

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент:

Заведующий кафедрой:

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_ Г.А. Пикус

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе магистра на тему:

«Опалубка для конструкций из фибробетона»

ЮУрГУ 08.04.01 «Строительство». АСИЗ-393. ПЗ ВКР

Консультант:

Руководитель:

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Консультант:

Проверка по системе антиплагиат:

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020г.

Нормоконтролер:

Автор ВКР:

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

\_\_\_\_\_ / Г.Р. Бабушкина /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

г. Челябинск - 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(национальный исследовательский университет)

Институт \_\_\_\_\_ Архитектурно-строительный \_\_\_\_\_

Направление \_\_\_\_\_ Строительство \_\_\_\_\_

Профиль \_\_\_\_\_ Строительные технологии и механика сооружений \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ:**

Зав. кафедрой СПТС

\_\_\_\_\_ Пикус Е.А.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выпускную квалификационную работу студента**  
**группы АСИЗ-393**

Ф.И.О. \_\_\_\_\_ Бабушкиной Галины Романовны (совместно с Зайцевым Павлом Сергеевичем) \_\_\_\_\_

1. Тема проекта (работы) \_\_\_\_\_ Опалубка для конструкций из фибробетона \_\_\_\_\_

утверждена приказом по университету от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы) \_\_\_\_\_ 22 января 2020 г. \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к проекту (работе) \_\_\_\_\_ материалы \_\_\_\_\_ научно-исследовательской  
работы в течение срока обучения \_\_\_\_\_

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) \_\_\_\_\_

- 4.1. Введение (актуальность выбранной темы, цели и задачи) 3-4 стр
- 4.2. Обзор литературы с постановкой задач исследований 15-20 стр
- 4.3. Результаты выполненных исследований 15-20 стр
- 4.4. Техничко-экономическая оценка результатов исследований 10-15 стр
- 4.5. Библиографический список 3-5 стр.
- 4.6. Приложения 10-20 стр

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Пикус Г.А.)

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ (Пикус Г.А.)

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ (Бабушкина Г.Р.)

## Аннотация

Бабушкина Г.Р. Опалубка для конструкций из фибробетона. – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ-393, 2020. – 82 с., 32 рис., 10 табл., библиогр. список – 22 наим., 3 прил., 14 слайдов

В выпускной квалификационной работе магистра исследована зависимость величины давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку. Был проведен эксперимент, в ходе которого получены результаты величин давления бетонной и сталефибробетонной смесей на вертикальную опалубку и определена зависимость давления от скорости бетонирования. Также было произведено экономическое сравнение рассмотренных вариантов на основании выполненных сметных расчетов и сделаны соответствующие выводы. Предложено конструктивно – технологическое решение стеклопластиковой дымовой трубы в несущей сталефибробетонной обойме.

## Оглавление

Введение .....	5
1. Обзор состояния вопроса.....	8
1.1. Состояние вопроса об исследовании давления бетонных смесей на вертикальные опалубки.....	8
1.2. Описание реологических характеристик сталефибробетонной смеси .....	11
2. Исследовательская часть .....	23
2.1. Расчет сталефибробетонной обоймы дымовой трубы.....	23
2.2. Оценка изменения давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку .....	28
2.2.1. Состав используемой смеси .....	28
2.2.2. Эксперимент проведенный ранее .....	29
2.3. Проведение исследования .....	32
2.3.1. Описание лабораторной установки для эксперимента .....	32
2.3.2. Калибровка лабораторной установки для эксперимента .....	35
2.3.3. Аналитическая обработка результатов исследований .....	36
3. Расчет стеклопластиковой опалубки дымовой трубы .....	44
4. Конструктивно – технологические решения стеклопластиковых дымовых труб в несущей сталефибробетонной обойме с экономическим расчетом....	50
4.1. Описание и определение объемов работ проектируемого Сооружения .....	50
4.2. Организация и технология производства основных работ .....	59
4.3. Экономические результаты .....	67
Библиографический список .....	72
Приложения .....	74

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Опалубка для конструкций из фибробетона	Лит.	Лист	Листов
Зав. каф.		Пикус				ВКР	4	82
Н. контр		Пикус				ЮУрГУ кафедра «СПиТС»		
Руковод.		Пикус						
Консульт.		Пикус						
Разраб.		Бабушкина						

## **Введение.**

Актуальность темы заключается в том, что возведение монолитных конструкций является одним из основных направлений строительной индустрии и объемы возведения конструкций из монолитного железобетона постоянно растут. В связи с этим актуальным становится вопрос о подборе технологической оснастки для возведения монолитных железобетонных конструкций, в частности опалубочных систем. При проектировании опалубки основополагающим условием является правильное определение давления бетонной смеси, а наибольший интерес представляет распределение давления на вертикальную опалубку.

Вопрос о давлении бетонных смесей на вертикальную опалубку давно изучен, и методика определения давления изложена в нормативной документации (СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», ГОСТ 52085-2003 «Опалубка»[7]). Давление фибробетона на вертикальную опалубку на сегодняшний день не изучено, а методика его определения отсутствует в нормативной документации.[5]

Фибробетон - это своего рода бетонная смесь, которая при приготовлении армируется дисперсными волокнами (фибрами). Фибра производится из различных материалов: стальная, стеклянная, углеродная, нейлоновая, полипропиленовая, с точки зрения экономической эффективности стальная фибра является оптимальным материалом для повышения прочности бетона. Свойства фибробетона как композиционного материала определяются свойствами составляющих его компонентов. В этом плане весьма значительным компонентом является стальная фибра, модуль упругости которой намного (в 5 раз) превышает модуль упругости бетона.[12] Так как фибробетонные смеси являются очень жесткими смесями за счет равномерно рассредоточенной по всему объему фибры, их давление на вертикальную опалубку может быть значительно меньшим, чем давление обычных бетонных смесей. Следовательно, при определении давления фибробетона по методике для бетонных смесей в расчет будут закладываться завышенные нагрузки, что приведет к перерасходу материала. В рассматриваемой

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

нами конструкции дымовой трубы стеклопластиковая опалубка значительных размеров, таким образом необходима экономия материала опалубки.

В среднем стоимость опалубочных работ составляет 25 % - 35 % общих затрат на монолитные конструкции, и экономия материалов на опалубке может существенно снизить эти затраты.

На данный момент применение фибробетона в строительстве является очень перспективным направлением. Увеличение применения фибробетонных смесей связано с тем, что дисперсное фибровое армирование позволяет в большей степени компенсировать главные недостатки бетона - низкую прочность на растяжение и хрупкость разрушения, а также снижает усадку и ползучесть. Также фибробетон выгодно отличается от традиционного бетона, имея в несколько раз более высокие по сравнению с ним прочность на растяжение и срез, ударную и усталостную прочность, трещиностойкость и вязкость разрушения, морозостойкость, водонепроницаемость, жаропрочность и пожаростойкость. По показателю работы разрушения фибробетон может в 15-20 раз превосходить бетон. Это обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях.[15]

В настоящее время в отечественной практике в опытном порядке внедрены такие сталефибробетонные конструкции, как сваи, дорожные, тротуарные и аэродромные плиты, ребристые и складчатые плиты покрытий, кольца круглых смотровых колодцев, трубы, лотки, плиты пола и несъёмной опалубки, ограждения лоджий и балконов, банковские хранилища. В конструкциях пола, стен, колонн и перекрытий также может применяться сталефибробетон. На данный момент используется фибра отечественного производства.

За последние годы очень эффективным оказалось строительство индустриальных полов из сталефибробетона. При этом снижаются материало- и трудоемкость строительства, объёмы земляных работ, стоимость строительства, и при этом повышается качество, эксплуатационная надёжность и увеличивается межремонтный ресурс конструкций пола. В мире уже построено большое

количество сооружений, отдельных конструкций, а также промышленных полов. К примеру, в Европе около 70% всех промышленных полов выполняется из сталефибробетона.

В отечественном строительстве результаты строительства из сталефибробетона по сравнению с зарубежным опытом значительно скромнее и не имеют значимых результатов, хотя в свое время имелись некоторые достижения и в этой области. Одним из основных препятствий на пути внедрения фибробетона в строительство сейчас является отсутствие нормативной методики оценки экономической эффективности применения фибробетонных конструкций.

### **Цель и задачи проведения исследований.**

**Цель:** определить величину давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку и рассчитать экономический эффект на примере возведения дымовой трубы.

**Задачи:**

- оценить реологические характеристики сталефибробетонной смеси;
- рассчитать давление сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку;
- определить зависимость давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку от скорости бетонирования;
- разработать конструктивно – технологические решения стеклопластиковых дымовых труб в несущей сталефибробетонной обойме с целью снижения затрат на строительство.



## 1. Обзор состояния вопроса.

### 1.1. Состояние вопроса об исследовании давления бетонных смесей на вертикальные опалубки.

В Российской Федерации общие принципы расчета опалубочных систем изложены в разделе СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».[5] В формулах, приведенных в данном СП, учитываются следующие факторы, влияющие на боковое давление бетонной смеси на вертикальные поверхности опалубки: параметры технологии (тип вибратора, скорость бетонирования, высота свежеложенного слоя бетонной смеси) и свойства бетонной смеси (объемная масса, удобоукладываемость, температура). При уплотнении смеси наружными вибраторами (а также внутренними при радиусе действия вибратора  $R > H$ , где  $H$  - высота опалубки, м) давление принимается гидростатическим с треугольной эпюрой распределения давления:

$$P_{max} = \gamma * H$$

При уплотнении бетонной смеси внутренними вибраторами:

$$P_{max} = \gamma * (0,27 * V + 0,78) * K_1 * K_2$$

Где  $\gamma$  - объемная масса бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  - скорость бетонирования (скорость заполнения опалубки по высоте), м в течение часа;

$K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты, учитывающие влияние подвижности (жесткости) и температуры бетонной смеси.

Видно, что формула представляет собой эмпирическую зависимость, а ее анализ показывает, что в ней учтены далеко не все факторы, влияющие на давление.

В Западной Европе первые исследования давления бетона на щиты опалубки проводились в Великобритании[21] С. Родином и датированы началом 1950-х годов. В своей модели расчета опалубки, которую С. Родин получил, исследуя только один состав бетона, учитывались два фактора - способ уплотнения и темп укладки бетона ( $R$ , м/ч). При уплотнении наружными вибраторами давление

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

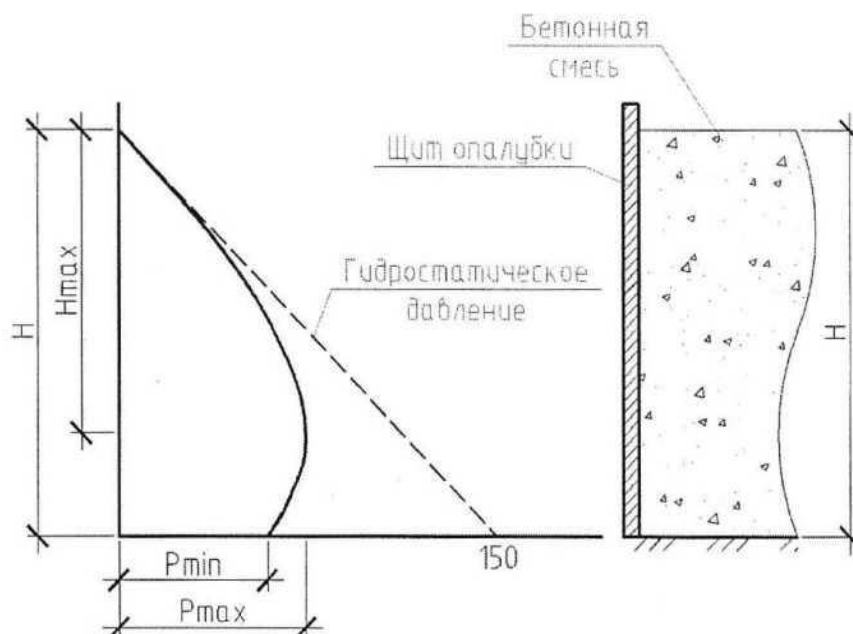
бетона принимается гидростатическим. При уплотнении внутренними вибраторами максимальное давление в кПа:

$$P_{max} = 23,4 * H_{max} - \text{для уплотненной бетонной смеси};$$

$$P_{max} = 17,2 * H_{max} - \text{для не уплотненной бетонной смеси.}$$

$$P_{min} = \frac{3 * R - H + H_{max}}{3 * R} * P_{max}$$

$H_{max} = 1,63 * R^{1/3}$  - глубина, м, на которой наблюдается максимальное давление. Эти формулы справедливы для бетонных смесей с соотношением 1:2:4 цемент:песок:щебень, объемной массой 2400 кг/м<sup>3</sup>, температурой 21 °С и при “последовательности резкого спада 150 мм” (см. рис.).



**Рисунок 1. Давление бетонной смеси по методике С. Родина.**

В методике расчета стали учитываются такие параметры, как размер и форма опалубки, время укладки, сроки схватывания бетонной смеси, время вибрирования, температуру, объемную массу и удобоукладываемость бетонной смеси. Общая формула для определения давления, кПа согласно этой методике:

$$P_{max} = \gamma_c * \left( C_1 * \sqrt{R} + C_2 * K * \sqrt{H - C_1 * \sqrt{R}} \right) \leq \gamma_c * h$$

Где  $\gamma_c$  - объемная масса бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  - темп укладки бетона, м/ч;

$h$  - высота свежесушеного слоя бетона, м;

$H$  - высота щита опалубки, м;

$C_1$  - коэффициент, учитывающий размер и форму опалубки ( $C_1 = 1$  для стены);

$C_2$  - коэффициент, учитывающий состав бетонной смеси (0,3 ... 0,6);

$K = \left(\frac{36}{T+16}\right)^2$  - температурный коэффициент, где  $T$  - температура бетонной смеси.

Практически одновременно в 1958 году на территории Северной Америки разработана модель Американского Института Бетона (ACI)[21], в которой были учтены тип возводимой конструкции, температура смеси и скорость ее укладки.

При бетонировании стен:

$$\text{При } R < 2,14 \text{ м/ч, } P_{max} = 7,19 + \frac{785 \cdot R}{17,78 + T} < 95,8 \text{ или } 23,5 \cdot H$$

$$\text{При } 2,14 < R < 3 \text{ м/ч, } P_{max} = 36 + \frac{244 \cdot R}{17,78 + T} < 95,8 \text{ или } 23,5 \cdot H$$

$$P_{max} = 7,19 + \frac{1156}{17,78 + T} + \frac{244 \cdot R}{17,78 + T} < 95,8 \text{ или } 23,5 \cdot H$$

$$\text{При } R > 3 \text{ м/ч, } P_{max} = 23,5 \cdot H < 95,8$$

При бетонировании колонн:

$$P_{max} = 7,19 + \frac{785 \cdot R}{17,78 + T} < 143,7 \text{ или } 23,5 \cdot H$$

В связи с внедрением высокопроизводительной техники, появились формулы, расширившие диапазоны скоростей укладки (введение в расчетную методику соответствующих поправочных коэффициентов). Общая формула для стен и колонн:

$$P_{max} = C_w \cdot C_c \cdot \left(7,19 + \frac{785 \cdot R}{17,78 + T}\right)$$

$$30 \cdot C_w \leq P_{max} \leq 150 \cdot C_w \cdot C_c$$

$$P_{max} \leq \gamma_c \cdot H$$

Где  $C_w$  и  $C_c$  - коэффициенты, зависящие от объемной массы бетонной смеси и ее состава.

В других зарубежных методиках расчета давления бетонной смеси на

										Лист
										10
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ					

опалубку можно встретить такие характеристики, как: глубина погружения вибратора, мощность вибрации, наличие различных добавок.

Таким образом, принимая во внимание отечественный и мировой опыт исследований, можно сделать вывод, что для более точного проектирования опалубочных систем при возведении монолитных железобетонных конструкций, следует учитывать целый комплекс параметров, оказывающих влияние на величину давления бетона.

## **1.2 Описание реологических характеристик сталефибробетонной смеси.**

Давление сталефибробетонной смеси во многом будет зависеть от ее реологических характеристик. Из анализа существующего зарубежного и отечественного опыта выявления зависимости давления бетонной смеси на опалубку следует, что величина этого давления во многом зависит от характеристик смеси. В соответствии с Российской нормативной документацией этой характеристикой является подвижность бетонной смеси, которая связана с удобоукладываемостью[10]. Удобоукладываемость характеризуется подвижностью и жесткостью бетонной смеси.

Подвижность бетонной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах величиной осадки конуса ОК, отформованного из бетонной смеси. Подвижность бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупности 40 мм включительно определяют на приборе - стандартном конусе (см. рис.2).

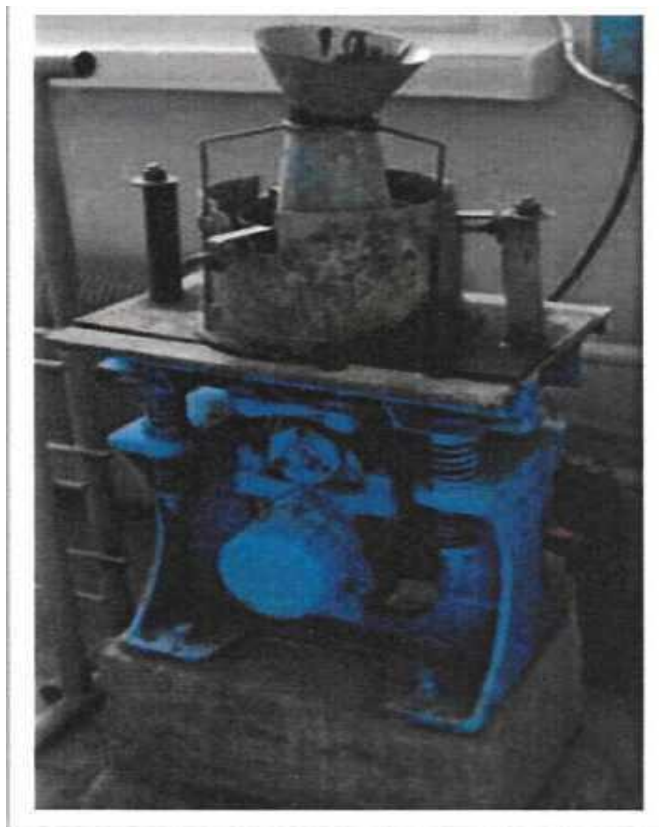
					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11



**Рисунок 2. Конус для измерения осадки конуса бетонной смеси.**

Жесткость бетонной смеси характеризуется временем (в секундах), необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости, который устанавливается на виброплощадку, (см. рис.3).

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12



**Рисунок 3. Прибор для определения жесткости бетонной смеси установленный на виброплощадке.**

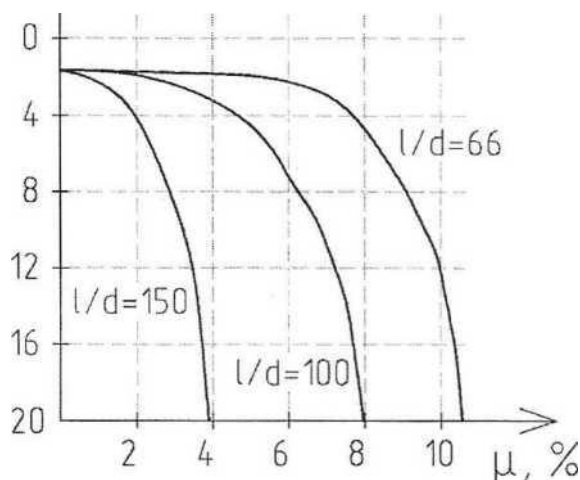
Результаты по осадке конуса и жесткости смесей сведены в таблицу:

Таблица 1 . Средние значения характеристик удобоукладываемости для используемых в экспериментах смесей.

Содержание добавки	Содержание фибры	Характеристика	
		ОК, см	Ж, сек
0	0	-	11
	0,75%	-	31
	1,5%	0	60
1,75%	0	5	-
	0,75%	2	22
	1,5%	-	Большая

По итогам измерения осадки конуса и жесткости смесей видно, что определение реологических характеристик по осадке конуса не подходит для смесей с высоким коэффициентом дисперсного армирования стальной фиброй, а жесткость не подходит для подвижных смесей.

Определение зависимости жесткости сталефибробетонной смеси в зависимости от коэффициента армирования по массе и параметра.



**Рисунок 4. Зависимость жесткости от коэффициента армирования стальной фиброй по массе при определенных параметрах фибры.**

Таким образом, жесткость может быть одинаковой при разных коэффициентах армирования стальной фиброй. Необходимо найти такой параметр оценки реологических характеристик, который будет подходить для смесей с любым содержанием стальной фибры и будет однозначно определять их.

Компоненты приготовленной бетонной смеси можно условно поделить на жидкую фазу (цементное тесто) и твердую фазу (твердые заполнители). Цементное тесто относится к так называемым структурированным системам, которые создаются за счет действия сил молекулярного сцепления между частицами. Такие системы обладают свойством тиксотропности — способны изменять свои реологические свойства под влиянием механических воздействий и восстанавливать их после прекращения воздействия.

Поведение структурированных систем при приложении внешних сил существенно отличается от поведения жидкостей. Если вязкость жидкости (ньютоновская) является постоянной и не зависит от значения прикладываемого давления (вязкость жидкости меняется только с изменением температуры), то вязкость структурированных систем изменяется даже при постоянной температуре

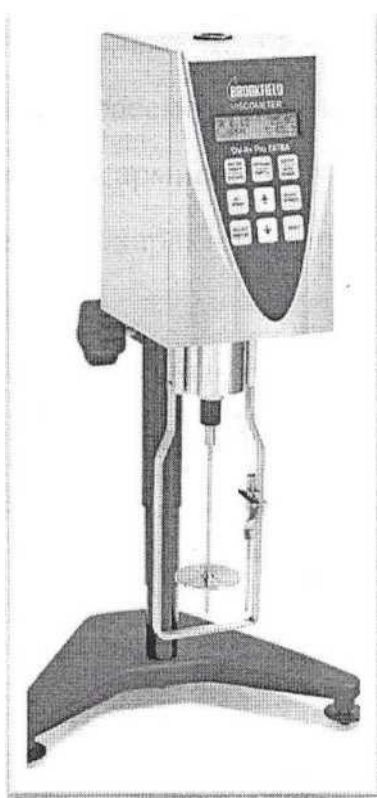
в несколько раз в зависимости от значения внешних сил, действующих на систему. Вязкость зависит от значения напряжения сдвига системы или скорости сдвиговых деформаций. Под действием внешних сил (виброуплотнения) происходит как бы разрыхление первоначальной структуры, ослабляются связи между ее отдельными элементами, и в результате возрастает способность системы к деформациям (течению), увеличивается ее подвижность.

Вязкость бетонной смеси стабилизируется через 20 минут после виброуплотнения [20].

С увеличением вязкости боковое давление смеси уменьшается. Поэтому давление нужно определять сразу после виброуплотнения, пока вязкость минимальна (тогда давление будет максимальное).

Характеристика вязкости больше подходит для Ньютоновских жидкостей.

Исследованиями К.Н. Кима было установлено, что жесткая бетонная смесь, подвергаемая даже интенсивному вибровозбуждению, не должна рассматриваться как тяжелая вязкая жидкость. Только подвижные бетонные смеси при вибровоздействии могут быть рассмотрены как Ньютоновские жидкости. Присутствие дисперсного армирования в фибробетоне усложняет определение его реологических характеристик с помощью вязкости.



#### **Рисунок 5. Прибор для определения вязкости.**

Для определения вязкости жидкостей используются сложные приборы - пластометры и вискозиметры, к сожалению, малодоступные для производства. Для определения вязкости в жидкость помещают цилиндр или лопасть (ротор), которые приводятся во вращение. Суть опыта состоит в



измерении крутящего момента при заданной угловой скорости или измерении угловой скорости при заданном крутящем моменте. По полученным значениям потом ведут дальнейшие расчеты, на основании которых вычисляют вязкость [20].

В настоящее время разработаны методики и приборы для оценки всех реологических характеристик бетонной смеси. Специально разработанные в НИИЖБе приборы позволяют всесторонне исследовать бетонные смеси, растворы и цементное тесто. Одним из основных приборов этой методики является ротационный вибровискозиметр.

Сталефибробетонные смеси на данных приборах исследовать с достаточной точностью нельзя. При внедрении в сталефибробетонную смесь коаксиального цилиндра или лопасти произойдет раздвижка фибры или лопасть вообще не войдет в смесь. При определении характеристик смеси будут в основном регистрироваться свойства бетона-матрицы, а не сталефибробетонной смеси.

В совокупности вязкость и жесткость не однозначно характеризуют реологические свойства смесей, так как зависят от характеристик составляющих компонентов. И при одной и той же жесткости наблюдаются разные значения вязкостей (см. рис.6)



**Рисунок 6. Зависимость вязкости от жесткости при разных компонентах смеси.**

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Исследуя реологическую модель, обычно стремятся отразить в ней наиболее характерные свойства рассматриваемого материала, основываясь при этом на экспериментальных данных. Существует много схем реологических моделей, но в своей основе они базируются на модели Бингама.[20]Неподвергаемая вибровоздействию бетонная смесь при сдвиговых деформациях может быть описана уравнением Шведова-Бингама:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{\text{пл}} \cdot \frac{dv}{dy}$$

Где  $\tau$ - напряжение сдвига, Па;

$\tau_0$ - предельное напряжение сдвига, Па;

$\eta_{\text{пл}}$ -пластическая вязкость, Па-с;

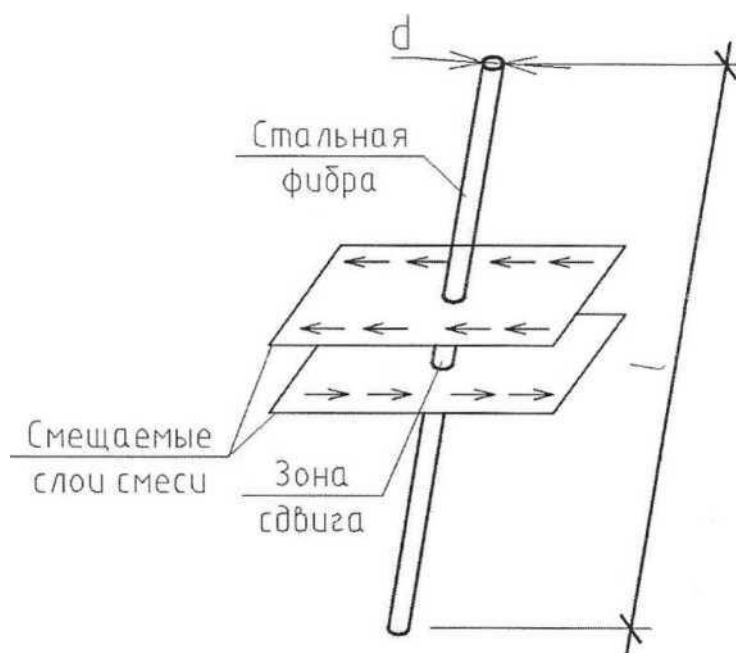
$\frac{dv}{dy}$ - градиент сдвига, с<sup>-1</sup>.

Металлическая фибра обладает упругопластическими свойствами и может оказывать сопротивление любым нагрузкам, вызывающим деформацию волокон. Благодаря такому свойству, при введении в бетонную смесь фибровая арматура образует внутренний структурный каркас.

При деформации сталефибробетонной смеси сами фибры не деформируются, то есть они не меняют своей первоначальной формы. Данное предположение основывается на экспериментальных данных. После извлечения фибр из приготовленной сталефибробетонной смеси они не имели явной деформации и сохраняли первоначальный вид. Следовательно, действующие нагрузки не вызывают деформации фибр. [20]

Приведенная ниже схема реологической модели сталефибробетонной смеси, рассматривая процессы, происходящие при смешивании сталефибробетонных смесей. При движении в вязкопластичных средах твердого тела, а именно к таким средам относятся бетонные смеси, так как в технологии приготовления бетонных смесей упругие деформации не рассматриваются, перемещение участков среды происходит только в зоне сдвига, на границе которой градиент скорости равен нулю. Или, говоря иначе, относительные смещения слоев среды не

распространяются по всему объему, а гаснут на довольно близких расстояниях. Длина фибры больше глубины фронта деформаций и будет только частично находиться в зоне сдвига. Следовательно, при рассмотрении элементарной площадки, по которой происходит сдвиг, и которая пересечена фиброй (см. рис7), на фибру будут действовать силы противоположных направлений и фибра, в центральной части будет работать на срез.



**Рисунок 7. Схема сдвига слоев фибры, пересеченных фибровой арматурой.**

При сдвиговых деформациях смеси фибра будет препятствовать перемещению слоев смеси относительно друг друга. Причем, на фибру будут действовать силы, пропорциональные частям фибры находящимся в противоположных слоях смеси. Так как фибра не деформируется, то она будет продвигаться с одним из слоев смеси и ее можно рассматривать как гибкий стержень, заземленный в слое смеси, в котором находится большая часть длины фибры. Меньшая часть длины фибры будет продвигаться в противоположном слое смеси и деформировать его, причем деформации будут происходить на площади равной проекции фибры на фронтальную плоскость (плоскость перпендикулярную направлению сдвига). Таким образом, при деформации сталефибробетонных смесей необходимо приложить дополнительные силы для преодоления сопротивления фибр, причем величина дополнительных сил будет

пропорциональна половине площади от суммы проекций всех фибр (пересекающих элементарную площадку) на фронтальную плоскость мы получаем, что

$$\tau_{\text{ф.б.}} = \tau_{\text{м}} \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta S)$$

Где  $\tau_{\text{ф.б.}}$  - напряжение сдвига фибробетонной смеси, Па;

$\tau_{\text{м}}$  - напряжение сдвига исходной бетонной смеси (матрицы) определяемое по уравнению Шведова-Бингама (смотри выше), Па;

$\gamma$  - коэффициент, учитывающий взаимодействие фибры с матрицей;

$\Delta S$  - дополнительная площадь действия сдвиговых напряжений.

Дополнительная площадь определяется как полусумма проекций фибр и зависит от количества фибр, пересекающих произвольную площадку в сталефибробетоне. Окончательна формула, характеризующая напряжения сдвига в сталефибробетонной смеси примет вид:

$$\tau_{\text{ф.б.}} = \tau_{\text{м}} \cdot \left(1 + \frac{\gamma \cdot \mu \cdot l}{4 \cdot d}\right)$$

Где  $\mu$  - коэффициент объемного армирования фиброй;

$l$  - длина стальной фибры, мм;

$d$  - номинальный диаметр стальной фибры, мм.

Таким образом, напряжения сдвига пропорциональны объемному содержанию фибровой арматуры и зависят от параметрического модуля Коэффициент  $\gamma$  учитывает нелинейный характер взаимодействия фибры с матрицей. Также следует отметить, что напряжение сдвига зависит от ряда характеристик бетона матрицы, наиболее важными из которых являются: расход цемента, водоцементное отношение, вид цемента, наличие и вид добавок. Увеличение водоцементного отношения уменьшает предельные напряжения сдвига. Такой же эффект наблюдается и при введении в смесь пластифицирующей добавки.

Исследованием реологических свойств сталефибробетонной смеси также занимался В.Ф. Малышев. Целью одной из его работ являлось установление закономерностей изменения консистенции сталефибробетонной смеси в

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

зависимости от количества и вида армирующих фибр.[20] Введение стальных волокон в бетонную смесь при постоянном водоцементном отношении приводит к изменению ее реологических характеристик, ухудшает ее обрабатываемость, что определяет особенности формования сталефибробетонных изделий. Выявление закономерностей позволит назначать формовочное оборудование для изготовления изделий с учетом реологических свойств смеси, управлять процессами уплотнения сталефибробетонной смеси.

При установлении реологической зависимости сталефибробетона Малышевым была принята следующая модель:

$$\tau_0 = \tau_{\text{сфб.с.}} + f'_{\text{эф}} * (\sigma - \sigma_{\text{п}} * m)$$

Где  $\tau_{\text{сфб.с.}}$  - предельное напряжение сдвига сталефибробетонной смеси.

Здесь  $\tau_{\text{сфб.с.}} = \tau_{\text{б.с.}} * \left(1 + 1,65 * \mu_0 * \frac{l}{d}\right)$ ,  $\mu_0$  - объемный коэффициент армирования,  $l$  - длина фибр,  $d$  - диаметр фибр;

$f'_{\text{эф}}$  - коэффициент трения;

$\sigma$  - полное нормальное давление;

$\sigma_{\text{п}}$  - поровое давление;

$m$  - структурная характеристика, представляющая собой объем свободной воды и воздуха.

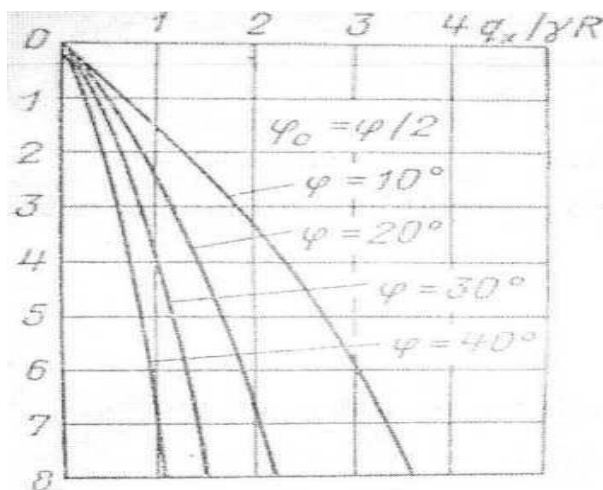
Полученная формула позволила Малышеву установить, что предельное напряжение сдвига сталефибробетонной смеси зависит не только от параметров армирования, но и от предельного напряжения сдвига бетонной смеси. Снижение величины предельного напряжения сдвига сталефибробетонной смеси, а, следовательно, и улучшение ее формовочных свойств при расчетных величинах армирующих волокон связано с уменьшением показателя пластической прочности бетонной смеси, которое возможно за счет увеличения воды затворения или за счет введения пластифицирующих добавок. Исследования проводились на приборе для определения физикомеханических свойств грунтов. Опыты показали, что экспериментальные значения, вычисленные по формуле, находятся в

пределах погрешности опыта, коэффициент трения увеличивается незначительно при  $\alpha_0$  до 1,5%.

Исследование давления засыпки на стенки силоса. Одно из решений в определении нормальных давлений на стенки цилиндрического силоса бесконечной глубины было получено Р. Негре. На рис. в безразмерных координатах  $q_x / (\gamma \cdot R)$  показаны эпюры давлений для разных значений угла внутреннего трения ( $\rho$  сыпучего тела при углах трения его о стенку  $\varphi_0 = \varphi / 2$ ). Также Р. Негре исследовал изменение давления от величины угла трения сыпучего тела о стенку при постоянном угле внутреннего трения.

Если сопоставлять эти зависимости с распределением бокового давления бетонных смесей, то влиянием трения смеси о стенку можно пренебречь по ряду причин:

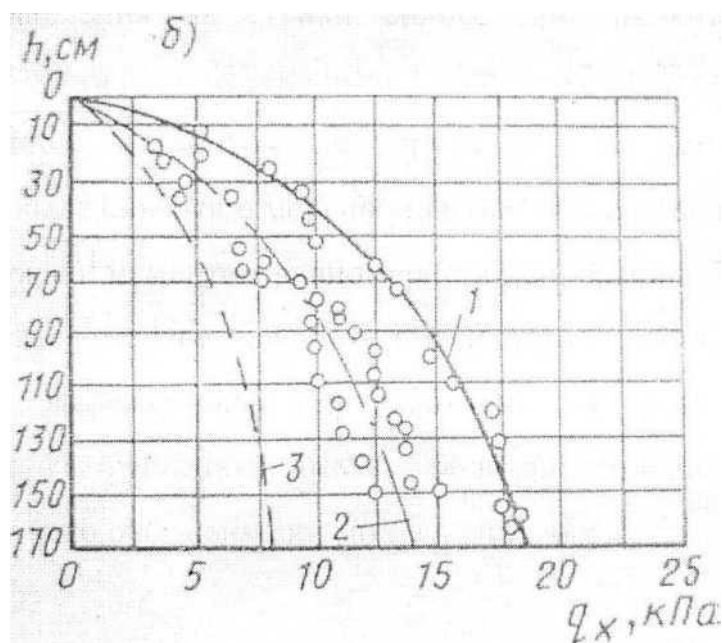
- бетонная смесь тиксотропна (при уплотнении вибраторами ее свойства приближаются к свойствам ньютоновским жидкостям);
- в бетонной смеси присутствует жидкая составляющая, которая уменьшает ее трение о стенку;
- поверхность опалубки перед бетонированием смазывают различными составами, которые уменьшают ее сцепление с затвердевшим бетоном.



**Рисунок 8. Эпюры давления сыпучего тела на вертикальную стенку.**

Влияние же угла внутреннего трения на боковое давление следует учитывать при описании реологических характеристик сталефибробетона.

В этой же области Б. А. Петровым была проведена серия опытов по исследованию давления на стенки силоса при заполнении его сухим цементом. Одни опыты (кривая 1) были проведены со свежесделанным цементом, а другие — с цементом, который предварительно вылеживался в мешках два-три месяца после помола (кривая 2). Модель загружали цементом равномерно и непрерывно. Боковое давление на стенку силоса свежесделанной смеси нарастало интенсивнее, чем у предварительно вылеженного. Это объясняется разницей в модуле упругости: свежесделанный цемент обладает большей сжимаемостью, следовательно, у него был меньший модуль упругости.



**Рисунок 9. Боковое давление сухих цементов на стенку силоса.**

Такой же эффект должен наблюдаться при сравнении величины бокового давления бетонных и сталефибробетонных смесей. Наличие дисперсного армирования повышает модуль упругости смеси, следовательно, должно уменьшать интенсивность бокового давления.[19]

## 2. Исследовательская часть.

### 2.1. Расчет сталефибробетонной обоймы дымовой трубы.

Высоту дымовой трубы с принудительной тягой определяют по условию рассеивания примесей в атмосфере [18]. Основы для этого расчета зависят от характера выбросов вредных веществ в атмосферу (производства предприятия), сложившейся загрязненности атмосферы и ее параметров (давления, влажности, скорости ветра,) вблизи строящейся дымовой трубы.[16] Так как все эти данные зависят от конкретного места строительства, а перебор возможных вариантов слишком велик, примем типовые высоты дымовых труб без расчета. В соответствии с п.19.4. СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий» [1] высоту дымовых труб следует принимать по следующему унифицированному ряду: 30, 45, 60 м и т.д.

Таким образом примем следующие типоразмеры дымовых труб:

Таблица 2. Типовые размеры дымовых труб.

Высота дымовой трубы, м	Диаметр, мм
30	1 700
	2 000
	2 300
45	1 700
	2 000
	2 300
60	2 000
	2 300

При расчетах примем толщину сталефибробетонной обоймы равной 130 мм, стеклопластиковую многослойную оболочку: первый внутренний защитный слой стеклопластика толщиной 5 мм, слой минерального утеплителя 50 мм и рабочий



слой стеклопалстика примем 25 мм. Таким образом, при внутреннем диаметре 2460 мм, ее наружный диаметр составит  $2300+2*(130+25+50+5) = 2720$  мм,

При расчетах используются характеристики фибры марки FIBREX, резанной из стального листа, выпускаемой по ТУ 0991-123-53832025.4

Сечение обоймы из фибробетона определяется по эквивалентной изгибной жесткости обоймы из железобетона.

Изгибная жесткость железобетонной обоймы:

$$E_b \cdot I_b = E_b \frac{\pi * (D_b^4 - d_b^4)}{64}$$

Где  $E_b$  – начальный модуль упругости бетона;

$D_b$  – наружный диаметр железобетонной обоймы 2,72 м.

$d_b$  - внутренний диаметр железобетонной обоймы 2,46 м.

Изгибная жесткость обоймы из фибробетона:

$$E_{fb} * I_{fb} = E_{fb} \frac{\pi * (D_{fb}^4 - d_{fb}^4)}{64}$$

Где  $E_{fb}$  – начальный модуль упругости сталефибробетона;

$D_{fb}$  – наружный диаметр обоймы из фибробетона

$d_{fb}$  - внутренний диаметр обоймы из фибробетона 2,46 м.

Начальный модуль упругости сталефибробетона определяется по формуле:

$$E_{fb} = E_b(1 - \mu_{fv}) + E_f * \mu_{fv}$$

Где  $E_b$  – начальный модуль упругости бетона-матрицы;

$\mu_{fv}$  – коэффициент фибрового армирования по объему;

$E_f$  – модуль упругости стальной фибры. Равен  $2,1 * 10^6$  кг/см<sup>2</sup> для фибры резанной из стального листа, выпускаемой по ТУ 0991-123-53832025.

Необходимо выполнение условия:

$$E_b * I_b = E_{fb} * I_{fb}$$
$$E_b \frac{\pi * (D_b^4 - d_b^4)}{64} = E_{fb} \frac{\pi * (D_{fb}^4 - d_{fb}^4)}{64}$$

Тогда наружный диаметр обоймы из сталефибробетона равен:

$$D_{fb} = \sqrt[4]{d_{fb}^4 + \frac{E_b}{E_{fb}} * (D_b^4 - d_b^4)}$$

Расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию определяется по формуле:

$$R_{fb} = R_b + (k_n^2 * \varphi_f * \mu_{fv} * R_f)$$

Где  $k_n=0,51$  – коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия;

$R_f$ - расчетное сопротивление фибры. Для фибры, резаной из стального листа первого класса стали по прочности  $4400 \text{ кг/см}^2$ , второго класса –  $5200 \text{ кг/см}^2$ , третьего класса –  $5800 \text{ кг/см}^2$ ;

$\varphi_f$ - коэффициент эффективности косвенного армирования фибрами, вычисляемый по формуле:

$$\varphi_f = \frac{5 + L}{1 + 4,5 * L}$$
$$L = \frac{k_n^2 * \mu_{fv} * R_f}{R_b}$$

Расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению  $R_{fbt}$  зависит от соотношения требуемой длины анкеровки фибры  $l_{f,an}$  и ее длины  $l_f$

$$l_{f,an} = \frac{n_f * d_f * R_{f,ser}}{R_{b,ser}}$$

Где  $d_f = 0,4 \dots 0,8$  мм – номинальный диаметр фибры;

$R_{f,ser}$ - нормативное сопротивление растяжению фибры. Для фибры резаной из стального листа первого класса стали по прочности  $4600 \text{ кг/см}^2$ , второго класса –  $5500 \text{ кг/см}^2$ , третьего класса –  $6400 \text{ кг/см}^2$ ;

$R_{b,ser}$ - нормативное сопротивление растяжению бетона-матрицы;

$n_f = 0,6$  – коэффициент, учитывающий анкеровку фибры.

При  $l_{f,an} < l_f/2$

$$R_{fbt} = m_1 * [k_T * k_{or}^2 * \mu_{fv} * R_f * \left(1 - \frac{l_{f,an}}{l_f}\right) + 0,1 * R_b * (0,8 - \sqrt{2 * \mu_{fv} - 0,005}]$$

Где  $m_1 = 1,1$  – коэффициент условий работы;

$k_{or}=0,55$  – коэффициент ориентации, увеличивающий ориентацию фибр в объеме элемента;

$$k_T = \sqrt{1 - (1,2 - 80 * \mu_{fv})^2}$$

При  $l_{f,an} \geq l_f/2$ :

$$R_{fbt} = m_2 * R_b * \left(k_T * \frac{k_{or}^2 * \mu_{fv} * l_f}{8 * n_f * d_f} + 0,08 - 0,5 * \mu_{fv}\right)$$

Где  $m_2 = 1,1$  – коэффициент условий работ;

Максимальные напряжения в обойме дымовой трубы определяется как у стержня кольцевого сечения:

$$\sigma_{\frac{max}{min}} = - \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Где – расчетный момент от ветрового давления резонанса;

$W$  – момент от сопротивления сечения обоймы;

$N$  – вес обоймы;

$A$  – площадь поперечного сечения обоймы.

Для обеспечения прочности необходимо выполнение условий:

$$\sigma_{сж} \leq R_{fb} \text{ и } \sigma_{раст} \leq R_{fbt}$$

Расчетные характеристики сталефибробетона.

Бетон-матрица В15, с учетом температуры  $R_b = 83,3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{b,ser} = 107,8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{bt} = 7,35 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ , фибра из стального листа длиной  $l_f = 20$  мм, номинальным диаметром  $d_f = 0,4$  мм, коэффициент армирования по объему  $\mu_{fv} = 0,017$ ,  $R_f = 4400 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{f,ser} = 4600 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

$$\begin{aligned} E_{fb} &= E_b(1 - \mu_{fv}) + E_f * \mu_{fv} = 230400 * (1 - 0,017) + 2100000 * 0,017 \\ &= 262183 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$D_{fb} = \sqrt[4]{d_{fb}^4 + \frac{E_b}{E_{fb}} * (D_b^4 - d_b^4)} = \sqrt[4]{186 + \frac{230\,400}{262\,183} * (272 - 246)} = 209,3 \text{ см}$$

Изменение диаметра обоймы из сталефибробетона не значительно, следовательно, этим фактором можно пренебречь в дальнейших расчетах.

$$L = \frac{k_n^2 * \mu_{fv} * R_f}{R_b} = \frac{0,51^2 * 0,017 * 4400}{83,3} = 0,234$$

$$\varphi_f = \frac{5 + L}{1 + 4,5 * L} = \frac{5 + 0,234}{1 + 4,5 * 0,234} = 2,55$$

Расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию:

$$R_{fb} = R_b + (k_n^2 * \varphi_f * \mu_{fv} * R_f) = 83,3 + (0,51^2 * 2,55 * 0,017 * 4400) = 132,9 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

$$l_{f,an} = \frac{n_f * d_f * R_{f,ser}}{R_{b,ser}} = \frac{0,6 * 0,04 * 4600}{107,8} = 1,024 \text{ см} \geq \frac{l_f}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ см}$$

Следовательно, расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} R_{fbt} &= m_2 * R_b * \left( k_T * \frac{k_{or}^2 * \mu_{fv} * l_f}{8 * n_f * d_f} + 0,08 - 0,5 * \mu_{fv} \right) \\ &= 1,1 * 83,3 * \left( 0,987 * \frac{0,55^2 * 0,017 * 2}{8 * 0,6 * 0,04} + 0,08 - 0,5 * 0,017 \right) \\ &= 11,40 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \end{aligned}$$

Расчетное сопротивление растяжению железобетона класса В15 с учетом температуры составляет  $7,35 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ .

Бетон-матрица В25, с учетом температуры  $R_b = 142,1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{b,ser} = 181,3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{bt} = 10,29 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ , фибра из стального листа длиной  $l_f = 40$  мм, номинальным диаметром  $d_f = 0,4$  мм, коэффициент армирования по объему  $\mu_{fv} = 0,017$ ,  $R_f = 5200 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ,  $R_{f,ser} = 5500 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

$$E_{fb} = 318\,804 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}; R_{fb} = 210,8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}; E_{fbt} = 28,31 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

## **2.2. Оценка изменения давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку.**

Требуется определить зависимость величины давления сталефибробетонной смеси на вертикальную опалубку. При подсчете давления сталефибробетона по существующей методике для определения давления обычной бетонной смеси величина нагрузки по предположениям будет получаться завышенной. Оптимальным будет ввести в существующие формулы поправочные коэффициенты, которые будут зависеть от реологических характеристик сталефибробетонной смеси (для однообразия формул нормативной документации и упрощения расчетов).

Согласно нормативным документам (СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» [5], ГОСТ 52085-2003 «Опалубка» [7]) давление на вертикальный щит опалубки определяется по разным формулам в зависимости от соотношения радиуса действия вибратора и высоты свежеложенного слоя бетонной смеси. Таким образом, для оценки давления сталефибробетонной смеси на вертикальный щит опалубки необходимо в качестве исходных данных взять результаты ранее проведенных экспериментов и провести исследование зависимости давления сталефибробетонной смеси на вертикальный щит опалубки в зависимости от скорости бетонирования.

### **2.2.1. Состав используемой смеси.**

Состав смеси оказывает сильное влияние на ее реологические свойства. Для сравнительной оценки изменения свойств бетонных смесей в зависимости от ее компонентов была использована «базовая» бетонная смесь (бетон-матрица) с водоцементным соотношением 0,51, в которую добавлялось разное количество стальной фибры и пластифицирующей добавки.

Содержание компонентов бетона-матрицы на 1 м<sup>3</sup>:

- цемент 420 кг;
- щебень фракции 20-40 мм 1190 кг;

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

- песок 619 кг;
- вода 212 кг;



**Рисунок 10. Стальная фибра.**

Характеристики стальной фибры:

- способ приготовления – резка из стального листа;
- длина 40 мм;
- номинальный диаметр 0,4 мм.

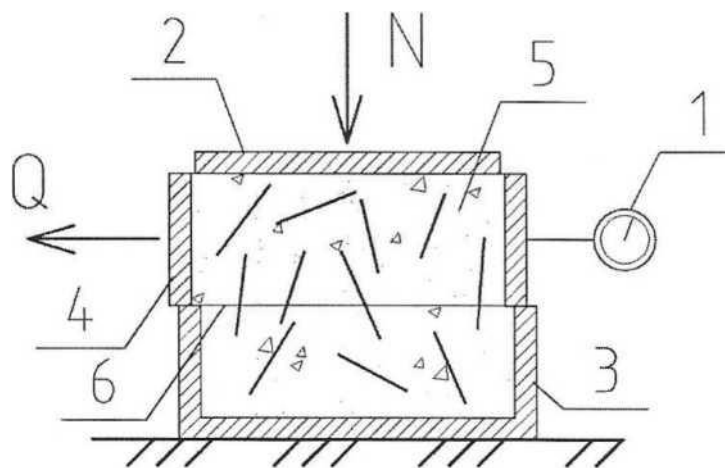
Проценты армирования стальной фиброй по массе  $\mu$ : 0%, 0,75%, 1,5%.

Содержание пластифицирующей добавки С-3 в процентах от массы цемента  $D = 0\%$  и  $1,75\%$ .

### **2.2.2. Эксперимент проведенный ранее.**

Оценка реологических характеристик сталефибробетонной смеси.

Эксперимент по определению реологических характеристик сталефибробетонных смесей проводился на установке для испытаний грунтов на одноплоскостной сдвиг.



**Рисунок 11. Схема установки по исследованию реологических характеристик сталефибробетонных смесей.**

Сталефибробетонная смесь 5 помещается в цилиндрическую емкость, состоящую из верхнего подвижного стального кольца 4 и опорной части 3, жестко закрепленной на установке. Сверху на смесь устанавливается перфорированный штамп 2, который обеспечивает равномерное давление создаваемое пригрузом N. Под действием силы Q верхнее стальное кольцо перемещается и срезает часть сталефибробетонной смеси по площадке сдвига 6. Перемещения стального кольца 4 фиксируются индикатором часового типа.

Проведение эксперимента заключается в укладке смеси в емкость установки и приложении сжимающего пригруза N, который остается постоянным. Далее установка постепенно нагружается пригрузами, для обеспечения постепенного нарастания сдвигающей силы Q. Опыты повторяются с одним и тем же составом смеси несколько раз, при разных величинах пригруза N. В ходе нагружения фиксируется величина пригруза Q и соответствующее ей перемещение верхнего стального кольца.

Точное значение усилия при срезе смеси определить сложно, так как необходимо обеспечить нарастание сдвигающей силы Q очень маленькими порциями. Поэтому значения напряжений сдвига принимаются при величине перемещения 5 мм.

Введен коэффициент  $k$ , который характеризует реологические характеристики бетонных смесей: удельное сцепление  $\tau_0$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ .

$$k = tg(\varphi) + \tau_0$$

Физический смысл коэффициента  $k$  - значение напряжений сдвига бетонной или сталефибробетонной смеси при единичной величине нормальных напряжений.

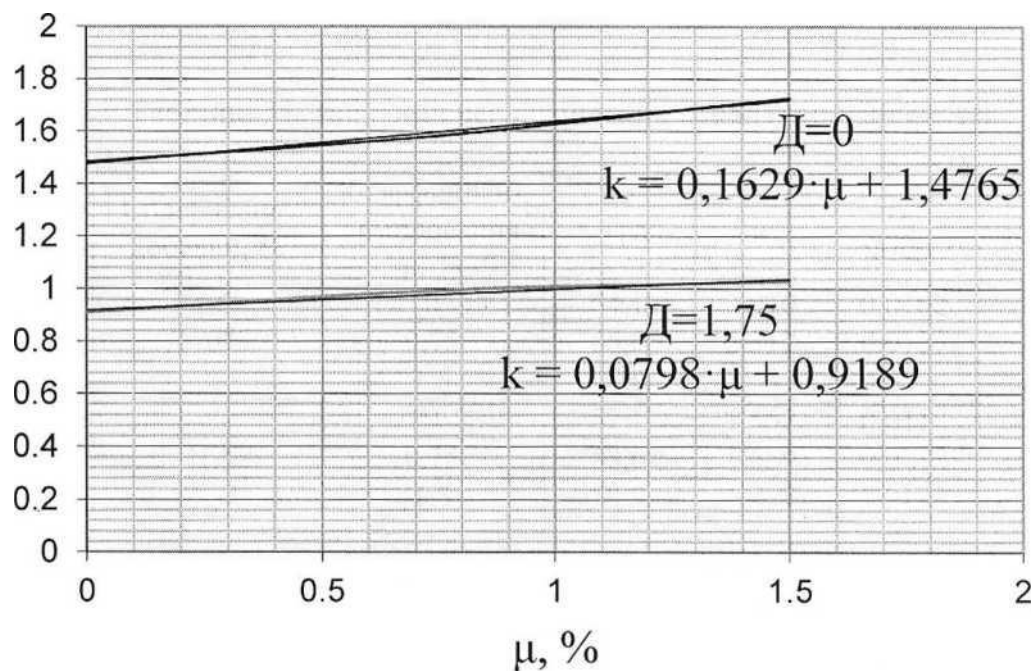
Для обычных бетонных смесей (без фибрового армирования) этот коэффициент зависит от содержания добавки и компонентов бетонной смеси. Для сталефибробетонных смесей при постоянных прочих значениях характер его изменения зависит от коэффициента армирования стальной фиброй, типа применяемой фибры и ее характеристик. Основная характеристика стальной фибры - это отношение ее длины к диаметру  $\frac{l}{d}$ . В исследовании использовался только один тип фибры - длиной 40 мм, диаметром 0,4 мм изготавливаемая путем резки из стального листа.

Построена зависимость коэффициента реологических характеристик смесей от коэффициента армирования стальной фиброй  $\mu$ .

Таблица 3. Значение реологических характеристик смесей.

Содержание добавки, %	коэффициента армирования $\mu$ , %	$\varphi$	$k$	$\tau$
Д = 0%	0	64,1	2,070	0,0102
	0,75	66,5	2,312	0,0125
	1,5	68,8	2,593	0,0150
Д = 1,75%	0	57,1	1,557	0,0112
	0,75	58,6	1,650	0,0113
	1,5	59,9	1,737	0,0122





**Рисунок 12. График зависимости коэффициента  $k$  от  $\mu$ .**

Для  $D=0\%$  сходимость функции  $k = 0,1629 \cdot \mu + 1,4765$  составила 0,9893.

Для  $D=1,75\%$  сходимость функции  $k = 0,0798 \cdot \mu + 0,9189$  составила 0,9509.

### 2.3. Проведение исследования

#### 2.3.1. Описание лабораторной установки для эксперимента.

Одна из целей эксперимента - оценка изменения давления смесей на вертикальные опалубки в зависимости от скорости бетонирования. Моделирование разных скоростей бетонирования предполагается с помощью прессы.

Для проведения эксперимента была изготовлена установка в виде трубы. Измерение деформаций производится с помощью тензодатчиков. Размеры и материал трубы определяются исходя из оптимального диапазона перемещений, которые может фиксировать тензодатчик. По итогам вычислений выбор был остановлен на ПВХ трубе с наружным диаметром 160 мм, толщиной стенки 4 мм.

Так как величина деформаций, измеряемых тензодатчиками, зависит от многих факторов, то целесообразно провести калибровку системы. Для этого в трубу заливается вода (так как величина бокового давления воды известна) и снимаются соответствующие показания тензодатчиков. Далее выводятся

калибровочные коэффициенты. Во время калибровки установки высота трубы составляет 3 метра (для создания необходимого давления воды). После калибровки тензосистемы труба обрезается до длины около полуметра, для того чтобы ее можно было устанавливать под пресс.

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

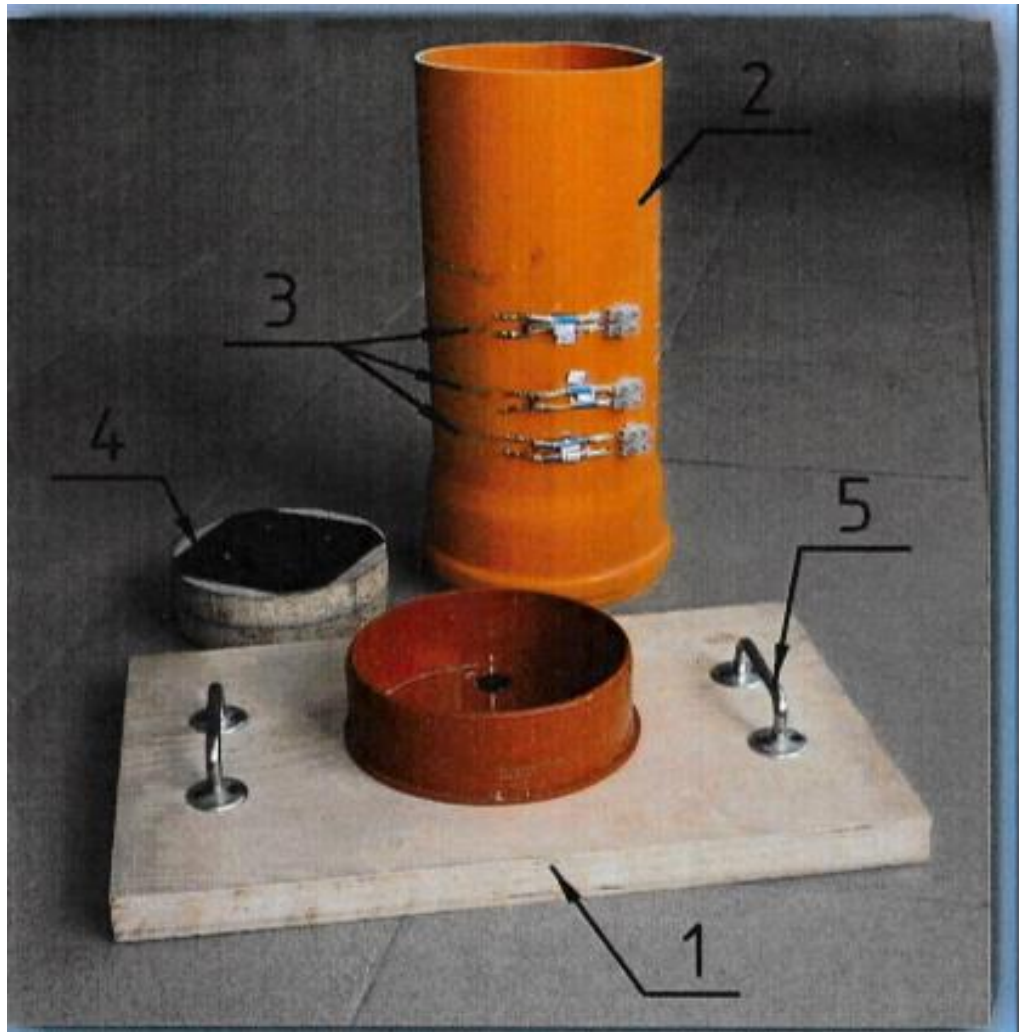


Рисунок 13. Лабораторная установка для эксперимента после калибровки. 1 – опорная часть; 2 – ПВХ труба; 3 – тензодатчики; 4 – плунжер; 5 – ручки.

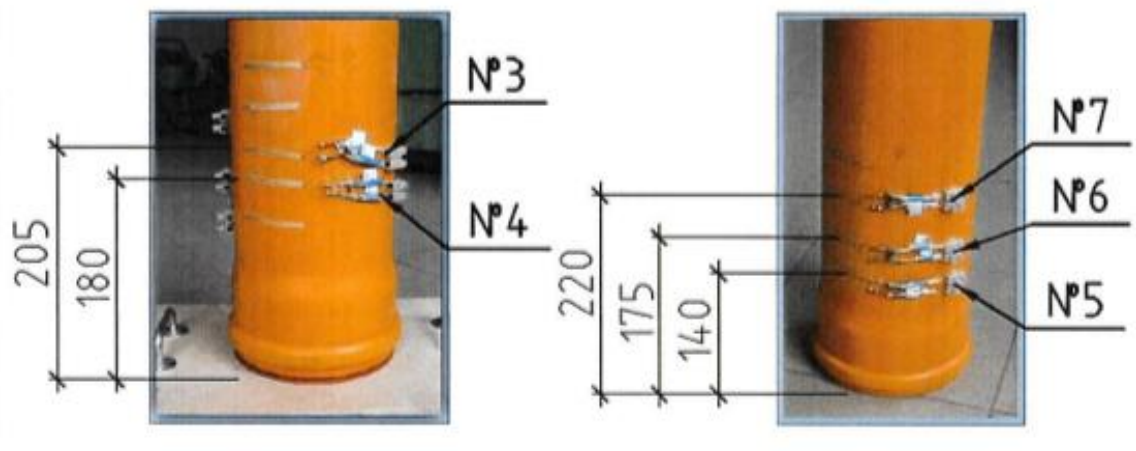


Рисунок 14. Расположение тензодатчиков на лабораторной установке.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

### 2.3.2. Калибровка лабораторной установки для эксперимента.

Смесь в трубу заливалась частями, после каждого залитого объема лабораторная установка стояла некоторое время для чтобы деформации трубы установились постоянными.

По итогам этих измерений составлена таблица с усредненными значениями показаний тензодатчиков при каждом этапе нагружения.

Таблица 4. Усредненные показания тензодатчиков при калибровке лабораторной установки.

№ нагружения п/п	Номер датчика									
	3		4		5		6		7	
	h, воды	показания	h, воды	показания	h, воды	показания	h, воды	показания	h, воды	показания
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	20	0.083	22.5	0.120	26.5	0.069	23	0.088	18.5	0.020
2	60	0.270	62.5	0.293	66.5	0.221	63	0.215	58.5	0.189
3	100	0.551	102.5	0.549	106.5	0.415	103	0.397	98.5	0.395
4	140	0.689	142.5	0.710	146.5	0.608	143	0.640	138.5	0.626
5	180	0.950	182.5	0.949	186.5	0.709	183	0.759	178.5	0.730
6	220	1.279	222.5	1.238	226.5	0.890	223	0.912	218.5	0.885
7	260	1.607	262.5	1.560	266.5	1.068	263	1.045	258.5	0.985
8	280	1.783	282.5	1.730	286.5	1.105	283	1.135	278.5	1.040

Далее определяется создаваемое смесью максимальное гидростатическое давление, которое делится на максимальную величину показаний тензодатчика. Таким образом вычисляется калибровочный коэффициент  $K$  для каждого тензодатчика.



Таблица 5. Калибровочные коэффициенты  $K$  для тензодатчиков.

№ датчика	Давление СФБС, кг/см <sup>2</sup>	$K$ для кг/см <sup>2</sup>
3	0.280	0.1570
4	0.2825	0.1632
5	0.2865	0.2592
6	0.2830	0.2500
7	0.2785	0.2677

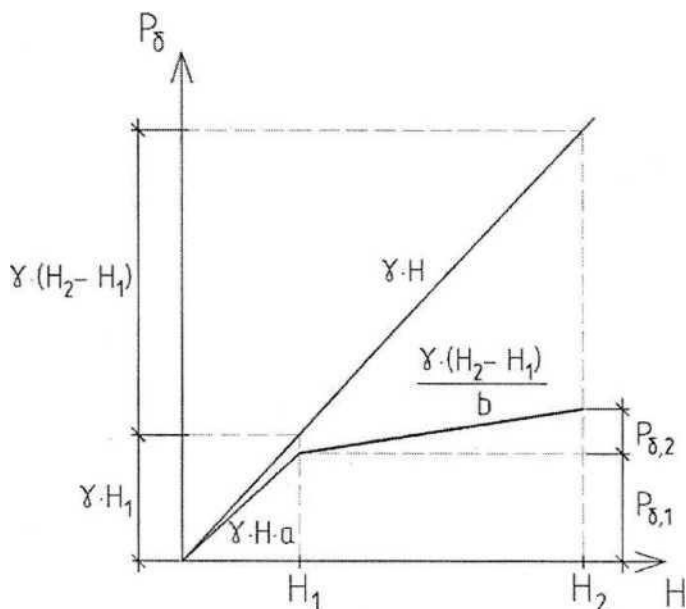
### 2.3.3. Аналитическая обработка результатов исследований

Цель аналитической обработки результатов исследований - разработка рекомендации по определению давления на вертикальные опалубки.

Нам известен критерий реологических характеристик смесей и характер распределения бокового давления. Необходимо увязать их между собой.

Зависимость распределения бокового давления можно разбить на два участка, в пределах которых оно будет изменяться по линейному закону. Глубина первого участка связана со свойством бетонных смесей увеличивать свою

подвижность при воздействии внешних сил (вибрировании) и определяется глубиной уплотняемого слоя смеси глубинным вибратором. Второй участок определяется высотой вышеуложенных слоев смеси и связан с равномерным нарастанием бокового давления при увеличении нормального давления на уложенный слой смеси.



**Рисунок 15. Анализ характера распределения бокового давления смесей.**

На основании вышесказанного и учитывая, что бетонная смесь не ньютоновская жидкость характер распределения бокового давления сталефибробетонных смесей можно описать следующим законом:

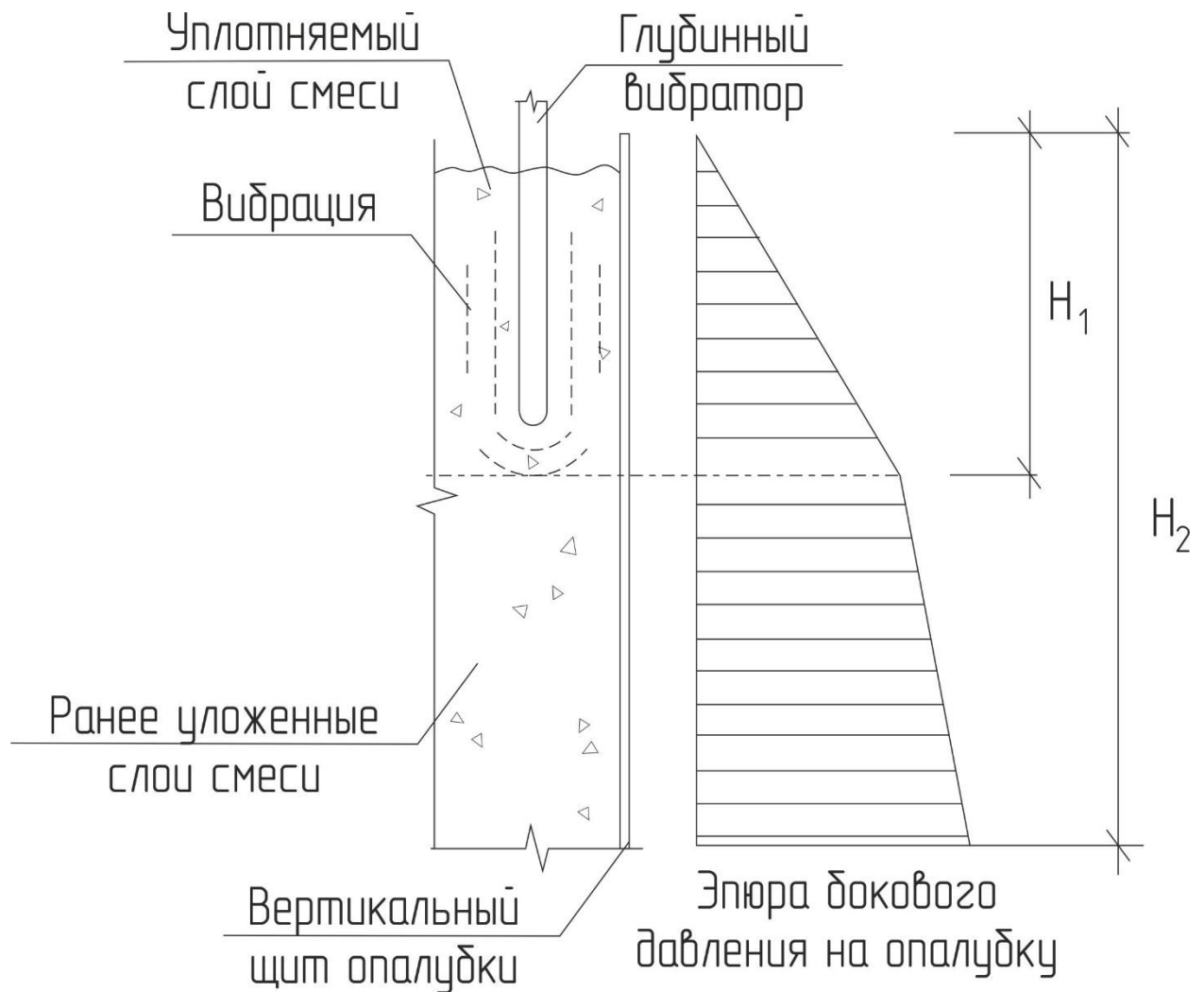
$$P_\delta = \gamma * H_1 * a + \gamma * \frac{H_2 - H_1}{b}$$

Где  $\gamma$  - объемная масса сталефибробетона, кг/м<sup>3</sup>;

$H_1$  - толщина уплотняемого слоя смеси, м;

$H_2$  - высота уложенной смеси, м.

$a$  и  $b$  - коэффициенты, зависящие от реологических характеристик смеси и определяющие изменение бокового давления смеси по сравнению с гидростатическим давлением.



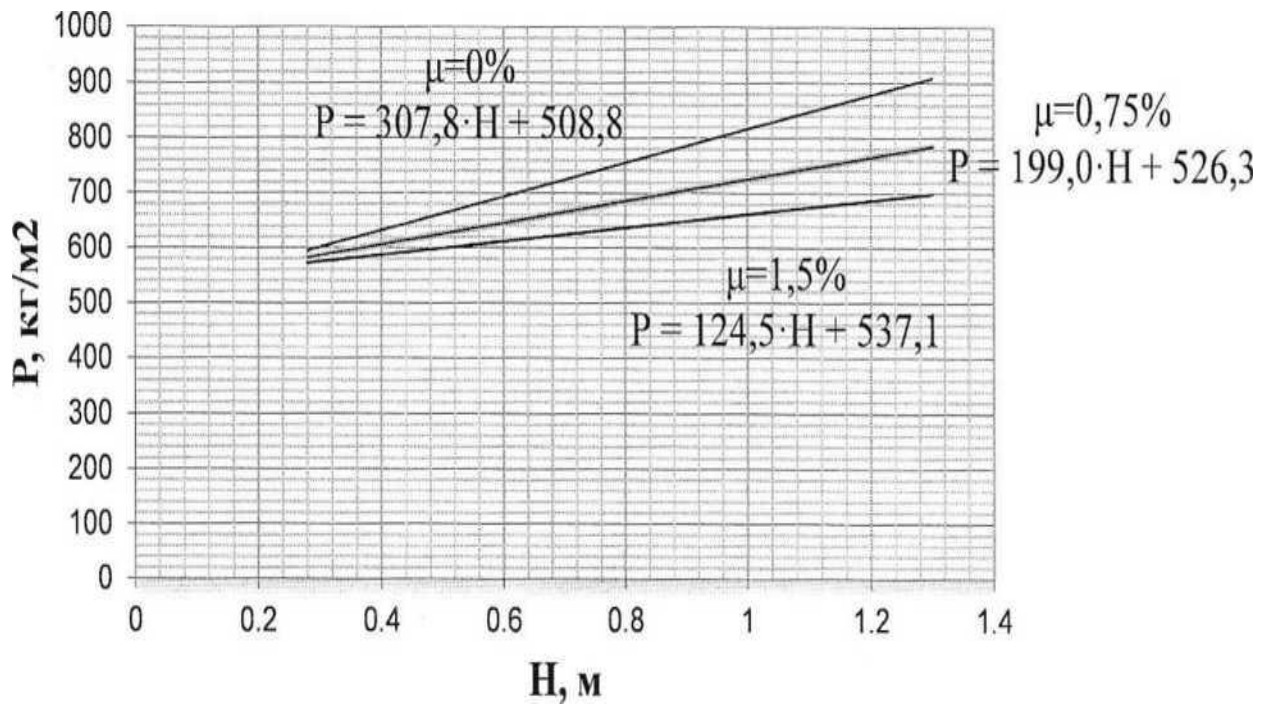
**Рисунок 16. Боковое давление смесей.**

Определим закон изменений коэффициентов  $a$  и  $b$ . Их значения вычисляются по следующим формулам:

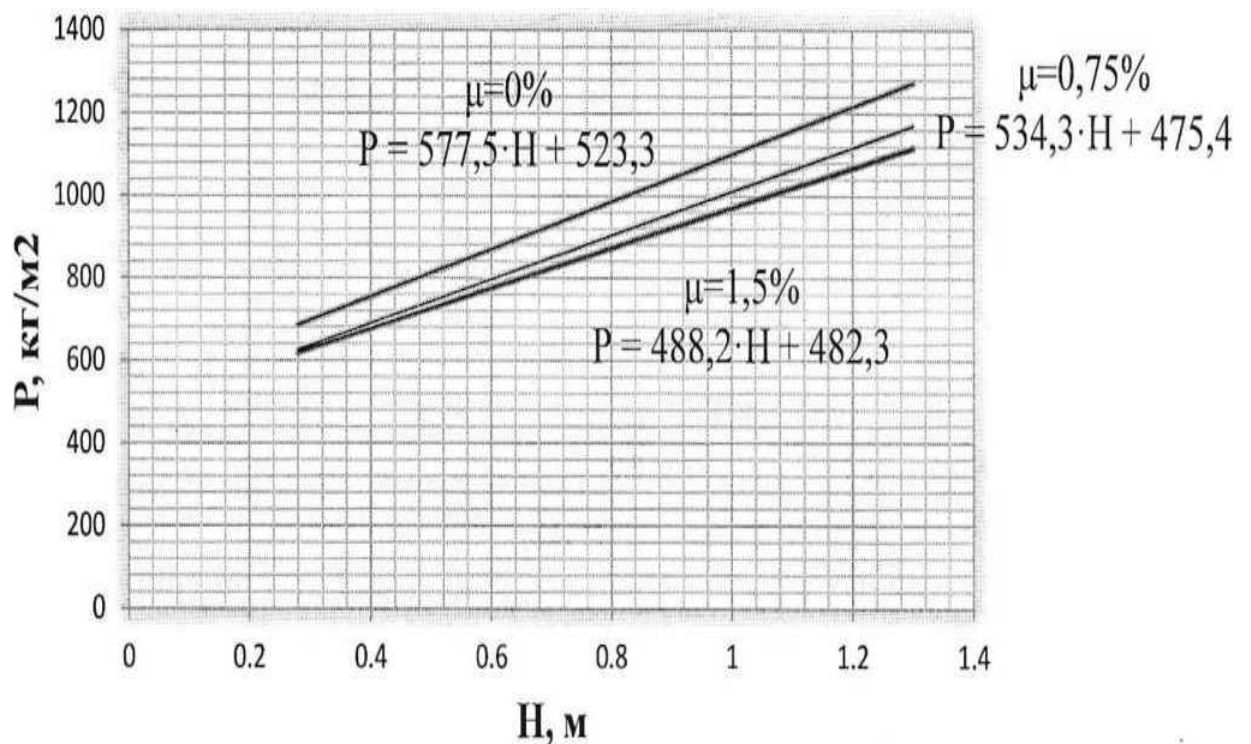
$$a = \frac{P_{\text{эксп,1}}}{\gamma * H_1}$$

$$b = \frac{\gamma * (H_2 - H_1)}{P_{\text{эксп,2}}}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



**Рисунок 17. График изменения давления смеси без пластифицирующей добавки.**



**Рисунок 18. График изменения давления смеси с пластифицирующей добавкой 1,75%.**

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Таблица 6. Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в зависимости от реологической характеристики  $k$ .

Д, %	$\mu$ , %	$k$	$b$	$a$
0	1,5	1,729	20,08	0,817
	0,75	1,581	12,56	0,831
	0	1,482	8,12	0,850
1,75	1,5	1,030	5,12	0,884
	0,75	0,991	4,68	0,893
	0	0,913	4,33	0,979

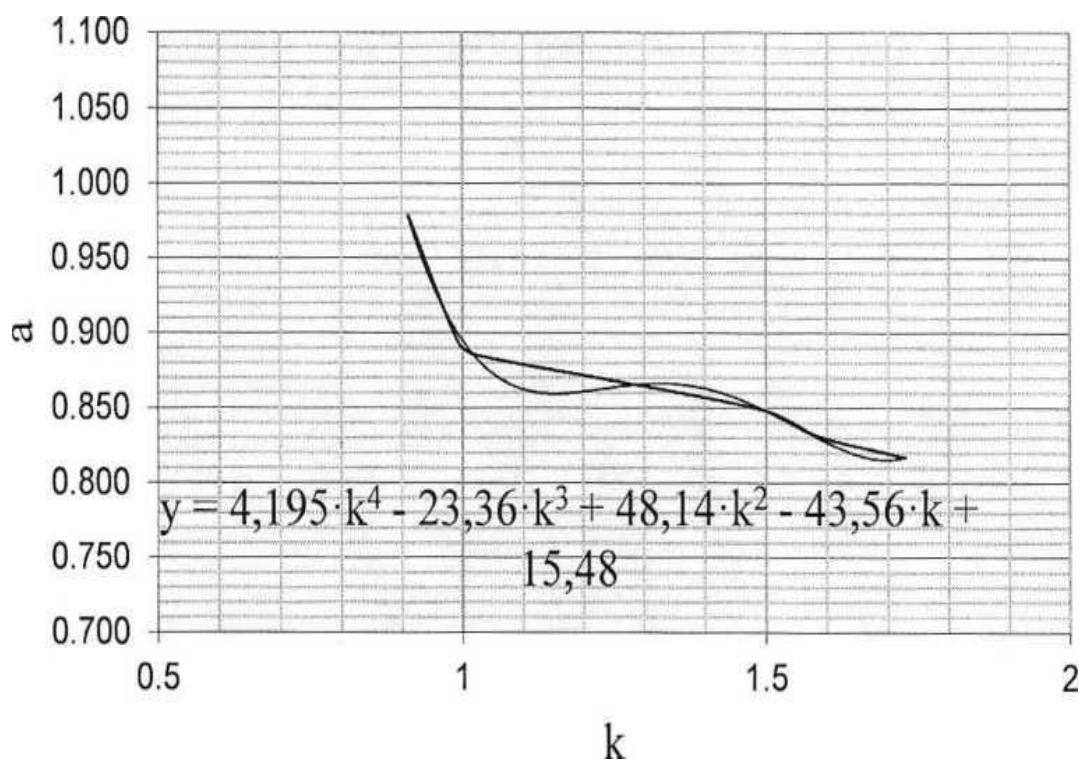
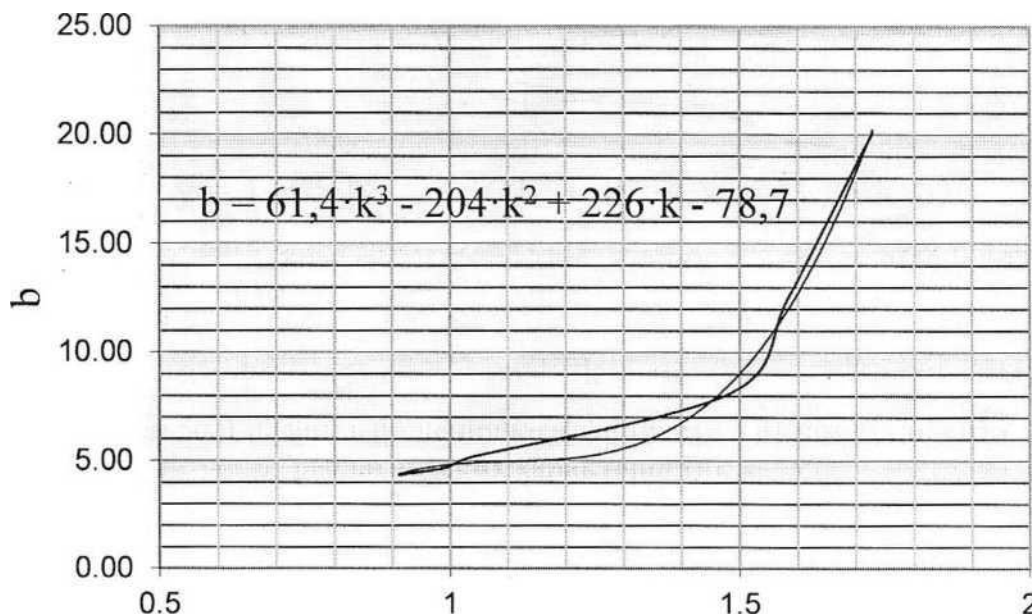


Рисунок 19. График изменения коэффициента  $a$  от коэффициента реологических характеристик  $k$ .



**Рисунок 20. График изменения коэффициента  $b$  от коэффициента реологических характеристик  $k$ .**

Для коэффициента  $a$  сходимость функции  $a = 4,195 * k^4 - 23,36 * k^3 + 48,14 * k^2 + 43,56 * k + 15,48$  составила 0,9966

Для коэффициента  $b$  сходимость функции  $b = 61,4 * k^3 - 204 * k^2 + 226 * k + 78,7$  составила 0,9970

Таким образом, давление сталефибробетонной смеси на вертикальные опалубки определяется по формуле:

$$P_6 = \gamma \cdot \left( H_1 * a + \frac{H_2 - H_1}{b} \right), \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \right]$$

Где:  $\gamma$  - объемная масса сталефибробетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$H_1$  - средняя высота уплотняемого слоя смеси, м;

$H_2$  - высота от низа уплотняемого слоя до основания опалубки, м;

$a$  и  $b$  - безразмерные коэффициенты, зависящие от реологических характеристик смеси и определяющие изменение бокового давления смеси по сравнению с гидростатическим давлением.

$$a = 4,195 * k^4 - 23,36 * k^3 + 48,14 * k^2 + 43,56 * k + 15,48$$

$$b = 61,4 * k^3 - 204 * k^2 + 226 * k + 78,7$$

Где  $k$  - безразмерный коэффициент реологических характеристик смеси, определяемый по формулам:

Для смесей без пластифицирующей добавки  $k = 0,1629 * \mu + 1,4765$

С пластифицирующей добавкой 1,75%  $k = 0,0798 * \mu + 0,9189$

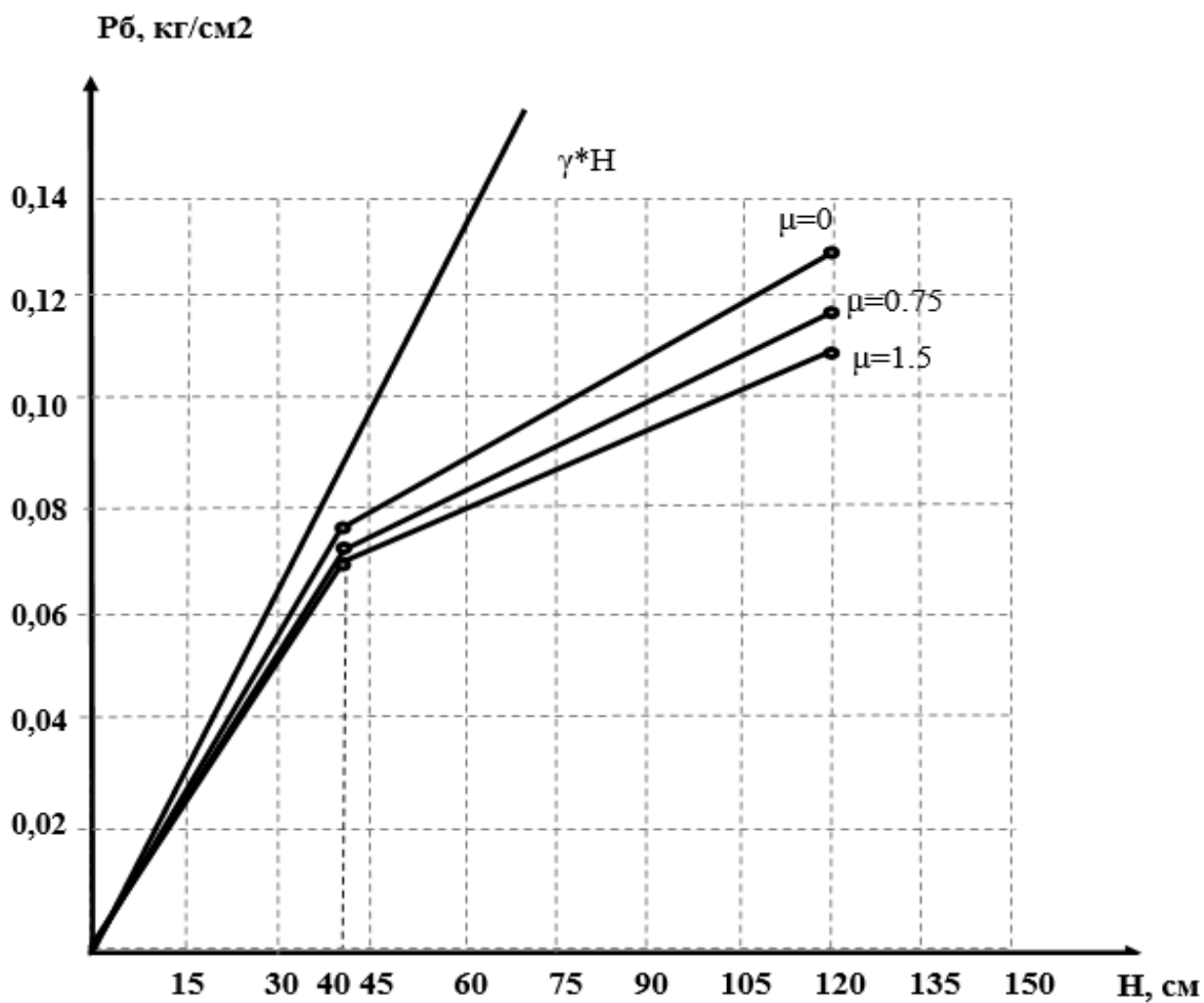
Где  $\mu$ - коэффициент объемного армирования смеси стальной фиброй, %.

Таблица 7. Оценка погрешности полученной методики.

Д, %	$\mu$ , %	$H_2$ , м	k	$P_6$ , кг/м2	$P_{\text{эксп}}$ , кг/м2	Погрешность, %	$H_1$ , м
0	1,5	1	1,729	669,0	663,3	0,9	0,3
	0,75	1	1,581	742,7	728,9	1,9	0,3
	0	1	1,482	823,1	818,6	0,7	0,3
1,75	1,5	1	1,030	1015,8	1008,5	0,8	0,3
	0,75	1	0,991	1040,1	1039,7	1,1	0,3
	0	1	0,913	1159,9	1154,8	0,6	0,3

Таблица 8. Боковое давление на опалубку.

H, см	$P_6$ , кг/ см <sup>2</sup> (при Д = 1.75%)		
	$\mu = 0$	$\mu = 0.75$	$\mu = 1.5$
25	0.0669	0.0620	0.0612
40	0.0765	0.0715	0.0693
50	0.0849	0.0802	0.0780
65	0.0955	0.0888	0.0854
80	0.1035	0.0957	0.0911
100	0.1154	0.1039	0.1008
120	0.1275	0.1160	0.1113



**Рисунок 21 . График изменения бокового давления смеси в зависимости от высоты вышеуложенных слоев.**

Вывод по эксперименту:

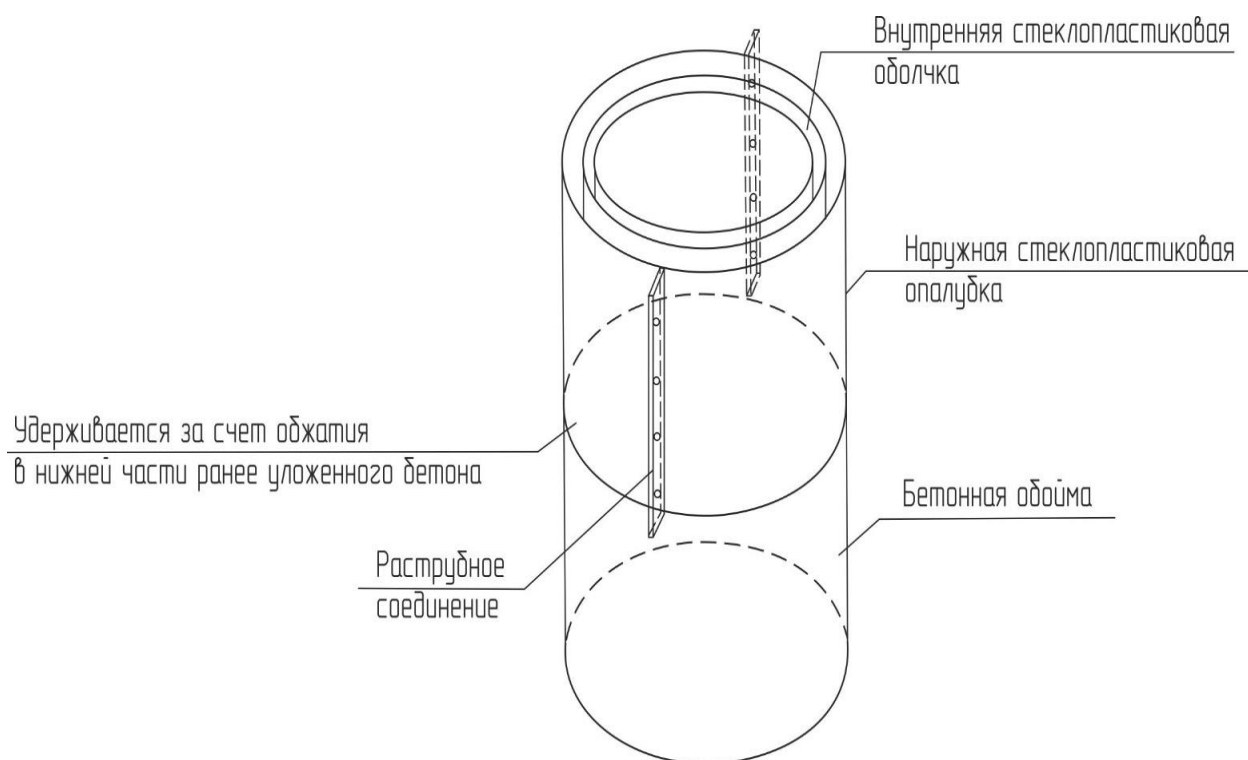
С увеличением процента дисперсного армирования уменьшается интенсивность прироста бокового давления.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

### 3. Расчет стеклопластиковой опалубки дымовой трубы.

Определяющей нагрузкой на опалубку является давление бетонной смеси. Обойма может изготавливаться из железобетона и фибробетона, которые оказывают разное давление на вертикальные опалубки. Следовательно, необходим расчет для двух видов опалубки: железобетонной обоймы и фибробетонной обоймы.

В нижней части конструкция дымовой трубы, рассматриваемой в данном дипломном проекте, подкреплена монолитной обоймой и на стадии возведения стеклопластиковый ствол дымовой трубы выполняет функцию внутренней несъемной опалубки. Наружная опалубка монолитной обоймы также изготавливается из стеклопластика, но переставляется по мере бетонирования. Она состоит из двух сегментов, имеющих форму половины окружности высотой по 2, 4, 6 метра, которые скрепляются с помощью фланцевого соединения. Опалубка удерживается на высоте за счет обжатия ранее уложенной бетонной смеси.



**Рисунок 22. Общий вид наружной стеклопластиковой оболочки.**

Расчетная схема опалубки - цилиндрическая оболочка с защемлением в основании.

При равномерной нагрузке по всей площади в опалубке возникает только растягивающее окружное усилие, которое не должно превышать расчетного сопротивления стеклопластика растяжению:

$$\sigma_t = \frac{P_{max} * R}{t} \leq R_t$$

Где  $R = 136$  см - радиус опалубки (для наружной):

$t$  - толщина стенки опалубки;

$R_t$  - расчетное сопротивление стеклопластика растяжению, 153 кг/см<sup>2</sup>;

$P_{max}$  - максимальное давление бетонной смеси.

Давление бетонной смеси нарастает с глубиной и в процессе бетонирования.

При расчете необходимо учитывать тип загрузки, что опалубка полностью заполнена бетонной смесью.

Опалубка железобетонной обоймы.

Нагрузки на опалубку.

Обойма бетонируется ярусами по 2 метра. Скорость бетонирования:

$$V = \frac{V_{ч}}{S}$$

Где  $S$  - площадь поперечного сечения обоймы;

$I$ , - выработка звена трубокладов, ч.

$$V_{ч} = \frac{n}{H_{вр}}$$

Где  $n = 3$  - состав звена, чел;

$H_{вр} = 0,1$  - норма времени на укладку бетона, чел-час. Бетон подается с помощью автобетоносмесителя с производительностью 30 м<sup>3</sup>/ч.

Тогда скорость бетонирования составит:

$$V = \frac{3}{0,1 * 3,14 * (1,36^2 - 1,23^2)} = 28,3 \text{ м/ч}$$

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

В соответствии с ГОСТ 52085-2003 «Опалубка» максимальная нагрузка на опалубку:

$$P_{max} = \gamma * (0,27 * V + 0,78) * K_1 * K_2$$

Где  $\gamma$  - объемная масса бетонной смеси;

$K_1 = 1$  — коэффициент, учитывающий влияние подвижности бетонной смеси:

$K_2 = 1$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры бетонной смеси.

$$P_{max} = 2\,500 * (0,27 * 28,3 + 0,78) * 1 * 1 = 21\,053 \text{ кг/м}^2$$

$$H_{max} = \frac{P_{max}}{\gamma} = \frac{21\,053}{2\,500} = 8,4 \text{ м.}$$

Следовательно давление бетона принимается гидростатическим.

Нагрузки от вибрирования бетонной смеси принимаются  $400 \text{ кг/м}^2 = 0,04 \text{ кг/см}^2$ .

Дополнительная динамическая нагрузка, возникающая при укладке бетононасосами, составляет  $800 \text{ кг/м}^2 = 0,08 \text{ кг/см}^2$ .

Коэффициенты запаса устойчивости:

- собственный вес опалубки - 1,1;

- вес бетонной смеси - 1,2;

от вибрирования и динамической нагрузки при укладке - 1,3;

Результирующее давление бетонной смеси на глубине 2 метра:

$$P = (2\,500 * 2 * 1,2 + 1,3 * (400 + 800)) = 7\,560 \text{ кг/м}^2$$

Таким образом искомая толщина стенки опалубки составит:

$$t = \frac{P_{max} * R}{R_t} = \frac{0,756 * 136}{153} = 0,672 \text{ см} = 7 \text{ мм.}$$

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

С учетом коэффициентов запаса по устойчивости:

- 1,15 при равномерном заполнении бетонной смеси;
- 1,39 при местном давлении бетонной смеси;

$$t = 7 * 1,15 * 1,39 = 11,2 \text{ мм.} = 12 \text{ мм.}$$

Результирующее давление бетонной смеси на глубине 4 метра:

$$P = (2\,500 * 6 * 1,2 + 1,3 * (400 + 800)) = 13\,560 \text{ кг/м}^2$$

Таким образом искомая толщина стенки опалубки составит:

$$t = \frac{P_{max} * R}{R_t} = \frac{1,356 * 136}{153} = 1,205 \text{ см} = 12,1 \text{ мм.}$$

С учетом коэффициентов запаса по устойчивости:

- 1,15 при равномерном заполнении бетонной смеси;
- 1,39 при местном давлении бетонной смеси;

$$t = 12,1 * 1,15 * 1,39 = 14,8 \text{ мм.} = 15 \text{ мм.}$$

Опалубка сталефибробетонной обоймы.

При возведении дымовых труб целесообразно уменьшение сроков возведения данного сооружения. Если рассматривать технологию возведения данной дымовой трубы, этого можно добиться, увеличив слой бетонирования. При этом уменьшится количество технологических перерывов, связанных с набором прочности бетоном. Максимальная высота опалубки железобетонной обоймы, определенная ранее, составляет два метра, при этом ресурс прочности материала используется не по максимуму, а с большим запасом. Определим толщину стенки и максимальную высоту стеклопластиковой опалубки сталефибробетонной обоймы.

Нагрузки на опалубку.

Максимальное давление на опалубку  $P_{max}$ , кг/м<sup>2</sup> от сталефибробетонной смеси на глубине  $H$  определяется по формуле:

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47



$$P_{max} = \gamma * (H_1 * a + \frac{H_2 - H_1}{b})$$

Где  $\gamma$  – объемная масса сталефибробетонной смеси, кг/ м3;

$H_1 = 0,5$  м. – средняя высота уплотняемого слоя СФБ смеси;

$H_2$  - высота уложенной смеси, м.;

$a$  и  $b$  – безразмерные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$a = 4,195 * k^4 - 23,36 * k^3 + 48,14 * k^2 - 43,56 * k + 15,48 = 0,8719$$

$$b = 61,4 * k^3 - 204 * k^2 + 226 * k - 78,7 = 4,77$$

$k$  - коэффициент реологической характеристики сталефибробетонной смеси.

Для смеси пластифицирующей добавкой определяется по формуле:

$$k = 0,0798 * \mu + 0,9189 = 0,0798 * 1,5 + 0,9189 = 1,051$$

Тогда максимальное боковое давление на опалубку на глубине 2 метра составит:

$$P_{max} = 2500 * \left( 0,5 * 0,8719 + \frac{2 - 0,5}{4,77} \right) = 1875 \text{ кг/м}^2$$

Расчетное давление с учетом нагрузок при вибрировании и укладке:

$$P = 1875 * 1,2 + 1,3 * (400 + 800) = 2250 + 1560 = 3810 \text{ кг/м}^2$$

Таким образом искомая толщина стенки опалубки составит:

$$t = \frac{P_{max} * R}{R_t} = \frac{0,381 * 136}{153} = 0,3386 \text{ см} = 3,4 \text{ мм.}$$

С учетом коэффициентов запаса по устойчивости:

- 1,15 при равномерном заполнении бетонной смеси;

- 1,39 при местном давлении бетонной смеси.

$$t = 3,4 * 1,15 * 1,39 = 5,5 \text{ мм.} = 6 \text{ мм.}$$

Максимальное боковое давление на опалубку на глубине 4 метра составит:

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

$$P_{max} = 2500 * \left( 0,5 * 0,8719 + \frac{4 - 0,5}{4,77} \right) = 2930 \text{ кг/м}^2$$

Расчетное давление с учетом нагрузок при вибрировании и укладке:

$$P = 2930 * 1,2 + 1,3 * (400 + 800) = 3516 + 1560 = 5076 \text{ кг/м}^2$$

Таким образом искомая толщина стенки опалубки составит:

$$t = \frac{P_{max} * R}{R_t} = \frac{0,508 * 136}{153} = 0.4515 \text{ см} = 4,5 \text{ мм.}$$

С учетом коэффициентов запаса по устойчивости:

- 1,15 при равномерном заполнении бетонной смеси;
- 1,39 при местном давлении бетонной смеси.

$$t = 4,5 * 1,15 * 1,39 = 7,21 \text{ мм.} = 8 \text{ мм.}$$

Максимальное боковое давление на опалубку на глубине 6 метров составит:

$$P_{max} = 2500 * \left( 0,5 * 0,8719 + \frac{6 - 0,5}{4,77} \right) = 4000 \text{ кг/м}^2$$

Расчетное давление с учетом нагрузок при вибрировании и укладке:

$$P = 4000 * 1,2 + 1,3 * (400 + 800) = 4790 + 1560 = 6360 \text{ кг/м}^2$$

Таким образом искомая толщина стенки опалубки составит:

$$t = \frac{P_{max} * R}{R_t} = \frac{0,636 * 136}{153} = 0.570 \text{ см} = 6 \text{ мм.}$$

С учетом коэффициентов запаса по устойчивости:

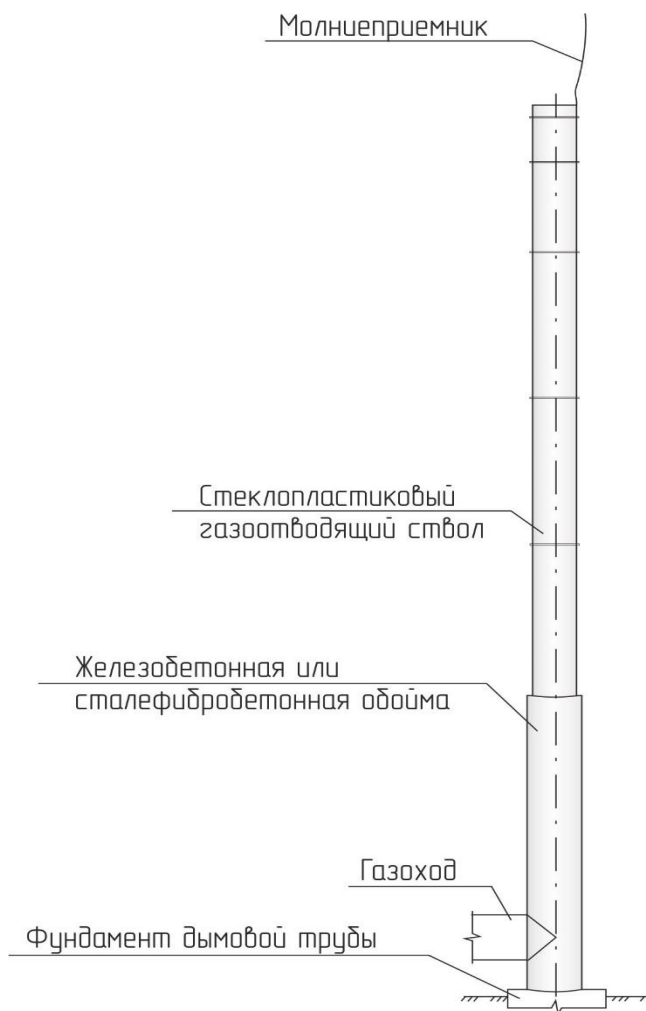
- 1,15 при равномерном заполнении бетонной смеси;
- 1,39 при местном давлении бетонной смеси.

$$t = 6 * 1,15 * 1,39 = 9,6 \text{ мм.} = 10 \text{ мм.}$$

#### 4. Конструктивно – технологические решения стеклопластиковых дымовых труб в несущей сталефибробетонной обойме с экономическим расчетом.

##### 4.1. Описание и определение объемов работ проектируемого сооружения.

Проектируемое сооружение – стеклопластиковая дымовая труба высотой 60 метров подкрепленная сталефибробетонной обоймой с наружным диаметром 2,72 метра. Ветровой район строительства – II. Несущими конструкциями надземной части дымовой трубы являются: многослойная стеклопластиковая оболочка по всей высоте дымовой трубы и обойма, расположенная в нижней части. Требуется составить ведомость объемов работ и определить стоимость строительства.



**Рисунок 23. Общий вид дымовой трубы.**

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

Подсчет объемов работ.

Подсчет объемов опалубочных работ.

Установка опалубки:

$$S_{\text{оп}} = 2 * \pi * (R_{\text{внутр}}^2 * H_{\text{обоймы}} + R_{\text{наруж}} * H_{\text{оп-ки}})$$

$$= 2 * 3,14 * (1,23 * 16 + 1,36 * 2,0) = 144,1 \text{ м}^2$$

Разборка и перестановка опалубки:

$$S_{\text{оп}} = 2 * \pi * R_{\text{наруж}} * H = 2 * 3,14 * 1,36 * 14 = 119,6 \text{ м}^2$$

Общий объем опалубочных работ составит  $144,1 + 119,6 = 263,7 \text{ м}^2$

Подсчет объемов бетонных работ:

$$V_{\text{сфбс}} = \pi * (R_{\text{наруж}}^2 - R_{\text{внутр}}^2) * H_{\text{обоймы}} = 3,14 * (1,36^2 - 1,23^2) * 16 \\ = 16,9 \text{ м}^3$$

Коэффициенты:

При работе на высоте нормы времени умножаются на коэффициент 1,15 ТЧ-1

Е 15 Раздел 2.

Таблица 9. Ведомость объемов работ.

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Объем работ
1	Устройство основания под ложементы	м <sup>3</sup>	25,7
2	Устройство ложементов	шт	8
3	Установка и выверка стеклопластиковых царг ствола на ложементах и поворотной части на цоколь	шт	5
4	Сборка болтовых соединений	100 шт	1,08
5	Проклейка и зачеканка швов	10 м	7
6	Установка молниеприемника	шт	1
7	Устройство строительных лесов, лестниц и площадок	м	81
8	Монтаж стеклопластикового ствола трубы	шт	1

9	Сборка раструбных соединений	10 м	3,9
10	Опалубочные работы	м <sup>2</sup>	263,7
11	Бетонирование обоймы	м <sup>3</sup>	16,9
12	Засыпка полости цоколя обоймы керамзитом	м <sup>3</sup>	16,6

Таблица 10. Калькуляция затрат труда и машинного времени.

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	ЕНиР	Затраты труда		Затраты машинного времени	
					Нвр, чел-час	Трудоемкость чел-час	на единицу, маш-час	Всего, маш-час
1	Устройство основания под ложементы	м <sup>3</sup>	25.7	Е2-1-57	0,14	3,60	-	-
2	Устройство ложементов	штг	8	Е25-14	0,9	7,20	0,24	1,92
3	Установка и выверка стеклопластиковых царг ствола на ложементах и поворотной части на цоколе	штг	5	Е4-3-178	3,44	17,20	0,86	4,30
4	Сборка болтовых соединений царг	100 штг	1.08	Е5-3-23	8,6	9,29	-	-
5	Проклейка и зачеканка швов	10 м	7	Е4-1-27	1,3	9,10	-	-
6	Установка молниеприемника	штг	1	Е15-38	3,6	3,60	-	-
7	Монтаж строительных лесов, лестниц и площадок	м	81	Е15-56	0,357	28,88	-	-
8	Монтаж стеклопластикового ствола трубы	штг	1	Е5-1-6	27,6	27,60	3,9	3,90
9	Сборка раструбных соединений	10 м	3.9	Е4-1-27	1,3	5,07	-	-
10	Установка опалубки	м <sup>2</sup>	144.1	Е15-55	0,36	51,37	0,19	27,38
11	Бетонирование обоймы	м <sup>3</sup>	16.9	Е15-58	0,12	1,94	0,04	0,68
12	Разборка и перестановка опалубки	м <sup>2</sup>	119.6	Е15-55	0,35	41,26	0,11	13,16
13	Демонтаж строительных лесов, лестниц и площадок	м	81	Е15-56	0,25	20,49	-	-
14	Засыпка полости цоколя обоймы	м <sup>3</sup>	16.6	Е2-1-57	0,07	1,16	-	-

Выбор оснастки.

Монтаж с помощью крана применяется для следующих конструкций:

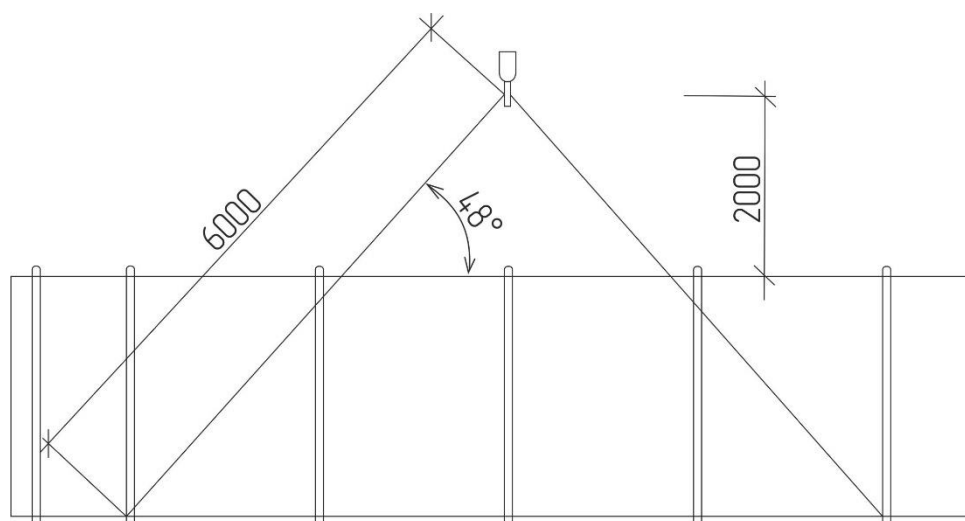
- Стеклопластиковые царги;
- Стеклопластиковый ствол дымовой трубы;
- Стеклопластиковая опалубка;

Строповка стеклопластиковых царг.

Масса одной царги составит:

$$\{3,14 * 1\,800 * [(1,157^2 - 1,152^2) + (1,23^2 - 1,207^2)] + 3,14 * 150 * (1,207^2 + 1,157^2)\} * 11,25 * 1,2 = (382,1 + 55,7) * 11,25 * 1,2 = 5\,910 \text{ кг}$$

Чтобы не повредит поверхность стеклопластиковой оболочки необходимо применять текстильные стропы.



**Рисунок 24. Строповка царг.**

Усилие в стропе:  $5,91 / (2 * \cos(48^0)) = 4,42 \text{ т.}$

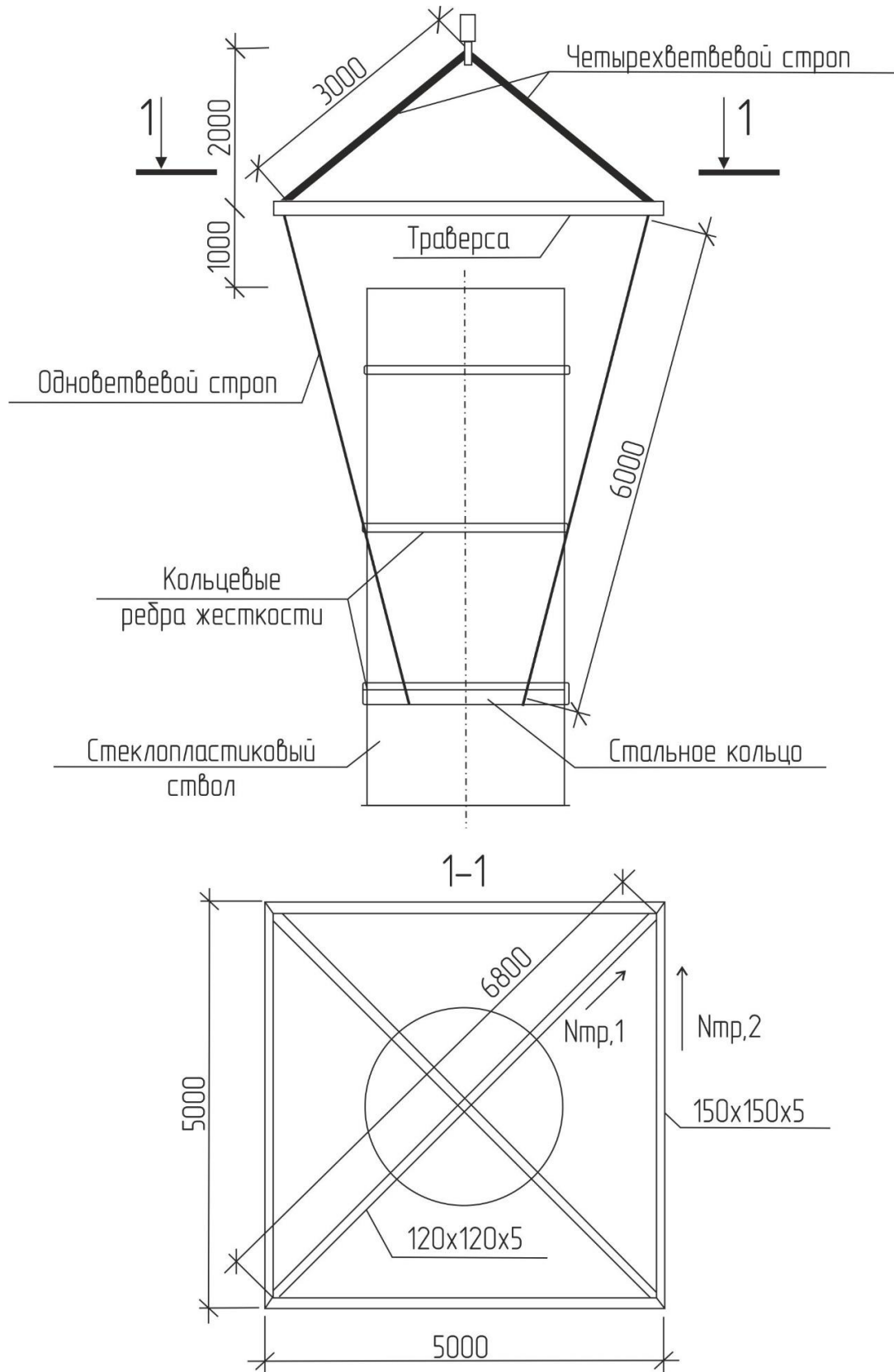
Принимаем два текстильных стропа длиной по 12 метров с грузоподъемностью 5т массой 15 кг.

Строповка стеклопластикового ствола.

Для строповки стеклопластикового ствола дымовой трубы необходима траверса. Стропы цепляются к стволу с помощью стального кольца (сечением

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

100x20 мм) за кольцевые ребра жесткости оболочки.



**Рисунок 25. Строповка стеклопластикового ствола дымовой трубы.**

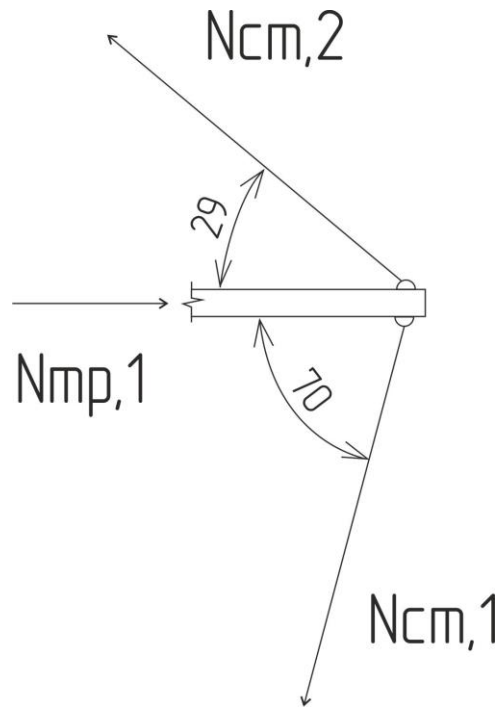
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Лист

54

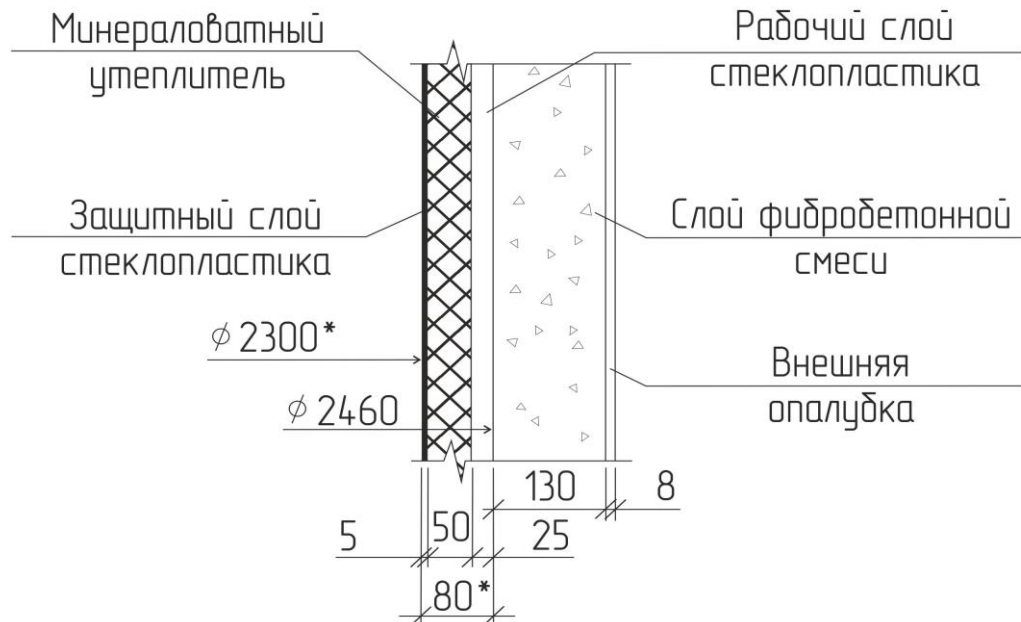
Определение усилий в стропях и расчет траверсы.



**Рисунок 26. Усилия в стропях и траверсе.**

Масса стеклопластикового ствола:

$$\{3,14 * 1\,800 * [(1,157^2 - 1,152^2) + (1,23^2 - 1,207^2)] + 3,14 * 150 * (1,207^2 - 1,157^2)\} * 43,75 * 1,2 = (382,1 + 55,7) * 43,75 * 1,2 = 23\,000 \text{ кг}$$



**Рисунок 27. Состав стенки монтируемой конструкции.**

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Лист

55



$$N_{\text{поп}} = \frac{0,25 * 23,0}{\cos(30^{\circ})} = 6,64 \text{ т}$$

$$N_{\text{ст},2} = \frac{6,64 * \cos(30^{\circ})}{\cos(61^{\circ})} = 11,9 \text{ т}$$

$$N_{\text{тр},1} = N_{\text{ст},1} * \cos(70^{\circ}) + N_{\text{ст},2} * \cos(29^{\circ}) = 2,3 + 10,4 = 12,7 \text{ т}$$

$$N_{\text{тр},2} = N_{\text{тр},1} * \cos(45^{\circ}) = 9,0 \text{ т}$$

Принимаем следующие канатные стропы: четырехветвевой длиной 3 м г/п 60 т (12,7 \* 4=50,8т) массой 80 кг и четыре одноветвевые стропа длиной 6 м г/п 7 т массой 50 кг каждый.

Расчет траверсы.

Сечение элементов траверсы коробчатое из стали 235 с расчетным сопротивлением 2 300 кг/см<sup>2</sup>.

1) На прочность.

$$\frac{N}{A * R_y * \gamma_c} \leq 1$$

Где N- усилие в элементе;

A - площадь поперечного сечения;

R<sub>y</sub> - расчетное сопротивление стали;

γ<sub>c</sub> = 1 - коэффициент условий работ.

2) На устойчивость.

$$\frac{N}{\varphi * A * R_y * \gamma_c} \leq 1$$

Где φ - коэффициент устойчивости. При λ = λ \* √(R<sub>y</sub>/E) ≥ 0,4

определяется по формуле

$$\varphi = 0,5 * (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 * \lambda^2}) / \lambda^2$$

При λ < 0,4 φ = 1

Предельная гибкость для данных элементов 120, следовательно, требуемый радиус инерции составляет для боковых элементов  $i = \frac{l_{ef}}{120} =$

500 / 120 = 4,17 см сечение 120x120x5 с  $i = 4,66$  см,  $A = 22,36$  см<sup>2</sup>;

Для поперечных элементов:

$i = \frac{l_{ef}}{120} = 680/120 = 5,67$  см сечение 150 x 150 x 5 с  $i = 5,88$  см,  $A = 28,36$  см<sup>2</sup>.

Боковой элемент по устойчивости:

$$\lambda = \frac{500}{4,66} * \sqrt{\frac{2300}{2100000}} = 3,55, \text{ следовательно, } \varphi = 0,572$$
$$\frac{9000}{0,572 * 22,36 * 2300} = 0,31 \leq 1$$

Условие выполняется.

Поперечный элемент по устойчивости:

$$\lambda = \frac{680}{5,88} * \sqrt{\frac{2300}{2100000}} = 3,83, \text{ следовательно, } \varphi = 0,530$$
$$\frac{12700}{0,530 * 28,36 * 2300} = 0,37 \leq 1$$

Условие выполняется.

Тогда масса оснастки для строповки стеклопластикового ствола составит:

$$m_{\text{трав}} + m_{4\text{-х стр}} + 4 * m_{1 \text{ стр}} + m_{\text{ст.кольца}}$$
$$= (2 * 6,8 * 22,26 + 4 * 5 * 17,55) + 80 + 4 * 50 + 2 * 3,14 * 1,24 * 0,1$$
$$* 0,02 * 7850 = (303 + 351) + 80 + 200 + 123 = 1057 \text{ кг.}$$

Строповка стеклопластиковой опалубки.

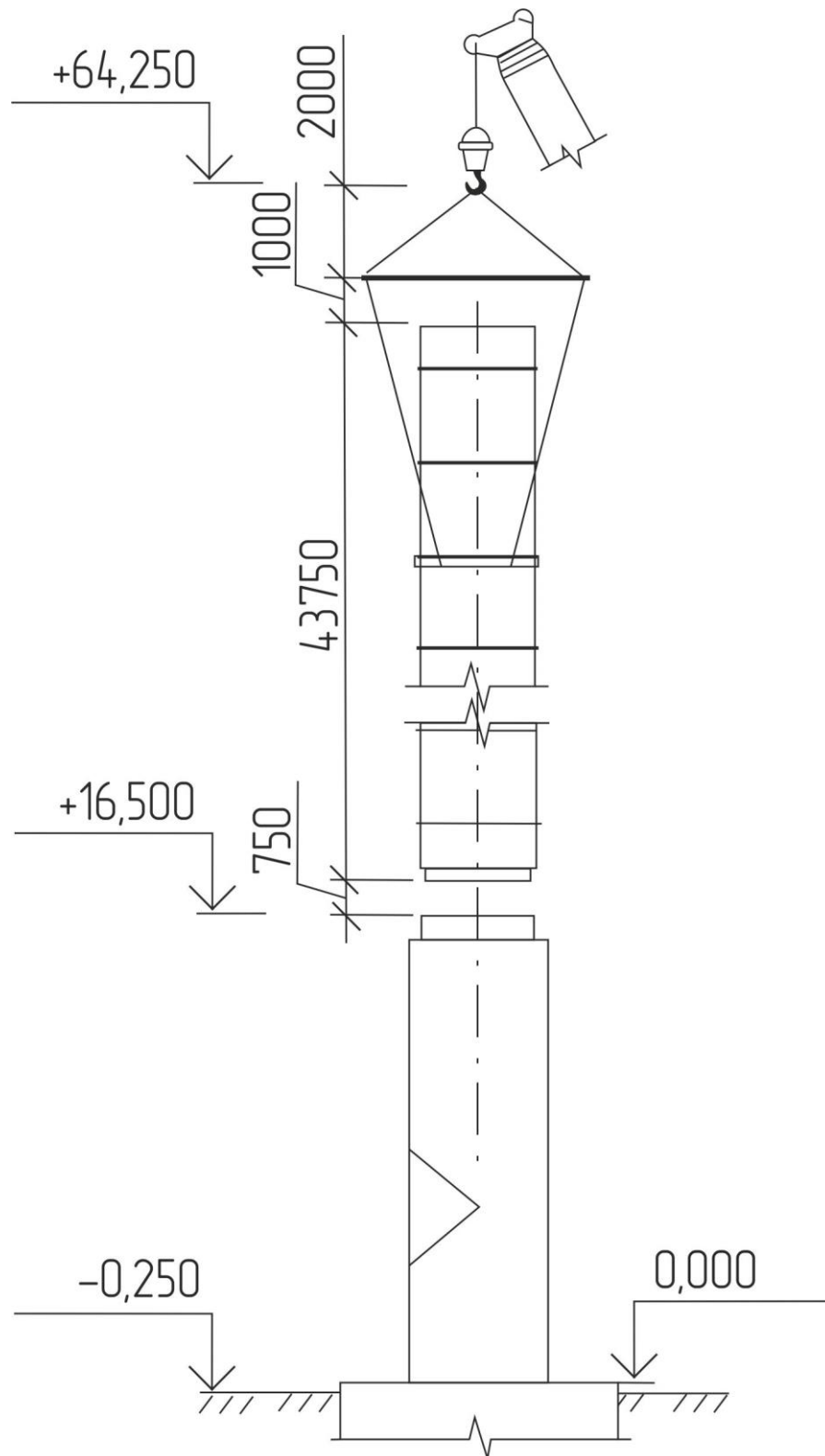
Грузозахватное приспособление для строповки внутренней стеклопластиковой опалубки представляет из себя стальное кольцо сечением 100x20 мм, которое цепляется за поперечные кольцевые ребра жесткости.

Наружная стеклопластиковая опалубка цепляется за монтажные отверстия.

Строповка осуществляется четырехветвевым стропом усилие в стропях:

$$R_{\text{стр}} = \frac{m_{\text{вн оп}}}{\cos(72^\circ)} = \frac{472}{0,309} = 1530 \text{ кг}$$

Принимаем четырехветвевой канатный строп грузоподъемность 2 т. и длиной 4 м., массой 25 кг.



**Рисунок 28. Возведение дымовой трубы.**

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

## 4.2 Организация и технология производства основных работ.

Выбор крана для монтажа стеклопластикового ствола дымовой трубы.

1) Максимальная грузоподъемность крана.

$$Q_k = Q_{\text{кон}} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{осн}}$$

Где  $Q_{\text{кон}} = 26\,400$  кг - масса монтируемой конструкции;

$Q_{\text{гр}}$  - масса грузозахватных приспособлений;

$Q_{\text{осн}}$  - масса оснастки.

Масса грузозахватных приспособление и оснастки составляет 1 207 кг.

Требуемая грузоподъемность крана на минимальном вылете составит  $Q_k = 23\,000 + 1\,057 = 24\,057$  кг.

Требуемая грузоподъемность крана на максимальном вылете составит  $\frac{23\,000}{2} + 1\,057 = 12\,557$  кг.

Максимальная высота подъема крюка:

$$H_k = H_{\Delta} + H_3 + H_э + H_{\text{стр}}$$

$H_{\Delta}$  - превышение отметки установки элемента над отметкой стоянки крана;

$H_3 = 0,75$  м - запас по высоте;

$H_э$  - высота элемента;

$H_{\text{стр}}$  - высота строповки.

Максимальная высота подъема крюка при минимальном вылете  $16,75 + 0,75 + 43,75 + 3 = 64,25$  м.

Высота подъема крюка при максимальном вылете равна высоте траверсы со стропами 8,5 м.

2) Вылет стрелы крана.

Минимальный составит 12 м, максимальный - 41,3 м.

Подбираем кран Liebherr LTM с характеристиками.

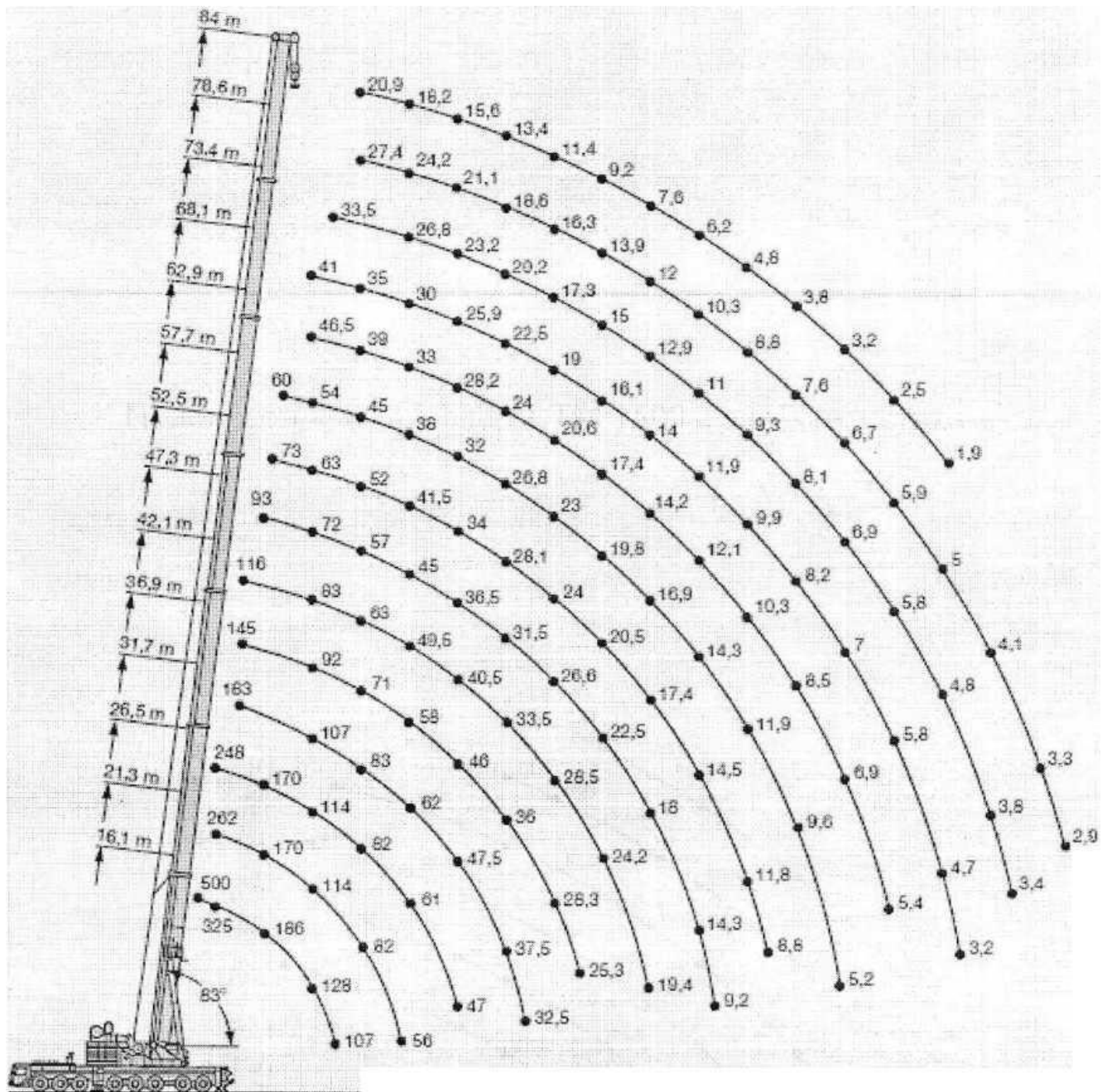


Рисунок 29. Грузовысотная характеристика крана Liebherr LTM

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Выбор крана для монтажа опалубки и сборки царг стеклопластикового ствола дымовой трубы.

1) Максимальная грузоподъемность крана.

При сборке царг  $Q_k = 5\,200 + 2 \cdot 15 = 5\,230$  кг.

При устройстве опалубки.

Масса внутренней опалубки:

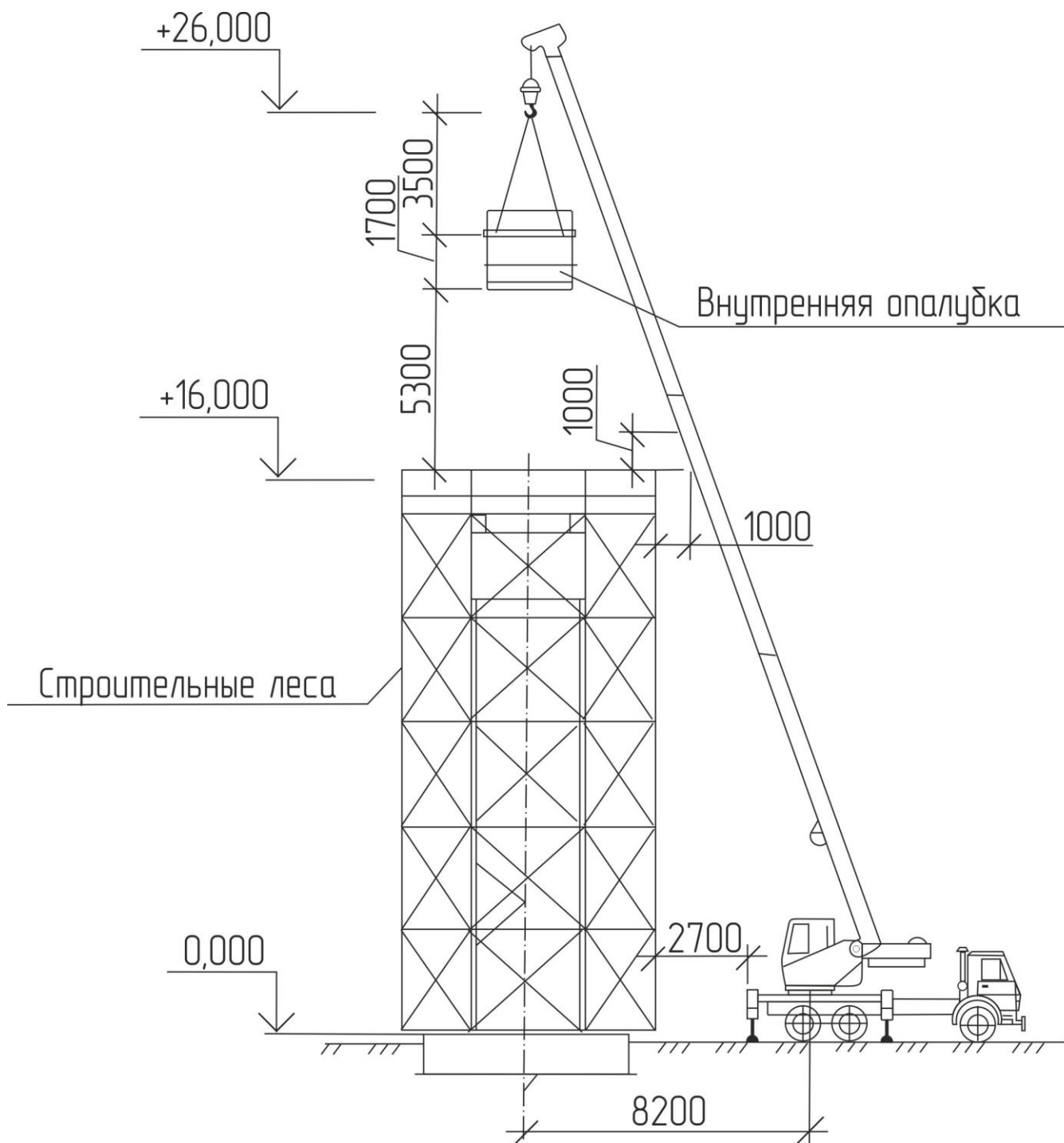
$\{3,14 * 1\,800 * [(1,155^2 - 1,150^2) + (1,23^2 - 1,221^2)] + 3,14 * 150 * (1,221^2 - 1,155^2)\} * 2,25 * 1,2 = (190 + 73,9) * 2,25 * 1,2 = 713$  кг  $Q_k = 713 + 25 + 123 = 861$  кг

2) Высота подъема крюка.

На минимальном вылете при сборке царг: 10,5 метров.

На максимальном вылете при монтаже опалубки: 26,5 метров.

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61



**Рисунок 30. Вылет и высота подъема крюка при сборке царг.**

3) Вылет стрелы

Минимальный при сборке царг 5 метров

Максимальный при монтаже опалубки 8,2 метра

Принимаем автомобильный кран КС-55713-5 (как вспомогательную единицу техники) с характеристиками:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Лист

62

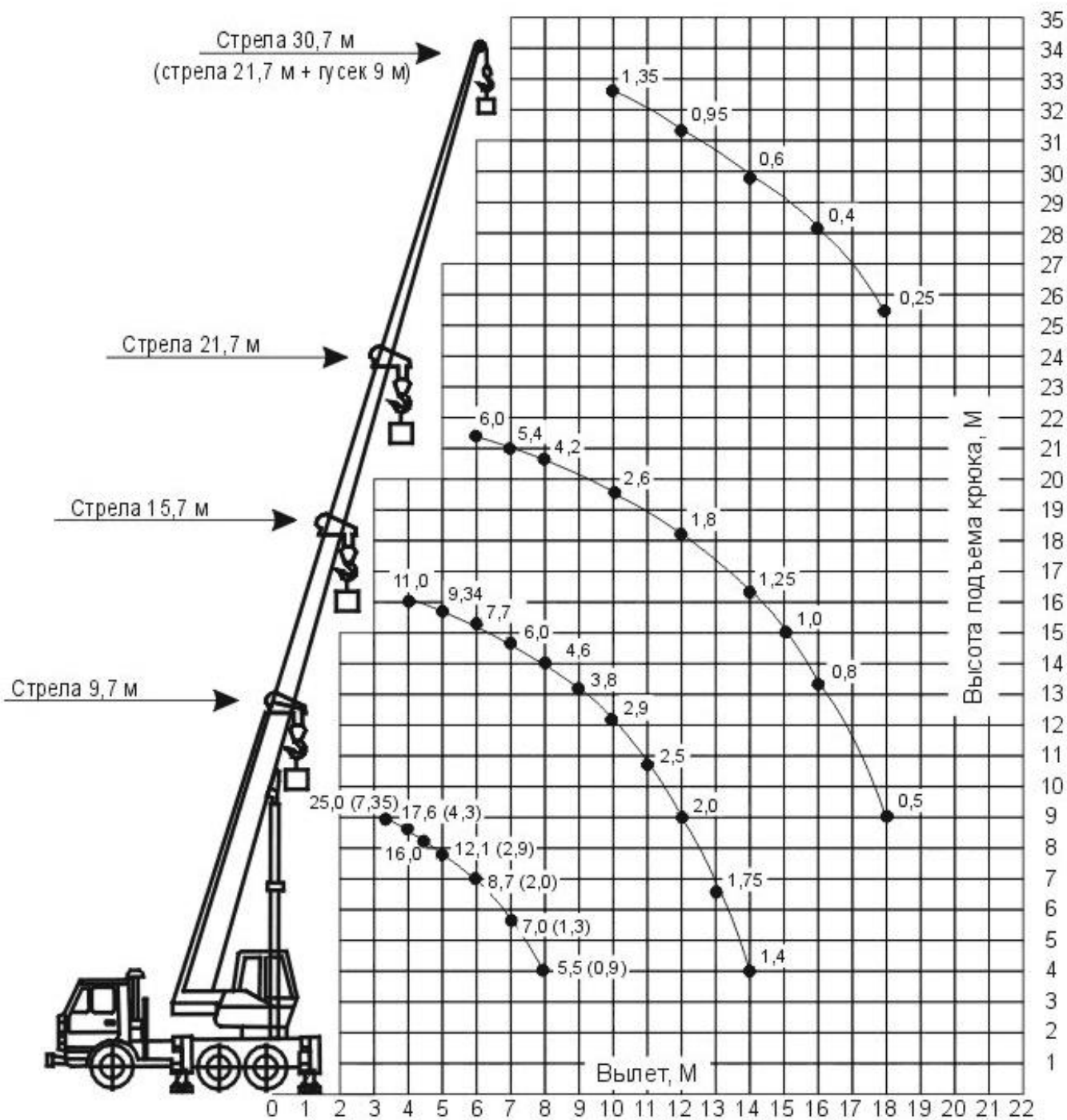


Рисунок 31. Грузовысотная характеристика крана КС – 55713-5.

**Выбор техники для уплотнения бетонных смесей**

Выработка звена бетонщиков в час составит:

$$V_{\text{ч}} = \frac{n}{H_{\text{вр}}} = \frac{3}{0,1} = 30 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



Для обеспечения бесперебойной работы звена бетонщиков необходимо два глубинных вибратора (и один запасной) с производительностью:

$$P_v = \frac{V_q}{H_q} = \frac{30}{2} = 15 \frac{m^3}{ч}$$

Принимаем глубинный вибратор VT0478 с характеристиками:

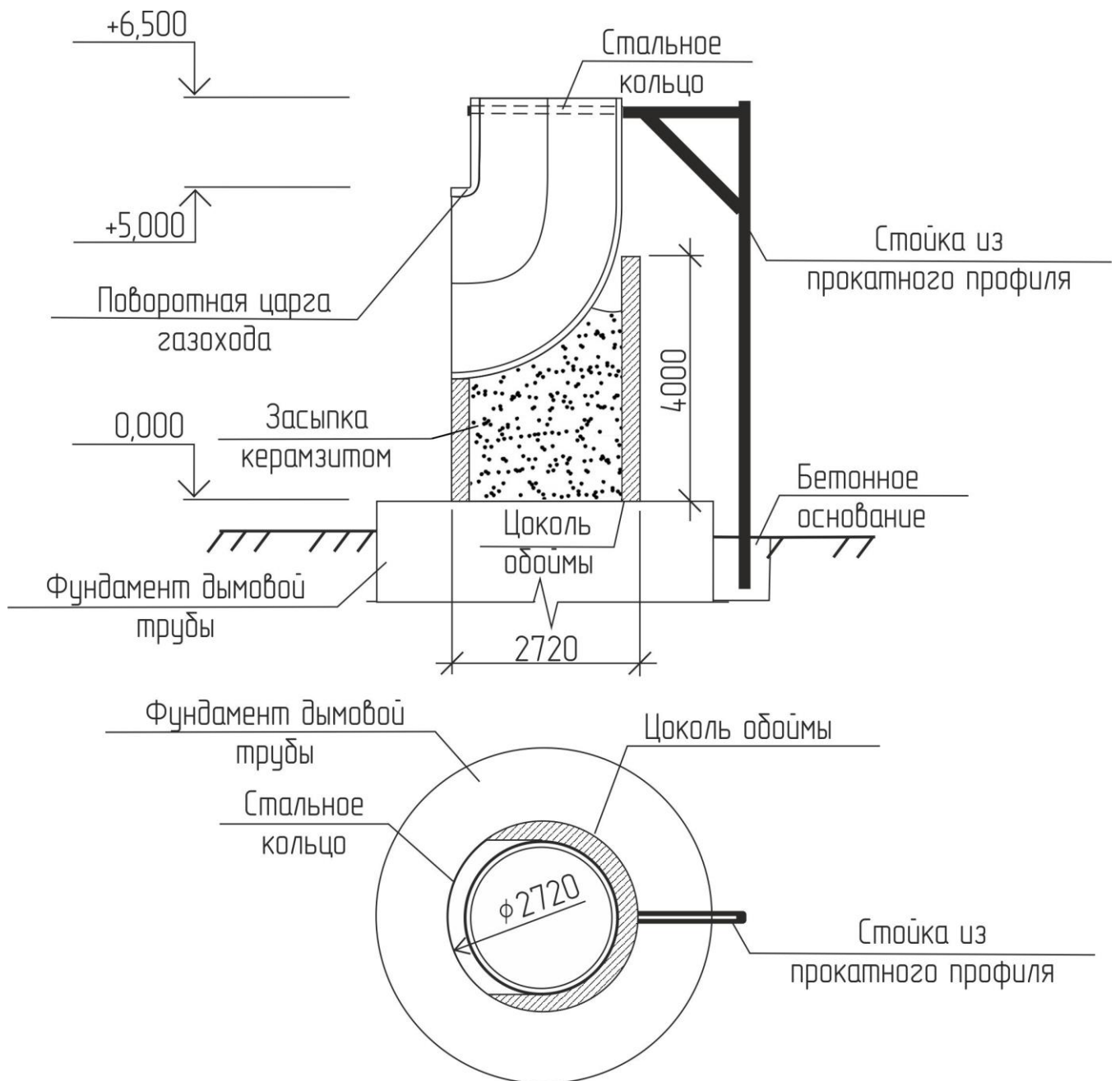
- диаметр вибронаконечника 60 мм;
- длина вибронаконечника 410 мм;
- производительность 15 - 20 м<sup>3</sup>/ч

Основными конструктивными элементами надземной части дымовой трубы являются стеклопластиковый ствол и монолитная обойма. Возведение начинается с бетонирования обоймы.

Бетонирование обоймы проходит в два этапа:

1) Сначала бетонируется цоколь, который затем засыпается керамзитом. После засыпки на цоколь монтируется и закрепляется временными опорами поворотная царга газохода.

2) Затем бетонирование обоймы возобновляется



**Рисунок 32. Устройство цоколя монолитной обоймы и поворотной царги газохода.**

Монолитная обойма дымовой трубы возводится методом поярусного бетонирования в подъемно-переставной стеклопластиковой опалубке. Этапы возведения обоймы:

- 1) Установка строительных лесов на нужную отметку.
- 2) Монтаж внутренней опалубки с заделкой раструбного соединения.
- 3) Монтаж (перестановка) наружной опалубки.
- 4) Бетонирование участка.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Лист

65

5) Технологический перерыв, связанный с набором прочности бетоном.

Далее цикл повторяется.

Высоту опалубки (от которой зависит высота слоев бетонирования) для железобетонной обоймы, исходя из технологических соображений, не следует принимать выше двух метров. Так как стенка обоймы тонкая (130 мм) и арматура затрудняет уплотнение бетонной смеси. При изготовлении монолитной обоймы из сталефибробетонной смеси таких трудностей не возникает, и высота слоев бетонирования определяется только нагрузкой на опалубку и техническими параметрами вибраторов, длина вала которых может достигать до шести метров.

Определение продолжительности технологического перерыва для набора прочности бетона.

В соответствии с СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» минимальная прочность бетона при распалубке вертикальных конструкций из условия сохранения формы составляет 0,2-0,3 МПа. Прочность бетона в зависимости от времени набора прочности при нормальных условиях определяется по формуле:

$$R_{\tau} = R * \frac{\lg(\tau)}{\lg 28}$$

Где  $R$  – проектная прочность бетона. Материал обоймы В15 с расчетной прочностью 8,5 МПа;

$\tau$  – время набора прочности бетоном, сут.;

Таким образом, через 1,5 суток прочность бетона В15 составит:

$$R_{1,5\text{сут}} = 8,5 * \frac{\lg(1,5)}{\lg 28} = 1,03 \text{ МПа} > 0,3 \text{ МПа}$$

### 4.3. Экономические результаты.

Затраты на возведение обоймы стеклопластиковой дымовой трубы:

- 2 227 005 рублей, при использовании обычной бетонной смеси;
- 1 805 975 рублей, при использовании сталефибробетонной смеси.

Таким образом, применяя второй вариант на практике мы получаем экономию в размере 421 030 рублей (при высоте обоймы 16 метров), а в относительных показателях – стоимость меньше на 19% по сравнению со сметной стоимостью первого варианта (см. локальный сметный расчет №1 и локальный сметный расчет №2).

Следовательно, можно сделать вывод о том, что применение сталефибробетона в качестве главного строительного материала обоймы экономически выгодно и целесообразно, за счет внешней опалубки меньшей толщины, рационально выстроенном временном графике работы основных машин и механизмов, а также слоев бетонирования по высоте.

В случае, если устойчивость конструкции ствола будет обеспечена другими способами (т.е. не за счет толщины стенки стеклопластика), либо увеличением до самого верха дымовой трубы сталефибробетонной обоймы (до определенной расчетной высоты), то соответственно это дает возможность использовать параметры стенки, как и у внешней опалубки. Что в конечном счете может дать дополнительную экономическую выгоду при возведении данного сооружения.

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		67

Стройка: Железобетонная обойма дымовой трубы  
**ЛОКАЛЬНАЯ СМЕТА № 1**  
 (Локальный сметный расчет)

Сметная стоимость: **2 227,005** тыс. руб.

Нормативная трудоемкость: **1,954** тыс. чел.ч.

Сметная заработная плата: **357,439** тыс. руб.

Составлена в базисных ценах на 01.01.2000 и текущих ценах на 01.2020 г. по НБ: "ТСНБ-2001 Челябинской области (эталон) с доп. 4 (изм. 4-6)".

№ поз.	Код норматива, Наименование, Единица измерения	Объем	Базисная стоимость за единицу		Базисная стоимость всего		Индекс / Цена		Текущая стоимость всего				
			Всего	Материал	З/д	Эксп.	В т.ч. з/д	Эксп.	Всего	Материал	Эксп.		
1	Е45-11-002-01 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Возведение монолитных железобетонных труб высотой до 90 м, 1 м3 бетона	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		17,38	5 496,36	362,28	4 350,64	95 526,79	6 296,37	75 614,10			634 041,00	85 369,27	477 033,31
				783,45	1 020,91		13 616,32	17 743,34				71 638,43	240 637,27
2	Е06-01-097-01 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Установка арматуры, 1 т арматуры Объем: 1*1,584	1,584	418,83	325,20	58,88	663,43	515,11	93,26			7 864,02	6 983,74	547,35
				34,76	7,35		55,06	11,64				332,93	157,84
3	С204-0073 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Каркасы арматурные класса А-1 диаметром 12 мм, т Объем: 1*1,584	1,584	8 400,00	8 400,00		13 305,60	13 305,60				76 752,67	76 752,67	
4	С401-0006 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Бетон тяжелый, класс В15 (М200), м3	17,38	612,00	612,00		10 636,56	10 636,56				51 715,41	51 715,41	
5	С507-9004 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Трубы стеклопластиковые, 10 м (дройс)	1,2	408 650,00	408 650,00		490 380,00	490 380,00				490 380,00	490 380,00	



			ПК РИК (вер.1.3.160712) тел./факс (495) 347-33-01										Форма 47
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6.	X02-2108 (Приказ № 97/пр от 14.03.2014) Краны на специальном шасси автомобильного типа Liebherr LTM, грузоподъемностью 100 т, Машина Объем: 12*8	96	918.72		918.72 18.63	88 197.12		88 197.12 1 788.48			318 679.68		318 679.68 24 290.88
7.	X02-1145 (Приказ № 97/пр от 14.03.2014) Краны на автомобильном ходу при работе на других видах строительства 40 т, Машина Объем: 12*8	96	486.40		486.40 30.34	46 694.40		46 694.40 2 912.64			46 694.40		46 694.40 2 912.64
<b>ИТОГО ПО СМЕТЕ</b>						745 403.90	6 811.48	210 598.88			1 626	92 353.01	842 819.34
<b>СТОИМОСТЬ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ -</b>						577 993.54	22 456.10				126.78	690 819.44	265 085.99
<b>МАТЕРИАЛОВ -</b>						255 023.90	6 811.48	210 598.88			1 626	92 353.01	842 819.34
<b>НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ - (% = 105 - по стр. 1; % = 120 - по стр. 2)</b>						37 613.54	22 456.10				126.78	690 819.44	265 085.99
<b>СМЕТНАЯ ПРИБЫЛЬ - (% = 75 - по стр. 1; % = 77 - по стр. 2)</b>						23 942.16					618 848.08		
<b>ВСЕГО, СТОИМОСТЬ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ -</b>						25 873.80					350 876.76		
<b>ВСЕГО ПО СМЕТЕ</b>						18 435.38					250 003.92		
<b>ВСЕГО НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ</b>						299 333.08					2 227		
<b>ВСЕГО СМЕТНАЯ ПРИБЫЛЬ</b>						789 713.08					005.00		
						25 873.80					2 227		
						18 435.38					005.00		
											350 876.76		
											250 003.92		

Составил:

(должность, подпись, Ф.И.О)

Проверил:

(должность, подпись, Ф.И.О)

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



ПК РИК (вер.1.3.160712) тел./факс (495) 347-33-01 форма 4

Стройка: Стадифибробетонная обойма для дымовой трубы  
**ЛОКАЛЬНАЯ СМЕТА № 2**  
 (Локальный сметный расчет)

Сметная стоимость: **1 805.975** тыс. руб.  
 Нормативная трудоемкость: **1.763** тыс. чел.ч.  
 Сметная заработная плата: **338.152** тыс. руб.

Составлена в базисных ценах на 01.01.2000 и текущих ценах на 01.2020 г. по НБ: "ТСНВ-2001 Челябинской области (эталон) с доп. 4 (Изм. 4-6)".

№ поз.	Код норматива, Наименование, Единица измерения	Объем	Базисная стоимость за единицу		Базисная стоимость всего		Индекс / Цена		Текущая стоимость всего				
			Всего	Осн. з/д	Эксп.	Всего	Осн. з/д	Эксп.	Материал	В т.ч. з/д	В т.ч. эксп.	Всего	Осн. з/д
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	E45-11-002-01 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Возведение монолитных железобетонных труб высотой до 90 м, I мз бетона	17.38	5 496.36	362.28	4 350.64	95 526.79	6 296.37	75 614.10			634 041.00	85 369.27	477 033.31
			783.45	1 020.91		13 616.32	17 743.34					71 638.43	240 637.27
2.	C401-0006 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Бетон тяжелый, класс B15 (M200), м3	17.38	612.00	612.00		10 636.56	10 636.56				51 715.41	51 715.41	
3.	C509-9184 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Фибра стальная 40x4 мм, I (драйс) Объем: 17/27	0.6296 2963	37 800.00	37 800.00		23 800.00	23 800.00				23 800.00	23 800.00	
4.	C507-9004 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Трубы стеклопластиковые, 10 м	1.2	272 433.00	272 433.00		326 920.00	326 920.00				326 920.00	326 920.00	
5.	X02-2108 (Приказ № 97/др от 14.03.2014) Краны на специальном шасси автомобильного типа Liebherr LTM, грузоподъемностью 100 т, маш.ч Объем: 6*8	48	918.72	918.72	918.72	44 098.56	44 098.56	44 098.56			159 339.84	159 339.84	12 145.44
			18.63			894.24							

		ПК Р/К (сер.1.3.160712) тел./факс (495) 347-33-01											Форма 4Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6.	X02-1145 (Приказ № 97/пр от 14.03.2014) Краны на автомобильном ходу при работе на других видах строительства 40 т, <del>машину</del> Объем: 6*8	48	486.40		486.40 30.34	23 347.20		23 347.20 1 456.32			23 347.20		23 347.20 1 456.32
.	<b>ИТОГО ПО СМЕТЕ</b>					<b>687 789.11</b>	<b>6 296.37</b>	<b>143 059.86</b>			<b>1 219</b>	<b>85 369.27</b>	<b>659 720.15</b>
	<b>СТОИМОСТЬ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ -</b>						<b>538 432.88</b>	<b>20 093.90</b>			<b>162.25</b>	<b>474 073.84</b>	<b>252 782.71</b>
	<b>МАТЕРИАЛОВ -</b>										<b>1 219</b>	<b>85 369.27</b>	<b>659 720.15</b>
	<b>НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ - (%=105 - по стр. 1)</b>										<b>402 435.41</b>		
	<b>СМЕТНАЯ ПРИБЫЛЬ - (%=75 - по стр. 1)</b>										<b>342 306.87</b>		
	<b>ВСЕГО, СТОИМОСТЬ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ -</b>					<b>216 880.59</b>					<b>244 504.91</b>		
	<b>ВСЕГО ПО СМЕТЕ</b>					<b>731 060.59</b>					<b>1 805</b>	<b>975.03</b>	
	<b>ВСЕГО НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ</b>					<b>25 241.70</b>					<b>1 805</b>	<b>975.03</b>	
	<b>ВСЕГО СМЕТНАЯ ПРИБЫЛЬ</b>					<b>18 029.78</b>					<b>342 306.87</b>	<b>244 504.91</b>	
Составил:												(должность, подпись, Ф.И.О)	
Проверил:												(должность, подпись, Ф.И.О)	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

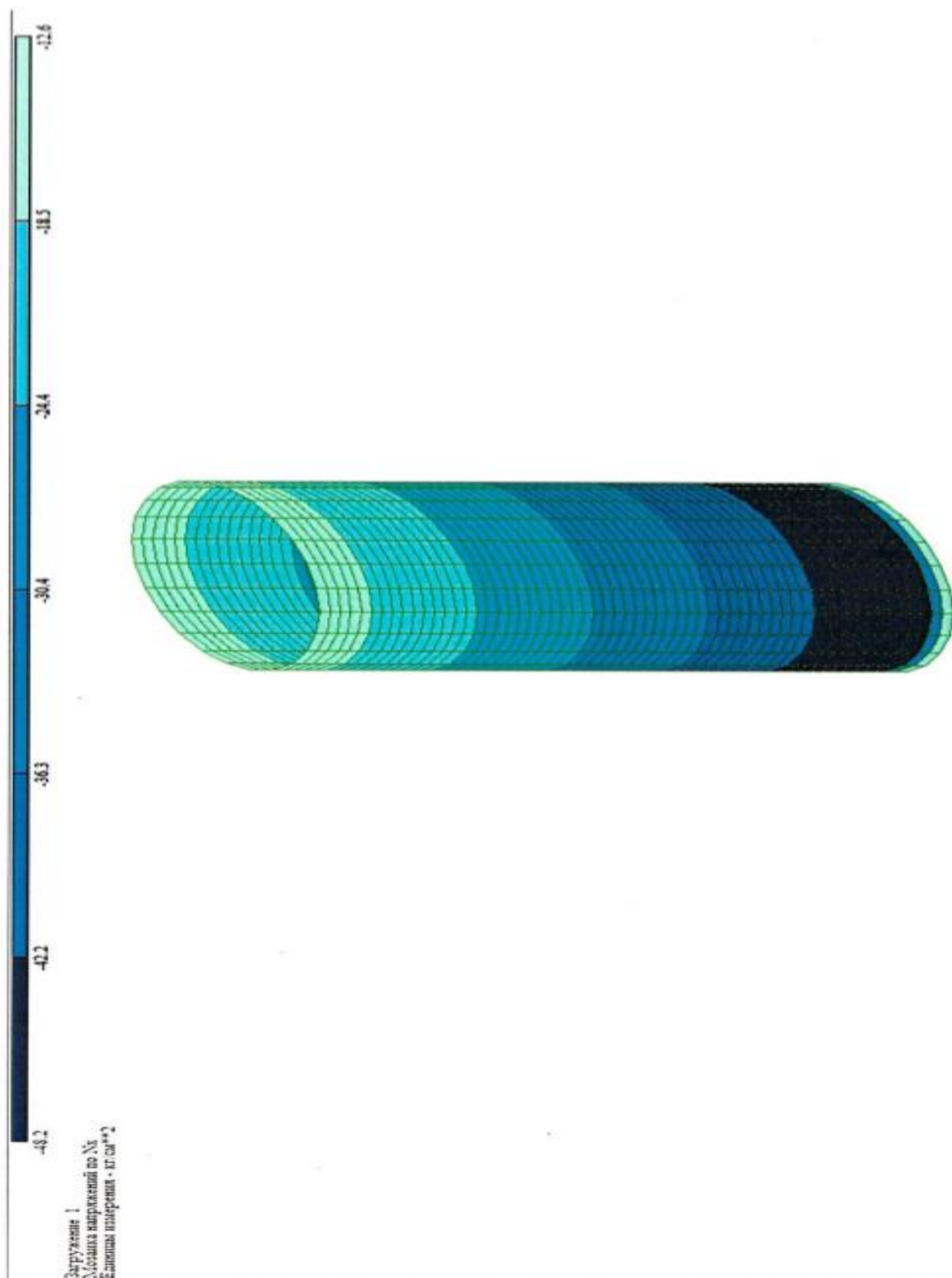
1. СП 43.13330. 2012 «Сооружения промышленных предприятий».
2. СП 20.13330. 2011 «Нагрузки и воздействия».
3. СП 27.13330. 2011 «Бетонные и железобетонные конструкции».
4. ВСН 286 – 72 «Указания по расчету железобетонных дымовых труб».
5. СП 70.13330. 2012 «Несущие и ограждающие конструкции».
6. СП 360.1325800. 2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования».
7. ГОСТ Р 52085-2003 «Опалубка. Общие технические условия».
8. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
9. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».
10. ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» (удобоукладываемость).
11. РТМ -17-02-2003. «Руководящие технические материалы по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций на фибре, резаной из листа».
12. ВСН-56-97 «Проектирование и основные положения технологии производства фибробетонных конструкций».
13. Асташкин В.М. «Дымовые трубы и элементы газоотводящих трактов из полимерных и композиционных материалов». Челябинск. Абрис – Принт. 2011г.
14. Бочарников А.С. «Тонкостенные конструкции несъемной опалубки из бетонов с дисперсной арматурой из стальных волокон» . Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. №5 2005г.
15. Волков И.В. «Применение фибробетона в отечественном строительстве». Текст. Строительные материалы №6 2004г.

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

16. Дужих Ф.П., Осоловский В.П. «Промышленные дымовые и вентиляционные трубы» - М.: Теплотехник, 2004г.
17. Евстифеев В.Г. «Железобетонные и каменные конструкции» -М.: изд. центр Академия, 2011г.
18. Ельшин А.М. «Дымовые трубы». –М.: Стройиздат, 2001г.
19. Рабинович Ф.Н. «Композиты на основе дисперсно – армированных бетонов» -М.: АСВ, 2004г.
20. Рыбасов В.П. «Приготовление и свойства сталефибробетона с добавками поверхностно – активных веществ» -М.: 2000г.
21. Hurd M.K. «Putting the Pressure on Formwork» / Concrete International. 2002. – P.49-55.
22. Трубы безнапорные сталефибробетонные диаметром 1000 и 1200 мм. Рабочие чертежи.

					АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		73

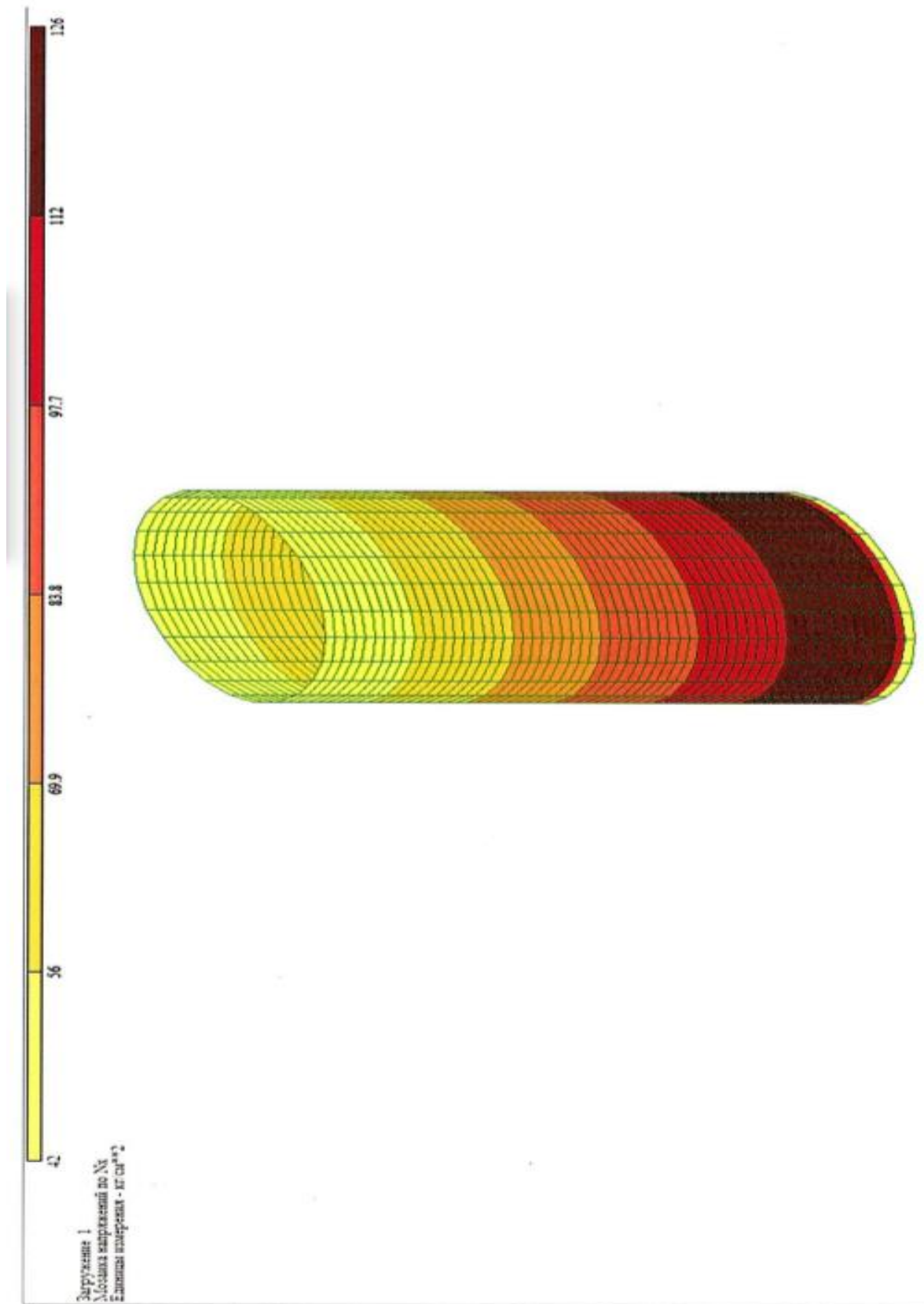
Приложение 1. Изополя окружных напряжений внутренней  
стеклопластиковой опалубки при равномерном давлении  
сталефибробетонной смеси



Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Приложение 2. Изополя окружных напряжений наружной  
стеклопластиковой опалубки при равномерном давлении  
сталефибробетонной смеси



Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АС-393-08.04.01-2020-126-ПЗ

Лист

75

**ФИБРОБЕТОННАЯ СМЕСЬ**

**Патент №2 420 472**

МПКС04В 28/00(2006.01)

В82В 1/00(2006.01)

С04В 111/20(2006.01)

Публикация 10.06.2011

<p>Структурная схема прототипа</p>	<p>Фибробетонная смесь, включающая цемент, наполнитель и упрочнитель - стальную проволоку, отличающаяся тем, что она содержит в качестве цемента портландцемент, в количестве 1,0-2,0% от объема смеси стальную проволоку «Миксарм» диаметром 1 мм и длиной 54 мм с анкерами на концах и дополнительно комплексную добавку в количестве 0,88-1,76 мас.% от цемента, состоящую из пластифицирующей добавки «Д-11» 0,5-1,0 мас.% от цемента и модифицирующей добавки, включающей технический углерод-сажу 0,375-0,75 мас.% от цемента и многослойные углеродные нанотрубки 0,0005-0,1 мас.% от цемента диаметром 8-40 нм и длиной 2-50 мкм.</p>
<p>Введенное изменение</p>	<p>Комплексную добавку, состоящую из пластифицирующей добавки «Д-11» и модифицирующей добавки, включающей технический углерод-сажу и многослойные углеродные нанотрубки диаметром 8-40 нм и длиной 2-50 мкм, в количестве 0,88-1,76% от массы цемента, предварительно растворяют с небольшим количеством воды затворения</p>



Собственная оценка решения по патенту	Применен дорогостоящий упрочнитель, высокая стоимость фибробетонной смеси.
---------------------------------------	--

**НЕСЪЕМНАЯ ОПАЛУБКА В СБОРНОМ И МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

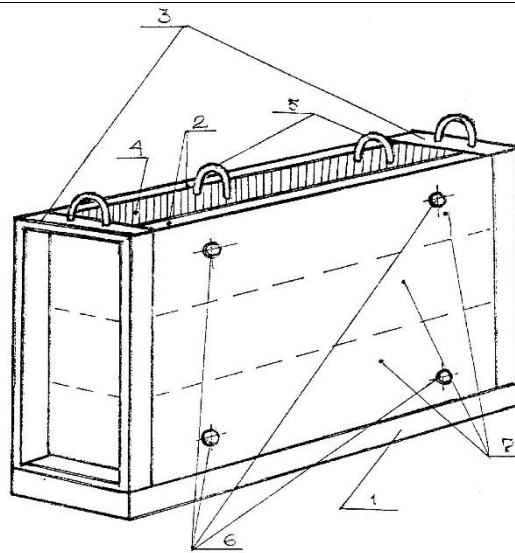
**Патент №47934**

МПКЕ04G 9/04(2000.01)

E04G 11/00(1990.01)

Публикация 10.09.2005

Структурная схема прототипа	Несъемная опалубка в сборном и монолитном строительстве, включающая поддон, арматурный каркас, при этом к арматурному каркасу наружной и внутренней сторон прикреплены панели, выполненные из листового материала, таких как фанера, древесина, волокнистые или цементно-стружечные плиты с помощью креплений, установленных на каркасе, создавая пространство для - заполнения ячеистобетонной смесью
Введенное изменение	<b>Вариант 1</b>



Фиг. 1

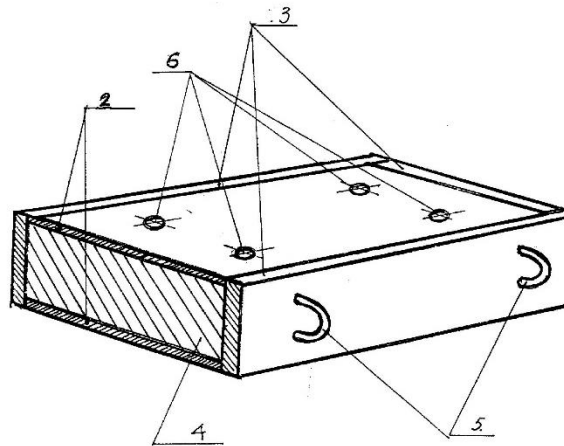
Опалубка для вертикального бетонирования включает в себя поддон 1, панели 2 из цементно-стружечной плиты (ЦСП), торцевые щиты 3, межопалубочное пространство 4, арматурный каркас, в верхней части которого установлены монтажные петли 5, болты для крепления 6, залитый бетон 7.

Формование в вертикальном положении начинается с монтажа на поддоне 1 панелей 2 из ЦСП и торцевых щитов 3. В образованное межопалубочное пространство 4 устанавливается арматурный каркас с петлями 5, к которому болтами 6 крепятся ЦСП. В собранную опалубку послойно заливается ячеистобетонная смесь 7. После набора необходимой прочности осуществляется демонтаж торцевых щитов 3, а затем с поддона 1 снимается готовая панель.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



## Вариант 2



Фиг. 2

Опалубка для горизонтального бетонирования включает в себя панели 2 из ЦСП, арматурный каркас с монтажными петлями 5, болты 6 для крепления ЦСП с арматурным каркасом, образованное пространство 4, торцевую, бортоснастку из четырех щитов 3.

Формование в горизонтальном положении начинается с крепления к нижней панели из цементно-стружечной плиты 2 арматурного каркаса с монтажными петлями 5 болтами 6. Потом монтируется по контуру бортоснастка из четырех щитов 3. В образованное пространство 4 на всю высоту бортоснастки заливается ячеистобетонная смесь и сразу же крепится верхняя панель из ЦСП (цементно-стружечная плита) болтами 6 к арматурному каркасу. После набора бетоном необходимой прочности, панель может быть использована в качестве элемента ограждающей

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

	конструкции.
Результат изменения. Разрешенное противоречие	Появляется возможность изготовления панелей в условиях строительной площадки;отпадает необходимость ускоренного твердения; сокращается технологический цикл изготовления стеновой панели до полной готовности (с декоративной отделкой наружной готовности); сокращение трудовых затрат на подготовку и распалубку форм;сокращение энергетических затрат (электроэнергии, пара);отпадает необходимость в использовании приводных устройств для перемещения форм.
Использованный прием решения проблемы	Замена материалов каркаса и ограждающих конструкций.
Строительные нормы, связанные с решением по патенту	ГОСТ Р 52085—2003. Опалубка. Общие технические условия.
Собственная оценка решения по патенту	Данное решение сокращает материальные, энергетические и трудовые затраты при изготовлении ограждающих конструкций с обеспечением готовыми изделиям заданных физико-технических свойств и расширением вариантов их декоративной отделки

### Техническое задание на разработку темы.

*Наименование проблемы:* Применение опалубки при строительстве конструкций из фибробетона

*Где возникла проблема:* в строительстве при возведении монолитных конструкций и высотных сооружений

*Что именно происходит, в какое время:* при устройстве фибробетонной смеси не произведен расчет оптимальной опалубки, применяется обычная.

*Последствия:* дополнительные издержки на опалубку.

*Какие есть способы решения и их недостатки:* использование «облегченной опалубки»

*Конечная цель решения проблемы:* провести расчеты с целью оптимизации конструктива опалубки и издержек на нее

*Ограничения, доступные ресурсы:* к ограничениям можно отнести трудоемкость поставленной задачи. К доступным ресурсам можно отнести относительную доступность информационных ресурсов

*Кто принимает решение по проблеме:* Решение о применении той или иной опалубки принимает проектировщик на этапе разработки проектной документации.

*Допустимые издержки на реализацию решения:* Длительность осуществления поставленных задач

*Убыток, если решение не будет найдено:* материальные, энергетические и трудовые затраты при изготовлении ограждающих конструкций.