



ОАО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕОВАТЕЛЬСКИЙ, ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
имени А.А. ГВОЗДЕВА
НИИЖБ им. А.А. ГВОЗДЕВА



Утверждаю:
Генеральный директор
ООО «Гален»



В.И. Николаев
В.И. Николаев

Утверждаю:
Директор НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева, д.т.н.



А.Н. Давидюк
А.Н. Давидюк

Методическое пособие

Применение неметаллической композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры ROCKVAR производства ООО «Гален» в строительстве

Ответственный исполнитель: к.т.н., доцент

Тихонов
Тихонов И.Н.

Исполнители:

Начальник отдела ЦПЭ НИИЖБ, к.т.н.

Мешков
Мешков В.З.

Начальник отдела ЦПЭ НИИЖБ

Никитина
Никитина В.Я.

Гл. специалист

Титов
Титов В.А.

Гл. специалист

Николаева
Николаева Т.Н.

Москва, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Разрушение бетонных конструкций из-за коррозии стальной арматуры – одна из основных задач, с которой столкнулась строительная отрасль.

Тысячи бетонных конструкций в России и во всем мире (мосты, автомобильные парковки, морские причалы и пр.) подверглись разрушению из-за коррозии стальной арматуры. Процесс коррозии арматуры начинается с образования трещин в бетоне, возникающих из-за механических и климатических воздействий. Через трещины проникает вода, соль и под действием образующейся на арматуре ржавчины, начинается так называемый процесс «отстреливания бетона». Это приводит к дальнейшему оголению арматуры и разрушению строительного объекта.



Разрушение конструкций мостового перехода с металлической арматурой, пораженной коррозией (Канада)



Разрушение перекрытий парковок с металлической арматурой, подверженной коррозии (Канада)



Перекрытия парковок с металлической арматурой, подверженной коррозии (Россия, Москва)

Коррозионно-устойчивые композитные арматурные стержни могут обеспечить защиту мостов и объектов гражданской инфраструктуры от разрушающего воздействия коррозии. Высококачественные композитные стержни являются решением проблемы армирования и альтернативой традиционной стали, которая используется в бетонных конструкциях в агрессивной среде.

Композиты – это материалы будущего, способные усовершенствовать множество сфер деятельности, сделать мир лучше.

Долговечность – основное преимущество стекло- и базальтопластиковых стержней по сравнению с традиционной стальной арматурой.

В ходе многих исследований на долговечность композитных стержней погружением в щелочной раствор при высоких температурах срок их эксплуатации определился равным около 75 лет.

Базальтопластик – современный композитный материал на основе базальтовых волокон и органического связующего. Базальт – горная порода, составляющая 30% земной коры, его запасы неисчерпаемы. Сегодня базальтопластик успешно конкурирует с изделиями из металла, превосходя их по коррозионной, щёлоче-, кислотостойкости и ряду других характеристик.

Основные преимущества базальтопластика:

1. Высокая прочность базальтовых волокон, которая приближается к прочности углеродного волокна. Базальтопластиковые изделия в 3 раза прочнее изделий из стали и при этом в 4 раза их легче. **Низкая плотность (легкость)** материала, в свою очередь, позволяет возводить более высокие конструкции и экономить на транспортировке.

2. Долговечность, коррозионная, щёлоче- и кислотостойкость, стабильность состояния – вот следующие чрезвычайно важные свойства базальтопластика. Изделия из этого материала служат много лет без потери качеств.

3. Термо- и огнестойкость. Базальтопластик выдерживает длительное воздействие температуры до 700°C и кратковременное воздействие до 1000°C (стекловолокно теряет прочность при температуре выше 300°C). Фактический предел огнестойкости составляет не менее 151 мин.

4. Низкая теплопроводность (в 100 раз меньше, чем у металла). Применение базальтопластиковой арматуры позволяет повысить теплоэффективность стен здания до 35%.

В данной работе представлены материалы по обоснованию эффективности продукции производства Компании «Гален», необходимости увеличения объемов производства и расширения номенклатуры композитных материалов.

1. Композитная арматура ROCKBAR производства Компании «Гален»

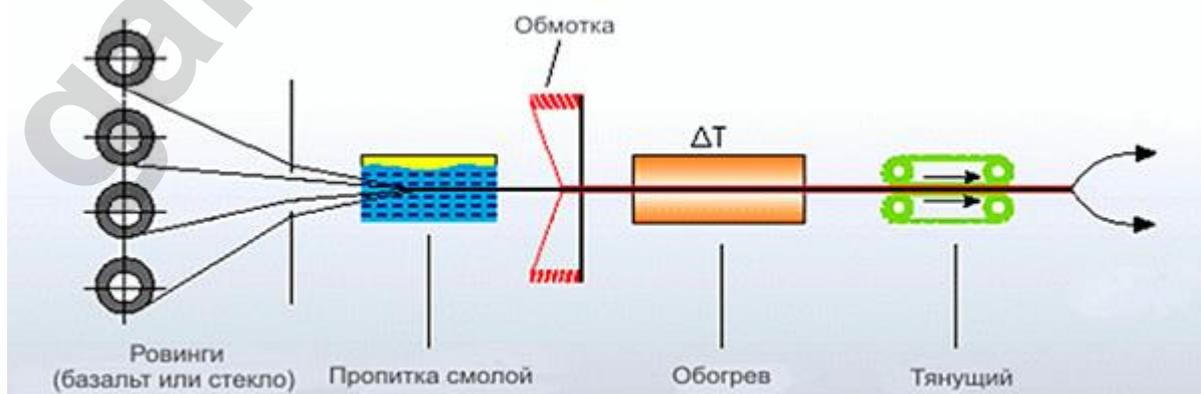
1.1. Производство

Компания «Гален» сегодня – это продукция для миллионов квадратных метров построенного жилья, экономия миллиардов кубических метров газа, сотни наград в России и за рубежом, десятки патентов и ноу-хау, более двадцати пяти процентов продукции на экспорт и два завода.

Все это достигнуто всего за четырнадцать лет работы. «Гален» был основан в 2001 году инженером-изобретателем – Валерием Николаевичем Николаевым. Выпустив более 14 лет назад на мировой рынок продукт собственной разработки – базальтопластиковые гибкие связи, компания повлияла на изменение стандартов строительной отрасли не только в России, но и за рубежом.

Компания «Гален» – отечественный разработчик и производитель современных композитных материалов из базальтопластика и стеклопластика для промышленно-гражданского, дорожного строительства, электроэнергетики и горнодобывающей промышленности. Являясь пионером внедрения базальтопластиковых технологий в России, Западной и Восточной Европе, сегодня «Гален» – лидер отечественного рынка по базальтопластиковым строительным материалам.

С 2009 года производство продукции компании «Гален» осуществляется с применением нанотехнологий. Добавление в полимер наночастиц позволяет создавать композитный материал в несколько раз более прочный и долговечный с улучшенными физико-механическими свойствами.



Общая схема производства композитной арматуры ROCKBAR



Общий вид цеха по производству композитной продукции ООО «Гален»



Волокно



Смола



Стеклопластиковая арматура

Для изготовления стержней используются следующие основные материалы:

- ровинги или нити из термостойких (с температурой начала размягчения не менее 120 ° С) волокнистых материалов (стекла, базальта, углерода, арамида и др.);
- связующее на основе полимерных смол (эпоксидной, эпоксифенольной, полиэфирной и др.) или термопластичных полимеров;
- наполнители и добавки к полимерному связующему для регулирования свойств и формирования рельефа боковой поверхности стержня.

1.2. Продукция компании «Гален»

Композитная арматура ROCKBAR представляет собой базальтопластиковые или стеклопластиковые стержни диаметром от 2,5 до 32 мм длиной до 12 м с различным финишным покрытием. Для арматуры диаметром 2,5-10 мм возможна форма выпуска в виде бухт длиной до 100 м.

Использование композитной арматуры в бетонных конструкциях регламентировано СНиП 52-01-2003 "Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения" (п. 5.3 "Требования к арматуре") и ГОСТ 31938-2012.

Коррозия стальной арматуры в бетоне приводит к повреждениям и разрушению железобетонных строительных конструкций, что влияет на эксплуатацию объектов.

Процесс коррозии арматуры начинается с образования трещин в бетоне, возникающих из-за механических и климатических воздействий. Через трещины проникает вода, соль и под действием покрывающейся на арматуре ржавчины, начинается так называемый процесс "отстреливания бетона". Это приводит к дальнейшему оголению арматуры и разрушению строительного объекта. Благодаря тому, что композитная арматура "ROCKBAR" обладает



Композитная арматура ROCKBAR в прутках



Композитная арматура ROCKBAR в бухтах

высокой коррозионной стойкостью и является диэлектриком (не возникают блуждающие токи), то при её использовании решаются проблемы "отстреливания бетона" и электрохимической коррозии.



Пример «отстреливания бетона» вследствие коррозии стальной арматуры в боках моста

Таблица 1

Сравнение композитной арматуры с аналогами

Технические характеристики	Композитная арматура ROCKBAR из базальтопластика	Композитная арматура ROCKBAR из стеклопластика	Арматура из углеродистой стали AV	Арматура из нержавеющей стали
1. Прочность на растяжение, МПа	1300	1000	550	550
2. Теплопроводность, Вт/м ⁰ С	< 0,46	< 0,56	56	17
3. Плотность, г/см ³	2,0	2,0	7,85	7,85
4. Модуль упругости, ГПа	50-55	45	200	200
5. Электропроводность	не проводит электричество	не проводит электричество	проводит электричество	проводит электричество
6. Магнитная характеристика	не намагничивается	не намагничивается	намагничивается	намагничивается
7. Огнестойкость, ⁰ С	до 300	до 150	до 600	до 600
8. Показатели надежности (коррозионная и химическая устойчивость)	очень высокая	высокая	низкая	высокая

Композитная арматура ROCKBAR экологична и пожаробезопасна, она прошла коррозионные и физико-механические испытания в различных университетах мира и имеет все необходимые документы и сертификаты.

Преимущества:

1. Высокая коррозионная стойкость в кислых, щелочных и других агрессивных средах;
2. Высокая прочность;
3. Низкая плотность;
4. Низкая теплопроводность;
5. Долговечность;
6. Низкие эксплуатационные расходы;
7. Абсолютная экологичность и пожаробезопасность.

Композитная сетка ROCKMESH изготавливается из стеклопластиковых или базальтопластиковых арматурных стержней ROCKBAR, располагающихся в двух взаимно перпендикулярных направлениях с фиксацией в узле контакта.

Диаметр стержней и размеры сетки зависят от особенностей конкретного проекта и согласуются с заказчиками.

Установлена высокая устойчивость сетки в горизонтальном и вертикальном положении, возможность сохранения формы после деформирования в процессе перевозки и монтажа, а также возможность изготовления сетки с элементами в узлах стыковки стержней в виде коротышей из смолы, перпендикулярных к плоскости сетки, позволяющих фиксирование защитного слоя бетона и местоположение сетки в конструкции.

Основная область применения композитной сетки – армирование кирпичных и каменных стен зданий, бетонных плит и полов.

1.3. Опыт внедрения арматурной продукции из неметаллических композитных материалов производства ООО «Гален»

Армирование мостового настила Томпсонского моста (Северная Ирландия, 2010 г.):



Армирование участка автодороги «Европа – Западный Китай» (Татарстан, 2010 г.):



Реконструкция фонтанов в парке Подзамче (Польша, 2010 г.):



Армирование ленточного фундамента в военном городке Крымск (Краснодарский край, 2011 г.):



Армирование светомузыкального фонтана в городе Новороссийске (Краснодарский край, 2012 г.):



Армирование дороги в коттеджном поселке (Калужская область, 2012 г.):



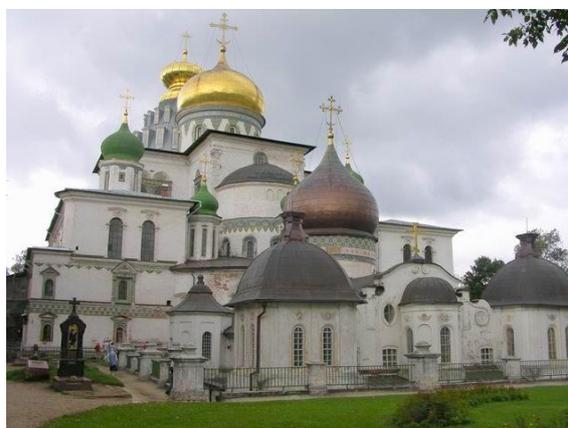
Берегоукрепление (Краснодарский край, 2012 г.):



Армирование свайно-ростверкового фундамента (Московская область, 2012 г.):



Реконструкция памятников архитектуры: Концертного зала им. П.И. Чайковского (Москва, 2012 г.) и Ново-Иерусалимского монастыря (Московская область, 2012 г.).



2. Зарубежный опыт применения композитных материалов

2.1. Области применения

2.1.1. Бетонные настилы мостов: мост Морристаун, Морристаун, Вермонт, США, 2002 г.

Плита настила моста непрерывна и лежит на четырех фермах из предварительно напряженного бетона с углом скоса $\theta = 26.7^\circ$, толщина плиты 200 мм.

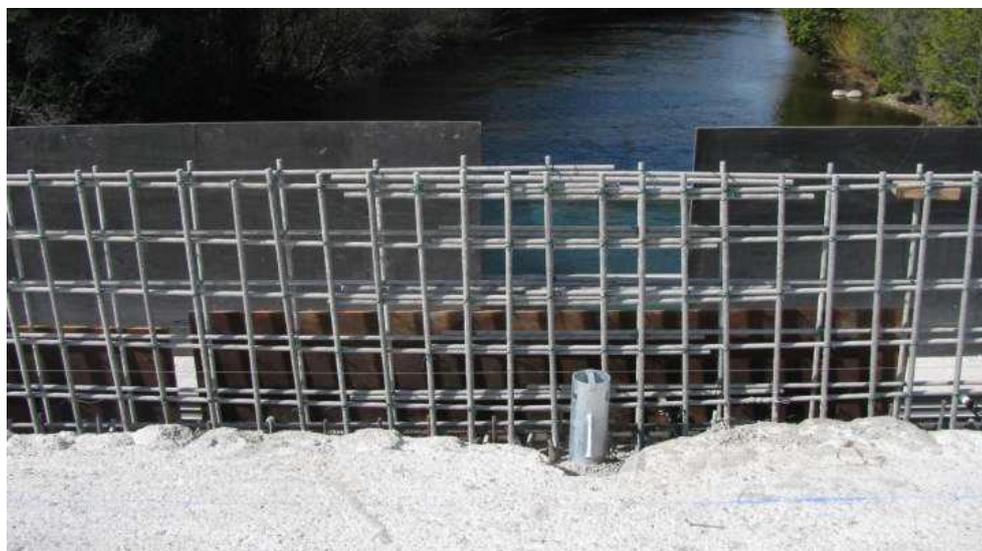


Настилы мостов, армированные композитными стержнями, показали хорошее поведение в очень агрессивной среде (антиобледенители, обледенение/оттаивание, и высокие транспортные нагрузки). При данных условиях дополнительное/прогрессирующее растрескивание не обнаружено.

2.1.2. Сборные настилы мостов: мост ХокЛейк-Сандербэй, Онтарио, лето 2008, армирование сборных панелей моста стекловолоконным композитом.



2.1.3. Парапеты мостов: реставрация моста Уотсон, округ Веллингтон, Онтарио, весна 2010 г.



2.1.4. Морские причалы и волнорезы: пирс в фарватере Ст.-Лоренс, Квебек.



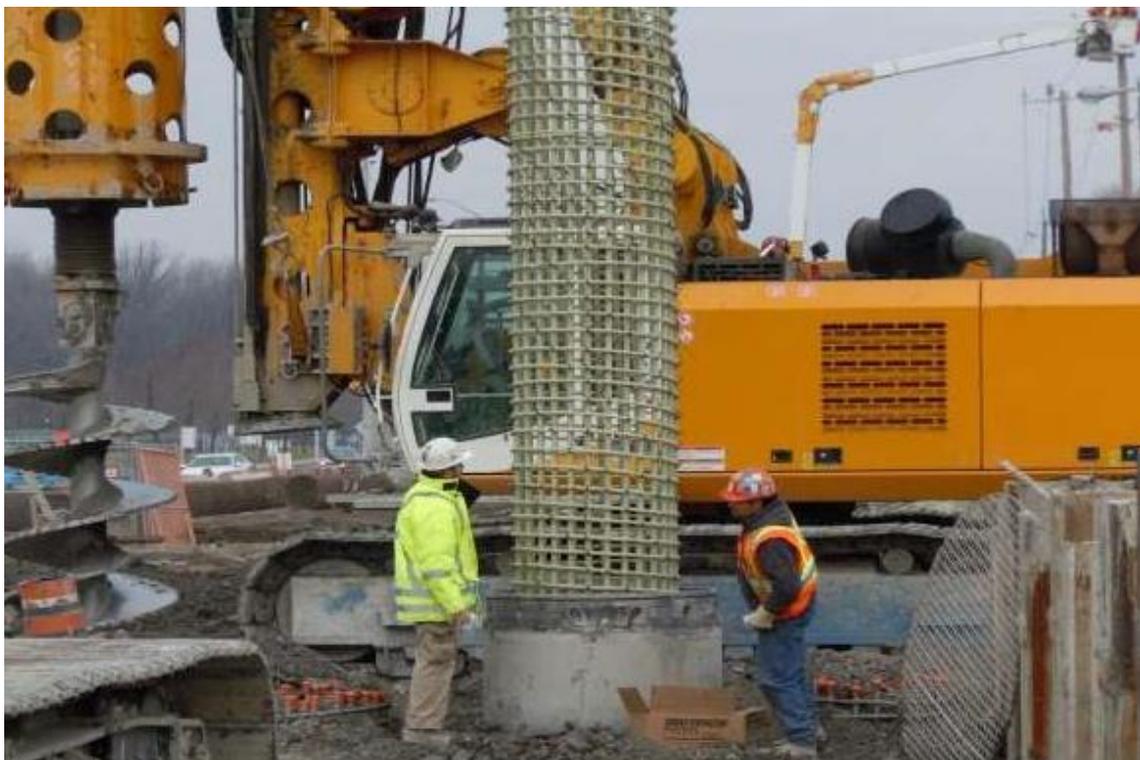
2.1.5. Сборные бетонные волнорезы: армирование стеклопластиковой арматурой, Австралия.



2.1.6. Тоннели



2.1.7. Бутонабивные сваи



2.1.8. Автопарковки: армирование бетонных перекрытий композитной арматурой диаметром 12-16 мм.



2.1.9. Резервуары на очистных и водозаборных сооружениях.

Применена стеклопластиковая арматура диаметром 12-14 мм для армирования фундаментных плит, стен и перекрытий.



2.1.10. Бетонное покрытие автодорог: автомагистраль 40-Восток, Монреаль, Канада.



2.1.11. Зона использования МРТ



Бетонные элементы, требующие неметаллическое армирование по причине электромагнитности металла:

1. Палаты со спецоборудованием в поликлиниках;
2. Трансформаторы высокого напряжения и монтажные площадки;
3. Бетонные конструкции в непосредственной близости от высоковольтных кабелей и трансформаторных подстанций.

2.2. Сравнение характеристик композитной арматуры российского и зарубежного производства

Таблица 2

Сравнение физико-механических характеристик

Наименование показателя	Композитная арматура ROCKBAR		Композитная арматура по СТО НОСТРОЙ-43 (требуемые характеристики для проектирования)		Композитная арматура (Канада)		
	Стекло-пластик	Базальто-пластик	АНК-С (стекло-пластиковая)	АНК-Б (базальто-пластиковая)	Типа СП	FRP	GFRP
Предел прочности при растяжении, МПа	1000	1200	600	800	600-1300	600-700	1100-1200
Модуль упругости при растяжении, ГПа	45	50-55	40	50	40-65	45-50	65-75
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)	0,46	0,46	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40

3. Конструктивно-технологическое обеспечение применения композитной арматуры ROCKBAR в бетонных конструкциях

3.1. Особенности проектирования

Равноценная замена стальной арматуры на композитную невозможна в виду отличий механических свойств двух материалов (табл.1).

Особенности свойств композитного материала:

- линейность деформирования до разрушения и отсутствие пластичности;
- низкий модуль упругости (к примеру, стеклопластиковых стержней), диктующий зависимость процесса проектирования от параметров деформации и ширины трещин.

Три основных вида разрушения бетонных конструкций, армированных композитными стержнями:

1. Одновременное разрушение – композит и бетон разрушаются одновременно;
2. Разрушение при сжатии – бетон разрушается, при этом эластичность композита сохраняется. Деформации композита выше предельных деформаций бетона;
3. Разрыв – разрушение композита до разрушения бетона.

Рекомендации по конструированию и применению:

Для армирования бетонных конструкций следует применять композитную арматуру ROCKBAR с шероховатой или рельефной боковой поверхностью, обладающей нормируемыми для данного вида арматуры характеристиками сцепления с бетоном.

Расчет и конструирование бетонных, каменных и армокаменных конструкций с применением композитной арматуры следует производить в соответствии со СНиП 52-01-2003, СНиП П-22-81*.

В бетонных конструкциях композитная арматура может применяться в виде отдельных стержней, плоских сеток или объемных каркасов.

В наружных стеновых панелях композитную арматуру следует применять преимущественно в виде сеток, изготовленных, в основном, на заводе и в отдельных случаях в построечных условиях. Сетки, изготовленные на заводе, технологичны, обладают высокой сдвиговой прочностью, сохраняют плоскостную форму после размотки из бухт.

В построечных условиях допускается крепление стержней сетки отожженной стальной низкоуглеродистой проволокой по ГОСТ 3282.

Толщину защитного слоя, длину нахлестки и анкеровки композитной арматуры следует назначать из условия совместной работы композитной арматуры и бетона в соответствии с требованиями СП 63.13330 (СНиП 52-01-2003) (см. табл.3). Продольное соединение стержней композитной арматуры может осуществляться встык при помощи полимерных или стальных муфт.

В бетонных конструкциях, при соответствующем обосновании, вместе с композитной арматурой допускается установка напряженной и ненапряженной стальной арматуры по ГОСТ 5781, ГОСТ 10884, ГОСТ 13840, стальных арматурных и закладных изделий по ГОСТ 10922.

В конструкциях с композитной арматурой, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействий агрессивных сред, следует использовать стальные арматурные и закладные изделия из нержавеющей стали, либо с защитными покрытиями в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11-85.

Композитная арматура ROCKBAR может применяться в конструкциях из тяжелого, мелкозернистого, легкого, ячеистого, поризованного и напрягающего бетонов, соответствующих ГОСТ 26633, ГОСТ 25820, ГОСТ 7473, ГОСТ 9128.

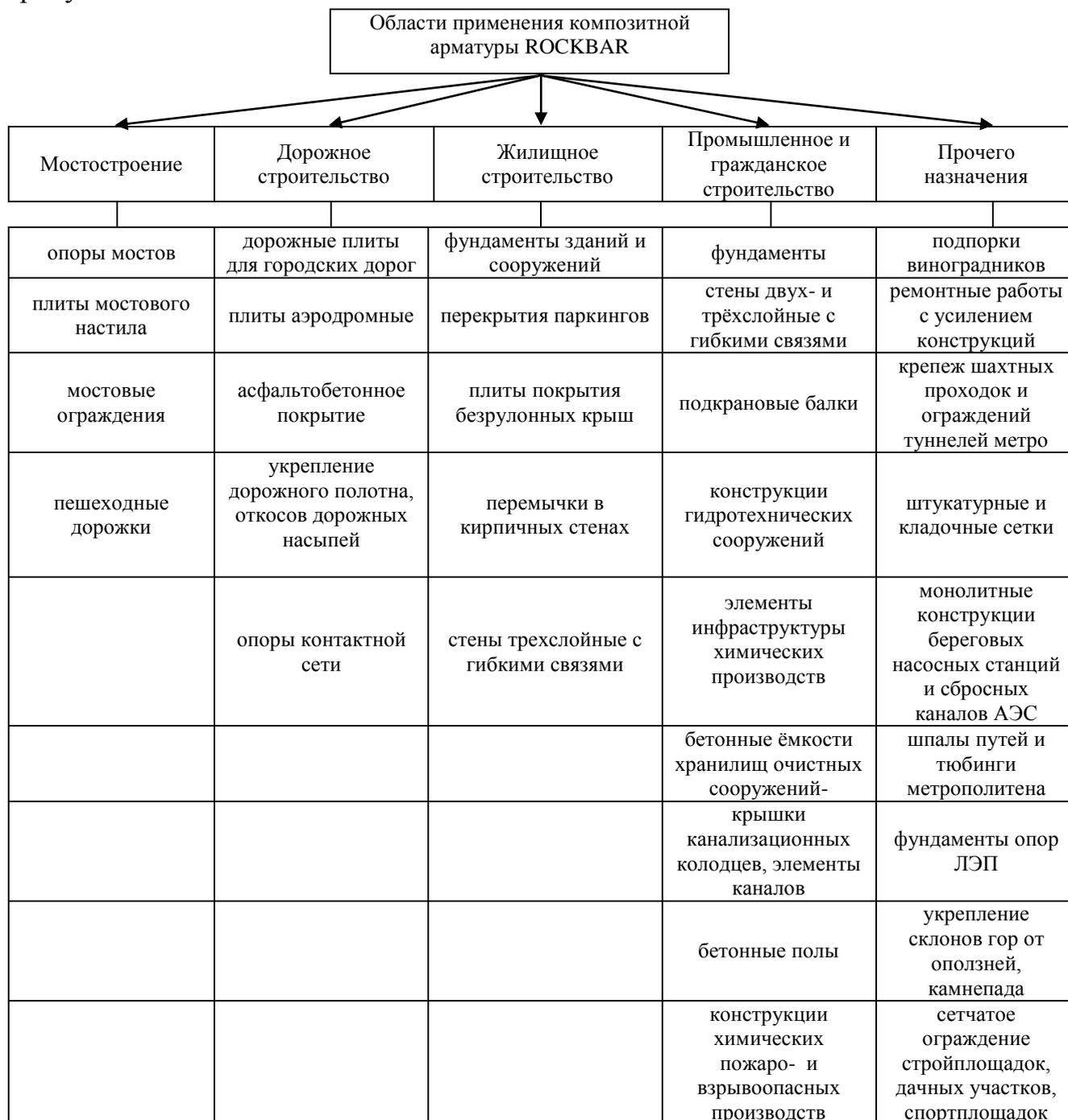
Расчеты и конструирование геотехнических и других ответственных сооружений (тоннели, мосты, фундаменты, подпорные стены и др.) с применением композитной арматуры ROCKBAR регламентируются соответствующими нормативными документами для конкретного типа конструкций.

3.2. Области применения

Наиболее рациональной и целесообразной областью применения композитной арматуры ROCKBAR являются конструкции, предназначенные для работы в агрессивных средах в соответствии с ГОСТ 31384 и СП 28.13330 (СНиП 2.03.11-85). В этом случае удорожание (единовременное при изготовлении) конструкций при использовании арматуры ROCKBAR из-за её значительного расхода для выполнения требований по трещиностойкости и деформативности компенсируются исключением затрат на гидроизоляцию конструкций и уменьшением затрат (долговременных) на их эксплуатацию (ремонт).

Композитную арматуру ROCKBAR (стеклопластиковую) целесообразно применять в бетонных конструкциях с нейтральной и слабокислой средой, как наименее агрессивной по отношению к этой арматуре.

Области применения композитной арматуры ROCKBAR приведены на рисунке:



3.3. Применение в сборных конструкциях

Проектирование сборных бетонных конструкций с применением композитной арматуры ROCKBAR должно выполняться в соответствии с требованиями СП 63.13330 и ГОСТ 21924.0., при этом следует предусматривать максимальное использование прочностных и физико-механических свойств армирующего материала, выбираемого на основе вариантов сравнения технико-экономических показателей.

Для сборных бетонных конструкций допускается применение композитной арматуры ROCKBAR взамен рабочей (продольной) арматуры периодического профиля класса АШ (А400) по ГОСТ 5781, А500 по ГОСТ Р 52544, поперечной конструктивной и монтажной арматуры класса А-I (А240) по ГОСТ 5781, проволоки класса Вр-I по ГОСТ 6727 диаметром 4,5 мм.

Применение композитной арматуры ROCKBAR является наиболее эффективным для армирования таких сборных конструкций, как например, фундаменты разных конструктивных систем, дорожные плиты (рис.5), которые работают на упругом основании (на выносливость) и испытывают многократно повторные нагрузки, которые вызывают изгиб плит и растягивающие напряжения в арматуре. Вызывает интерес использование композитной арматуры в сборных плитах перекрытий паркингов и плит безрулонных крыш зданий.

Конструкции дорожных и других видов плит с применением композитной арматуры ROCKBAR рассчитываются на максимальный срок службы при отсутствии текущего ремонта и эксплуатационных затрат, в том числе, в агрессивных грунтовых средах.

Композитная арматура ROCKBAR в виде сеток, каркасов и отдельных стержней может применяться в слабоармированных ограждающих конструкциях из крупнопористого бетона (стеновые блоки) и легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона на пористых заполнителях (стеновые панели ленточной разрезки).

Целесообразно использование композитной арматуры ROCKBAR в сборных бетонных перемычках для кирпичных стен жилых и гражданских зданий, в частности в перемычках по ГОСТ 948 (рис. 6), а также в элементах ограды (фундаменты, панели) (рис. 7, 8, 9), в тьюбингах тоннелей метрополитена, в шпалах железнодорожных путей, в сборных фундаментах опор ЛЭП, в подкрановых балках, в элементах каналов (лотки, плиты) (рис. 10,11), плитах колодцев и тепловых камер, аэродромных плитах.

3.4. Требования к производству арматурных и бетонных работ. Приемка и контроль арматурных работ

Специальных требований к производству бетонных работ, к качеству бетонных смесей при армировании конструкций композитной арматуры ROCKBAR не требуется. Бетонные работы следует производить в соответствии с СП 70.13330. Качество бетонных смесей и технология их приготовления должны обеспечивать получение бетонов конструкций, удовлетворяющих требованиям по нормируемым показателям качества в соответствии с ГОСТ 25192, ГОСТ 25820, ГОСТ 26633. Состав бетона следует подбирать по ГОСТ 27006.

Бетонные смеси следует укладывать в бетонируемые конструкции горизонтальными слоями одинаковой толщины без разрывов, с последовательным направлением укладки в одну сторону во всех слоях. При уплотнении бетонной смеси не допускается опирание вибраторов на композитную арматуру и закладные детали.

Допускается изготовление бетонов, армированных композитной арматуры ROCKBAR, с расходом цемента менее значений, указанных в таблице 3 ГОСТ 26633, но не ниже минимального по СП 28.13330 расхода для конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Для повышения качества и экономичности бетонов в бетонную смесь следует вводить добавки, приведённые в Приложении 4 ГОСТ 26633, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 24211.

В бетонах с применением композитной арматуры ROCKBAR, выбор добавок, улучшающих и регулирующих их свойства (пластифицирующих, воздухововлекающих, ускоряющих схватывание и твердение бетона, противоморозных и т.д.), не ограничивается. В то же время можно не применять добавки, повышающие защитные свойства бетона к арматуре (нитрит натрия, ингибитор – тетраборат натрия, катапин – ингибитор и т.д.).

Возможно применение химдобавок, агрессивных для металлической арматуры (соли, хлора и т. п.).

Высота свободного сбрасывания бетонной смеси в опалубку плоскостных конструкций (плит, панелей и т.д.) должна быть не более 0,5 м.

При производстве арматурных работ следует руководствоваться СП 70.13330.

В бетонных конструкциях армированных композитной арматуры ROCKBAR изготовление плоских и пространственных арматурных изделий

осуществляется, в основном, безсварочными соединениями с перевязкой мест пересечения стержней синтетической нитью с последующей пропиткой эпоксидной смолой и отверждением эпоксидной смолы. Допускается также крепление стержней в крестообразных узлах отожжённой стальной низкоуглеродной проволокой по ГОСТ 3282 (рис. 1, 2) с использованием крючков или механизированным способом с помощью специальных автоматических пистолетов (рис. 3).

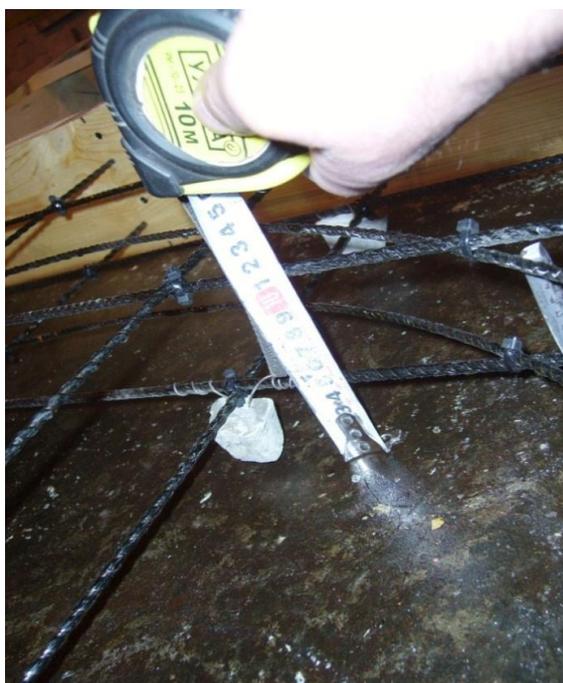


Рис. 1, 2. Фрагменты арматурных каркасов из базальтопластиковых стержней, уложенных в опалубочную форму дорожной плиты с контролем их геометрических параметров



Рис. 3. Общий вид автоматического пистолета для вязки арматуры

3.5. Основы проектирования и примеры проектных конструктивных решений при использовании композитной арматуры ROCKBAR

Сопоставительную оценку отличительных признаков по потребительским свойствам композитной арматуры разных производителей можно сделать, анализируя материалы таблицы 2. Из приведенных материалов видно, что композитная арматура ROCKBAR не уступает по своим потребительским свойствам лучшим образцам отечественных и зарубежных производителей.

Учитывая сказанное можно заключить, что достигнутый отечественный и зарубежный опыт применения композитной арматуры может быть успешно использован в случае строительства с арматурой ROCKBAR. Разработанные нормативные требования для изготовления и проектирования армобетонных конструкций с использованием композитной арматуры разных видов применимы для проектирования конструкций с арматурой ROCKBAR. Требования по проектированию, взятые из разных источников приведены в таблице 3. Принимая во внимание приведенные данные в табл. 3 в сопоставлении с требованиями к конструкциям с металлической арматурой, можно заключить:

1. Основным препятствием применения композитной арматуры является ее относительно низкий модуль упругости. Это накладывает ограничения на ее использование в конструкциях без предварительного напряжения, в которых требования второго предельного состояния по ширине раскрытия трещин и прогибам являются определяющими для назначения армирования. Как видно из таблицы 3, в случае применения металлической арматуры предельно допустимая ширина раскрытия трещин по нормам для железобетона несколько меньше, чем в случае с применением композитной арматуры по проекту отечественных норм. Это связано с тем, что в первом случае ограничения по ширине раскрытия трещин в бетоне назначены из-за требований по защите металлической арматуры от коррозии, а во втором случае – из-за эстетических соображений. В канадских нормах предельная ширина раскрытия трещин принята одинаковой для металлической и композитной арматуры, что определяет значительное увеличение ее расхода в конструкциях относительно требований проекта отечественных норм. Так как значения предельных прогибов определены по эстетическим и, в отдельных случаях, технологическим (подкрановые балки) требованиям, то в случае применения металлической и композитной арматуры они должны иметь одинаковые величины.

**Основные нормируемые расчетные характеристики арматуры и базовые данные для проектирования конструкций
(сравнительный анализ)**

Наименование показателя	Значения показателей		
	Для стальной арматуры (СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»)	Для композитной неметаллической арматуры (проект Свода Правил «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой»)	Выборочные соответствующие показатели Стандарта Канады S806-12 «Проектирование армобетонных конструкций с композитной арматурой»
Нормативные и расчетные значения характеристик арматуры			
Нормативное значение сопротивления арматуры, МПа	$R_{sn} = 400 - 1500$	$R_{fn} = 800-1600$	Значение σ_b с обеспеченностью 0,999
Модуль упругости, МПа	$E_s = 2 \times 10^5$	$E_f = 0,5...1,0 \times 10^5$	
Коэффициент надежности	$\gamma_s = R_{sn}/R_s = 1,15$	$\gamma_f = 1,50$	
Коэффициент условий эксплуатации	-	$\gamma_{f1} = 0,7 - 1,0$	
Коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки	-	$\gamma_{f2} = 0,3 - 0,6$	
Расчетные сопротивления для продольной арматуры, МПа	$R_s = R_{sn} / 1,15$ $R_{sc} = 355 - 435$	$R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f$ (0,14...0,65 R_{fn}) $R_{fc} = 0$	Нормативное сопротивление с коэффициентом надежности от 0,25 до 0,65
Расчетное сопротивление для поперечной арматуры, МПа	$R_{sw} \leq 300$	$R_{fw} \leq 0,004 E_f$ $R_{fw} \leq 250...300$	
Предельная относительная деформация	$\varepsilon = 0,025$	$\varepsilon = R_f / E_f$	
Коэффициент линейной температурной деформации	не нормируется	α_{ft} (значение уточняется)	
Расчетная диаграмма деформирования	билинейная	линейная	линейная

Условия расчета по раскрытию трещин			
Предельно допустимая ширина раскрытия трещин при продолжительном раскрытии: - по сохранности арматуры - по ограничению проницаемости	0,3 мм	0,5 мм	Аналогично требованиям к конструкциям со стальной арматурой Вводится дополнительно
	0,2 мм	-	
Предельно допустимая ширина раскрытия трещин при непродолжительном раскрытии: - по сохранности арматуры - по ограничению проницаемости	0,4	0,5	Аналогично требованиям к конструкциям со стальной арматурой Вводится дополнительно
	0,3	-	
Коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры для расчета ширины раскрытия трещин: - для арматуры периодического профиля - для гладкой арматуры	0,5	0,7	Аналогично требованиям к конструкциям со стальной арматурой
	0,8	1,2	
Расчетная ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента при одинаковом уровне напряжений в растянутой арматуре	$\alpha_{cr,i}$ по СП 63.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003»	$(2,8 \dots 5,6) \times \alpha_{cr,i}$	

Конструктивные требования к армированию конструкций			
<u>Минимальные значения толщины слоя бетона рабочей арматуры, мм:</u> - в закрытых помещениях - на открытом воздухе - в грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий) - в фундаментах (при наличии бетонной подготовки) - элементах с напрягаемой арматурой, натягиваемой на бетон	20 30 40 40 20 - 40	25 35 35 35 25 - 40	30 или не менее 2 диаметров стержня
<u>Минимальные расстояния между стержнями продольной арматуры, мм</u>	25 - 50	25 - 50	
<u>Коэффициент армирования продольной растянутой арматуры:</u> $\mu_s = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \cdot 100 \% \text{ не менее:}$ в изгибаемых, внецентренно растянутых элементах и во внецентренно сжатых при гибкости $\frac{l_0}{i} \leq 17$ (для прямоугольных сечений ≤ 5); во внецентренно сжатых при гибкости $\frac{l_0}{i} \geq 87$ (для прямоугольных сечений ≥ 25)	0,1 0,25	0,13 0,33	В изгибаемых элементах не менее, чем требуется для восприятия $1,5 M_{cr}$ (момента трещинообразования)
<u>Максимальные расстояния между стержнями в стенах, мм:</u> - вертикальной арматуры - горизонтальной	Не более 2t и 400мм Не более 400 мм	Не более 2t и 300мм Не более 300 мм	

Анкеровка и нахлестка арматуры			
Расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном	$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}$ $\eta_1 = 1,5 \dots 2,5$ $\eta_2 = 0,9 \dots 1,0$	$R_{bond} = \eta_1 R_{bt}$ $\eta_1 = 1,5 \text{ независимо от профиля,}$ $\text{но (может быть увеличен до 2,5}$ $\text{при экспериментальном}$ обосновании)	
Расчетная длина анкеровки растянутой арматуры	$l_{an} = \alpha \cdot l_{0,an} \cdot \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$ $\alpha = 1,0$	$l_{an} = \alpha \cdot l_{0,an} \cdot \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$ $\alpha = 1,0$	По сложной эмпирической формуле, включающей множество конструктивных факторов
Соединения ненапрягаемой арматуры внахлестку	<p>Для стержней периодического профиля и гладких</p> $l_l = \alpha \cdot l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$ $\alpha = 1,2$ <p>Возможно стыкование в одном сечении от 50 до 100% стержней</p>	<p>Только для стержней периодического профиля</p> $l_l = \alpha \cdot l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$ $\alpha = 1,6$ <p>Возможно стыкование в одном сечении не более 50% стержней</p>	Отношение длины нахлестки к длине анкеровки должно быть не менее 1,3 (идентично $\alpha=1,3$ в нормах РФ)

Выполнение требований второго предельного состояния возможно за счет увеличения количества и диаметров стержней композитной арматуры относительно стальной.

2. В случае применения композитной арматуры большое значение имеет эффективность ее сцепления с бетоном, зависящая от анкерующей способности поверхности композитных стержней. Для того чтобы использовать формулы существующего СНиП для железобетонных конструкций при определении длины анкеровки и нахлеста при стыковке композитных стержней, необходимо наличие у них поверхности с такой же эффективностью сцепления, как и у металлической арматуры. Достигнуть этого не всегда представляется возможным. Поэтому вводятся поправочные коэффициенты увеличивающие длины анкеровки и нахлестки, что приводит к увеличению расхода арматуры в армобетонных конструкциях (табл.3).

3. Увеличение стоимости армобетонных конструкций за счет применения композитных материалов из-за выполнения требований второго предельного состояния может быть компенсировано исключением затрат на мероприятия по защите стальной арматуры от коррозии (табл. 4) и их снижением на ремонтные работы, в результате значительного увеличения межремонтного цикла. Долговечность армобетонных конструкций с композитной арматурой, эксплуатируемых в агрессивной среде, значительно выше чем у железобетонных конструкций.

4. Наиболее оптимальным является применение композитной неметаллической арматуры в геотехнических конструкциях (рис. 4). Это связано с необходимостью защиты металлической арматуры этих конструкций от агрессивного воздействия подземных вод. Широкий диапазон сфер применения композитной неметаллической арматуры в геотехнических конструкциях определяет актуальность расширения объемов ее производства с целенаправленной по применению номенклатурой и конструктивными решениями.

Таблица 4

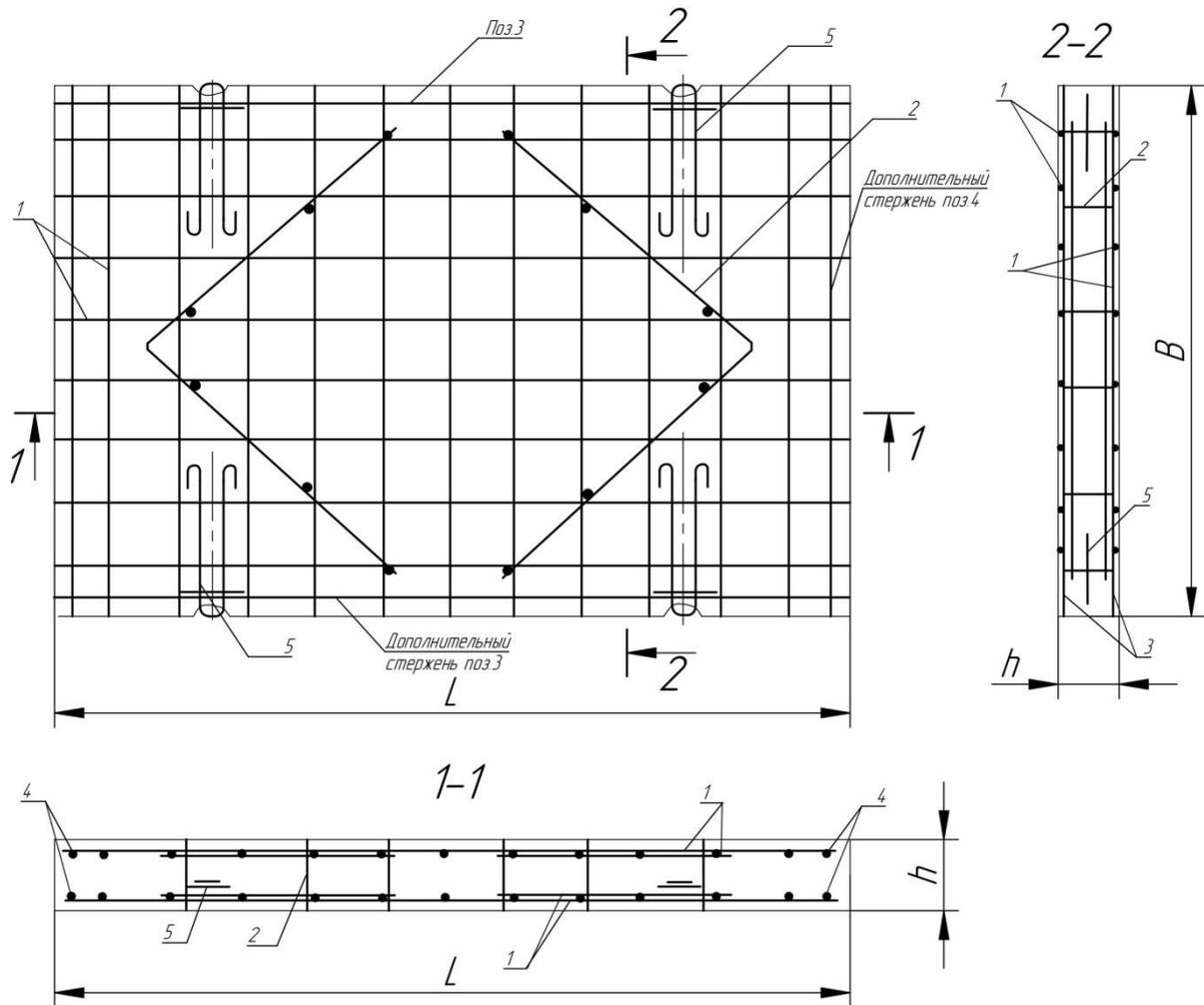
Сравнение по стоимости работ и материалов на изготовление перекрытий паркинга для автомашин (из материалов выступления профессора кафедры гражданского строительства Университета Шербрук (Канада))

Наименование работ и материалов перекрытия	Стальная арматура		Арматура композитная GFRP	
	Количество	Общая стоимость	Количество	Общая стоимость
<u>Армирование</u> Сталь 10-35 мм 400МПа GFRP 15 мм-32 мм	50000 кг	125000,00\$	42160 м	210800,00\$
<u>Бетонирование</u> Заливка на месте по готовой опалубке 30 МПа	710 м ³	106500,00\$	710 м ³	106500,00\$
<u>Соединения с имеющимися конструкциями</u> Соединение плита-стена Соединение плита-колонна	310 м 40 шт.	31000,00\$ 80000,00\$	310 м 40 шт.	31000,00\$ 80000,00\$
<u>Покрытие поверхности (для плит)</u> Водонепроницаемые мембраны Асфальт 65 мм Водонепроницаемые мембраны-колонны Водонепроницаемые мембраны-периметр	2800 м ² 2800 м ²	70000,00\$ 70000,00\$	40 шт. 310 м	8000,00\$ 23250,00\$
Общая стоимость		496500,00\$		459550,00\$
Эффективность	36950,00\$			

В качестве примеров для массового применения композитной арматуры на рис. 5-11 приведены конструктивные проектные решения армирования некоторых массово применяемых в строительстве сборных железобетонных конструкций. При разработке армирования приведенных конструкций из композитной арматуры следует использовать материалы табл. 3.



Рис. 4. Применение композитной неметаллической арматуры в геотехнических конструкциях



Поз.	Наименование	Кол.
1	Сетка С1	2
2	Каркас КР1	2
3	Стержень $L_{ст}=L-20$	4
4	Стержень $L_{ст}=B-20$	4
5	Петля П1	4

Рис. 5. Плита для покрытия городских дорог

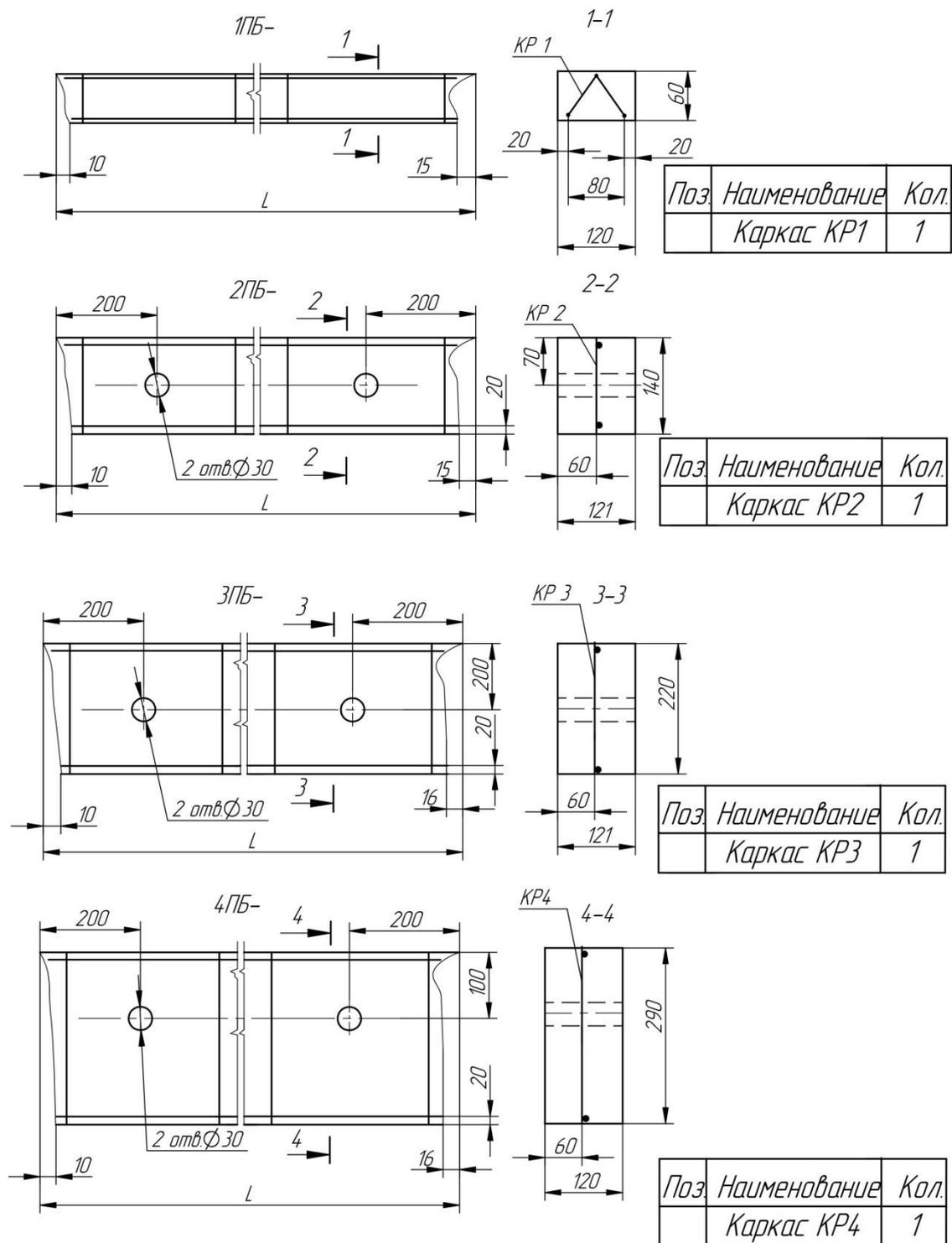


Рис. 6. Перемычки брусковые

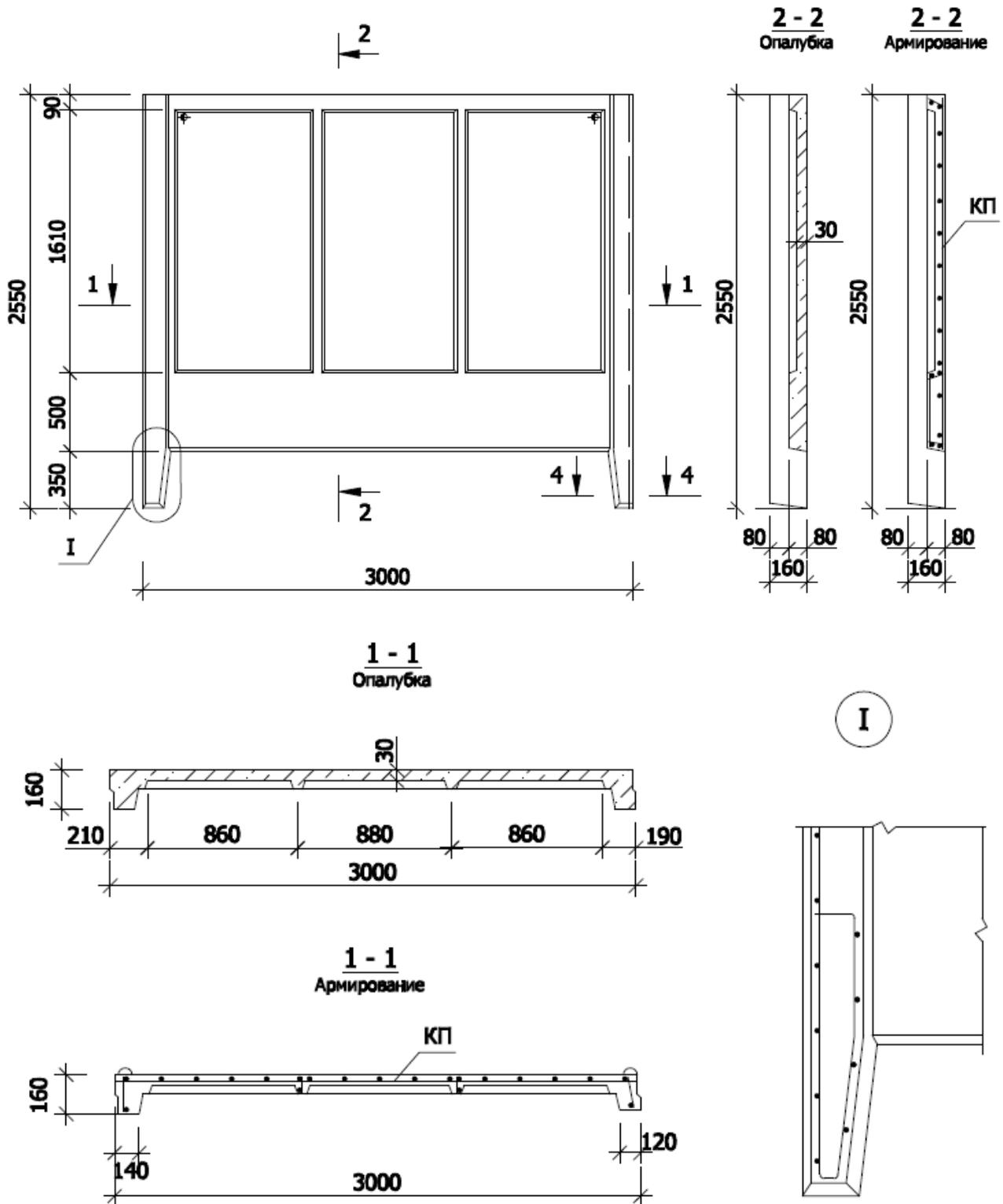


Рис. 7. Панель ограждения

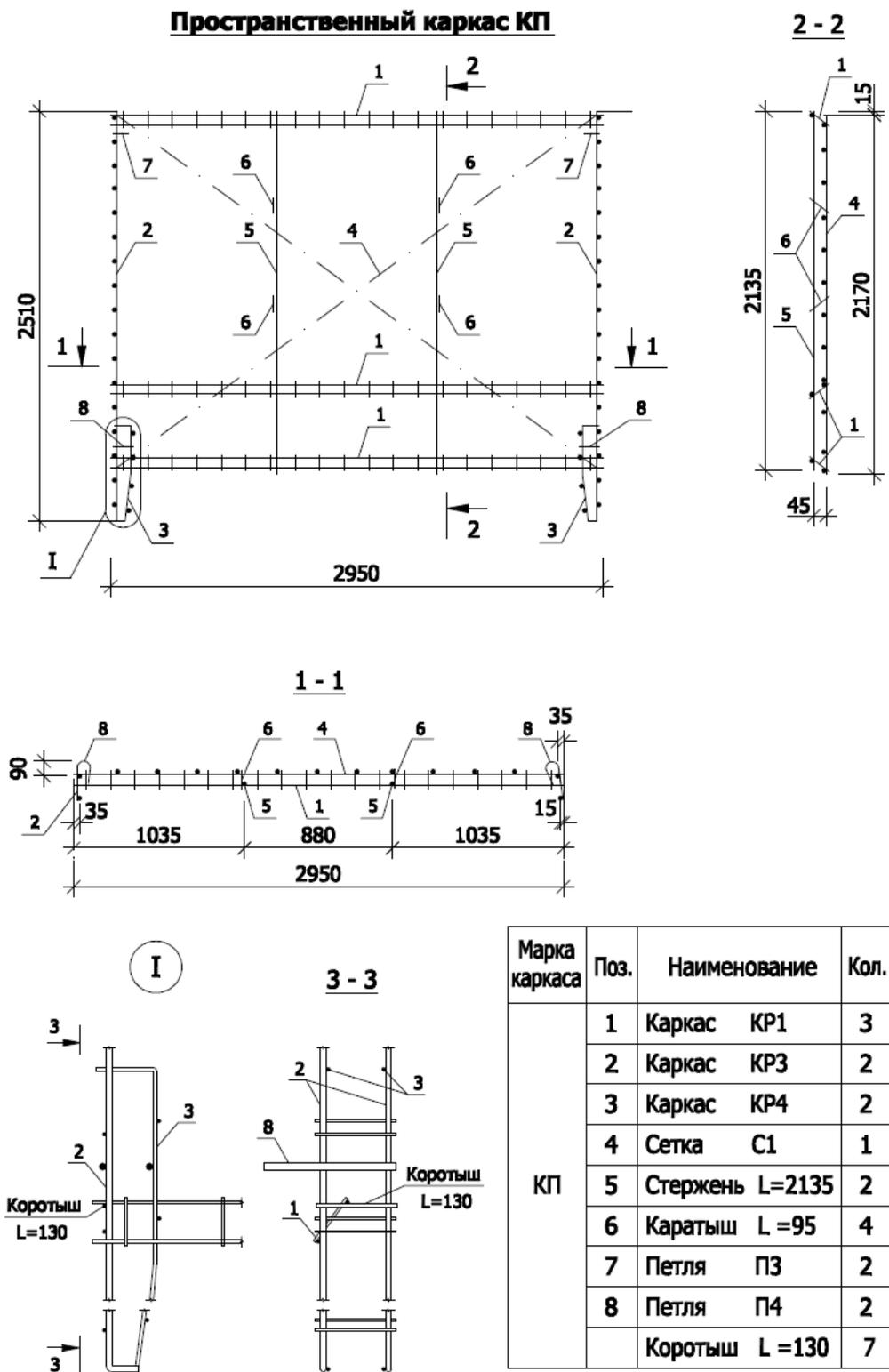


Рис. 8. Пространственный каркас КП

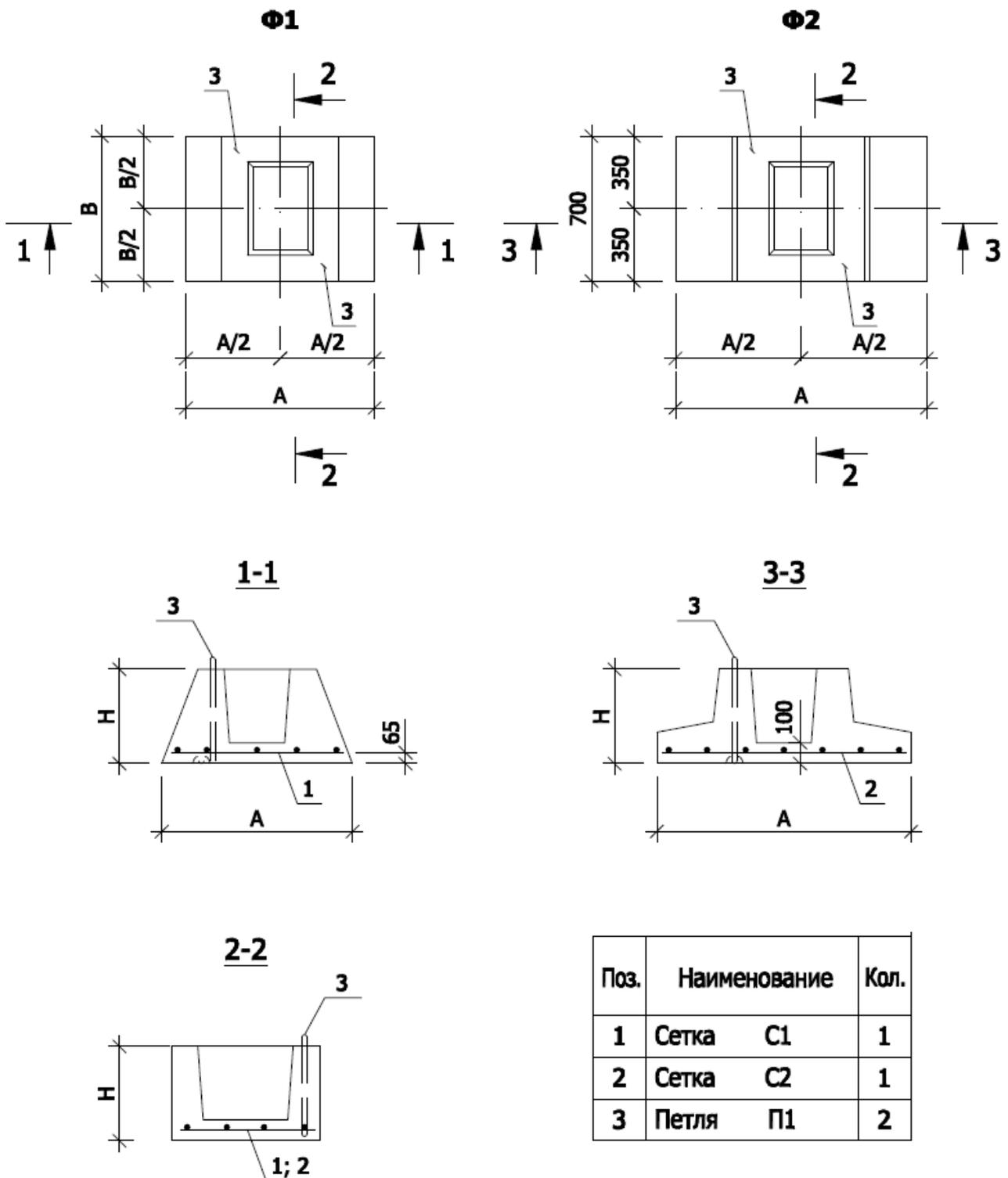


Рис. 9. Фундаменты под панели железобетонных ограждений

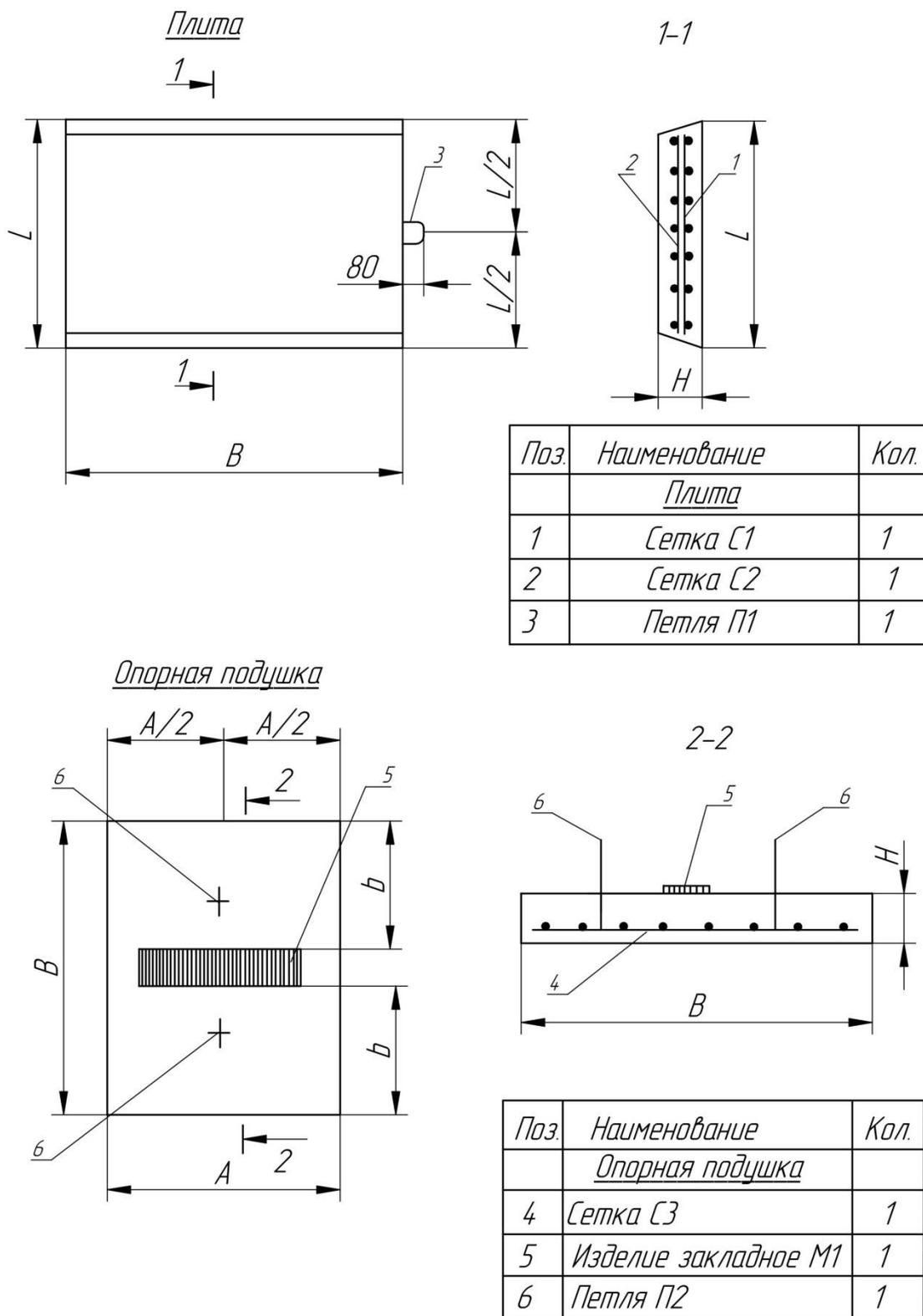
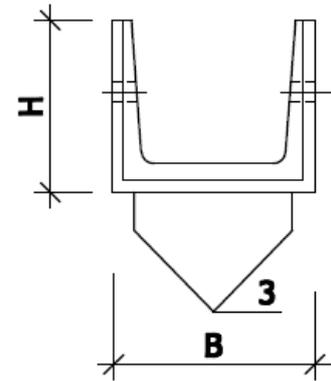
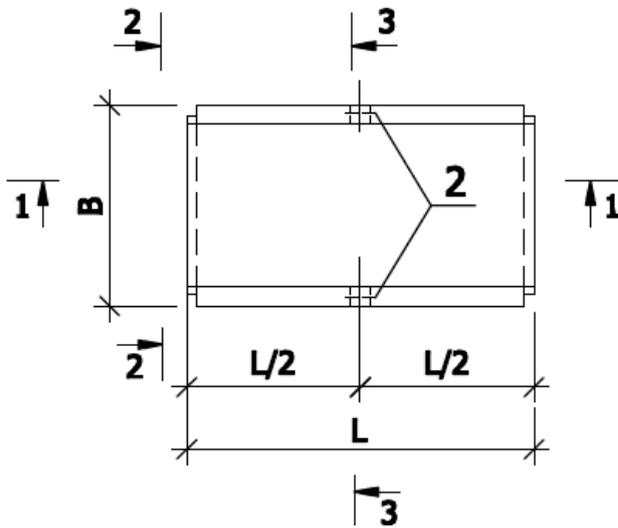


Рис. 10. Сборные элементы каналов

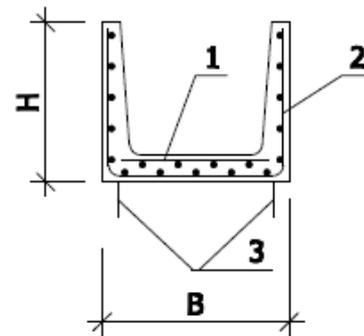
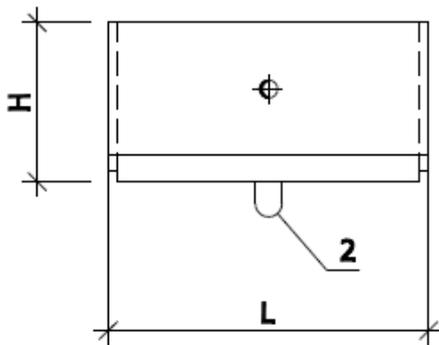
Лоток

2 - 2



1 - 1

3 - 3
Схема армирования



Поз.	Наименование	Кол.
1	Сетка С1	1
2	Сетка С2	1
3	Петля П1	4

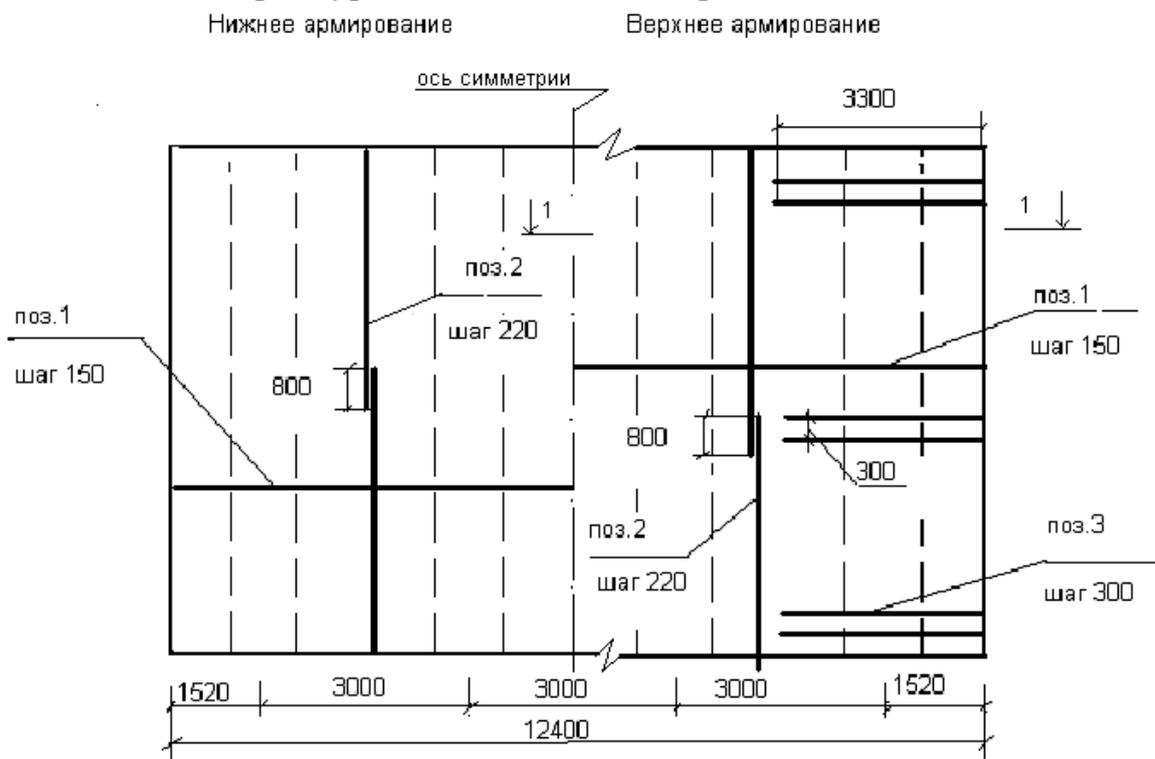
Рис. 11. Сборные элементы каналов

Пример конструирования плит настила мостов

Исходные данные:

Плита настила лежит на балках пролетом 50 м, расстояние между балками 3.0 м, верхний пояс балок – 1.2 м, свес (консольная часть) – 1.52 м.

Бетон плиты класса В30, толщина плиты – 220 мм, армирование плиты – стеклопластиковая арматура ROCKBAR диаметром 20 мм.



Сечение 1-1

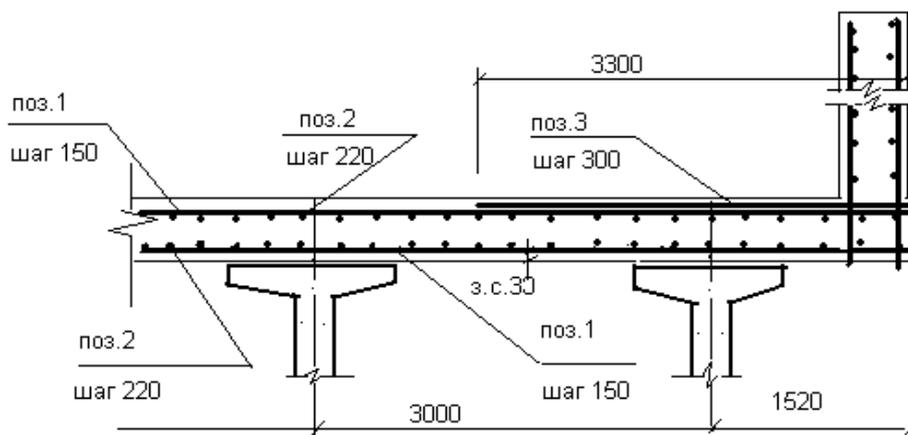


Схема армирования плиты настила моста

Спецификация арматуры				
№ позиций	Эскиз	Наименование	Количество на пролет 50 м	примечания
1	<u>L=12000</u>	Арматура ROCKBAR d=20 мм, L =12000 мм	667 шт (8005м)	
2	<u>L=50000</u>	Арматура ROCKBAR d=20 мм, L =12000 мм	110 шт (5855м)	С учетом перехлеста арматуры длиной 800мм
3	<u>L=3300</u>	Арматура ROCKBAR d=20 мм, L =3300 мм	334 шт (1103м)	

Пример конструирования парапета моста

Исходные данные:

Плита настила лежит на балках пролетом 50 м, расстояние между балками 3.0 м, Высота парапета 1.0 м.

Бетон парапета класса В30, толщина парапета – 200 мм, армирование парапета – стеклопластиковая арматура ROCKBAR диаметром 20 мм.

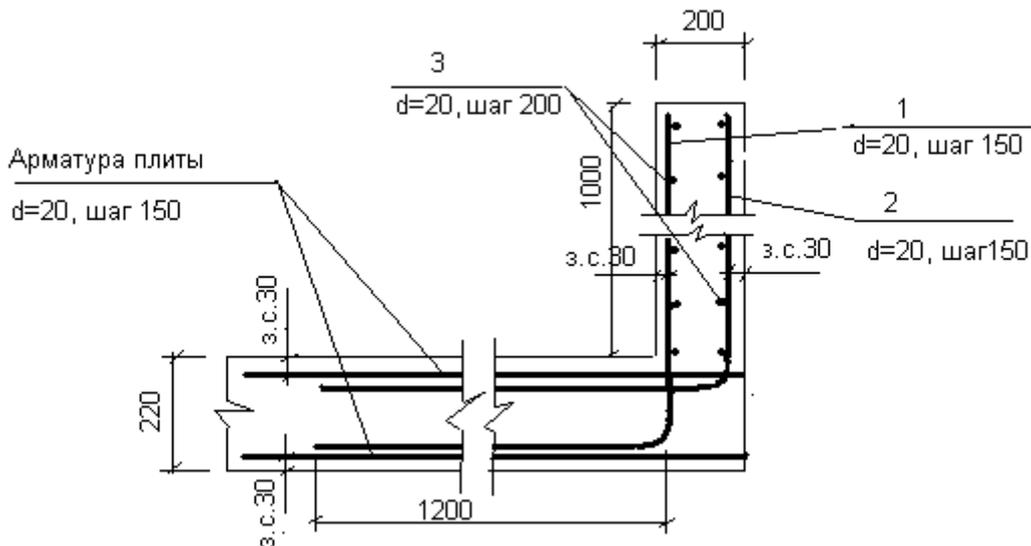


Схема армирования парапета моста

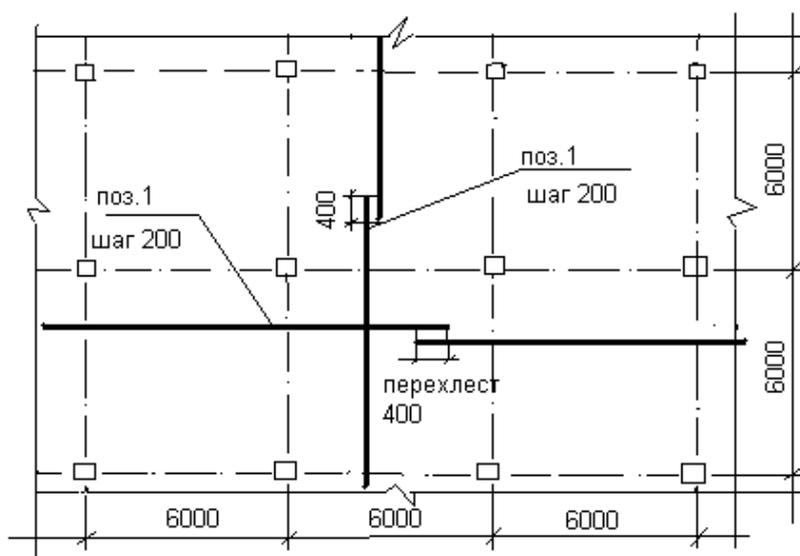
Спецификация арматуры				
№ позиций	Эскиз	Наименование	Количество на пролет 50 м	Примечания
1		Арматура ROCKBAR d=20 мм,	334 шт (802м)	
2		Арматура ROCKBAR d=20 мм,	334 шт (795м)	
3	<u>Общая длина = 50 м</u>	Арматура ROCKBAR d=20 мм,	12 шт (663м)	С учетом перехлеста арматуры длиной 800 мм

Пример конструирования плит перекрытий автостоянок

Исходные данные:

Плиты перекрытий автостоянок опираются на несущие колонны с шагом 6.0 метров в обоих направлениях. Бетон плиты класса В30, толщина плиты 240 мм, армирование плиты – стеклопластиковая арматура ROCKBAR диаметром 10 мм.

Нижнее армирование



Верхнее армирование

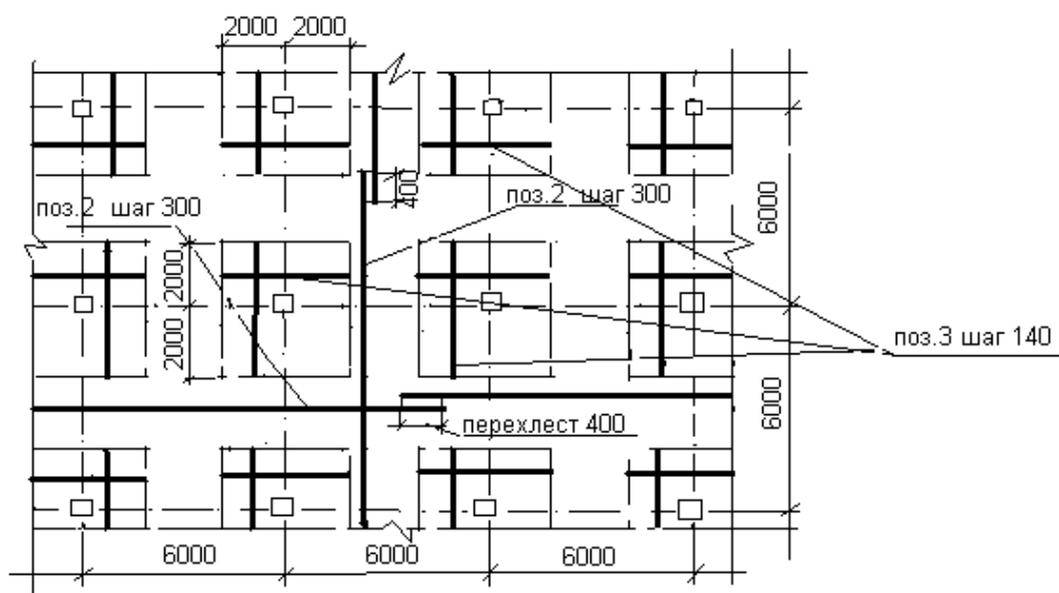


Схема армирования плиты перекрытия

Спецификация арматуры				
№ позиций	Эскиз	Наименование	Количество на участок 6х6 м	Примечания
1 (защитный слой 25мм)	<u>L=12000</u>	Арматура ROCKBAR d=16 мм, L =12000 мм	362м	С учетом перехлеста арматуры длиной 400мм
2 (защитный слой 41мм)	<u>L=12000</u>	Арматура ROCKBAR d=16 мм, L =12000 мм	242м	С учетом перехлеста арматуры длиной 400мм
3 (защитный слой 25мм)	<u>L=4000</u>	Арматура ROCKBAR d=16 мм, L =4000 мм	230м	

Расчет плиты перекрытия автостоянки

(расчеты произведены с использованием «Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры к СП 52-101-2003»), Москва 2005)

1. Исходные данные: толщина плиты = 240 мм, пролет = 6,0 м, бетон класса В30 с $R_b = 17$ МПа, арматура стеклопластиковая с $R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f = 0.9 * 0.5 * 1200$ (см. табл. №3 «Методического пособия») = 360 МПа;

2. Нагрузка: - собственный вес = $0,24 \text{ м} * 2,500 \text{ т/м}^3 * 1,1 = 0,660 \text{ т/м}^2$
= 6.6 кПа; - временная нагрузка на перекрытие = $3.5 \text{ кПа} * 1,2 = 4,2 \text{ кПа}$. Итого: 10,8 кПа.

3. Расчетные моменты, используя таблицы по статическому расчету неразрезных плит, равны: $M_{оп.} = 0,1053 * q l^2 = 0,1053 * 10,8 * 6^2 = 41 \text{ кНм/м}$.
 $M_{прол.} = 0,0779 * q l^2 = 30,1 \text{ кНм/м}$.

4. Подбор сечений арматуры:

- на опоре: $a_m = M / R_b * b * h_0^2 = 41 * 10^6 / 17 * 1000 * 220^2 = 0,050 < 0,372$
(см. табл. 3.2 «Пособия»), тогда $A_{fs} = R_b * b * h_0 (1 - \sqrt{1 - 2 * a_m}) / R_f = 17 * 1000 * 220 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0,050}) / 360 = 520 \text{ мм}^2$,
принимаем 7 d 10 с $A_{fs} = 550 \text{ мм}^2$ (шаг 140 мм);

- в пролете: $a_m = M / R_b * b * h_0^2 = 30,1 * 10^6 / 17 * 1000 * 220^2 = 0,036 < 0,372$
(см. табл. 3.2 «Пособия»), тогда $A_{fs} = R_b * b * h_0 (1 - \sqrt{1 - 2 * a_m}) / R_f = 17 * 1000 * 220 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0,036}) / 360 = 385 \text{ мм}^2$, принимаем 5 d 10 с $A_{fs} = 393 \text{ мм}^2$ (шаг 200 мм);

Расчет на трещиностойкость плиты автостоянки

5. Исходные данные: толщина плиты = 240 мм, пролет = 6,0 м,
- бетон класса В30 с $R_{b,ser} = 22$ МПа, $R_b = 17$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,75$ МПа; $E_b = 30000$ МПа,

- арматура стеклопластиковая с $R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f = 0.9 * 0.5 * 1200$ (см. табл. №3 «Методического пособия») = 360 МПа; $A_{fs} = 810 \text{ мм}^2$, $E_f = 50000$ МПа; $A_{fs}' = 393 \text{ мм}^2$, $E_f' = 50000$ МПа;

6. Расчетные моменты: $M_{оп.} = 41 \text{ кНм/м}$, $M_{прол.} = 30,1 \text{ кНм/м}$.

7. Сечение плиты: $B = 1000 \text{ мм}$, $h = 240 \text{ мм}$, $a = a' = 20 \text{ мм}$

Момент образования трещин M_{cr} (Пособие к СП 52-101-2003, раздел 4):

- геометрические характеристики сечения при $\alpha = \alpha' = E_f / E_b = 5 \cdot 10^4 / 3 \cdot 10^4 = 1,67$ и $A_{fs}' = 393 \text{ мм}^2$:

Площадь приведенного сечения $A_{red} = A + \alpha \cdot A_{fs} + \alpha' \cdot A_{fs}' = b \cdot h + \alpha \cdot A_{fs} = 240 \cdot 1000 + 1,67 \cdot 810 + 1,67 \cdot 393 = 242009 \text{ мм}^2$

Расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного сечения элемента $y_t = S_{red} / A_{red}$ (статический момент относительно нейтральной оси) / $A_{red} = (240000 \cdot 240 / 2 + 1263,6 \cdot 20 + 656,3 \cdot 220) / 242009 = 119,7 \text{ мм}$;

Момент инерции приведенного сечения относительно нейтральной оси $I_{red} = b \cdot h^3 / 12 + b \cdot h \cdot (y_t - h / 2)^2 + \alpha \cdot A_{fs} \cdot (y_t - a)^2 + \alpha' \cdot A_{fs}' \cdot ((h - a) - y_t)^2 = 1000 \cdot 240^3 / 12 + 1000 \cdot 240 \cdot (119,7 - 120)^2 + 1,67 \cdot 810 \cdot (119,7 - 20)^2 + 1,67 \cdot 393 \cdot (240 - 20 - 119,7)^2 = 1,16 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$;

Момент сопротивления приведенного сечения $W = I_{red} / y_t = 1,16 \cdot 10^9 / 119,7 = 9,69 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$;

Учитываем неупругие деформации растянутого бетона путем умножения W на коэфф. $\gamma = 1,3$, т.е. $W = 9,69 \cdot 10^6 \cdot 1,3 = 12,6 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$.

Тогда $M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W = 1,75 \text{ МПа} \cdot 12,6 \cdot 10^6 \text{ мм}^3 = 22,05 \cdot 10^6 \text{ Н мм/м} = 22,05 \text{ кНм} < M = 41 \text{ кНм/м}$, след. Расчет по трещинообразованию требуется.

Определим напряжение в арматуре $\sigma_{fs} = M / z_{fs} \cdot A_{fs}$.

Рабочая высота сечения $h_0 = h - a = 240 - 20 = 220 \text{ мм}$; коэффициент приведения $\alpha_{f1} = E_f / E_{b,red}$ (где $E_{b,red} = R_{b,ser} / \epsilon_{b1,red} = 22 / 15 \cdot 10^{-4} = 1,47 \cdot 10^4$) = $5 \cdot 10^4 / 1,47 \cdot 10^4 = 3,4$; Тогда при $\mu_f \cdot \alpha_{f1} = A_{fs} \cdot \alpha_{f1} / b h_0 = 810 \cdot 3,4 / 1000 \cdot 220 = 0,0125$ и $\gamma = (b'_f - b) \cdot h'_f + \alpha_{f1} \cdot A_{fs}' / b h_0 = (1000 - 1000) \cdot 0 + 3,4 \cdot 393 / 1000 \cdot 220 = 0,006$ из графика 4.3 при $\delta = 2a' / h_0 = 2 \cdot 20 / 220 = 0,18 < 0,2$ находим коэффициент $z = 0,97$ и плечо внутренней пары сил равно

$$z_f = z \cdot h_0 = 0,97 \cdot 220 = 213,4 \text{ мм}$$

$$\sigma_{fs} = M / z_f \cdot A_{fs} = 41 \cdot 10^6 / 213,4 \cdot 810 = 237,2 \text{ МПа.}$$

Определим расстояние между трещинами $l_f = 0,5 \cdot A_{bt} \cdot d_{fs} / A_{fs}$.

Так как высота растянутого бетона $y = y_t \cdot k = 119,7 \cdot 0,9 = 107,7 \text{ мм}$; площадь сечения растянутого бетона принимаем равной: $A_{bt} = b \cdot y = 1000 \cdot 107,7 = 107700 \text{ мм}^2$, тогда $l_f = 0,5 \cdot A_{bt} \cdot d_{fs} / A_{fs} = 0,5 \cdot 107700 \cdot 10 / 810 = 664,8 \text{ мм}$, что $> 40 d_f = 400 \text{ мм}$, поэтому принимаем $l_f = 400 \text{ мм}$;

$$\Psi_f = 1 - 0,8 \cdot M_{crc} / M = 1 - 0,8 \cdot 22,05 / 41 = 0,57.$$

Определяем ширину продолжительного раскрытия трещин, принимая $\varphi_1=1,4$;

$$\varphi_2=0,8; \varphi_3=1,0.$$

$$\alpha_{\text{crc}} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 * \Psi_f * \sigma_f * l_f / E_f = 1,4 * 0,8 * 1 * 0,57 * 237,2 * 400 / 5 * 10^4 =$$

1,21 мм > 0,5 мм, следовательно, необходимо увеличить сечение арматуры.

Принимаем верхнее и нижнее армирование из арматуры $d=16$ мм, при этом:

- толщина плиты = 240 мм, пролет = 6,0 м,

- бетон класса В30 с $R_{b,\text{ser}} = 22$ МПа, $R_b = 17$ МПа, $R_{bt,\text{ser}} = 1,75$ МПа; $E_b = 30000$ МПа,

- арматура стеклопластиковая с $R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f = 0,9 * 0,5 * 1200$ (см. табл. №3 «Методического пособия») = 360 МПа; $A_{fs} = 2212$ мм² (7,5 d 16 мм – шаг 140 + 3,5 d 16 мм – шаг 300), $E_f = 50000$ МПа; $A'_{fs} = 1005$ мм² (5 d 16 мм – шаг 200), $E'_f = 50000$ МПа;

Расчетные моменты: $M_{\text{оп.}} = 41$ кНм/м, $M_{\text{прол.}} = 30,1$ кНм/м.

Сечение плиты: $B = 1000$ мм, $h = 240$ мм, $a = a' = 33$ мм

Момент образования трещин M_{crc} :

- геометрические характеристики сечения при $\alpha = \alpha' = E_f / E_b = 5 * 10^4 / 3 * 10^4 = 1,67$ и $A'_{fs} = 1005$ мм²:

$$A_{\text{red}} = A + \alpha * A_f + \alpha' * A'_{fs} = b * h + \alpha * A_{fs} + \alpha' * A'_{fs} = 240 * 1000 + 1,67 * 2212 + 1,67 * 1005 = 245372 \text{ мм}^2$$

$$y_t = S_{\text{red}} / A_{\text{red}} = (240000 * 240 / 2 + 3694 * 33 + 1678,4 * 207) / 245372 = 119,3 \text{ мм};$$

$$I_{\text{red}} = b * h^3 / 12 + b * h * (y_t - h / 2)^2 + \alpha * A_{fs} * (y_t - a)^2 + \alpha' * A'_{fs} * ((h - a) - y_t)^2 = 1000 * 240^3 / 12 + 1000 * 240 * (119,3 - 120)^2 + 3694 * (119,3 - 33)^2 + 1678,4 * (240 - 33 - 119,3)^2 = 1,161 * 10^9 \text{ мм}^4;$$

$$W = I_{\text{red}} / y_t = 1,161 * 10^9 / 116,4 = 9,99 * 10^6 \text{ мм}^3.$$

Учитываем неупругие деформации растянутого бетона путем умножения W на коэфф. $\gamma=1,3$, т.е. $W = 9,99 * 10^6 * 1,3 = 12,99 * 10^6 \text{ мм}^3$.

Тогда $M_{\text{crc}} = R_{bt,\text{ser}} * W = 1,75 \text{ МПа} * 12,99 * 10^6 \text{ мм}^3 = 23,29 * 10^6 \text{ Н мм/м} = 22,73 \text{ кНм /м} < M = 41 \text{ кНм/м}$, следовательно, расчет по трещинообразованию требуется.

Определим напряжение в арматуре $\sigma_{fs} = M / z_f * A_{fs}$.

Рабочая высота сечения $h_0 = h - a = 240 - 33 = 207$ мм; коэффициент приведения $\alpha_{f1} = E_f / E_{b,\text{red}}$ (где $E_{b,\text{red}} = R_{b,\text{ser}} / \varepsilon_{b1,\text{red}} = 22 / 15 * 10^{-4} = 1,47 * 10^4$) =

$$5 \cdot 10^4 / 1,47 \cdot 10^4 = 3,4.$$

Тогда при $\mu_f \cdot \alpha_{f1} = A_{fs} \cdot \alpha_{f1} / bh_0 = 2212 \cdot 3,4 / 1000 \cdot 207 = 0,036$ и $\gamma = (b'_f - b) \cdot h'_f + \alpha_{f1} \cdot A_{fs} / bh_0 = (1000 - 1000) \cdot 0 + 3,4 \cdot 1050 / 1000 \cdot 207 = 0,017$ из графика 4.2 при $\delta = 2a'/h_0 = 2 \cdot 33 / 207 = 0,32 > 0,3$ находим коэффициент $\xi = 0,94$ и плечо внутренней пары сил равно $z_f = \xi \cdot h_0 = 0,94 \cdot 207 = 194,6$ мм.

$$\sigma_{fs} = M / z_f \cdot A_{fs} = 41 \cdot 10^6 / 194,6 \cdot 2212 = 95,2 \text{ МПа.}$$

Определим расстояние между трещинами $l_f = 0,5 \cdot A_{bt} \cdot d_{fs} / A_{fs}$.

Так как высота растянутого бетона $y = y_t \cdot k = 116,4 \cdot 0,9 = 104,76 \text{ мм} < h/2$, площадь сечения растянутого бетона принимаем равной: $A_{bt} = b \cdot y = 1000 \cdot 104,76 = 104760 \text{ мм}^2$, тогда $l_f = 0,5 \cdot A_{bt} \cdot d_{fs} / A_{fs} = 0,5 \cdot 104760 \cdot 16 / 2212 = 379 \text{ мм}$, что $< 40 d_{fs} = 400$ мм, поэтому принимаем $l_f = 379 \text{ мм}$;

$$\Psi_f = 1 - 0,8 \cdot M_{cr} / M = 1 - 0,8 \cdot 22,73 / 41 = 0,56.$$

Определяем ширину продолжительного раскрытия трещин, принимая $\varphi_1 = 1,4$;

$$\varphi_2 = 0,8; \varphi_3 = 1,0;$$

$\alpha_{cr} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \cdot \Psi_f \cdot \sigma_f \cdot l_f / E_f = 1,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,56 \cdot 95,2 \cdot 379 / 5 \cdot 10^4 = 0,45 \text{ мм} < 0,5$ мм, что меньше предельно допустимой ширины продолжительного раскрытия трещин, равной 0,5 мм.

Расчет плиты бетонного настила моста

Согласно Канадской методики принимаем расчетные сечения, пролеты, моменты при условии аварийной эксплуатации – $M_{y-ULS} = 47,346 \text{ кНм/м}$ и моменты «образования трещин» – $M_{cr} = 18,85 \text{ кНм/м}$.

Расчет по прочности и по трещиностойкости производим, используя расчетные характеристики бетона и композитной арматуры принятой в «Методических указаниях» и в нормах РФ (Примечание: по Канадским нормам бетон плиты настила мостов должен быть с прочностью не менее 50 МПа, диаметр арматуры должен быть не менее 15 мм, но по просьбе Заказчика расчет произведен для бетона класса В30).

Расчет плиты бетонного настила моста на прочность

1. Исходные данные: толщина плиты $h=200$ мм, $b=1000$ мм, пролет = 3,50 м, бетон класса В30 с $R_b=17$ МПа, арматура стеклопластиковая с $R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f = 0.9 \cdot 0.5 \cdot 1200$ (см. табл. №3 «Методического пособия» = 360 МПа); защитный слой равен 25 мм.

Расчетные моменты (согласно Канадским методикам) равны: $M_{оп.} = M_{пр.} = M_{ym} = 26,95$ кНм/м; $M_{cr} = 18,85$ кНм/м.

2. Подбор сечений арматуры в пролете и на опоре:

$$- a_m = M / R_b \cdot b \cdot h_0^2 = 26,95 \cdot 10^6 / 17 \cdot 1000 \cdot 169^2 = 0,056 < 0,372$$

(см. табл. 3.2 «Пособия»), тогда

$$A_{fs} = R_b \cdot b \cdot h_0 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot a_m}) / R_{fs} = 17 \cdot 1000 \cdot 169 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,056}) / 360 = 460 \text{ мм}^2, \text{ принимаем } 7 \text{ d } 12 \text{ с } A_{fs} \text{ и } A_{fs}' = 1077 \text{ мм}^2 \text{ (шаг } 150 \text{ мм)}.$$

Расчет плиты бетонного настила моста на трещиностойкость

Исходные данные: толщина плиты = 200 мм, пролет = 3.50 м,

- бетон класса В30 с $R_{b,ser} = 22$ МПа, $R_b = 17$ МПа, $R_{bt,ser} = 1,75$ МПа; $E_b = 30000$ МПа,

- арматура стеклопластиковая с $R_{fs} = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{fn} / \gamma_f = 0.9 \cdot 0.5 \cdot 1200$ (см. табл. №3 «Методического пособия») = 360 МПа; $A_{fs} = A_{fs}' = 1077 \text{ мм}^2$,

$$E_f = 50000 \text{ МПа}.$$

Расчетные моменты: $M_{оп.} = M_{прол.} = 26,95$ кНм/м.

Сечение плиты: $B = 1000$ мм, $h = 200$ мм, $a = \xi a' = 31$ мм

$$\alpha = \alpha' = E_f / E_b = 5 \cdot 10^4 / 3 \cdot 10^4 = 1,67$$

Момент образования трещин $M_{crc} = 18,85$ кН.м/м $< M = 26,95$ кНм/м, след. расчет по трещинообразованию требуется.

Определим напряжение в арматуре $\sigma_f = M / z_f \cdot A_{fs}$.

Рабочая высота сечения $h_0 = h - a = 200 - 31 = 169$ мм; коэффициент приведения $\alpha_{f1} = E_f / E_{b,red}$ (где $E_{b,red} = R_{b,ser} / \epsilon_{b1,red} = 22 / 15 \cdot 10^{-4} = 1,47 \cdot 10^4$) =

$5 \cdot 10^4 / 1,47 \cdot 10^4 = 3,4$; Тогда при $\mu_f \cdot \alpha_{f1} = A_{fs}' \cdot \alpha_{f1} / b h_0 = 1077 \cdot 3,4 / 1000 \cdot 169 = 0,0217$ и $\gamma = (b' - b) \cdot h'_f + \alpha_{f1} \cdot A_{fs}' / b h_0 = (1000 - 1000) \cdot 0 + 3,4 \cdot 1077 / 1000 \cdot 169 = 0,022$ из графика 4.3 при $\delta = 2a' / h_0 = 2 \cdot 31 / 169 = 0,18 < 0,2$ находим коэффициент $\xi = 0,97$ и плечо внутренней пары сил равно

$$z_f = \xi * h_0 = 0.97 * 169 = 163,9 \text{ мм}$$

$$\sigma_f = M / z_f * A_{fs} = 26,95 * 10^6 / 163,9 * 1077 = 152,7 \text{ МПа};$$

определим расстояние между трещинами $l_f = 0,5 * A_{bt} * d_f / A_{fs}$; Определим

$$y_t = S_{red} / A_{red}, \text{ где } A_{red} = A + \alpha * A_{fs} + \alpha' * A_{fs}' = b * h + \alpha * A_{fs} + \alpha' * A_{fs}' = 200 * 1000 + 1,67 * 1077 + 1,67 * 1077 = 203597 \text{ мм}^2; y_t = S_{red} / A_{red} = (200000 * 200 / 2 + 1798,6 * 33 + 1798,6 * 167) / 203597 = 100 \text{ мм}.$$

Так как высота растянутого бетона $y = y_t k = 100 * 0,9 = 90 \text{ мм} < h/2$, площадь сечения растянутого бетона принимаем равной: $A_{bt} = b * y = 1000 * 90 = 90000 \text{ мм}^2$, тогда $l_f = 0,5 * A_{bt} * d_{fs} / A_{fs} = 0,5 * 90000 * 12 / 1077 = 501,4 \text{ мм}$, что $> 40 d_f = 480 \text{ мм}$, поэтому принимаем $l_f = 400 \text{ мм}$;

$$\Psi_f = 1 - 0,8 * M_{crc} / M = 1 - 0,8 * 18,85 / 26,95 = 0,44;$$

Определяем ширину продолжительного раскрытия трещин, принимая $\varphi_1 = 1,4$; $\varphi_2 = 0,8$; $\varphi_3 = 1,0$.

$$\alpha_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 * \Psi_f * \sigma_f * l_f / E_f = 1,4 * 0,8 * 1 * 0,44 * 152,7 * 400 / 5 * 10^4 =$$

$0,17 \text{ мм} < 0,5 \text{ мм}$, что меньше предельно допустимой ширины продолжительного раскрытия трещин, равной $0,5 \text{ мм}$.

По Канадским нормам принимаем верхнее и нижнее армирование из арматуры $d = 20 \text{ мм}$.

На рисунках 12-15 приведены примеры массового эффективного использования композитной неметаллической арматуры в геотехнических конструкциях и дорожном строительстве.

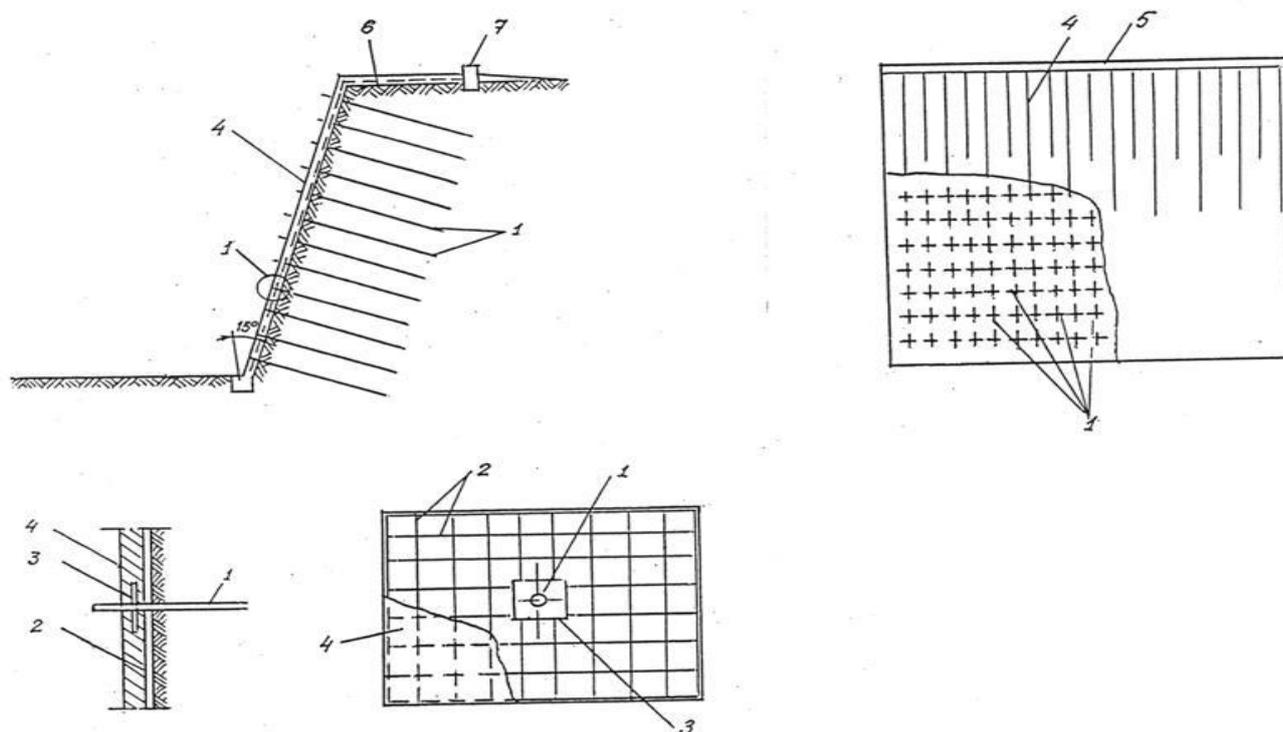


Рис. 12. Примеры применения нагельного крепления котлованов и откосов стержнями из композитной неметаллической арматуры:

- а) крепление вертикальной стены котлована;
- б) крепление откоса котлована;
- в) постоянное крепление откоса железной дороги;
- г) постоянное крепление откоса автомобильных дорог;
- д) постоянное крепление откоса с неустойчивым грунтом;
- е) постоянное крепление подпорной стены.

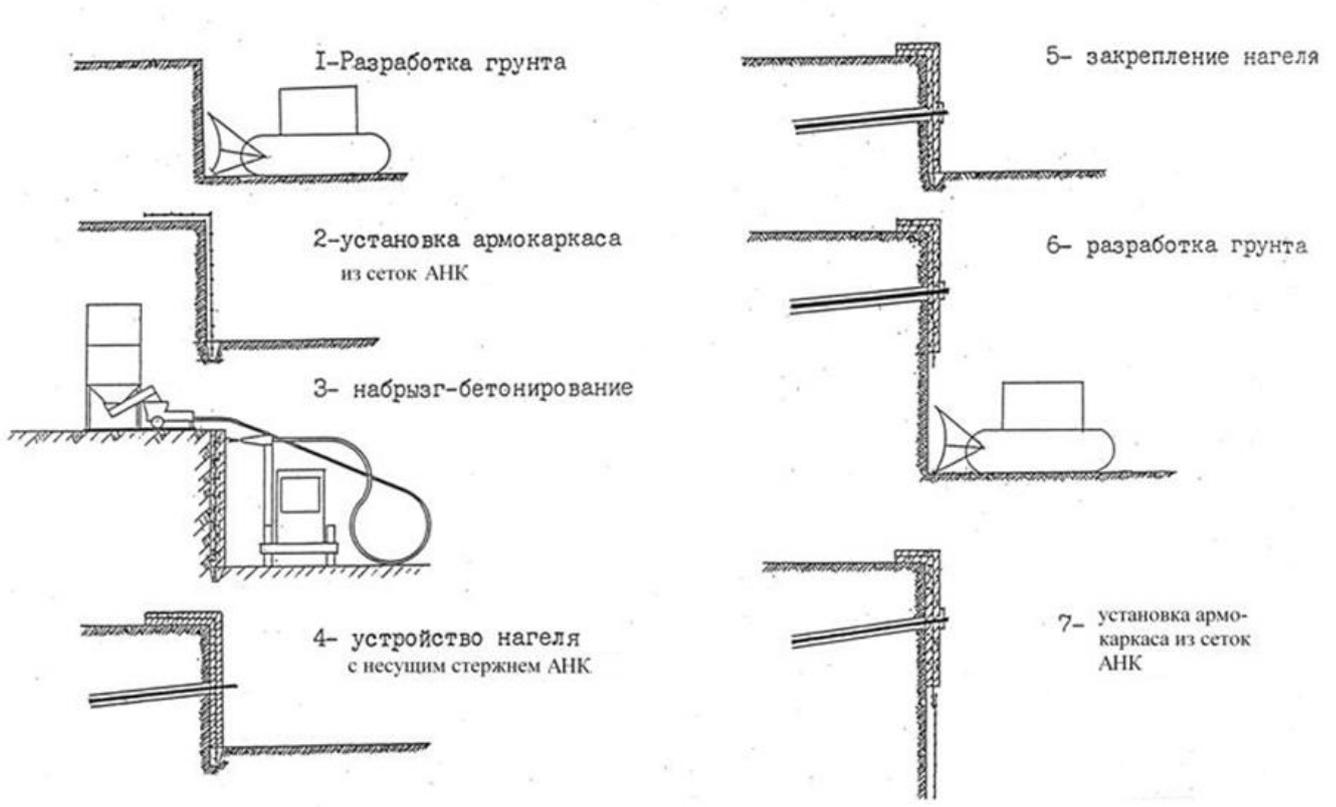


Рис. 13. Технология устройства нагельного крепления с набрызг-бетонным экраном и буринъекционным нагелем с несущим стержнем из композитной неметаллической арматуры

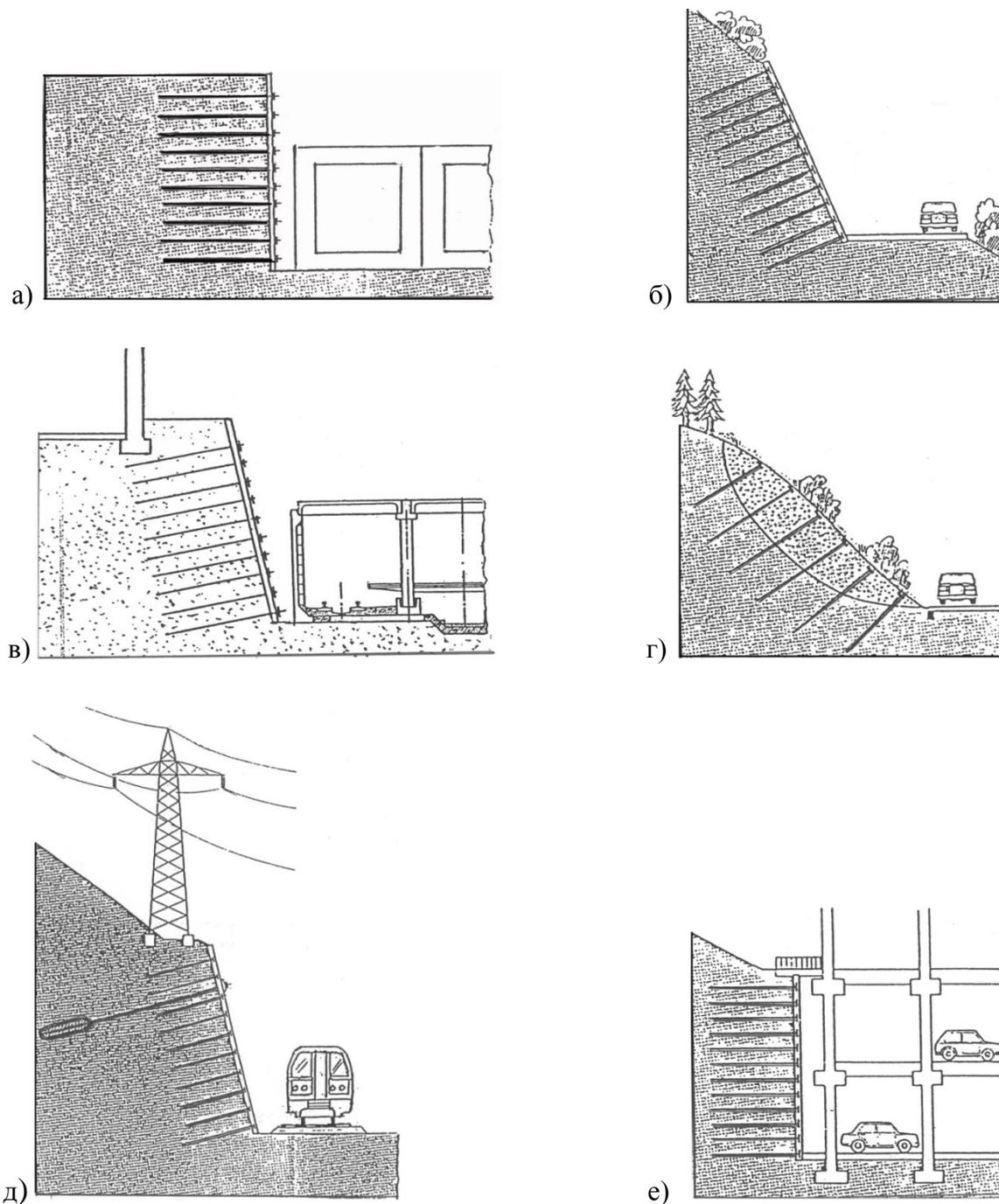


Рис. 14. Примеры применения нагельного крепления котлованов и откосов стержнями из композитной неметаллической арматуры:

- а) крепление вертикальной стены котлована;
- б) крепление откоса котлована;
- в) постоянное крепление откоса железной дороги;
- г) постоянное крепление откоса автомобильных дорог;
- д) постоянное крепление откоса с неустойчивым грунтом;
- е) постоянное крепление подпорной стены.

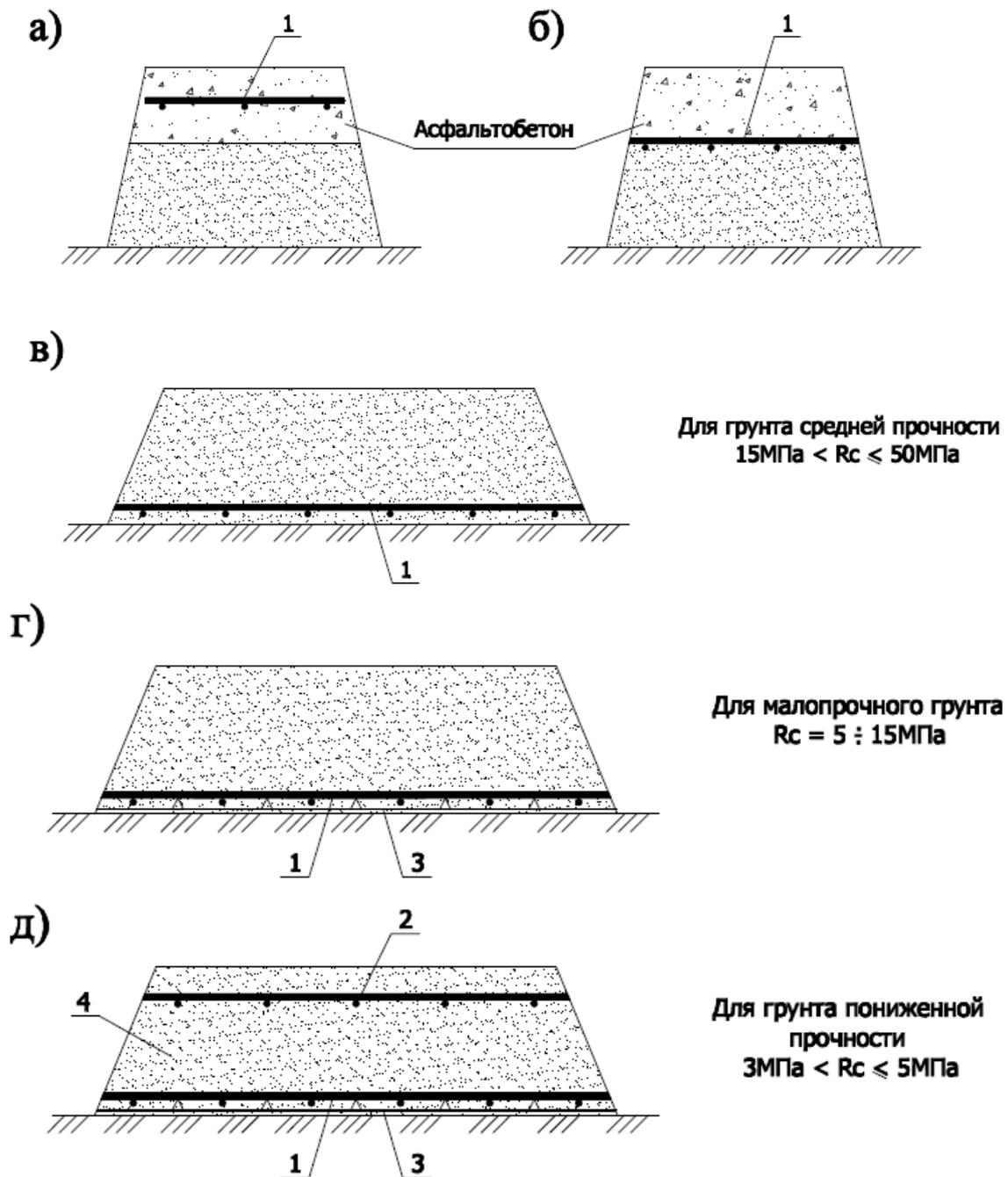


Рис. 15. Схемы применения сеток из композитной арматуры (поз. 1 и 2) в дорожном строительстве:

- а) в составе асфальтобетонного покрытия;
- б) в основании асфальтобетонного покрытия;
- в) в основании насыпи дороги на слое дренирующего грунта;
- г) в сочетании с геотекстильным материалом (поз. 3);
- д) в основании насыпи дороги в сочетании с геотекстильным материалом (поз. 3) и сеткой (поз. 2) на дренирующем грунте (поз. 4) в средней части дороги.

Литература

1. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях ТР 013-01-04. М., НИИЖБ, 2004 г.;
2. Стандарт организации СТО 83269053-001-2010. «Применение в транспортном строительстве неметаллической композитной арматуры периодического профиля»
3. Львович Ю.М. Геотехнические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. М., 2002 г.;
4. Стандарт организации СТО НОСТРОЙ-43. «Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры»;
5. Технические условия ТУ 5714-007-13101102-2009. «Арматура композитная»;
6. Технические условия ТУ 2296-014-13101102-2012. «Арматура стеклопластиковая»;
7. Стандарт организации СТО-ГК «Трансстрой» – 013 – 2007. «Нагельное крепление котлованов и откосов в транспортном строительстве»;
8. Стандарт организации СТО-ГК «Трансстрой» – 023 – 2007. «Применение грунтовых анкеров и свай»;
9. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;
10. СНиП П-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции»;
11. ГОСТ 3282-74 «Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения»;
12. СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;
13. ГОСТ 5781 82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций»;
14. ГОСТ 10884 94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций»;
15. ГОСТ 13840 68 «Канаты стальные арматурные 1х7»;
16. ГОСТ 10922 2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций»;
17. СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»;
18. ГОСТ 26633 2011 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые»;
19. ГОСТ 25820 2000 «Бетоны легкие»;

20. ГОСТ 7473 2010 «Смеси бетонные»;
21. ГОСТ 9128 2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон»;
22. ГОСТ 31384 2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии»;
23. СП 28.13330 «Защита строительных конструкций от коррозии»;
24. СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия»;
25. ГОСТ 21924.0 84* «Плиты железобетонные для покрытий городских дорог»;
26. ГОСТ Р 52544 2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций»;
27. ГОСТ 6727 80 «Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций»;
28. ГОСТ 10178 85 «Портландцемент и шлакопортландцемент»;
29. ГОСТ 25192 82 «Бетоны. Классификация и общие технические требования»;
30. ГОСТ 27006 86 «Бетоны. Правила подбора состава бетона»;
31. ГОСТ 24211 2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов»;
32. СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции».