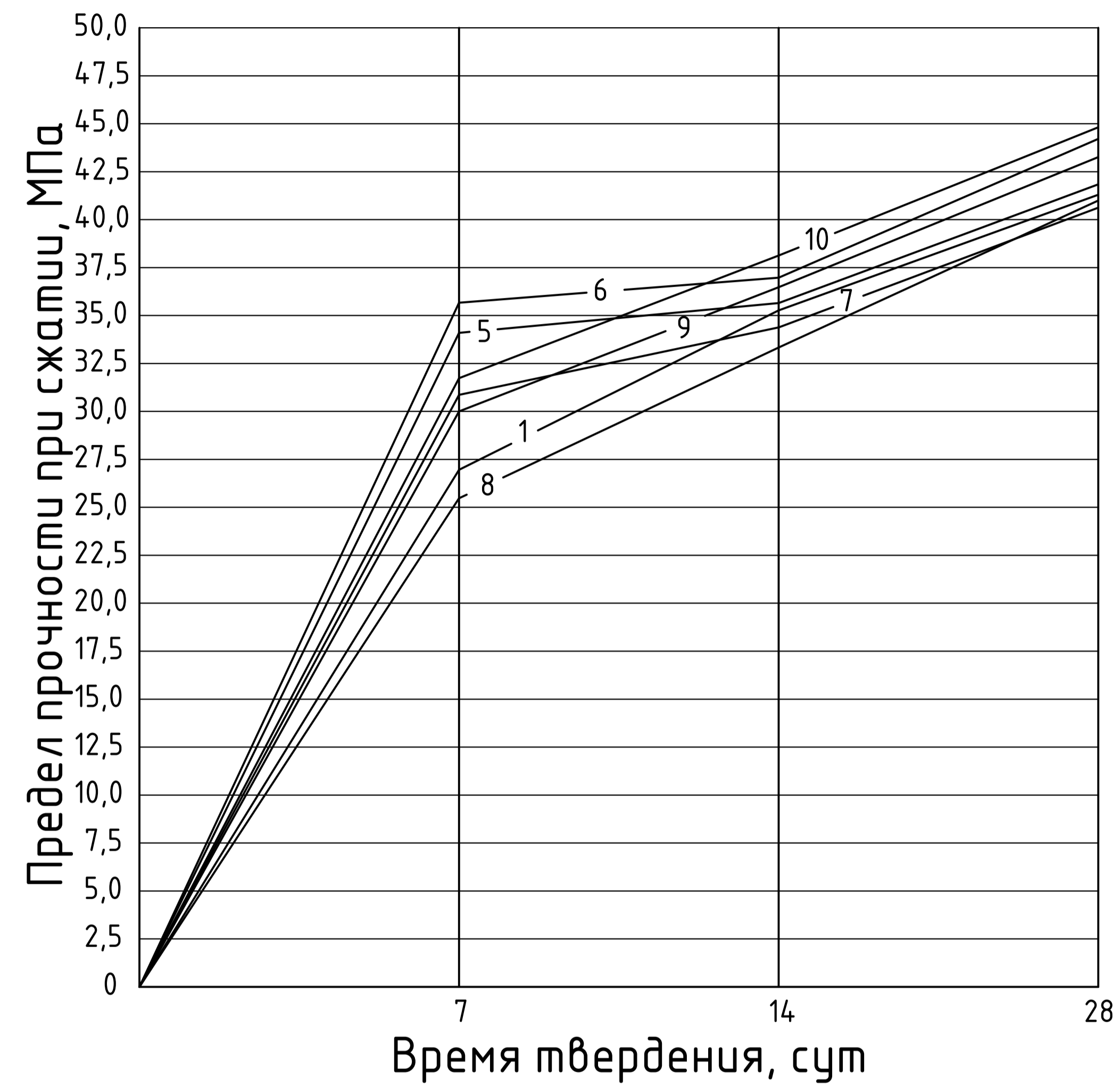
БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Горичова Ю.А.				
Руковод.	Яковлева Т.С.				
Н.контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка состав и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками				Страница	Лист
				4	2
Влияние цеолитсодержащей породы на прочность мелкозернистого бетона				СМиТС	

# Влияние химических добавок на прочность мелкозернистого бетона

при изгибе



при сжатии

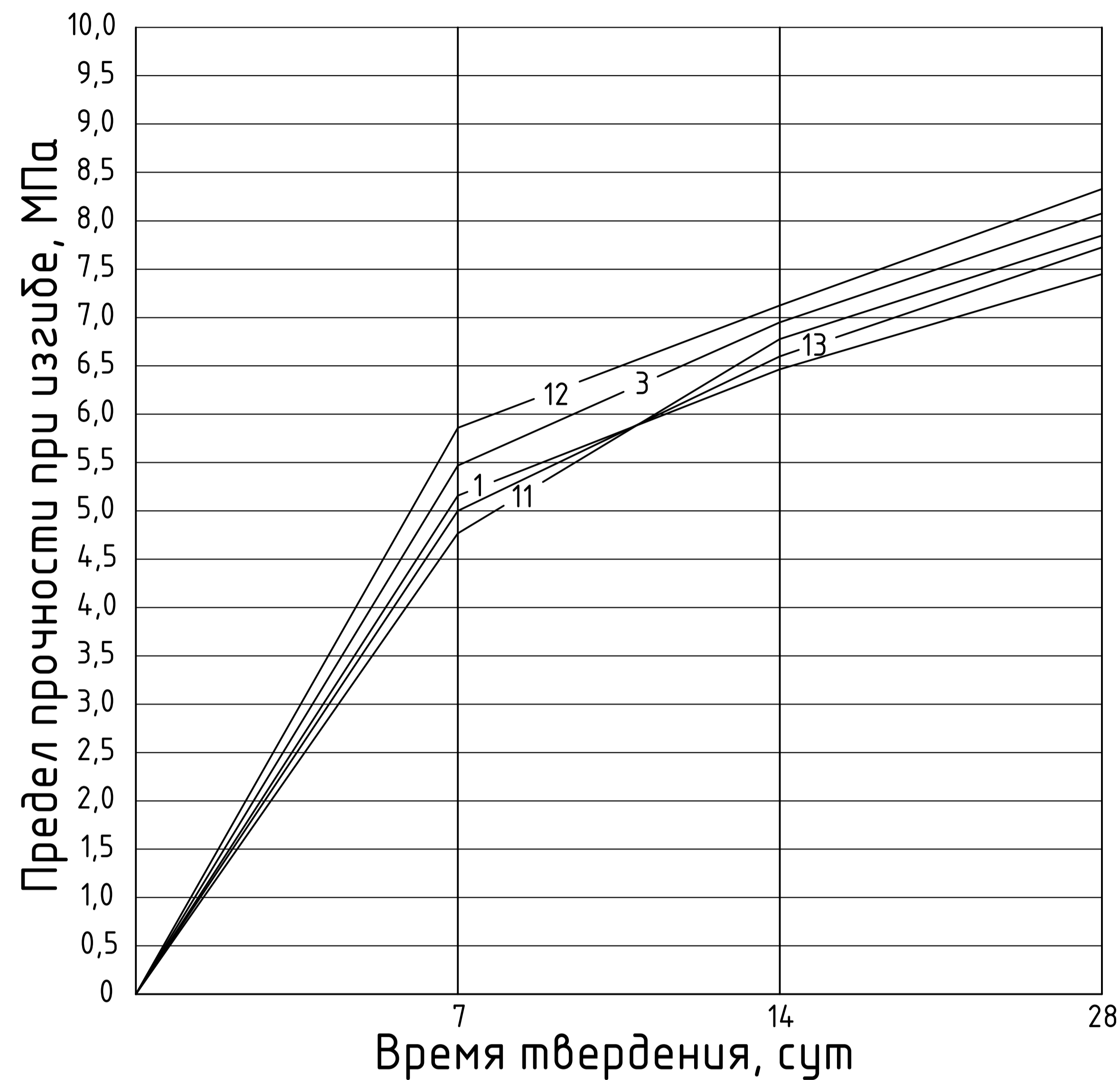


№	Расход компонентов на замес, г					R <sub>изг</sub> , МПа			R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	N10	FK49	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
5	500	1500	280	2,5	-	5,32	6,63	7,52	33,38	35,60	42,09
6	500	1500	250	5,0	-	5,60	6,94	8,08	35,12	37,13	44,51
7	500	1500	220	7,5	-	5,49	6,75	8,14	30,90	34,11	40,51
8	500	1500	280	-	2,5	5,03	6,73	7,70	25,08	33,00	41,06
9	500	1500	250	-	5,0	5,39	6,82	7,94	29,97	36,86	43,11
10	500	1500	230	-	7,5	5,71	7,08	8,22	32,08	37,64	44,82

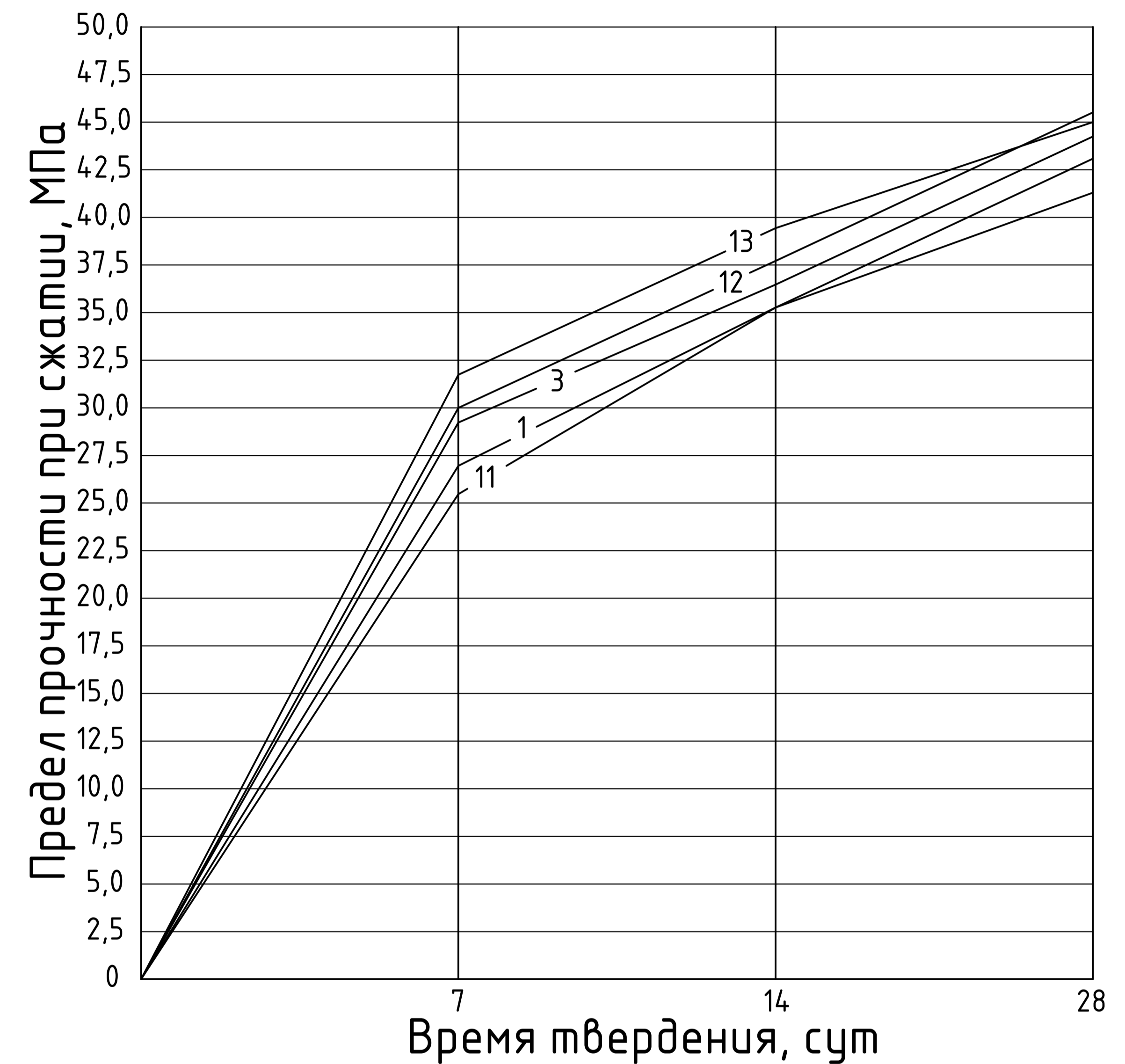
БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Горнилова Ю.А.				
Руковод.	Яковлева Т.С.				
Н.контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка состава и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками			Страницы	Лист	Листов
Влияние химических добавок на прочность мелкозернистого бетона			4	3	11
СМТС					

# Влияние химической добавки Септрамент N10 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона

## при изгибе



## при сжатии

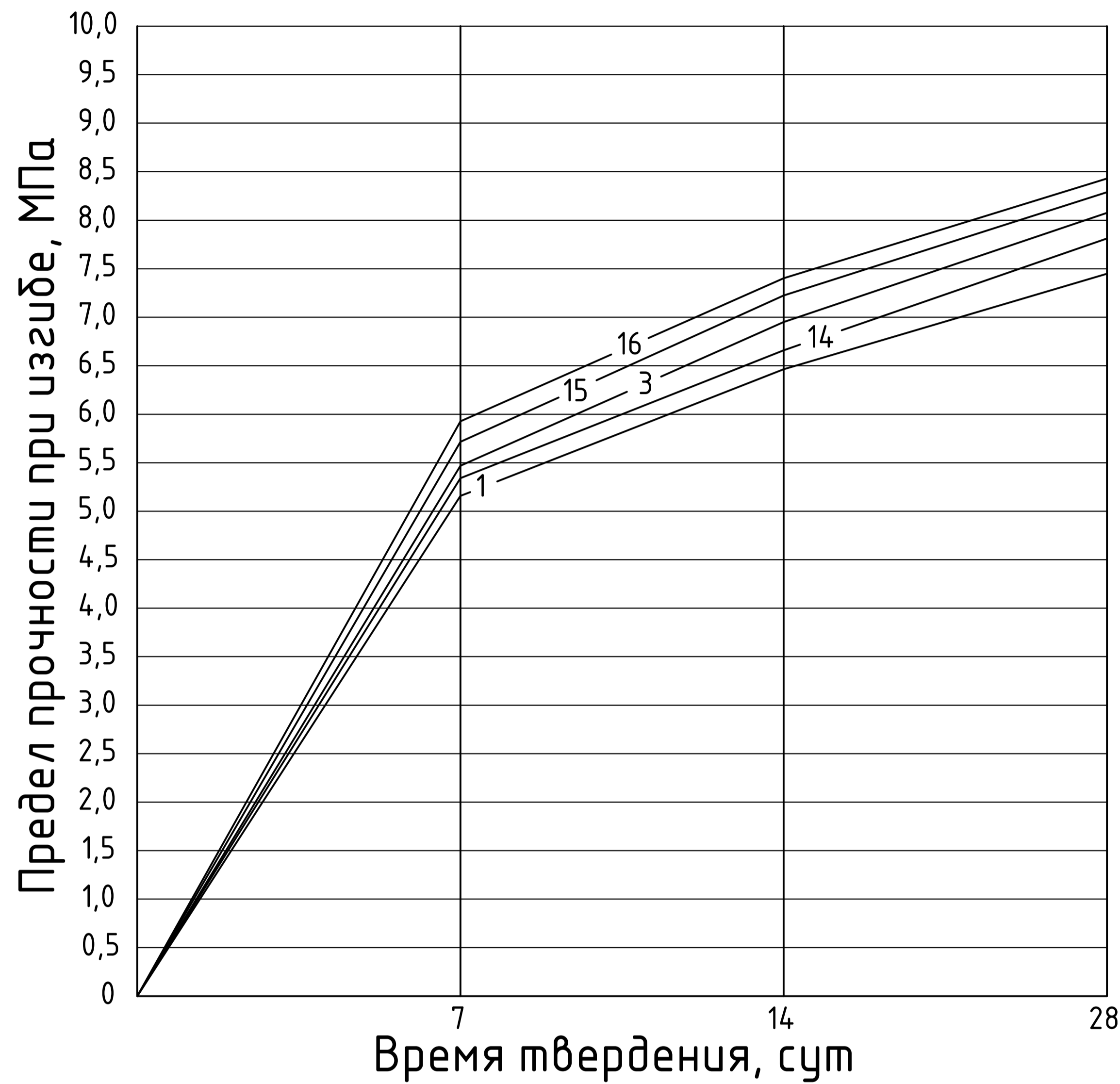


№	Расход компонентов на замес, г					R <sub>изг</sub> , МПа			R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолитсодерж. порода	N10	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
3	450	1500	290	50	-	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
11	450	1500	290	50	2,25	4,77	6,72	7,81	25,32	35,28	42,56
12	450	1500	270	50	4,50	5,82	7,13	8,30	30,01	37,54	45,11
13	450	1500	250	50	6,75	5,00	6,62	7,71	31,69	39,15	44,98

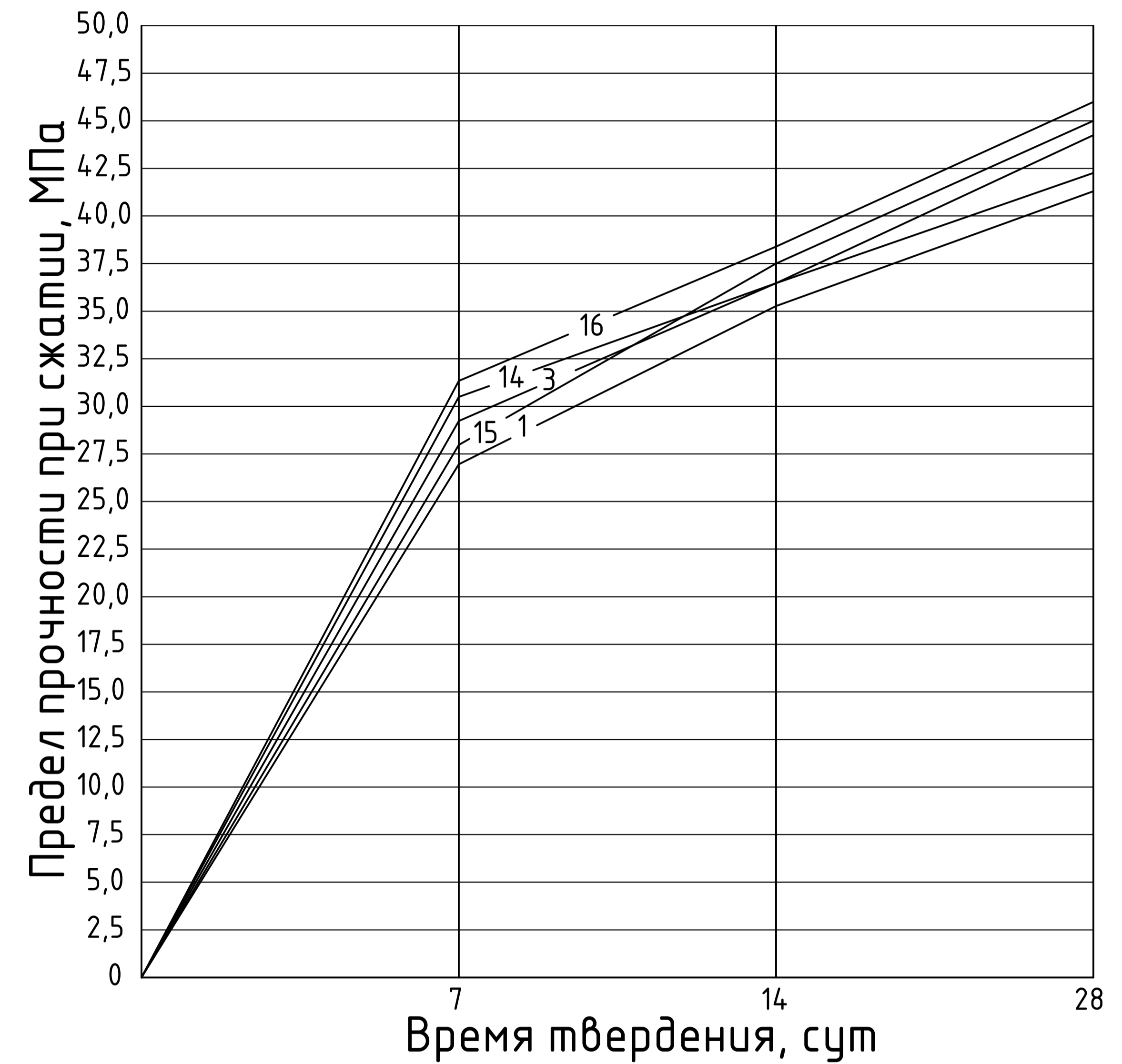
БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Горюнова Ю.А.				
Руковод.	Яковлева Т.С.				
Н.контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка состава и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками				Страница	Лист
Влияние химической добавки Септрамент N10 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона				4	11
СМиТС					

# Влияние химической добавки Мигарпласт FK49 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона

при изгибе



при сжатии

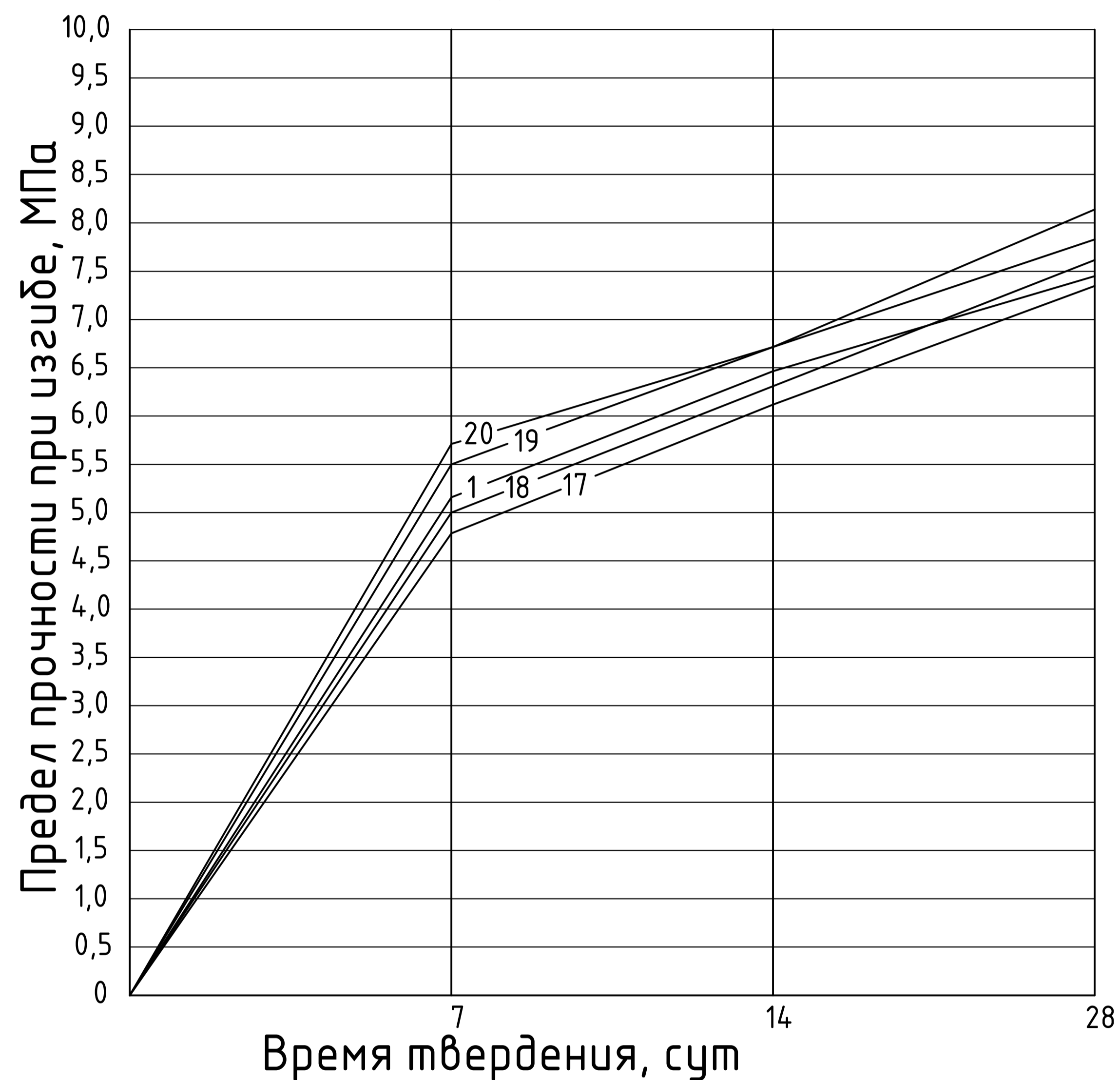


№	Расход компонентов на замес, г					R <sub>изг</sub> , МПа			R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолитсодерж. порода	FK49	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
3	450	1500	290	50	-	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
14	450	1500	290	50	2,25	5,31	6,62	7,80	30,08	36,65	42,44
15	450	1500	280	50	4,50	5,66	7,24	8,26	27,54	37,50	44,97
16	450	1500	260	50	6,75	5,87	7,42	8,42	31,12	38,06	45,19

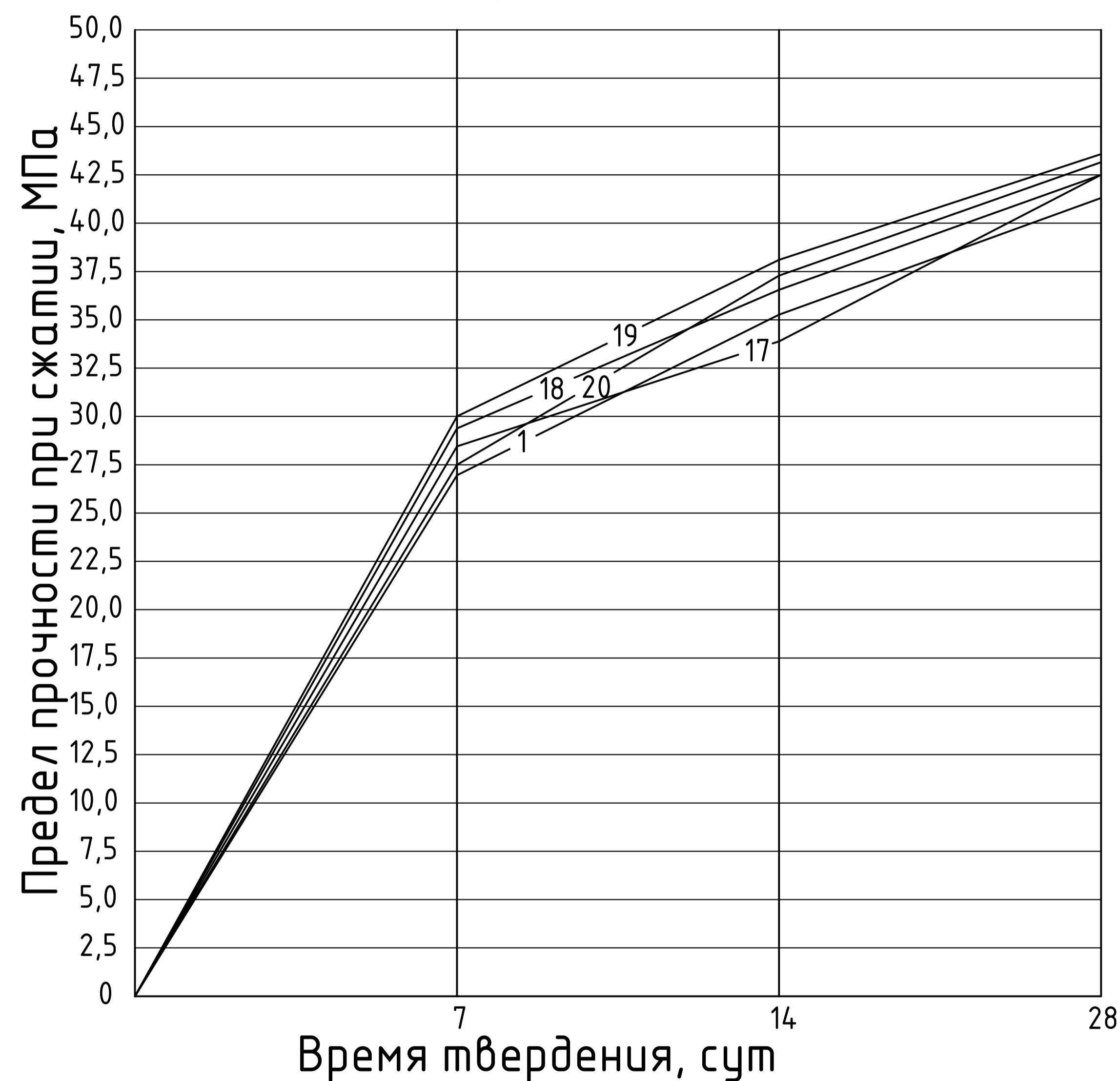
БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Горнилова Ю.А.				
Руковод.	Дружникин С.В.				
Н.контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка состава и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками				Стадия	Лист
Влияние химической добавки Мигарпласт FK 49 и комплексного вяжущего на прочность мелкозернистого бетона				У	5
				СМиТС	

# Влияние химической добавки Септрамент N10 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона

при изгибе



при сжатии

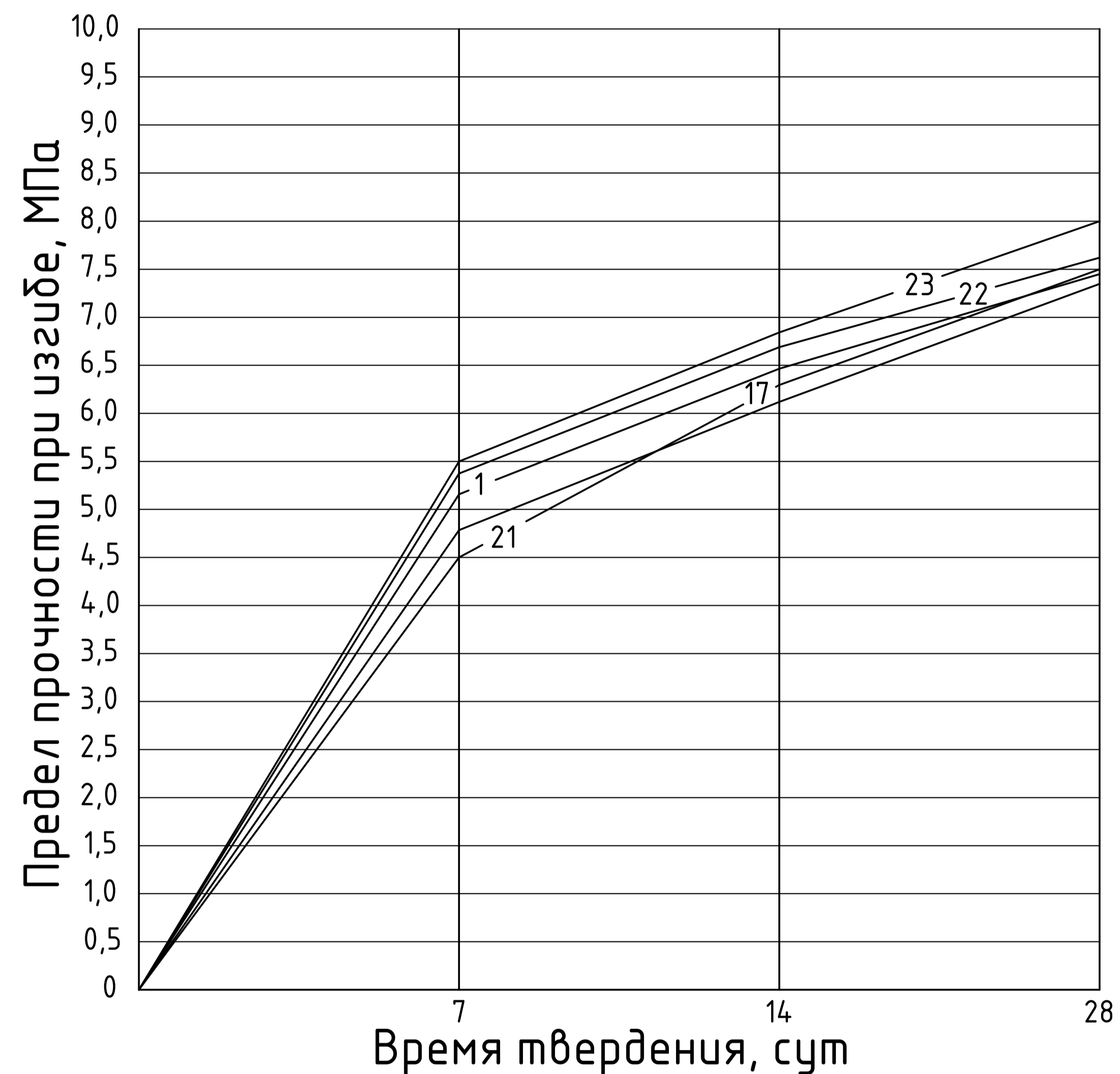


№	Расход компонентов на замес, г					R <sub>изг</sub> , МПа			R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	МК	N10	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
17	450	1500	290	50	-	4,72	6,11	7,40	28,42	33,81	42,48
18	450	1500	290	50	2,25	5,00	6,28	7,58	29,12	36,25	42,52
19	450	1500	270	50	4,50	5,53	6,66	8,15	30,02	38,05	43,12
20	450	1500	250	50	6,75	5,72	6,64	7,87	27,50	37,20	42,91

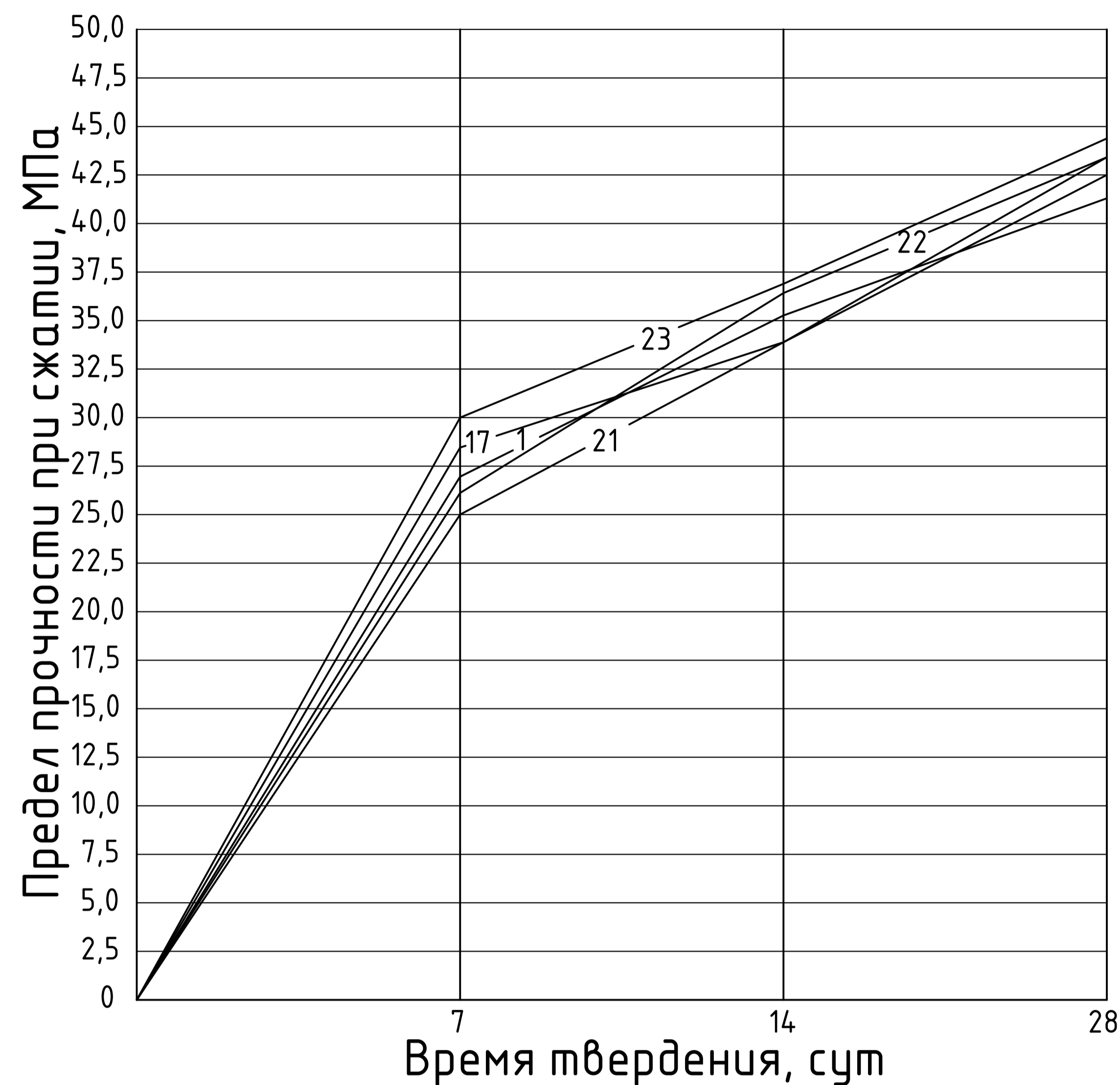
БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно - строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Гаринова Ю.А.				
Руковод.	Дружникин С.В.				
Н. контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками				Стация	Лист
Влияние химической добавки Септрамент N10 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона				У	6
				СМиТС	

# Влияние химической добавки Mugarplast FK49 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона

при изгибе



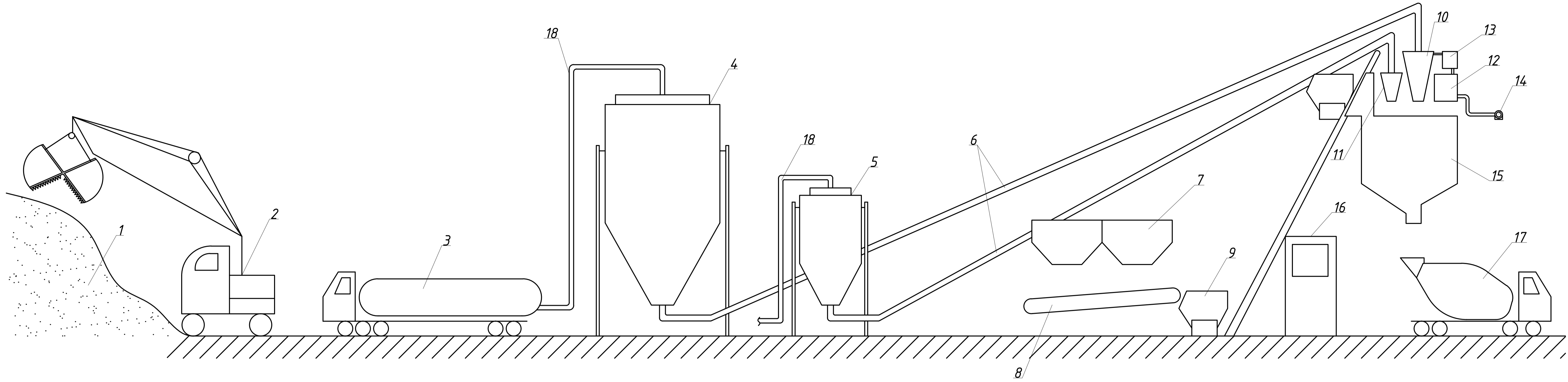
при сжатии



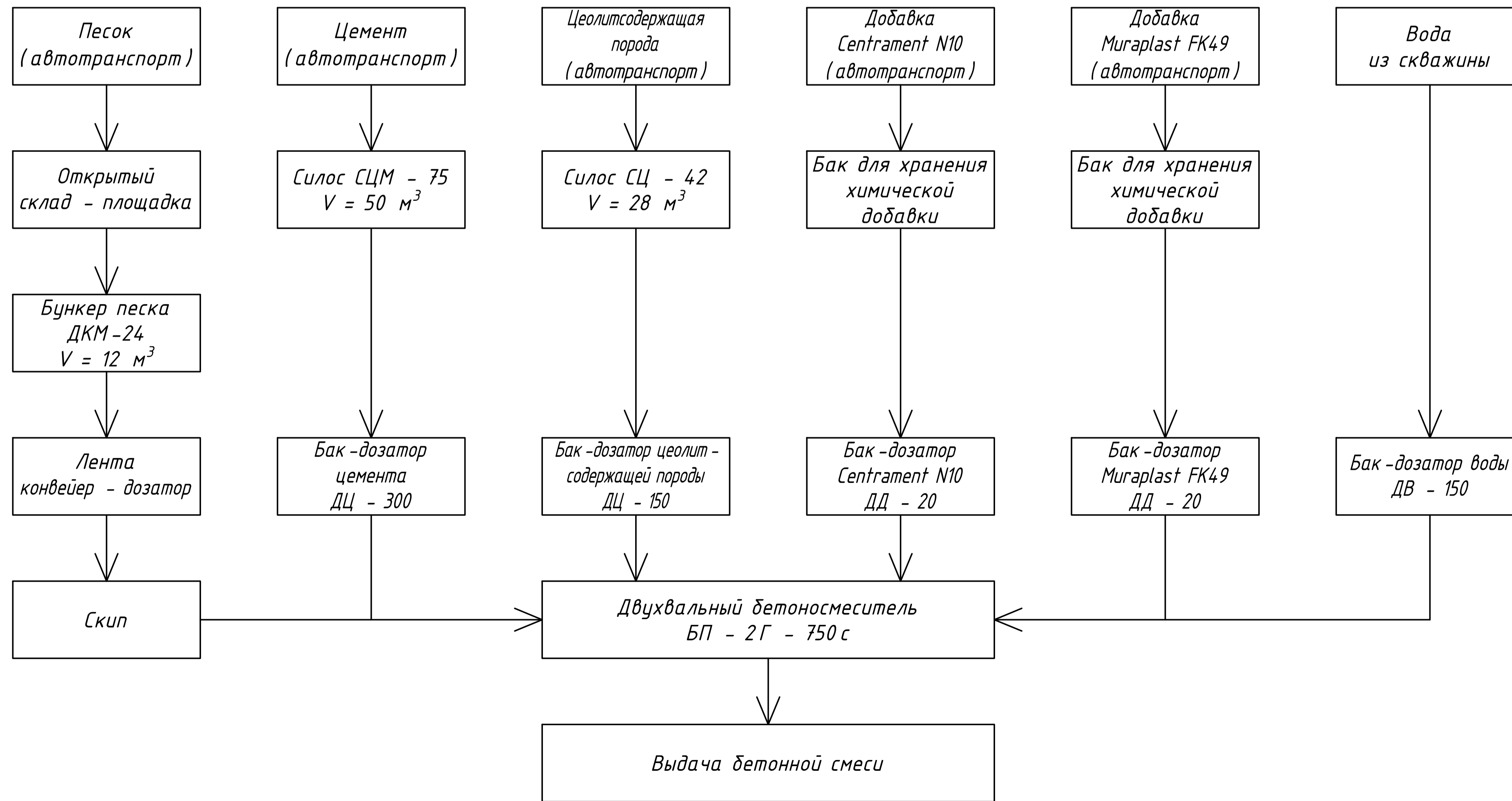
№	Расход компонентов на замес, г					$R_{изг}$ , МПа			$R_{сж}$ , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	МК	FK49	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
17	450	1500	290	50	-	4,72	6,11	7,40	28,42	33,81	42,48
21	450	1500	290	50	2,25	4,50	6,10	7,38	25,02	33,80	43,20
22	450	1500	270	50	4,50	5,42	6,68	7,55	26,22	36,11	43,01
23	450	1500	250	50	6,75	5,51	6,81	7,94	30,00	37,42	44,56

БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
Сибирский федеральный университет Инженерно - строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Горюнова Ю.А.				
Руковод.	Яковлева Т.С.				
Н. контр.	Дружникин С.В.				
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.				
Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками				Стандия	Лист
Влияние химической добавки Mugarplast FK 49 и микрокремнезёма на прочность мелкозернистого бетона				У	7
				СМТС	

# Технологическая схема



# Функциональная схема



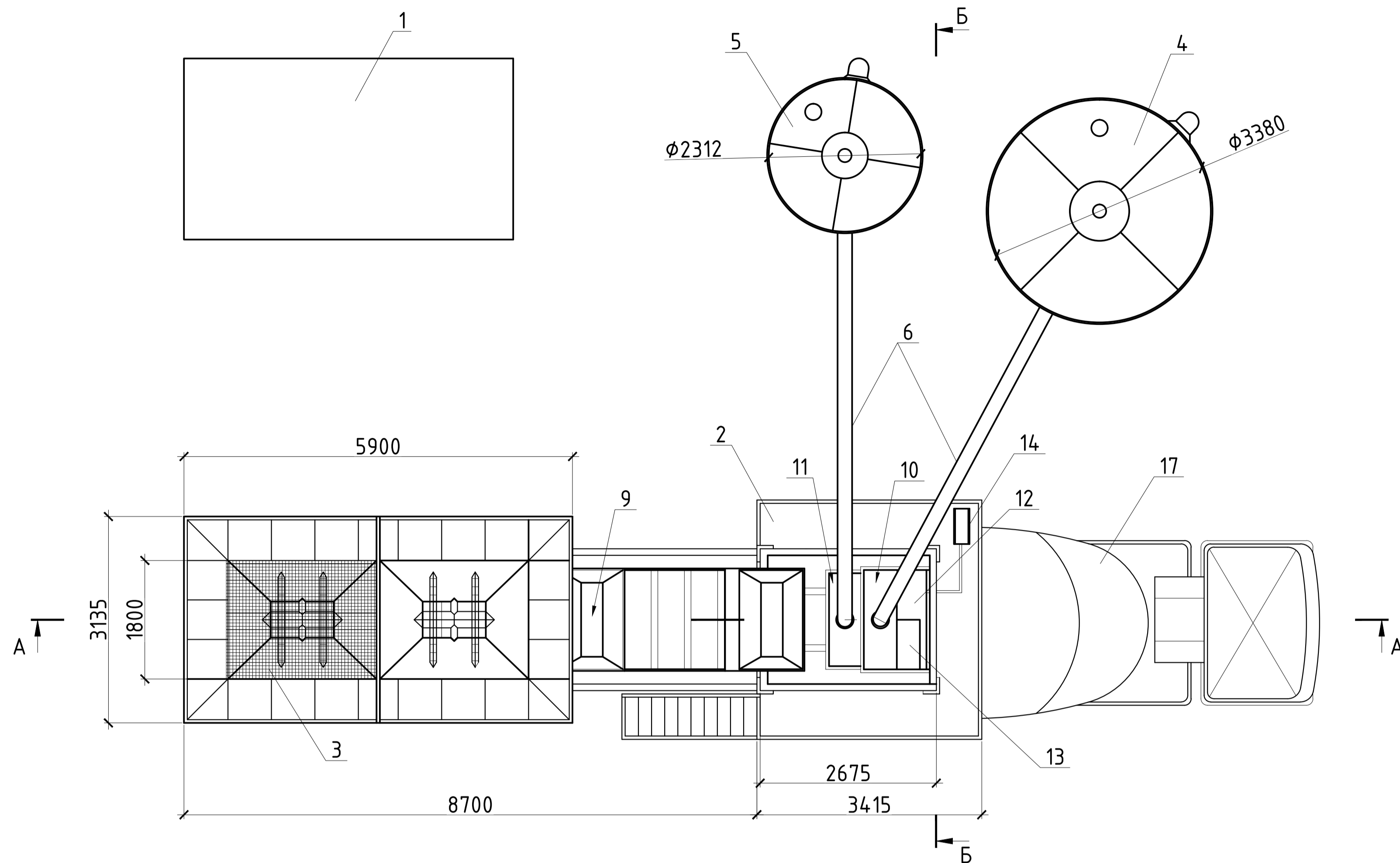
## Спецификация

№	Наименование	Примечание
1	Склад заполнителей (песка)	
2	Автопогрузчик	
3	Цементовоз	
4	Бункер цемента V = 50 м³	СЦМ - 75
5	Бункер цеолитсодержащей породы V = 28 м³	СЦ - 42
6	Шнековый транспортер	
7	Бункер песка V = 12 м³	ДКМ - 24
8	Ленточный конвейер-дозатор	
9	Скиповый подъемник	
10	Бак - дозатор цемента	ДЦ - 300
11	Бак - дозатор цеолитсодержащей породы	ДЦ - 150
12	Бак - дозатор воды	ДВ - 150
13	Бак - дозатор химических добавок	ДД - 20
14	Насос	
15	Двухвальный бетоносмеситель	БП - 2Г - 750 с
16	Смотровая кабина	
17	Автобетоносмеситель	
18	Пневматическая труба - закатка	

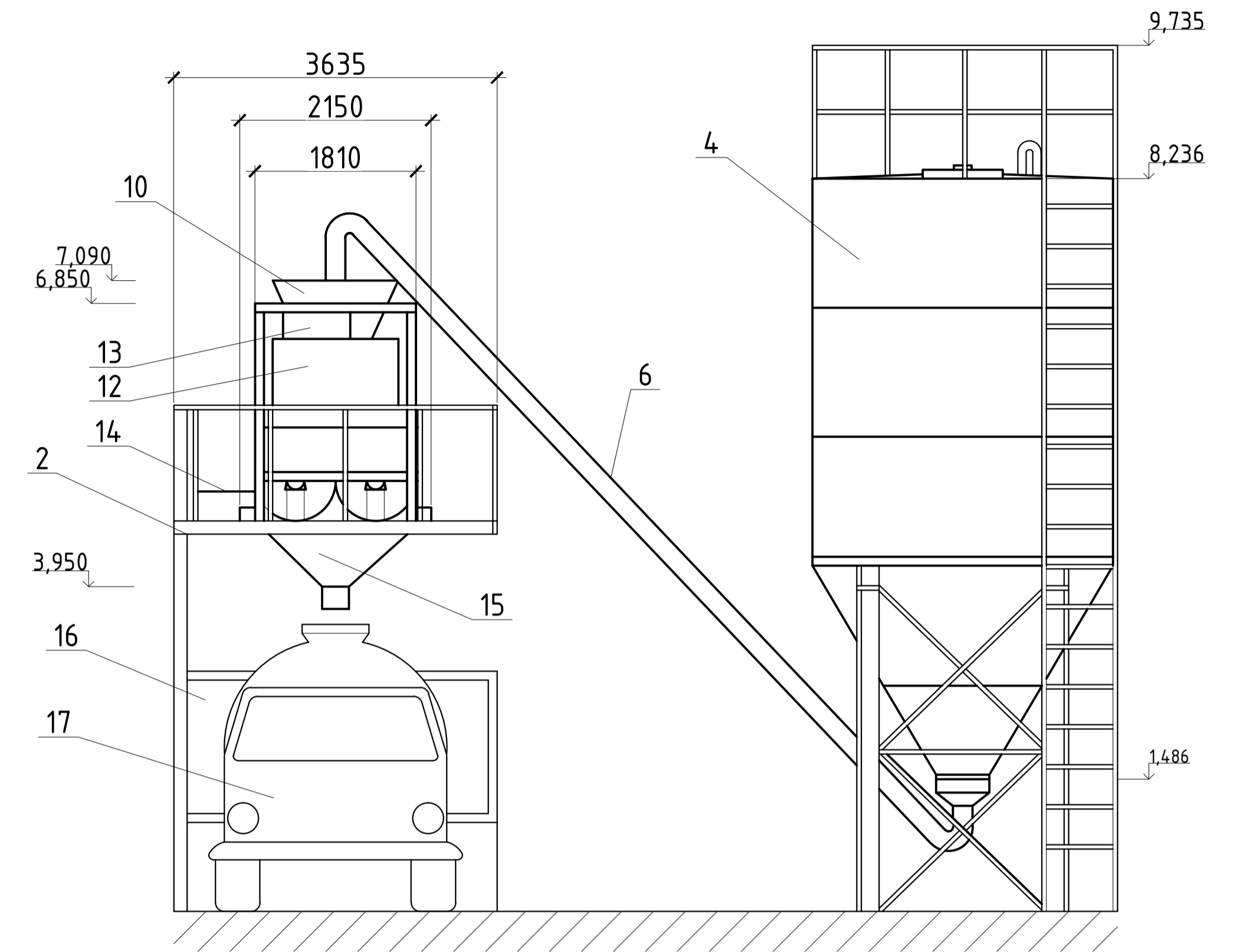
БП - 08.01.04 - 2017 СБ				
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.
Разраб.	Горюнова Ю.А.			
Руковод.	Яковлева Т.С.			
Н. контр.	Дружникин С.В.			
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.			
Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками			Стандия	Лист
Технологическая и функциональная схемы производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками			4	8
			СМТС	



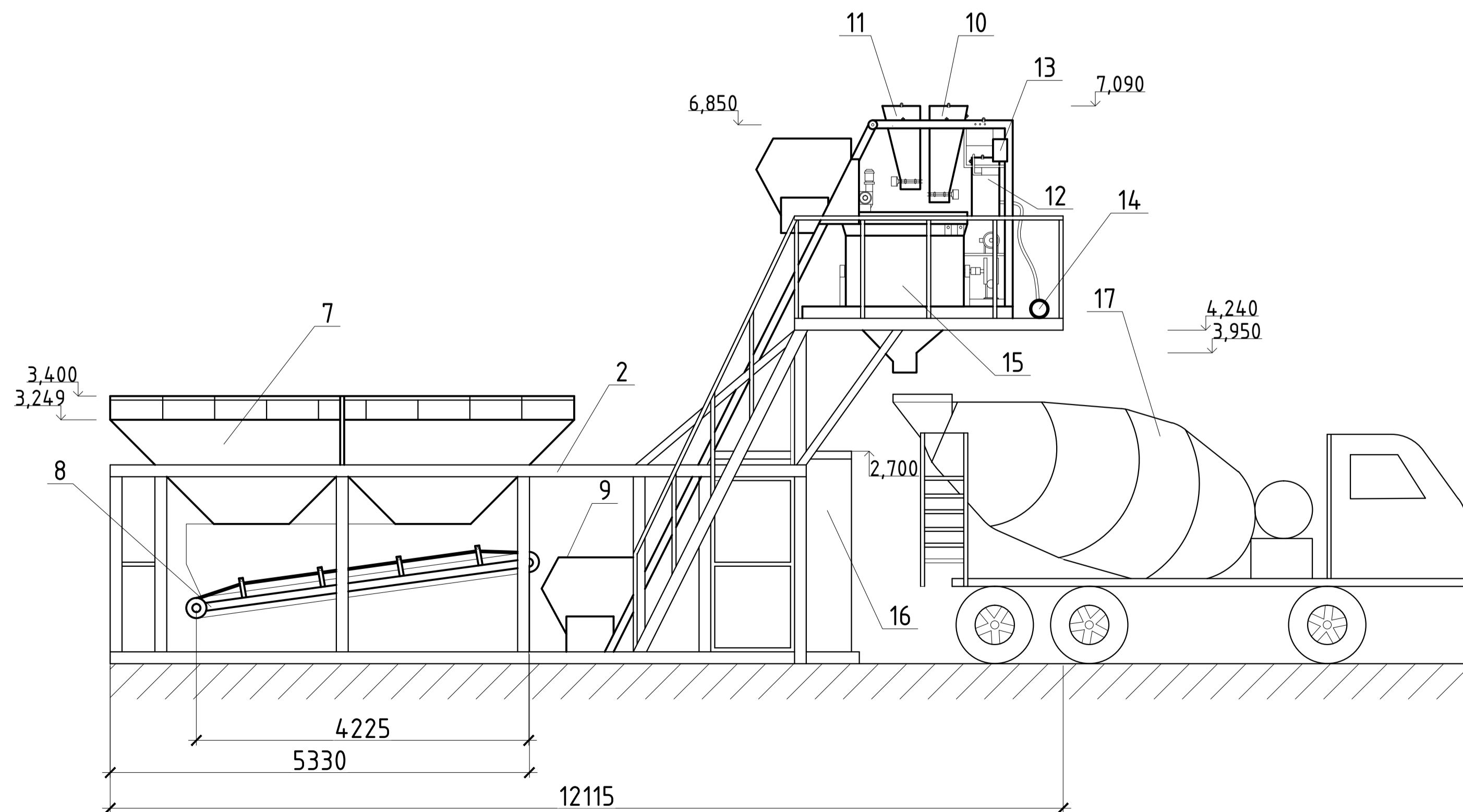
План завода М 1:50



Профильный разрез завода М 1:50 Б - Б



Продольный разрез завода М 1:50 А - А

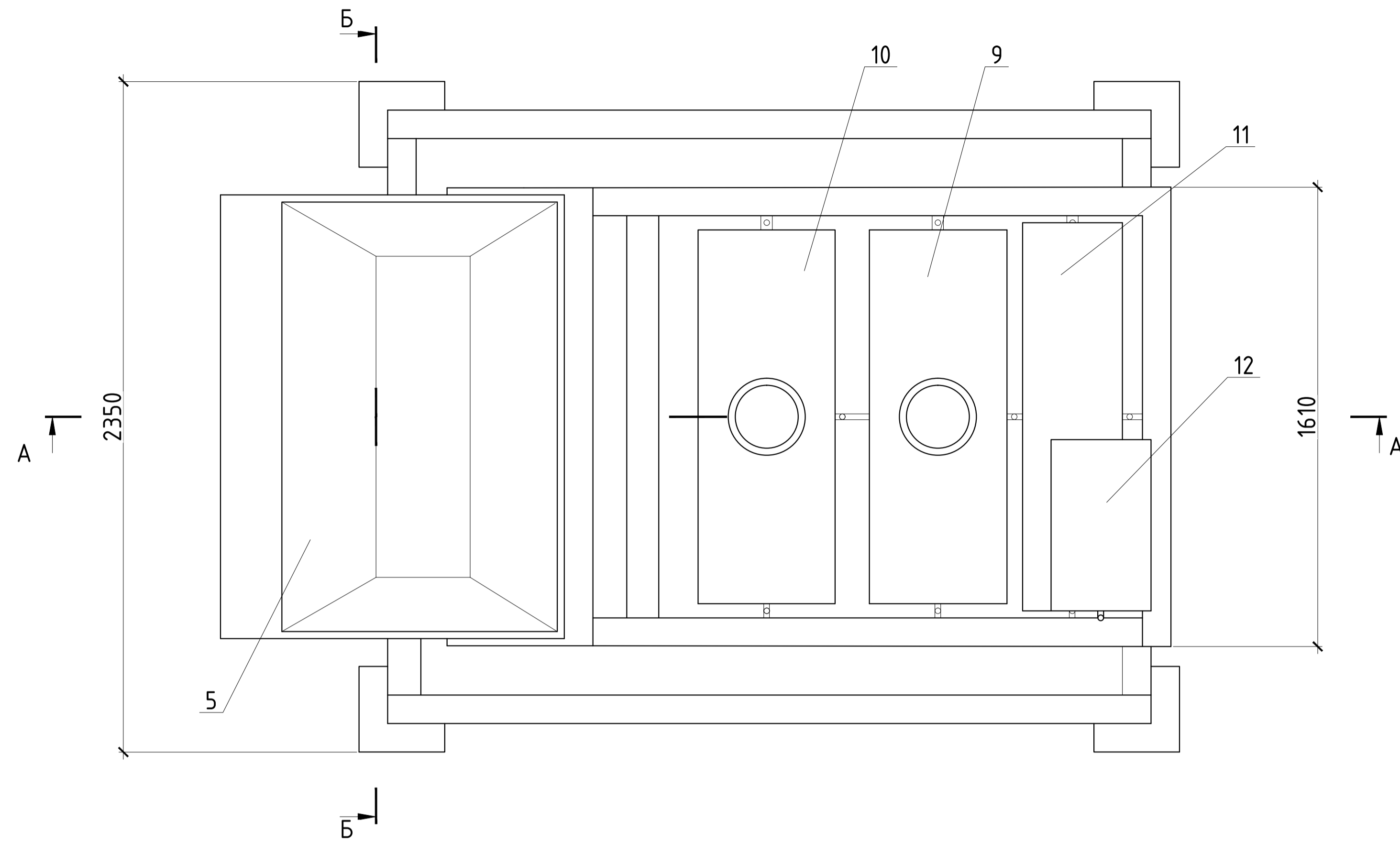


Спецификация

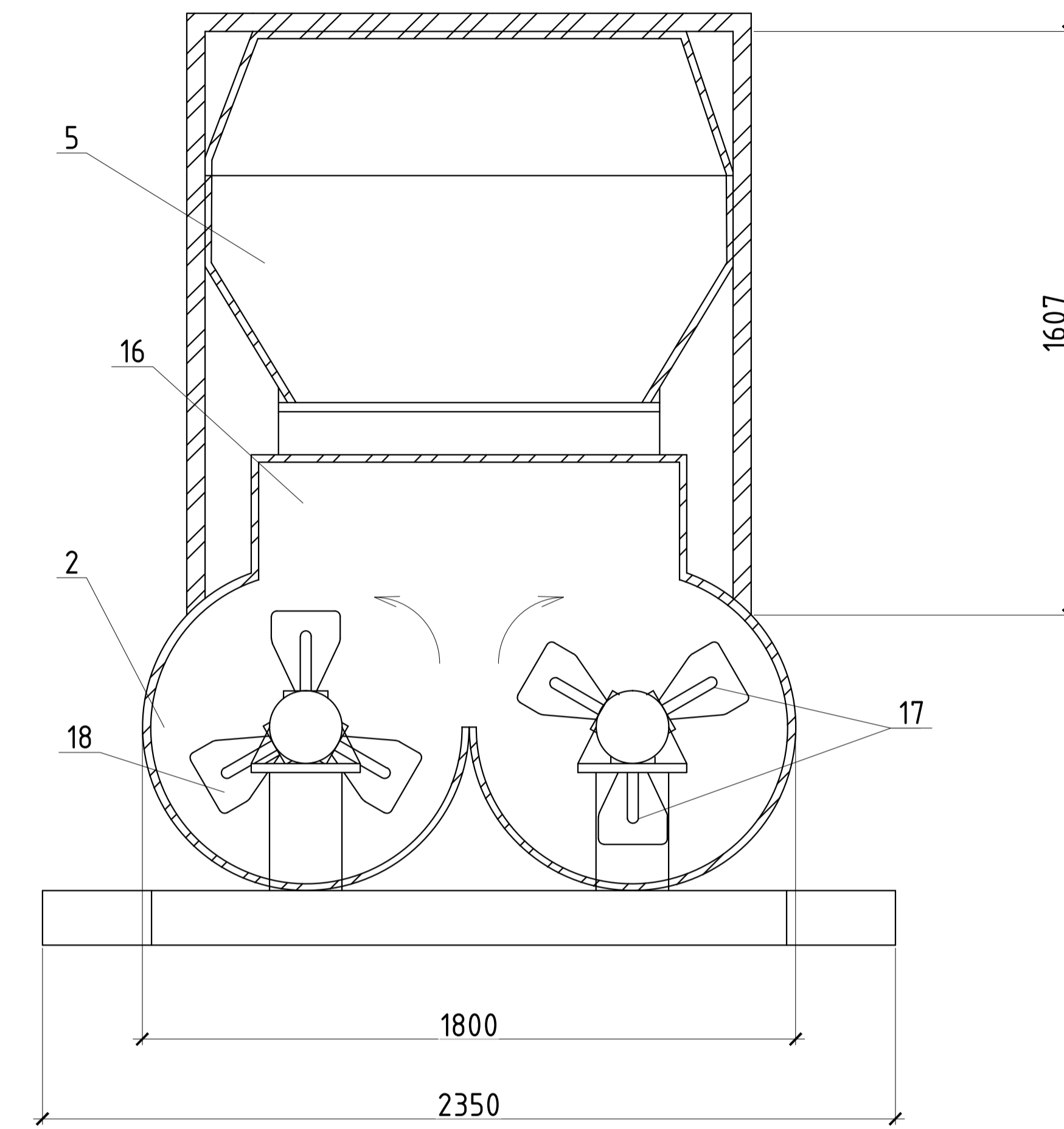
№	Наименование	Примечание
1	Открытый склад песка	
2	Эстакада бетономесительной установки	
3	Фракционная решетка	
4	Силос цемента	СЦМ - 75
5	Силос цеолитосодержащей породы	СЦ - 42
6	Шнековый транспортер	
7	Дозирующий комплекс песка	ДКМ - 24
8	Ленточный конвейер - дозатор	
9	Скиповый подъемник	
10	Бак - дозатор цемента	ДЦ - 300
11	Бак - дозатор цеолитосодержащей породы	ДЦ - 150
12	Бак - дозатор воды	ДВ - 150
13	Бак - дозатор хим. добавки	ДД - 20
14	Насос	
15	Двухвальный бетономеситель	БП - 2Г - 750с
16	Кабина оператора	
17	Автобетономеситель	

БР - 08.01.04 - 2017 СБ				
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.
Разраб.	Горюнова Ю.А.			
Руковод.	Яковлева Т.С.			
Н. контр.	Дружникин С.В.			
Зав. каф.	Игнатьев Г.В.			
Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками			Стадия	Лист
План завода, Разрез А - А, Разрез Б - Б Масштаб 1:50			ч	9
			11	
			СМТС	

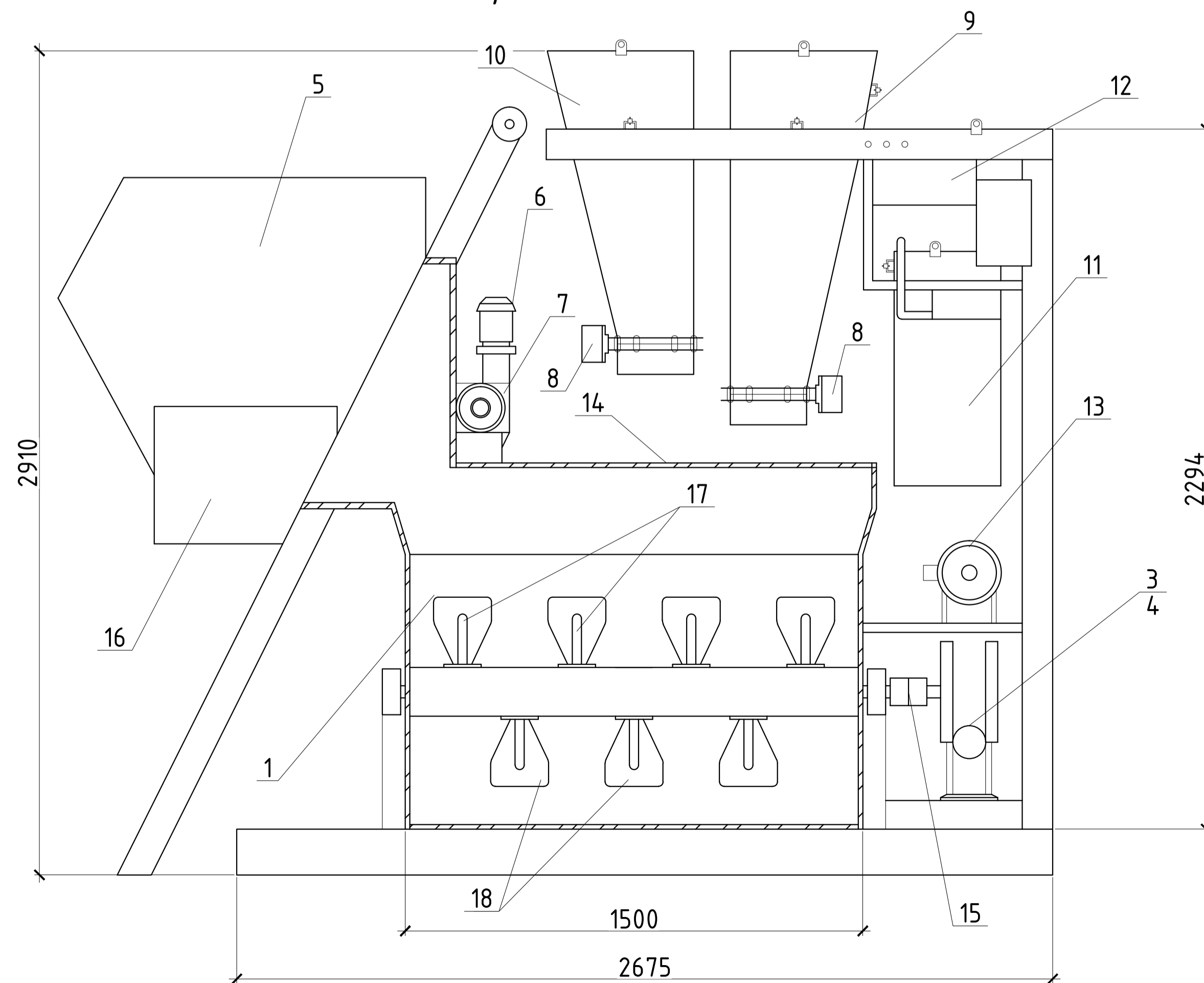
# Двухвальный бетоносмеситель принудительного действия БП - 2Г - 750с



Разрез Б - Б



Разрез А - А



Спецификация

№	Наименование	Примечание
1	Корпус смесительной камеры	
2	Горизонтальный вал	
3	Муфта - синхронизатор	
4	Привод вращения смесительных валов	
5	Бункер скипового подъемника	
6	Электродвигатель привода лебедки	
7	Лебедка подъема скипа с тормозом	
8	Клапаны дозаторов	
9	Дозатор цемента	ДЦ - 300
10	Дозатор цеолитосодержащей породы	ДЦ - 150
11	Дозатор воды	ДВ - 150
12	Дозатор химической добавки	ДД - 20
13	Электродвигатель привода вращения	
14	Защитный кожух	
15	Предохранительная муфта приводных валов	
16	Шиберная заслонка скипа	
17	Спицы	
18	Лопасты	

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	См.ТС		
Разраб.		Горюхова Ю.А.				См.ТС		
Руковод.		Дружникин С.В.				См.ТС		
Н. контр.		Дружникин С.В.				См.ТС		
Зав. каф.		Игнатьев Г.В.				См.ТС		

## Разработанные составы мелкозернистого бетона

№	Расход компонентов на замес, г							R <sub>уз2</sub> , МПа			R <sub>сж</sub> , МПа		
	Цемент	Песок	Вода	Цеолитсодерж. порода	МК	N10	FK49	7 сутки	14 сутки	28 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	500	1500	290	-	-	-	-	5,14	6,48	7,42	27,32	35,33	41,73
2	475	1500	290	25	-	-	-	4,85	6,75	7,51	25,99	34,21	42,44
3	450	1500	290	50	-	-	-	5,46	6,97	8,08	28,92	36,61	44,05
4	425	1500	280	75	-	-	-	4,53	6,47	7,73	24,93	35,06	43,03
5	500	1500	280	-	-	2,5	-	5,32	6,63	7,52	33,38	35,60	42,09
6	500	1500	250	-	-	5,0	-	5,60	6,94	8,08	35,12	37,13	44,51
7	500	1500	220	-	-	7,5	-	5,49	6,75	8,14	30,90	34,11	40,51
8	500	1500	280	-	-	-	2,5	5,03	6,73	7,70	25,08	33,00	41,06
9	500	1500	250	-	-	-	5,0	5,39	6,82	7,94	29,97	36,86	43,11
10	500	1500	230	-	-	-	7,5	5,71	7,08	8,22	32,08	37,64	44,82
11	450	1500	290	50	-	2,25	-	4,77	6,72	7,81	25,32	35,28	42,56
12	450	1500	270	50	-	4,50	-	5,82	7,13	8,30	30,01	37,54	45,11
13	450	1500	250	50	-	6,75	-	5,00	6,62	7,71	31,69	39,15	44,98
14	450	1500	290	50	-	-	2,25	5,31	6,62	7,80	30,08	36,65	42,44
15	450	1500	280	50	-	-	4,50	5,66	7,24	8,26	27,54	37,50	44,97
16	450	1500	260	50	-	-	6,75	5,87	7,42	8,42	31,12	38,06	45,19
17	450	1500	290	-	50	-	-	4,72	6,11	7,40	28,42	33,81	42,48
18	450	1500	290	-	50	2,25	-	5,00	6,28	7,58	29,12	36,25	42,52
19	450	1500	270	-	50	4,50	-	5,53	6,66	8,15	30,02	38,05	43,12
20	450	1500	250	-	50	6,75	-	5,72	6,64	7,87	27,50	37,20	42,91
21	450	1500	290	-	50	-	2,25	4,50	6,10	7,38	25,02	33,80	43,20
22	450	1500	270	-	50	-	4,50	5,42	6,68	7,55	26,22	36,11	43,01
23	450	1500	250	-	50	-	6,75	5,51	6,81	7,94	30,00	37,42	44,56

					БР - 08.01.04 - 2017 СБ					
					Сибирский федеральный университет Инженерно - строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка составов и технологии производства мелкозернистого бетона с минеральными добавками		Стария	Лист	Листов
Разраб.		Гаринова Ю.А.						У	11	11
Руковод.		Дружники СВ				Разработанные составы мелкозернистого бетона		СМиТС		
Н. контр.		Дружники СВ								
Зав. каф.		Игнатъев Г.В.								