

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

ДЕПАРТАМЕНТ ПУТИ И СООРУЖЕНИЙ

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель начальника  
Департамента пути и сооружений  
ОАО «РЖД»

И.В.Серебряников

18 декабря 2007 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Москва  
2009

## СОДЕРЖАНИЕ

Технические условия по применению металлических гофрированных конструкций / ОАО «РЖД». Департамент пути и сооружений. — М.: НИИТКД, 2009. — 152 с.: ил

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	6
2. РАСЧЕТЫ	10
2.1. Общая часть .....	10
2.2. Расчет гофрированных конструкций с использованием метода конечных элементов (МКЭ) .....	15
2.3. Технологические расчеты .....	18
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ	19
3.1. Общие положения .....	19
3.2. Элементы конструкции .....	24
3.3. Защитные покрытия и лотки .....	28
3.4. Особенности проектирования металлических гофрированных конструкций больших пролетов .....	30
3.5. Фундаменты .....	35
3.6. Особенности проектирования металлических гофрированных конструкций в местах образования наледей и морозного пучения грунта .....	35
4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	36
5. ПРАВИЛА ПРОИЗВОДСТВА И ПРИЕМКИ РАБОТ	39
5.1. Общие положения .....	40
5.2. Транспортирование элементов и конструкций МГК .....	41
5.3. Устройство основания .....	44
5.4. Монтаж металлических гофрированных конструкций .....	44
5.4.1. Общие положения .....	44
5.4.2. Сборка секций и укрупнение элементов на полигоне ...	45
5.4.3. Монтаж МГК диаметром (пролетом) до 3 м из секций ...	46
5.4.4. Сборка МГК из отдельных элементов.....	46
5.5. Устройство дополнительного защитного покрытия .....	49
5.6. Устройство грунтовых обойм и засыпка металлических гофрированных конструкций .....	51
5.7. Устройство лотков .....	54
6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА РАБОТ .....	60
7. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ .....	64

Нормативные ссылки .....	67
Список принятых сокращений .....	70
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Характеристики гофрированных элементов .....</b>	<b>71</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Состав и требования к объему исходных данных для расчета гофрированных конструкций по методу конечных элементов (МКЭ) .....</b>	<b>73</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. Расчет металлических гофрированных конструкций по прочности и устойчивости на эксплуатационные нагрузки с использованием упрощенных формул .....</b>	<b>75</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Примеры расчета сооружений из МГК с распределительной конструкцией .....</b>	<b>78</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Расчет гофрированных конструкций на сейсмические воздействия</b>	
1. Общие положения .....	101
2. Задание граничных условий в конечно-элементной динамической модели для расчета гофрированных труб на сейсмические воздействия .....	106
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Методические рекомендации по гидравлическому расчету металлических гофрированных водопропускных труб</b>	
1. Общие положения .....	113
2. Гидравлический расчет .....	114
2.1. Определение пропускной способности труб .....	114
2.2. Режим протекания в гофрированной металлической трубе .....	121
3. Алгоритмы выбора рационального типа водопропускного тракта труб .....	123
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Расчет осадок труб и назначение строительного подъема .....</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ З. Оборудование, приборы и инструменты, рекомендуемые при производстве работ при антакоррозийной обработке, ремонте и гидроизоляции металлических гофрированных конструкций .....</b>	<b>131</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ И. Рекомендации по применению новых конструктивных решений сооружений из МГК с полистирольными пенопластами в суровых климатических условиях .....</b>	<b>136</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ К. Материалы, применяемые при устройстве лотков .....</b>	<b>144</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Л. Методы испытаний и контроля степени уплотнения грунтов .....</b>	<b>148</b>

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Технические условия (далее — ТУ) распространяются на проектирование и постройку металлических гофрированных конструкций отечественной и импортной поставки на железных и автомобильных дорогах, включая дороги промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также на дорогах и улицах городов и поселков при сооружении водопропускных труб, транспортных погребов, мостов и галерей.

При разработке проектов должны соблюдаться требования действующих государственных нормативных документов и стандартов.

1.2. Проектирование металлических гофрированных конструкций (МГК) следует осуществлять, исходя из технико-экономической целесообразности их применения в конкретных условиях строительства с учетом максимального снижения материала-емкости, трудоемкости и стоимости сооружения с обеспечением расчетной долговечности МГК.

1.3. При проектировании и строительстве МГК следует обеспечивать совместную работу гофрированной конструкции и окружающего грунта (система "конструкция — грунт"). Совместная работа должна достигаться устройством специальной призмы засыпки из грунтов рекомендованной номенклатуры, уплотняемых до заданной плотности.

1.4. Отверстия водопропускных МГК следует назначать не менее 1,0 м.

Для водопропускных МГК на основе гидравлических расчетов следует предусматривать углубление, планировку и укрепление русел, устройства, препятствующие накоплению наносов, а также устройства для гашения скоростей протекающей воды на входе и выходе.

1.5. Отверстия водопропускных гофрированных труб должны рассчитываться при безнапорном режиме работы сооружения в соответствии [1] (СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»).

Возвышение высшей точки внутренней поверхности гофрированной конструкции над горизонтом воды при расчетном расходе должно быть на железных дорогах не менее четверти высоты водопропускного сооружения в свету.

Заполнение входного сечения трубы при расчетном расходе на автомобильных дорогах должно быть не более высоты сооружения, а на железных дорогах при наибольшем расходе — 0,9 его высоты.

На автомобильных дорогах для труб, расположенных в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки до минус 40 °C включительно, а на скальных грунтах независимо от температуры наружного воздуха — допускаются полунапорный и напорный режимы при условии обеспечения водонепроницаемости швов в металлоконструкциях и устойчивости насыпи против фильтрации.

1.6. Водопропускные сооружения из МГК замкнутого сечения с отверстием менее трех метров не допускается применять на реках с карчеходом и ледоходом, а также в местах возможного возникновения селей на постоянно действующих водотоках.

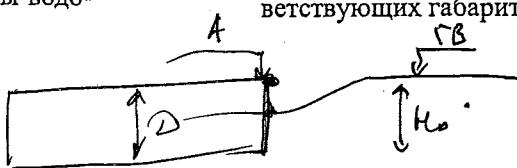
В местах возможного возникновения селей на постоянно действующих водотоках необходимо применять водопропускные сооружения из МГК отверстием более четырех метров. При этом они должны рассчитываться на пропуск водного потока только в безнапорном режиме и проектироваться по нормам проектирования мостов. Такие конструкции целесообразно сооружать в виде арок, опирающихся на ленточный фундамент.

1.7. На водотоках, где возникают наледи, целесообразно применение водопропускных труб из МГК арочного очертания, теплоизолированных полистиролом в комплексе с геосинтетическими материалами (см. приложение И).

1.8. Водопропускные сооружения из МГК отверстием более 3 м в виде арок проектируются без ограничения уклона по руслу под аркой.

Металлические гофрированные трубы отверстием до 3 м и под насыпями высотой 4 м и более на косогорах разрешается применять при условии устройства их с уклоном не более 0,03 на железных дорогах и 0,05 на автодорогах и сооружении на входе и выходе из трубы гасящих конструкций (колодцев, быстротоков, скальных отсыпок и других гасителей).

1.9. Отверстия МГК для пропуска автомобильного и железнодорожного транспорта следует проектировать с обеспечением соответствующих габаритов.



$$A \geq GB + \frac{D}{4} \quad 1) \text{ КД ограж}$$

$$A \geq GB + 0,1D \quad 2) \text{ КД Q_{наиб}}$$

$$A \geq GB \quad 3) Ag \cdot Q_{наиб}$$

Гофрированные конструкции для прогона скота целесообразно сооружать в виде арок с радиусом не менее трех метров, опирающихся на ленточный или лотковый фундамент.

Допускается удлинение МГК при уширении проезжей части и реконструкции дорог. Соединение новых элементов гофрированных конструкций с эксплуатируемыми осуществляется в соответствии с проектом реконструкции МГК.

1.10. Наименьшую толщину засыпки над звенями МГК без применения разгружающих конструкций следует принимать равной [1]:

- на автомобильных дорогах, а также на дорогах и на улицах городов и поселков — 0,5 м до низа дорожной одежды, но не менее 0,8 м до верха дорожного покрытия;
- на железных дорогах — 1,2 м до подошвы рельса (0,5 м до бровки насыпи);
- на внутренних железнодорожных путях промышленных и сельскохозяйственных предприятий — 1 м до подошвы рельса (0,5 м до бровки насыпи).

При применении распределительных конструкций (пакетов) минимальная толщина засыпки над сводом металлических гофрированных конструкций должна проверяться расчетом (см. приложение Г). Толщина засыпки над МГК в период строительства должна обеспечивать возможность пропуска строительных машин и механизмов и учитываться в расчетах на стадии проектирования.

1.11. Основные размеры водопропускных труб и сооружений из МГК должны назначаться с учетом унификации металлоконструкций (гофрированных элементов, секций, крепежа).

1.12. Внутренняя и наружная поверхности водопропускных труб и сооружений из МГК должны иметь защитное антикоррозионное покрытие, а в необходимых случаях и дополнительные защитные покрытия от механических и абразивных воздействий.

От механических повреждений антикоррозийного покрытия при засыпке грунтом следует применять обертывание трубы геотекстилем.

1.13. При проектировании сопряжения гофрированной конструкции с насыпью, а также с подводящей и отводящей частями русла, следует предусматривать укрепление откосов насыпи и русла.

1.14. Расчет водопропускных гофрированных конструкций на воздействие водного потока на железных дорогах следует произво-

дить по гидрографам расчетных и наибольшего паводков, а на автомобильных дорогах — по гидрографам расчетного паводка.

Вероятность превышения расходов на пике паводков и соответствующих им уровней воды на железных дорогах следует принимать расчетные — 1 % для линий I и II категорий, 2 % — для линий III и IV категорий и подъездных путей; наибольшие — 0,33 % для линий I и II категорий, 1 % — для линий III и IV категорий.

Для труб на подъездных путях промышленных и сельскохозяйственных предприятий, на которых по технологическим причинам не допускается перерывы движения, вероятность превышения расчетных расходов уровня воды следует принимать равной 1 %.

Вероятность превышения расходов на пике расчетных паводков при проектировании труб на автомобильных дорогах следует принимать:

- 1 % — на дорогах I категории;
- 2 % — на дорогах II и III категории и городских улицах;
- 3 % — на дорогах IV и V категорий.

В районах с развитой сетью автомобильных дорог при технико-экономическом обосновании вероятность превышения расходов допускается принимать 2 % вместо 1 %, 3 % вместо 2 %, 5 % вместо 3 %.

При пропуске наибольших расходов допускаемые скорости для расчета укреплений повышаются на 35 %.

При определении глубины размыва и размеров укреплений расчетные расходы (для учета возможных ошибок) увеличиваются на 30 %.

## 2. РАСЧЕТЫ

### 2.1. Общая часть

2.1.1. При проектировании металлических гофрированных конструкций необходимо проводить четыре группы расчетов:

- расчеты конструкций по предельным состояниям первой и второй группы,
- технологические расчеты,
- гидравлические расчеты,
- экономические расчеты.

2.1.2. Расчеты по первому предельному состоянию должны обеспечить прочность и устойчивость МГК, а также их функциональную пригодность, как в процессе эксплуатации сооружения, так и в период строительства. При этом производятся следующие группы расчетов:

- расчет конструкции по первому предельному состоянию на эксплуатационные и строительные нагрузки. При расчете на строительные нагрузки необходимо учитывать различную интенсивность вертикального и бокового давления грунта по контуру трубы при возведении насыпи;
- проверка общей устойчивости формы поперечного сечения МГК;
- расчет стыковых соединений;
- расчет конструкции по второму предельному состоянию (ограничение предельных деформаций поперечного сечения) на эксплуатационные нагрузки.

2.1.3. Расчет прочности и устойчивости МГК осуществляется на действие постоянной, временной, температурной нагрузок в соответствии с СНиП 2.05.03-84 [1]. Характеристики гофрированных элементов, требуемые для расчетов приведены в Приложениях А и Б.

2.1.4. Расчет прочности и устойчивости круглых и арочных МГК диаметром (пролетом) до 3 метров включительно допускается производить по приближенным формулам Приложения В. При более сложном очертании МГК расчет необходимо производить с использованием метода конечных элементов (см. Приложение Б).

2.1.5. Расчет прочности и устойчивости МГК диаметром (пролетом) более 3 метров любого очертания необходимо выполнять с

использованием метода конечных элементов (МКЭ) в соответствии с приложением Г.

2.1.6. В сейсмически опасных районах необходимо рассчитывать МГК по прочности на действие сейсмической инерционной нагрузки в соответствии с Приложением Д. При возможности возникновения наледей в МГК их надо учитывать в расчете сейсмических нагрузок как временную длительную нагрузку.

2.1.7. Расчеты МГК осуществляются на два уровня железнодорожной нагрузки:

- обращающуюся (С-8) при характеристиках свежеуложенной насыпи с коэффициентом компрессионного сжатия  $a = 0,04$ ;
- перспективную (С-14) при характеристиках укатанной насыпи с коэффициентом компрессионного сжатия  $a = 0,02$ .

2.1.8. Расчет МГК на воздействие от схода селя следует выполнять в соответствии со СНИП 2.01.15-90 [32]. При отсутствии необходимых данных гофрированная конструкция рассчитывается на дополнительное давление  $p$ , приложенное к поверхности засыпки и определяемое по формуле:

$$p = \rho V^2 \sin \alpha, \quad (2.1)$$

где:  $\rho$  — плотность грунтовой массы селя;

$V$  — скорость схода селя;

$\alpha$  — угол наклона склона, по которому сходит сель.

Скорость схода селя определяется по формуле:

$$V \approx \sqrt{2gH}, \quad (2.2)$$

где  $H$  — средняя высота, с которой сходит сель.

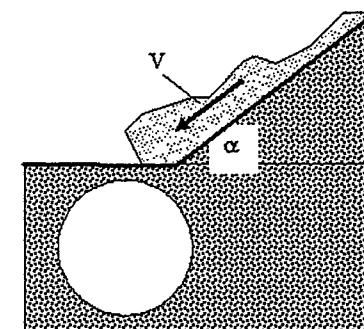


Рис. 2.1. К расчету МГК воздействие от схода селя или лавины

2.1.9. Технологические расчеты проводятся для назначения строительного подъема и принятия решения о конструкции основания и включают оценку осадки МГК с обоймой под насыпью в ходе строительства и при последующей эксплуатации.

2.1.10. При привязке проектов металлических гофрированных конструкций к конкретным условиям строительства производят:

- гидравлические расчеты (Приложение Е);
- расчет осадок и строительного подъема лотка МГК (Приложение Ж);
- конструирование и расчет грунтовой обоймы и приспособлений, обеспечивающих ограничение поперечных деформаций МГК на стадии формирования грунтовой обоймы, засыпки и уплотнения боковых призм грунта и возведения насыпи до проектных отметок.

2.1.11. Технико-экономические расчеты выполняются для обоснования индивидуальных проектных решений по:

- увеличению водопропускной способности трубы за счет применения оголовков;
- увеличению уклона трубы выше 0,03;
- выбору схем укладки трубы на косогорах, сравнению замены грунта в основании с искусственным основанием.

Методика технико-экономических расчетов выбирается при проектировании.

2.1.12. Болтовые соединения металлических гофрированных конструкций рассчитываются на срез и на растяжение с изгибом. Расчет болтовых соединений на срез основан на предположении, что все сдвигающие усилия в стыке воспринимаются болтами. Трение по контактным поверхностям соединяемых элементов не учитывается. Расчет болтов на растяжение с изгибом выполняется с учетом сил трения по контактным поверхностям гофрированных листов.

2.1.13. Расчет болтовых соединений на срез производится на суммарные сдвигающие усилия от действия осевой сжимающей силы и изгибающего момента, соответствующего образованию пластического шарнира в стенке МГК. Расчет ведется в предположении, что усилия между всеми болтами соединения распределяются равномерно.

Расчетное сдвигающее усилие на один болт  $S$  определяется по формуле:

$$S = a \cdot \frac{N}{\lambda n}, \quad (2.3)$$

где  $n$  — число болтов в соединении на один погонный метр трубы;

$N$  — расчетное осевое сжимающее усилие на одну волну гофрированного листа (длиной  $\lambda$  см. Приложение А), принимаемое по формуле В2 (см. Приложение В);

$a = 1,2$  — коэффициент, учитывающий увеличение сдвигающего усилия в соединении от действия изгибающего момента.

Прочность болтового соединения проверяется по формулам:

- при расчете на смятие кромок отверстий в соединяемых элементах

$$\frac{S}{td} \leq m R_{bp}, \quad (2.4)$$

— при расчете на срез болтов

$$\frac{4S}{\pi d^2} \leq m R_{bs}, \quad (2.5)$$

где  $t$  — толщина листа стыкуемых элементов;

$d$  — номинальный диаметр болта;

$m$  — коэффициент условий работы соединения, принимается равным 0,9;

$R_{bp}$ ,  $R_{bs}$  — расчетное сопротивление для болтового соединения при работе кромок стыкуемых элементов на смятие и болта на срез.

2.1.14. Расчет болтовых соединений от действия растягивающих напряжений, возникающих при натяжении болта и при его изгибе, выполняется по формулам:

- при соединении двух гофрированных листов:

$$\sigma = \frac{N_s}{A} + \frac{M_2}{W} + E \cdot \frac{\Delta^2}{8 \cdot \delta^2} \leq m \cdot R_y, \quad (2.6)$$

— при соединении трех гофрированных листов:

$$\sigma = \frac{N_s}{A} + \frac{M_3}{W} + E \cdot \frac{\Delta^2}{8 \cdot \delta^2} \leq m \cdot R_y, \quad (2.7)$$

Ч-?  $\Delta = ?$  да же нет  $EE=6$  из  
закону Гука.

где  $\sigma$  — нормальные напряжения в теле болта;  
 $N_b$  — сила натяжения болта;

$A$  — площадь поперечного сечения болта;

$M_2, M_3$ , — величины изгибающего момента в болтовом соединении соответственно при двух и трех листах;

$$M_2 = N_b \cdot f \cdot \delta,$$

$$M_3 = 0,5 \cdot N \cdot \delta - M_2;$$

$N$  — расчетное осевое сжимающее усилие на одну волну гофра (длиной  $\lambda$ ), принимаемое по формуле В2 приложения В;

$f$  — коэффициент трения в болтовом соединении;

—  $E \cdot \frac{\Delta^2}{8 \cdot \delta^2}$  — напряжения, обусловленные удлинением болта

при относительном сдвиге его концов на величину  $\Delta$ ,

$\delta$  — толщина гофрированного листа,

$E$  — модуль упругости металла,

$m$  — коэффициент условия работы,

$R_y$  — расчетное сопротивление металла на изгиб.

2.1.15. При расчете металлических гофрированных конструкций по ограничению предельных деформаций поперечного сечения предельные относительные изменения горизонтального или вертикального размеров МГК при равномерном уплотнении грунта по ее контуру не должны превышать 0,1 %. Относительные изменения размеров МГК круглого сечения можно определять по формуле.

$$\varsigma = \frac{\gamma \cdot (h + R)}{E}, \quad (2.8)$$

$$\frac{\delta}{R} + \frac{E_0}{E} (1 - \nu^2)$$

где  $\gamma$  — удельный вес грунта засыпки;

$h$  — расстояние от верхней точки МГК до подошвы рельса или верха дорожного покрытия;

$R$  — радиус поперечного сечения МГК;

$E$  — модуль упругости стали;

$E_0$  — модуль деформации грунта засыпки;

Берто  
изгибательная жесткость  
это разные

$\delta$  — условная толщина круглой трубы, имеющей ту же изгибательную погонную жесткость, что и гофрированная конструкция. Значение  $\delta$  для  $\lambda = 16,4$  см принимаются по таблице В1 приложения В;

$\nu = 0,25$  — коэффициент Пуассона материала МГК.

Пределные деформации поперечного сечения МГК других типов (см. табл. 3.1 ТУ) определяются численными методами.

## 2.2. Расчет гофрированных конструкций с использованием метода конечных элементов (МКЭ)

2.2.1. Расчет МГК методом конечных элементов целесообразно применять в следующих случаях:

- для конструкций диаметром (пролетом) более 3 метров при статических расчетах и любой высоте засыпки, в том числе при армировании грунтовой обоймы;

- в случае залегания в основании конструкции просадочных, набухающих или сезонно оттаивающих (для зон вечной мерзлоты) грунтов, когда требуется разработка специальных мероприятий по конструкции фундаментов (опор);

- для конструкций диаметром (пролетом) более 3 метров на площадках, находящихся в зонах 7-ми и более баллов по соответствующей карте ОСР;

- для конструкций диаметром (пролетом) более 3 метров на площадках, сложенных грунтами 3 категории по сейсмическим свойствам по СНиП П-7-81\*, находящихся в зонах 6-ти и более баллов по соответствующей карте ОСР;

- для конструкций диаметром (пролетом) более 3 метров при наличии откоса поверхности засыпки при возможности воздействия на сооружение камнепадов, лавин и других подобных воздействий;

2.2.2. Использование метода конечных элементов для расчета МГК предполагает построение расчетной модели системы «подстилающий грунт — грунт засыпки — металлическая гофрированная конструкция» в виде совокупности конечных элементов, связанных друг с другом в дискретных узлах. Для каждого узла, в зависимости от потребности решаемой задачи, назначается число степеней свободы (независимых переменных, определяющих размерность задачи) — перемещений и поворотов. Форма, число узлов конечного элемента и число степеней свободы в каждом узле определяют тип

элемента из библиотеки стандартных элементов, имеющихся в любом программном комплексе МКЭ.

Разрешающая система уравнений в наиболее распространенном на практике варианте МКЭ в форме метода перемещений представляет собой систему алгебраических уравнений относительно неизвестных перемещений (поворотов) в узлах расчетной модели.

2.2.3. Расчет производится с использованием трехмерных (пространственных) и двухмерных (плоских) идеализаций системы «подстилающий грунт — грунт засыпки — металлическая гофрированная конструкция».

Как правило, металлическая гофрированная конструкция рассматривается как единая однородная конструкция, моделирование которой выполняется с использованием плоских элементов, деформируемых в плоскости сечения системы. Обычно поведение материала конструкции ограничивается рассмотрением упругой области, что соответствует основным принципам проектирования, т.е. недопущению образования пластических шарниров в конструкции. Однако МКЭ допускает моделирование нелинейного поведения материала конструкции. Использование пространственной модели системы «подстилающий грунт — грунт засыпки — МГК» необходимо при высоте грунта над МГК менее 1,0 м и использовании в этом случае распределительной конструкции (см. рис. 3.8).

2.2.4. Определяются геометрические размеры областей, соответствующие каждому из типов грунтов, который рассматривается как связанная однородная сплошная среда. Модуль деформации среды  $E_0$  рассчитывается по формуле:

$$E_0 = 2,3 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \frac{1+e}{a}, \quad \text{нагрузка} \quad 2.3 \quad (2.9)$$

где  $\rho$  — плотность грунта засыпки;

$g$  — ускорение свободного падения;

$h$  — глубина залегания с учетом  $h_{eq}$  — высоты насыпи, эквивалентной по действию временной железнодорожной нагрузке, вычисляемой по формуле В3 приложения В;

$e$  — коэффициент пористости, составляющий для материала засыпки величину порядка 0,6;

при  $h = 0 = 3$

$$2.3 \cdot 1800 \cdot 9.8 \cdot 3 \cdot \frac{1.6}{16 \cdot 0.04} =$$

$a$  — коэффициент компрессионного сжатия, равный 0,04 для свежеуложенного уплотненного грунта и 0,02 для грунта после 2–3-летней эксплуатации.

Если поверхность какого-либо из слоев расположена под углом к горизонту, то это необходимо учитывать при построении расчетной модели. Взаимодействие более мягкого грунта, окружающего металлическую конструкцию, со скальным должно моделироваться контактными элементами, учитывающими контактное трение, или введением узкого слоя между ними с низким значением модуля сдвига.

2.2.5. Для исключения влияния граничных условий, накладываемых по боковым сторонам массива грунта засыпки, на результаты статического расчета МГК границу расчетной области грунта рекомендуется выбирать на расстоянии не менее  $3R$  (где  $R$  — половина пролета или диаметра конструкции) от боковой стороны конструкции.

Нижнюю границу расчетной области рекомендуется выбирать следующим образом:

- если в основании МГК залегают грунты с модулем деформации  $> 20$  МПа — на расстоянии  $2R$  от низа конструкции, но не выше нижней границы фундамента;

- если в основании залегают грунты с модулем деформации  $< 20$  МПа, то не менее  $3R$  для конструкций замкнутого сечения и  $2R$  от низа фундамента для МГК незамкнутого сечения;

- если устойчивость фундаментов на слабых грунтах обеспечивается за счет применения свай, то на уровне расчетной глубины защемления свай в грунте;

- при наличии наклонного слоя грунта в основании на глубине менее  $3R$  необходимо включить в расчетную область верхнюю границу наклонного слоя.

По боковым и нижней границам расчетной области массива грунта (модель МКЭ) рекомендуется при статических расчетах принимать граничные условия, соответствующие заделке, т.е. запрещать все повороты и перемещения в узлах конечных элементов.

2.2.6. Состав и требования к объему исходных данных для расчета гофрированных конструкций по МКЭ приведены в приложении Б.

### 2.3. Технологические расчеты

2.3.1. Величину строительного подъема проверяют расчетом, исходя из расчетной осадки под осью насыпи высотой  $H$  с учетом уклона и длины трубы. Наименьшее значение строительного подъема должно быть не менее  $H/80$  при песчаных, галечниковых и гравелистых грунтах основания,  $H/50$  при глинистых, суглинистых и супесчаных грунтах основания и  $H/40$  при грунтовых подушках из песчано-гравелистых или песчано-щебенистых смесей. При расчете строительного подъема учитывают следующие ограничения:

- отметка лотка входного оголовка в начальный период эксплуатации и после стабилизации осадок основания во избежание застоя воды должна быть выше отметки лотка среднего звена трубы;
- строительный подъем не устраивают для труб, сооружаемых на скальных и других несжимаемых грунтах.

2.3.2. В процессе отсыпки и уплотнения грунтовой обоймы без армирования по бокам МГК относительное уменьшение наибольшего горизонтального размера не должно превышать  $3\%$  его nominalного размера. При этом следует выполнять проверку необходимости устройства временных креплений на стадии отсыпки и уплотнения боковых призм грунта.

2.3.3. Расчет осадок МГК под насыпью при отсутствии вечномерзлых грунтов в основании следует производить с использованием исходных параметров: модуля деформации и объемной массы грунта, мощности геологических слоев в основании, а также высоты насыпи. Расчет осадок на оттаивающих вечномерзлых грунтах производится по теплотехническим расчетам согласно прогнозу деградации мерзлоты.

2.3.4. Расчет осадок МГК, в основании которых сжимаемые грунты подстилаются несжимаемыми (например, скальными), следует производить в зависимости от высоты насыпи и глубины залегания несжимаемых грунтов.

2.3.5. При проектировании МГК должны учитываться результаты проверки обеспечения стабильности насыпи, выполняемой при проектировании земляного полотна.

2.3.6. Расчет осадки производится в соответствии с приложением Ж к настоящим ТУ и СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений» [3].

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ

#### 3.1. Общие положения

3.1.1. Металлические гофрированные конструкции (МГК), предназначенные для транспортных и пешеходных тоннелей, дренажей, водопропускных труб под насыпями железных и автомобильных дорог, должны быть запроектированы одновременно с грунтовой засыпкой таким образом, чтобы была обеспечена совместная их работа с окружающим грунтом насыпи.

3.1.2. Технические решения МГК должны обеспечивать эксплуатационную надежность сооружения при наименьших затратах на его содержание в течение всего срока службы; возможность изготовления элементов с максимальной заводской готовностью и сборку на строительной площадке при наименьших затратах труда; удобство перевозки элементов сооружения различными видами транспорта, в том числе воздушным.

3.1.3. При проектировании МГК в качестве водопропускных труб русло водотока вблизи сооружения может быть изменено, чтобы создать наилучшие условия для пропуска воды. Для улучшения гидравлического режима потока и повышения стабильности насыпи необходимо, чтобы поток входил в трубу и выходил из нее без резких изменений направления русла вблизи оголовков (рис. 3.1). Гидравлический расчет МГК приведен в приложении Е.

3.1.4. В качестве основного типа МГК с отверстием до 3 метров следует применять круглые трубы с вертикальными или склоненными параллельно откосу насыпи торцами концевых звеньев, с устройством оголовков или без них (рис. 3.2).

3.1.5. При необходимости обеспечения отверстия свыше 3 метров для сооружения транспортных и пешеходных тоннелей, путепроводов, дренажей, водопропускных труб под насыпями железных и автомобильных дорог применяются МГК с различными типами поперечных сечений в зависимости от назначений конструкций (таблица 3.1 и рис. 3.3).

#### 3.2. Элементы конструкции

3.2.1. Металлические гофрированные конструкции (МГК) состоят из отдельных элементов — гофрированных листов, изогнутых по заданному радиусу и образующих между собой при соединении

продольные (вдоль оси конструкции) и поперечные (кольцевые) стыки.

3.2.2. Геометрические характеристики гофрированных листов выбираются из условий обеспечения прочности, устойчивости, долговечности и стабильности МГК в проектируемой насыпи.

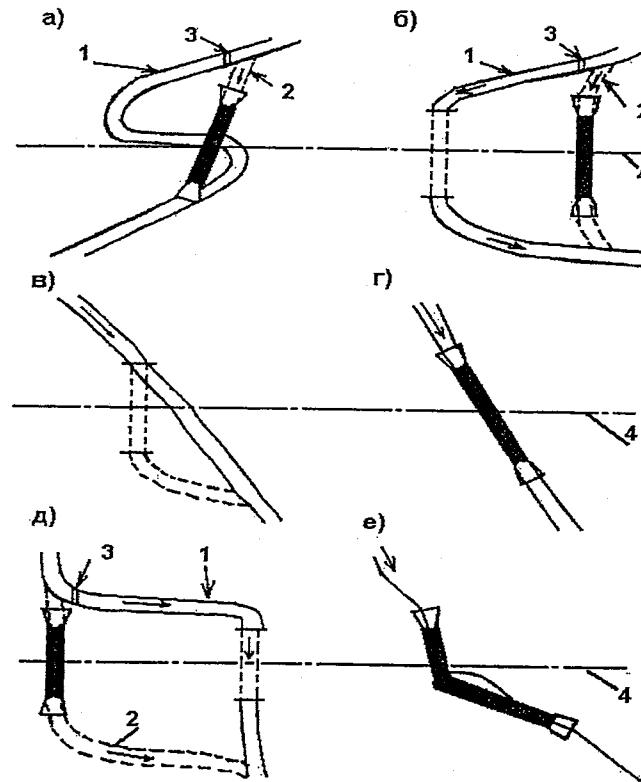


Рис. 3.1. Расположение водопропускных труб из МГК в плане:  
 а, б — изменение русла для улучшения расположения трубы;  
 в — неудовлетворительное расположение трубы;  
 г, е — правильное расположение трубы;  
 д — прохождение потока через трубу с помехами у входного оголовка;  
 1 — старое русло; 2 — новое русло; 3 — перемычка; 4 — ось насыпи

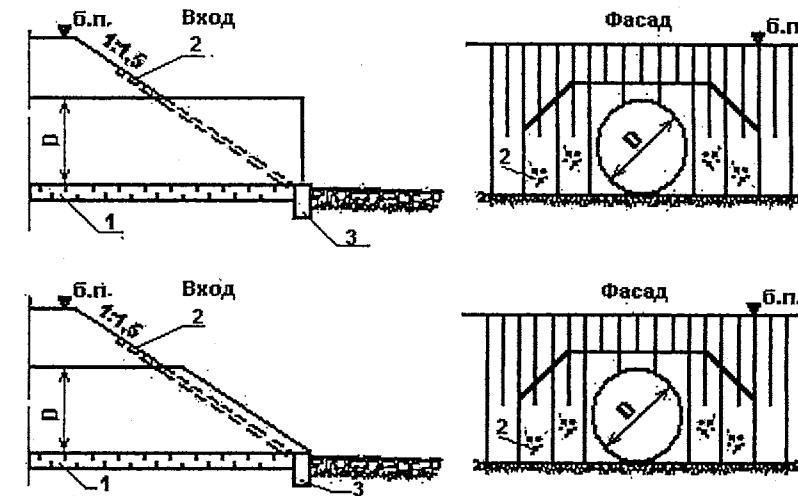
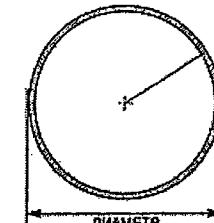


Рис. 3.2. Схема конструкции трубы с верховой стороны насыпи

- 1 — подушка основания;
- 2 — укрепление откоса;
- 3 — противофильтрационный экран

Таблица 3.1

Типы сечений металлических гофрированных конструкций

Сечение МГК	Область применения
 Круглое	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ водопропускные трубы;</li> <li>■ водоотводные каналы;</li> <li>■ дренажи;</li> <li>■ тоннели</li> </ul>

Сечение МГК	Область применения
	<ul style="list-style-type: none"> <li>для прохода пешеходов;</li> <li>проезда транспортных средств;</li> <li>пропуска воды</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>водопропускные трубы;</li> <li>пересечения транспортных потоков в разных уровнях;</li> <li>тоннели</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>водопропускные трубы;</li> <li>пересечения транспортных потоков в разных уровнях;</li> <li>тоннели</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>водопропускные трубы;</li> <li>пересечения транспортных потоков в разных уровнях;</li> <li>тоннели</li> </ul>

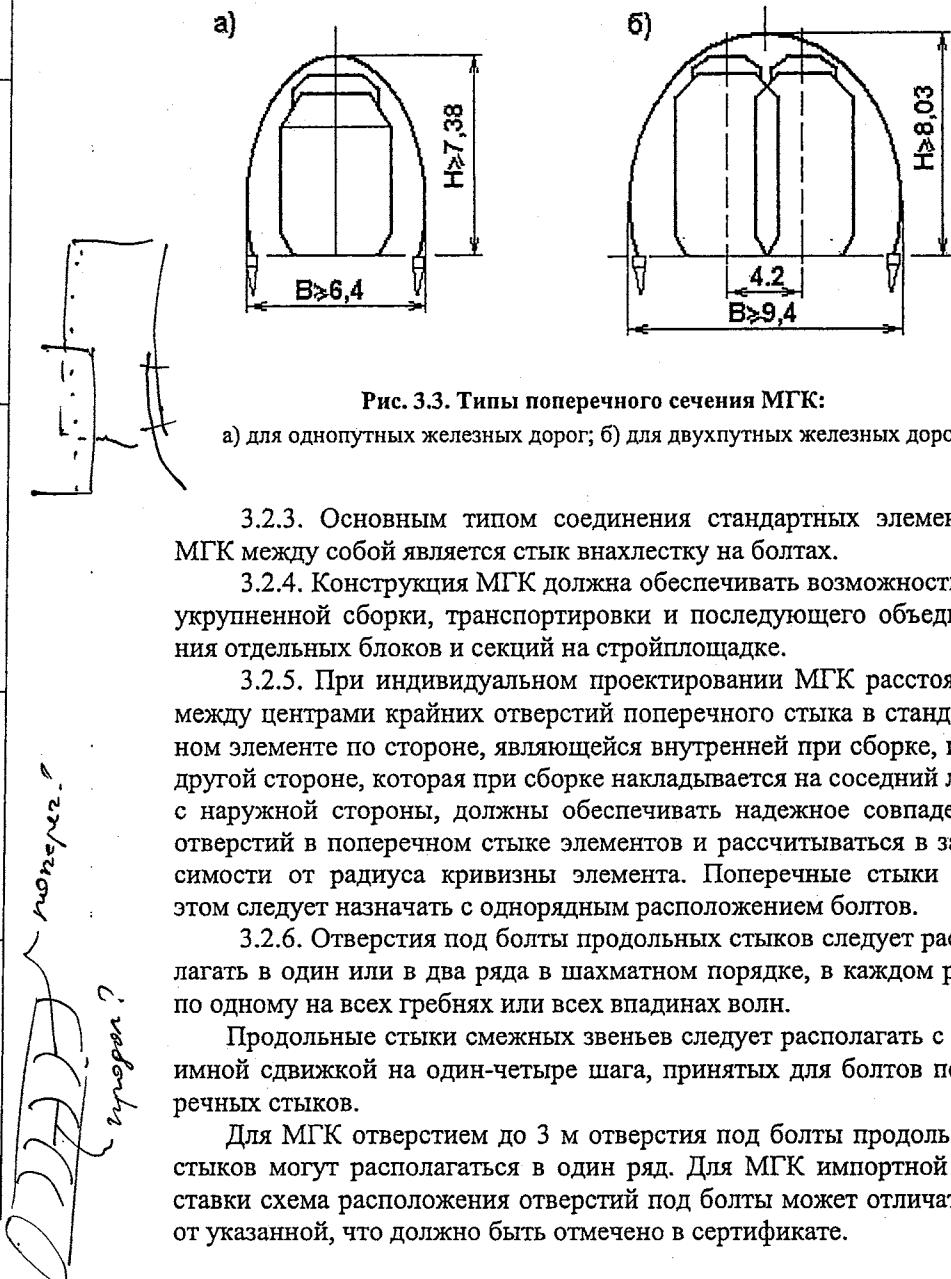


Рис. 3.3. Типы поперечного сечения МГК:

а) для однопутных железных дорог; б) для двухпутных железных дорог

3.2.3. Основным типом соединения стандартных элементов МГК между собой является стык внахлестку на болтах.

3.2.4. Конструкция МГК должна обеспечивать возможность их крупненной сборки, транспортировки и последующего объединения отдельных блоков и секций на стройплощадке.

3.2.5. При индивидуальном проектировании МГК расстояния между центрами крайних отверстий поперечного стыка в стандартном элементе по стороне, являющейся внутренней при сборке, и по другой стороне, которая при сборке накладывается на соседний лист с наружной стороны, должны обеспечивать надежное совпадение отверстий в поперечном стыке элементов и рассчитываться в зависимости от радиуса кривизны элемента. Поперечные стыки при этом следует назначать с однорядным расположением болтов.

3.2.6. Отверстия под болты продольных стыков следует располагать в один или в два ряда в шахматном порядке, в каждом ряду по одному на всех гребнях или всех впадинах волн.

Продольные стыки смежных звеньев следует располагать с взаимной сдвигкой на один-четыре шага, принятых для болтов поперечных стыков.

Для МГК отверстия до 3 м отверстия под болты продольных стыков могут располагаться в один ряд. Для МГК импортной поставки схема расположения отверстий под болты может отличаться от указанной, что должно быть отмечено в сертификате.

3.2.7. Для болтов стыковых соединений следует применять шайбы специальной формы — квадратные плосковыпуклые и квадратные плосковогнутые с цилиндрическими опорными поверхностями и радиусом кривизны, обеспечивающим плотное прилегание шайб к поверхностям впадин и гребней волн стыкуемых гофрированных листов.

При сферических опорных плоскостях болтов и гаек шайбы не применяются.

Допускаемые отклонения размеров должны соответствовать ГОСТ 1759.1-82\*[33] для класса точности В. Требования к поверхности болтов должны соответствовать ГОСТ 1759.2-82 [34], а гаек — ГОСТ 1759.5-87 [5].

3.2.8. Материал болтов и гаек выбирают в зависимости от климатического исполнения МГК. Болты и гайки изготавливают для МГК исполнения У по ГОСТ 15150-69\* [6] из сталей 35, 40 по ГОСТ 1050-88\*[7], для МГК исполнения ХЛ по ГОСТ 15150-69\* [6] — из сталей 40, 45 ГОСТ 1050-88 [7], из стали 35Х по ГОСТ 4543-71\* [8].

Класс прочности болтов не ниже 4.6 по ГОСТ 1759.4-87[4], а гаек — не ниже 4 по ГОСТ 1759.5-87 [5]. Механические характеристики болтов должны соответствовать ГОСТ 1759.4-87 [4], а гаек — ГОСТ 1759.5-87 [5].

3.2.9. Крепежные элементы для МГК должны быть сертифицированы.

### 3.3. Защитные покрытия и лотки

3.3.1. Основным средством защиты МГК от коррозии является цинковое покрытие с толщиной слоя 85–200 мкм по ГОСТ 9.307-89 [9], наносимое на внутреннюю и наружную поверхности элементов.

3.3.2. Средства дополнительной защиты МГК от коррозии и истирания от воздействия абразивных материалов следует назначать на основе данных о коррозионной активности (агрессивности) грунтов основания, насыпи и протекающей через сооружение воды и содержания в ней абразивных частиц.

3.3.3. Степень коррозионной активности недренирующих грунтов основания и насыпи по отношению к МГК следует учитывать при выборе типа дополнительной защиты по данным лабораторного анализа и определять по величине удельного электросопро-

тивления указанных грунтов (таблица 3.2). Удельное электросопротивление грунта насыпи измеряют в карьере, из которого намечено отсыпать земляное полотно (насыпь).

Удельное электросопротивление поверхностного слоя грунта (если не предусмотрено отсыпать подушку основания) измеряется по оси МГК в местах расположения входного и выходного оголовков.

Удельное электросопротивление грунтов определяется по методике, изложенной в ГОСТ 9602-84.

Таблица 3.2

Степень коррозионной активности недренирующих грунтов

Удельное электросопротивление грунта, Ом·м	более 100	100–10	менее 10
Степень коррозионной активности грунта	слабоагрес- сивная	среднеагрес- сивная	сильноагрес- сивная

3.3.4. Оценку степени коррозионной активности протекающей через сооружение воды можно производить на основании величины pH (концентрации водородных ионов) и суммарной концентрации сульфатов и хлоридов (таблица 3.3).

Применение МГК на железных дорогах и автомагистралях в сильноагрессивных средах не разрешается.

Таблица 3.3

Характеристики коррозионной активности среды

Концентрация водородных ионов (общекислотная агрессивность)	8,1–11,0		8,0–6,0	11,1–12,5	менее 6,0 более 12,5
Суммарная концентра- ция сульфатов и хлори- дов, г/л	менее 0,5	0,5–5,0	более 5,0	менее 0,5 0,5 и более	любая
Степень коррозионной активности воды	слабо- агрес- сивная	средне- агрес- сивная	сильно- агрес- сивная	сильно- агрес- сивная	сильно- агрес- сивная

3.3.5. Перед укладкой МГК необходим тщательный осмотр защитного покрытия и в случае обнаружения дефектов их необходимо устраниить зачисткой места повреждения с последующим нанесением защитного цинкового покрытия с применением металлизации (составы для ремонта и перечень рекомендуемого оборудования приведены в Приложении 3).

3.3.6. В зависимости от агрессивности атмосферы и грунтов, в которых будут эксплуатироваться МГК, допускается применять дополнительные способы защиты от коррозии, по своим свойствам отвечающие требованиям, предъявляемым к покрытиям для МГК, приведенные в таблице 3.4. Тип и параметры дополнительной защиты указывают в проектной документации.

Таблица 3.4

Покрытия для дополнительной защиты  
оцинкованных поверхностей МГК

Система покрытия	Толщина сухого слоя, мкм	Расход на 1 м <sup>2</sup> с учетом 30 % потерь, г	Производитель
Грунтовка Stelpant-PU-Zink – 1 сл. материал Stelpant-PU-Combin – 2 сл.	40 300 (150×2)	214 764,4	Steelpaint GmbH ФРГ
Грунтовка Penguard Primer Grey – 1 сл. материал Jotamastic 87 Aluminium – 1 сл.	50 300 (150×2)	156 630	Jotun Норвегия

Дополнительные защитные покрытия МГК при средней агрессивности среды на железных и автомобильных дорогах следует наносить на наружную и внутреннюю поверхности элементов. Дополнительное защитное покрытие на МГК в районах с зимними температурами ниже минус 40 °С следует устраивать на основе полиуретановых материалов независимо от агрессивности среды.

3.3.7. Крепежные болты, гайки и шайбы должны быть защищены от коррозии термодиффузионным цинкованием (ТДЦ) по ГОСТ Р 51163-98 [10]. Класс ТДЦ покрытия и тип дополнительной обработки не менее ТД40-ПВ по ГОСТ Р 51163-98 [10]. Толщина

ТДЦ покрытия должна быть не менее 30 мкм. Перед установкой на болты необходимо нанести нефтеграфитовую смазку.

3.3.8. Внутри водопропускных гофрированных труб отверстиями до 3 м устраиваются монолитные или сборные лотки. Варианты конструкции монолитных или сборных лотков необходимо выбирать, исходя из технико-экономической целесообразности их применения в конкретных условиях строительства с учетом обеспечения расчетной долговечности сооружения.

3.3.9. Сборные лотки в зависимости от применяемых материалов могут выполняться в трех вариантах:

- из полимербетонных блоков (наиболее морозостойкие и износостойкие);
- из бетонных блоков с наружным защитным слоем из полимерраствора толщиной не более 5 мм, блоки при этом укладываются также на полимерраствор (удешевленный);
- комбинированный вариант, предусматривающий укладку в средней части лотка полимербетонных блоков, а по краям — бетонных блоков с наружным защитным слоем.

3.3.10. Конструкция полимербетонных лотков должна отвечать следующим требованиям: толщина лотка над гребнем гофра должна быть не меньше 2 см, угол охвата внутренней поверхности трубы лотком должен составлять 90–120°.

Для повышения эксплуатационной надежности монолитных и сборных полимербетонных лотков они по краям вдоль всей трубы должны иметь хорошо уплотненные сливы с углом откоса не менее 45°. Для устройства сливов применяют полимеррастворы с более высоким коэффициентом наполнения по сравнению с полимер растворами для приклеивающего слоя.

3.3.11. Конструкцией сборного лотка предусматривается применение однотипных блоков.

Приклейка блоков предусматривается полимеррастворами с заполнителем из песка фракции менее 0,63 мм. Толщина приклеивающего слоя не должна превышать 3 мм. При этом полимерраствор должен заполнять швы между блоками.

Поперечные и продольные швы лотка, перекрытие которых блоками не предусмотрено, заполняют полимербетоном.

3.3.12. Полимеррастворы с коэффициентом наполнения не менее 1:2 можно применять для лотков и их элементов как дополнительные материалы.

тельное износостойкое, морозостойкое, антикоррозионное защитное покрытие толщиной 3–5 мм.

### 3.4. Особенности проектирования металлических гофрированных конструкций больших пролетов

3.4.1. При низкой высоте насыпи, не позволяющей использовать МГК круглого сечения, необходимо использовать конструкции пониженной высоты: арки, горизонтальные эллипсы и полицентрические арки.

3.4.2. При выборе формы поперечного сечения МГК следует учитывать, что при одной и той же постоянной и временной нагрузках, действующих на конструкцию, величина давления грунта на оболочку (отпор) будет зависеть от формы ее поперечного сечения.

3.4.3. МГК арочного типа должна быть закреплена в опорных швеллерах, которые устанавливаются на бетонной плите или фундаменте. Давление грунта на МГК при соблюдении технологии его засыпки должно быть одинаковой интенсивности по всему периметру арки (рис. 3.4 и 3.5).

3.4.4. При применении МГК эллиптического или полицентрического сечения также следует учитывать высокое боковое давление грунта на металлическую конструкцию (рис. 3.6, 3.7).

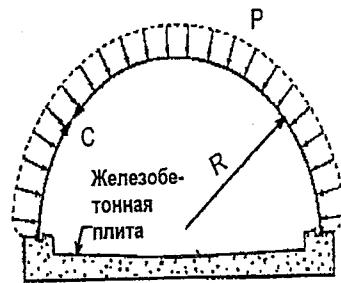


Рис. 3.4. Распределение давления грунта на МГК арочного сечения на железобетонной плите

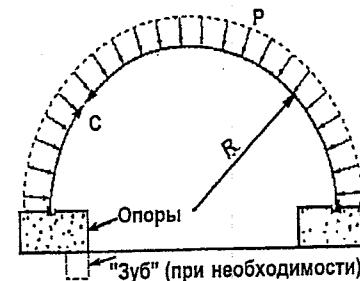


Рис. 3.5. Распределение давления грунта на МГК арочного сечения на бетонных фундаментах

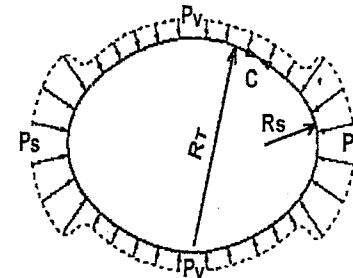


Рис. 3.6. Распределение давления грунта на МГК эллиптического сечения

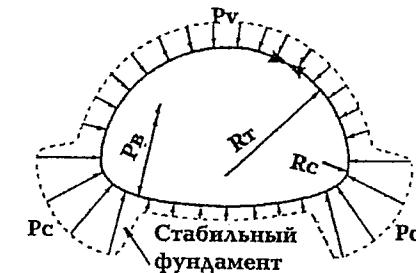


Рис. 3.7. Распределение давления грунта на МГК полицентрического замкнутого сечения

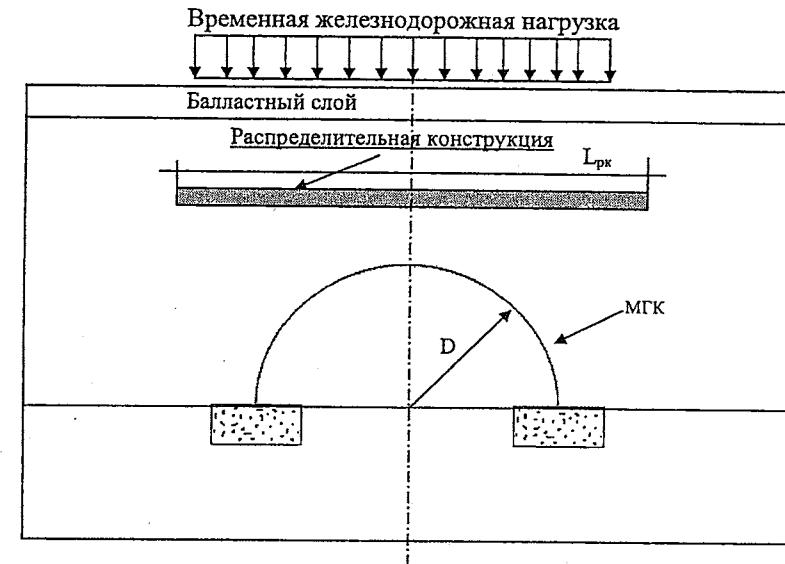


Рис. 3.8. Распределительная конструкция над МГК

3.4.5. Повышение несущей способности МГК возможно с использованием горизонтальных распределительных конструкций, обладающих значительной жесткостью на изгиб (см. рис. 3.8). Эф-

фективность таких конструкций максимальна при минимальной высоте засыпки над МГК и снижается с увеличением толщи грунтового слоя. Протяженность разгружающих конструкций в поперечном сечении относительно оси МГК ( $L_{рк}$ ) должна быть длиной не менее двух диаметров (пролетов) МГК с целью создания заделки разгружающей конструкции в грунте, что тем самым позволит перераспределить вертикальное давление грунта от транспортной нагрузки над МГК на большую площадь. Пример расчета сооружений из МГК с распределительной конструкцией приведен в приложении Г.

### 3.5. Фундаменты

**3.5.1. Глубина заложения фундаментов оголовков МГК** на скальных грунтах, на гальке и гравии, щебенистых, гравелистых песках и песках средней крупности не нормируется. Глубина заложения фундаментов оголовков при всех прочих грунтах должна быть не менее чем на 0,25 м ниже расчетной глубины сезонного промерзания.

**3.5.2.** Водопропускные сооружения из МГК следует устанавливать на прочные и устойчивые основания. Вынос сооружений на склон лога допускается только при специальном обосновании.

**3.5.3.** МГК на косогорах надлежит укладывать на естественное основание с уклоном, близким уклону лога, либо на отсыпке земляного полотна из скального грунта, с расположением выхода из конструкции выше дна лога с устройством бермы (рис. 3.9).

Уклон лотка МГК замкнутого сечения не должен превышать 0,03. На основании технико-экономических расчетов допускается увеличить уклон МГК до 0,05. Применение более крутых уклонов допускается при индивидуальном проектировании со специальными мероприятиями гашения скорости внутри конструкции и на выходе (лотки повышенной шероховатости, водобойные колодцы и др.), либо при применении МГК арочного типа.

Под выходной частью МГК следует устраивать дренирующую отсыпку (обратный фильтр), препятствующую вымыванию (выносу) частиц грунта по подошве насыпи.

Тип и размеры укреплений откосов насыпи определяются в соответствии с гидравлическими расчетами.

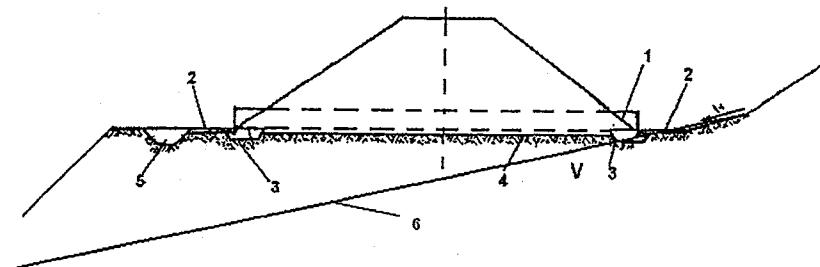


Рис. 3.9. Схема размещения МГК на косогоре

- 1 — входной оголовок (без скоса); 2 — укрепление русла;
- 3 — противофильтрационный экран; 4 — подушка;
- 5 — отсыпка камней рисбермы; 6 — линия косогора

**3.5.4.** Конструкция основания МГК должна отвечать принципиальным схемам, приведенным на рис. 3.10.

**3.5.5.** Нулевой слой грунта, в котором устраивается ложе, можно отсыпать непосредственно на естественное основание (удаляя только растительный покров), если оно сложено песчаными (кроме пылеватых) или крупнообломочными грунтами. В этом случае естественное основание под МГК должно быть уплотнено на ширине не менее одного диаметра (пролета) в каждую сторону от наружной поверхности МГК для одноочковых (однопролетных) и для многоочковых (многопролетных) МГК (рисунок 3.11).

**3.5.6.** При устройстве основания с заменой грунта целесообразно применение армирования с использованием георешеток (геосеток). Требования к геосеткам и георешеткам приведены в таблице 3.5 [11] («Руководство по применению полимерных материалов (пленопластов, геотекстилей, георешеток, полимерных дренажных труб) для усиления земляного полотна при ремонтах пути»). Толщина единичного слоя засыпки между геосетками для возможности создания требуемого уплотнения и гарантированного предотвращения боковых деформаций принимается 20–30 см, а длина участка с одинаковым числом геосинтетика — 5 м.

Уплотнение грунта армированных слоев, так же как и не армированных, должно выполняться до уровня 0,95 максимальной стандартной плотности.

Таблица 3.5

Требования к геосеткам и георешеткам,  
применяемым в качестве армирующих прослоек

№ п/п	Показатель	Значение
1.	Поверхностная плотность	$>200$
2.	Разрывное усилие в продольном и поперечном направлении, кН	$\geq 20$
3.	Относительное удлинение при разрыве, %	$<15$
4.	Прочность в узлах от прочности материала, %	$\geq 90$
5.	Геометрические размеры: ширина, м длина в рулоне, м диаметр рулона, см размер ячейки, мм	$\geq 4,0$ $\geq 20$ не более 38 $\geq 20 \times 20^*$

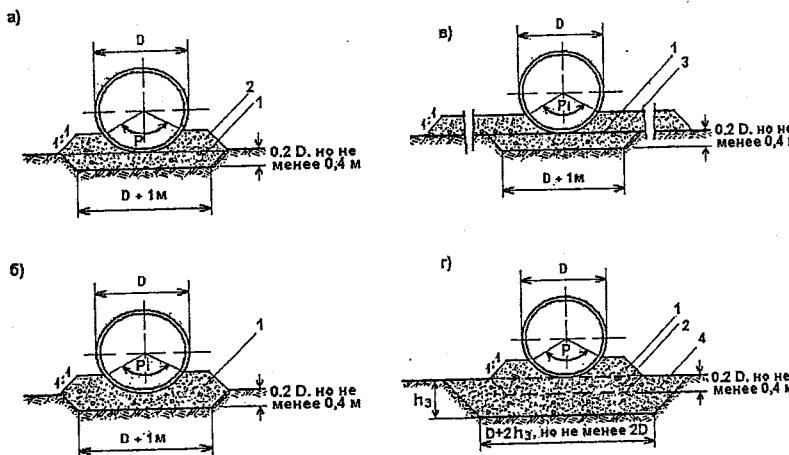


Рис. 3.10. Конструкция основания

а — с устройством верхней части подушки после укладки трубы;  
б — с предварительным устройством ложа; в — с отсыпкой нулевого слоя и устройством ложа; г — с заменой грунта.

1 — первый этап отсыпки подушки; 2 — второй этап отсыпки подушки;  
3 — нулевой слой; 4 — замена грунта основания скальной отсыпкой.  $P = 120^\circ$ ;  
 $P_i = 90^\circ$

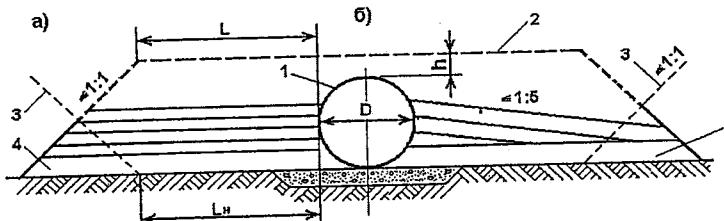


Рис. 3.11. Схема засыпки трубы слоями:

а) — горизонтальными; б) — наклонными

1 — труба диаметром  $D$ , 2 — контур грунтовой призмы, 3 — торцы насыпи при устройстве трубы в прогале; 4 — нулевой слой;  $h$  — минимальная высота засыпки над верхом трубы принимается в зависимости от типа используемых грунтоуплотняющих и транспортировочных машин, но не менее 0,5 м;  $L = 2D \geq 4$  м;  $L_h \geq 4$  м

#### П р и м е ч а н и я:

1. Материалы, применяемые в качестве армирующих прослоек, не должны поддаваться воздействию кислот, щелочей и бактерий природного происхождения

2. Материалы должны выдерживать воздействие прямых солнечных лучей без снижения прочности не менее одного месяца.

\* Определяется гранулометрическим составом балласта или дренирующего грунта, окружающего геосинтетик.

3.5.7. Для предотвращения подмыва основания МГК (при наличии подушки и без нее) следует предусматривать по концам конструкции противофильтрационные экраны из железобетона, бетона, цементно-грунтовой или глинощебеночной смесей либо из гофрированного металла.

Железобетонные и бетонные экраны следует применять для МГК, сооружаемых на мелкопесчаных основаниях. Глубина заложения железобетонных и бетонных экранов должна быть не менее, чем на 0,25 м ниже расчетной глубины сезонного промерзания с учетом местных условий (рис. 3.12).

Противофильтрационные экраны из цементно-грунтовой или глинощебеночной смесей применяют для МГК, сооружаемых на глинистых грунтах. Эти экраны должны укладываться на ширину подушки, иметь длину вдоль оси МГК не менее 2 м и глубину не менее глубины сезонного промерзания.

При сооружении МГК на основании из крупнопесчаных, скальных и крупнообломочных грунтов применяют цементно-грунтовые, глиноцементные или бетонные экраны с глубиной заложения, равной толщине подушки.

3.5.8. Грунтовая обойма вокруг гофрированных труб диаметром до 3 м, устраиваемая без армирования на ширине не менее 4 м с каждой стороны трубы и высотой не менее 0,5 м над верхом конструкции, должна быть отсыпана грунтами, соответствующими требованиям п. 4.5.

Геометрические размеры армированной грунтовой обоймы назначаются по расчету в зависимости от принятого уровня снижения величины горизонтальных напряжений, но не более  $(2B + H)$ , где  $B$  — максимальный горизонтальный размер МГК;  $H$  — высота насыпи до уровня максимального горизонтального размера трубы (рис. 3.13)

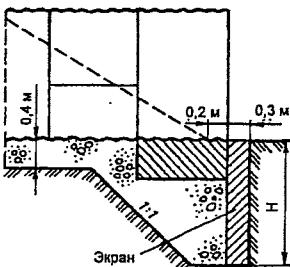


Рис. 3.12. Противофильтрационный экран из бетона

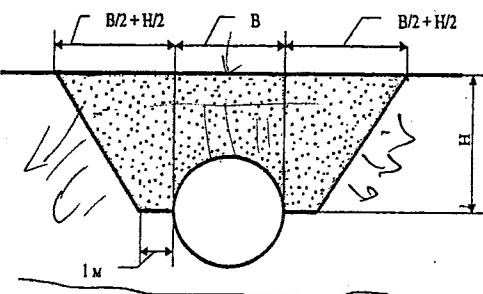


Рис. 3.13. Геометрические размеры армированной грунтовой обоймы

Ниже уровня максимального горизонтального размера трубы армирование грунта назначается конструктивно в зависимости от размеров МГК с целью обязательной послойной отсыпки.

Необходимость армирования основания назначается по расчету в зависимости от инженерно-геологических условий.

### 3.6. Особенности проектирования металлических гофрированных конструкций в местах образования наледей и морозного пучения грунта

3.6.1. В местах возможного образования наледей у МГК необходимо предусматривать устройство временных (сезонных) или постоянных защитных противоаледных сооружений.

К временным относятся сооружения, которые обеспечивают противоаледную защиту на срок от нескольких суток до 1–3 лет (уборка льда из отверстий водопропускных сооружений и кюветов вручную, механизированным способом или взрывом; размораживание льда путем обогрева лотков труб электрическими нагревательными элементами, с помощью горячей воды, пара или горячего воздуха; отвод воды по канавам; устройство противоаледных заборов и т.д.).

К постоянным относятся противоаледные сооружения, возведенные по специальным проектам и работающие продолжительный срок (строительство дополнительных водопропускных труб; замена водопропускных труб и малых мостов на свайно-эстакадные мосты; замена отдельных водопропускных труб на фильтрующие прорези; строительство дренажей; устройство мороззащитных и теплоизоляционных слоев и т.д.).

3.6.2. Для снижения глубины промерзания, уменьшения объема качественных материалов, используемых в земполотне для обеспечения ее морозоустойчивости, использования в верхней части земляного полотна местных пучинистых грунтов (без их замены), повышения долговечности (надежности) конструкции вследствие исключения периодически возникающих деформаций морозного пучения и снижения экологического ущерба при строительстве сооружений из МГК в районах суровых климатических условий рекомендуется применять полистирольные пенопласти (ПП) в комплексе с геосинтетическими материалами. В этом случае под лотком МГК предусматривается прокладка труб с теплоизоляцией, которые должны отводить грунтовые воды (Приложение И).

## 4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Для изготовления элементов металлических гофрированных конструкций (МГК) следует применять листовую сталь, марка которой устанавливается в зависимости от расчетных нагрузок и климатических условий применения конструкций. Для МГК, эксплуатируемых в обычных температурных условиях (расчетная температура не ниже минус 40 °С), рекомендуется применять прокат из углеродистой полуспокойной и спокойной стали марок Ст3, Ст3Г пятой категории (Ст3пс5, Ст3сп5, Ст3Гпс5, Ст3Гсп5) по (ГОСТ 14637-89) [12], ГОСТ 380-94 [15]; прокат углеродистой спокойной и полуспокойной качественной конструкционной стали марок 10, 15, по ГОСТ 1577-93 [35], ГОСТ 1050-88\* [7], а также прокат из низколегированной стали марок 09Г2; 09Г2Д не ниже 10 категории по ГОСТ 19281-89\* [14].

Для МГК, применяемых в районах с расчетной минимальной температурой воздуха ниже минус 40 °С («северное исполнение»), — прокат низколегированной стали марок 09Г2Д, 09Г2СД, 14Г2 по ГОСТ 19281-89\* [14] не ниже 12 категории.

Не рекомендуется цинковать стали с содержанием: С > 0,24 %; Mn > 0,3 %; Si > 0,15 %; P > 0,02 %; S > 0,03 %, особенно, если микроструктура стали имеет перлитную гетерогенность. Если углерод находится в виде троостита, сорбита или цемента, то влияние присутствующих в стали элементов не существенно.

Для МГК допускается применение элементов импортных поставок из сталей аналогичного качества по физико-механическим характеристикам (таблица 4.1).

4.2. Болты и гайки изготавливают для МГК исполнения У по ГОСТ 15150-69\* [6] из сталей 35, 40 по ГОСТ 1050-88\* [7], для МГК исполнения ХЛ по ГОСТ 15150-69\* [6] — из сталей 40, 45 ГОСТ 1050-88 [7], из стали 35Х по ГОСТ 4543-71\* [8].

4.3. Основное расчетное сопротивление  $R_0$  при действии осевых сил должно приниматься для стали марки 15сп — 190 МПа, стали марки 09Г2Д — 240 МПа. *Это для  $t = 1.5 \div 3.0 \text{ мм}$*

Расчетное сопротивление для болтовых соединений должно приниматься: на смятие кромок стыковых соединений для стали марки 15сп — 330 МПа, для стали марки 09Г2Д — 420 МПа; на срез

болта нормальной точности класса 4.6, 5.6 и 8.8 соответственно — 130; 150 и 250 МПа.

Таблица 4.1

Механические свойства сталей для МГК

Марка стали	Толщина проката, мм	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость KСU, Дж/см <sup>2</sup> при температуре °С		Испытание на изгиб в холодном состоянии на 180° при диаметре оправки
					-40	-60	
не менее							
Ст3пс(сп)5	До 10	245	400	26	39	—	$d = 1,5a$
Ст3Гпс(сп)5	До 10	255	450	23	39	—	$d = 1,5a$
Сталь 10пс(сп)	До 10	230	330	32	29	—	$d = a$
Сталь 15пс(сп)	До 10	230	370	30	29	—	$d = a$
09Г2	До 10	*	*	21	29	29	$d = 2a$
12Г2Б	До 10	*	*	21	29	29	$d = 2a$
09Г2Д	До 10	*	*	22	—	29	$d = 2a$
09Г2СД	До 10	*	*	21	—	29	$d = 2a$
14Г2	До 10	*	*	21	34	34	$d = 2a$

П р и м е ч а н и е:  $d$  — диаметр оправки,  $a$  — толщина листа.

\* класс прочности указывается при заказе стали согласно ГОСТ 19281[14].

4.4. Болты, гайки и шайбы для сборки МГК из элементов импортной поставки, как правило, должны поставляться комплектно вместе с гофрированными частями конструкции. Применение отечественных крепежных элементов в этом случае допускается при согласовании с заказчиком.

4.5. Для устройства подушки под МГК следует применять пески средней крупности, крупные, гравелистые, щебенисто-галечниковые и дресвяно-гравийные грунты, не содержащие обломков размером более 50 мм. Перечисленные грунты должны содержать не более 10 % частиц размером менее 0,1 мм, в том числе не более 2 % глинистых частиц размером менее 0,005 мм.

4.6. Для устройства армогрунтовых мембран из объемных георешеток в грунтовых обоймах на водопропускных сооружениях из МГК в качестве заполнителя допускается использовать грунтовую массу полускальных и скальных пород, получаемую при разработке скальных пород взрывным способом.

4.7. Для бетонных и железобетонных оголовков МГК следует применять бетон и арматуру, соответствующие требованиям СНиП 2.05.03-84\* [1].

4.8. Бетон лотка должен быть класса прочности (на сжатие) не ниже В30. Марка бетона лотка по морозостойкости должна быть не ниже F300 для МГК, расположенных в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца выше минус 10 °C, и не ниже F400 в остальных районах. Марка бетона лотка по водонепроницаемости должна быть не ниже W6 ГОСТ 26633-91 [17].

В состав бетона лотка должны входить заполнители крупностью не более 10 мм, а также комплексные добавки для повышения морозостойкости.

4.9. Бетон лотка в МГК, пропускающих агрессивные воды, должен соответствовать требованиям раздела 2 СНиП 2.03.11-85 «Задача строительных конструкций от коррозии» [18].

4.10. Для устройства лотка в МГК следует применять литую асфальтобетонную смесь, а также полимеррастворы и полимербетоны, которые относятся к строительным материалам с высокой степенью износстойкости и морозостойкости. Полимербетоны предназначены для устройства сборных и монолитных лотков, которые могут эксплуатироваться в условиях сильной коррозионной активности грунта и воды при расчетных температурах ниже -40 °C.

Полимеррастворы применяются для приклейки блоков сборных лотков, в качестве их защитного покрытия, а также для устройства сливов. При устройстве лотков МГК рекомендуется применять полимербетоны и полимеррастворы со связующими на основе эпоксидных смол, в состав которых в качестве пластификатора вводится

жидкий тиокол, способствующий уменьшению усадочных деформаций. Допускаемые пределы соотношений по массе компонентов в связующих приведены в Приложении К. Числовая маркировка полимеррастворов и полимербетонов одинакова с маркировкой связующего и отражает состав входящих в него компонентов. При устройстве монолитных и сборных лотков в районах с суровыми климатическими условиями предпочтительно применять полимербетоны со связующими марок 1010–1510 и полимеррастворы марок 1510–2015. При этом важно учитывать, что их прочность зависит от степени полимеризации связующего и прочности щебня. В связи с этим необходимо соблюдать температурные условия отверждения и термообработки. Полимербетоны и полимеррастворы, в состав которых входят наполнители, имеют преимущество перед аналогичными составами из местных материалов (без наполнителей) по прочности и долговечности.

## 5. ПРАВИЛА ПРОИЗВОДСТВА И ПРИЕМКИ РАБОТ

### 5.1. Общие положения

5.1.1. Строительно-монтажные работы по сооружению металлических гофрированных конструкций (МГК) должны производиться по утвержденному проекту производства работ, составленному на основании рабочих чертежей, специализированными бригадами, которые выполняют все работы по возведению сооружения.

Сооружение МГК при отсутствии грунтоуплотняющих машин и ручных механизированных трамбовок не допускается.

5.1.2. Сооружение МГК включает следующие основные операции:

- рытье котлована;
- отсыпку подушки на полную ее высоту или сооружение фундамента;
- установку смонтированной трубы;
- устройство и сооружение, при необходимости, противоналедных элементов;
- устройство грунтовой обоймы (призмы) и, в необходимых случаях, разгружающих пакетов.

## **5.2. Транспортирование элементов и конструкций МГК**

**5.2.1.** Металлоконструкции с завода на объекты сборки МГК (стройплощадки) следует по возможности доставлять без промежуточных перегрузок.

На стройплощадках должны быть организованы места для складирования элементов, сборки секций МГК, устройства лотков и дополнительного защитного покрытия.

**5.2.2.** При перевозке металлоконструкций необходимо принимать меры против повреждения цинкового и дополнительного покрытий, предотвращения деформации элементов (см. п.п. 5.2.5–5.2.7).

Погрузку и разгрузку элементов конструкции и пакетов следует производить автомобильными кранами с применением специальных стропов и траверс.

Запрещается:

- подъем элементов или пакетов со строповкой за отверстия;
- сбрасывание элементов или пакетов из них и секций МГК с транспортных средств.

**5.2.3.** При погрузке на железнодорожный состав и разгрузке с него пакетов элементов и секций МГК должны выполняться требования «Технических условий погрузки и крепления грузов» [19].

**5.2.4.** Складирование пакетов гофрированных элементов должно обеспечивать удобство их строповки и осмотра. Пакеты элементов следует укладывать вертикально (на ребро) в штабеля с применением деревянных прокладок; в штабель укладывать не более трех рядов пакетов.

Замкнутые секции МГК диаметром до 3 м следует укладывать по высоте не более чем в три ряда на деревянные подкладки.

**5.2.5.** Пакеты элементов в железнодорожный подвижной состав следует устанавливать в вертикальном положении (на ребро) не более чем в два ряда, применяя необходимое крепление и прокладки из досок.

При погрузке на бортовые машины пакеты гофрированных элементов необходимо размещать в один ряд, устанавливая их на ребро. Между пакетами следует укладывать прокладки из досок или брусьев.

Размещение пакетов гофрированных элементов на транспортных средствах должно при транспортировке исключать возможность неупругих деформаций гофров, повреждения защитного покрытия элементов и секций МГК, а также их монтажных отверстий.

**5.2.6.** Погрузку секций на автомашины и их разгрузку следует осуществлять автомобильным краном. Строповку секций необходимо производить пеньковым канатом или тросом с прокладкой, из брезента или другого материала, исключающего возможность повреждения цинкового и дополнительного защитного покрытий.

**5.2.7.** При погрузке на транспортные средства элементов и секций МГК с нанесенным дополнительным защитным покрытием их следует укладывать на опорные брусья с прибитыми к ним жгутами дорнита или прокладками, покрытыми разделительными прослойками парафинированной или битуминированной бумаги.

## **5.3. Устройство основания**

**5.3.1.** Устройство естественного основания, в том числе с заменой грунта, МГК диаметром до 3 м должно включать комплекс работ, который необходимо выполнять для обеспечения равномерного и надежного опирания конструкции на грунт, уплотненный до 0,95 максимальной стандартной плотности.

При устройстве песчаной подушки на естественном основании или на подготовленном грунтовом основании (при замене грунта), до вырезки ложа под МГК грунт подушки также подлежит уплотнению до 0,95 максимальной стандартной плотности.

Для водопропускных сооружений из металлических гофрированных элементов (круглых труб диаметром более 3 м, труб пониженной высоты, эллипсовидных) при замене грунта основания может устраиваться его армирование с применением георешеток (См. раздел 3 «Проектирование»). На скальных и полускальных основаниях армирование не устраивается.

**5.3.2.** Работы по подготовке основания включают:

- вырезку котлована на глубину подушки;
- укладку грунта подушки;
- уплотнение грунта естественного основания и подушки под трубу грунтоуплотняющими машинами;
- устройство армирования основания;
- нарезку ложа под трубу приспособленным для этой цели автогрейдером, оборудованным специальным профильным ножом, или бульдозером с аналогичным оборудованием отвала.

**5.3.3.** Грунт подушки или грунт, укладываемый взамен слабого грунта основания, следует отсыпать в котлован и уплотнять слоями. Каждый слой толщиной не более 0,6 м должен быть уплот-

нен не менее чем за два прохода по одному следу. При уплотнении грунта пневмошинными катками толщину слоя следует принимать 0,2 или 0,3 м. После уплотнения подушки следует отсыпать нулевой слой грунта и уплотнить его, используя те же машины и ту же технологию, что и при устройстве подушки.

Если МГК устанавливается непосредственно на грунтовую подушку, то ее поверхности придается требуемый строительный подъем. Правильность строительного подъема контролируется нивелировкой не менее чем в трех точках: под осью пути и концами МГК.

5.3.4. Если проектом предусмотрена отсыпка нулевого слоя грунта на предварительно уплотненное основание, то последнее в этом случае должно быть уплотнено на ширине не менее одного диаметра (пролета) в каждую сторону от наружной поверхности МГК для одноочковых (однопролетных) и для многоочковых (многопролетных) МГК. Расстояние между многоочковыми (многопролетными) гофрированными конструкциями должно быть не менее 0,5D для МГК диаметром (пролетом) до 3 м и не менее 1,5 м для остальных.

5.3.5. При устройстве основания, когда в нем необходима вырезка ложа под трубу, ее следует производить автогрейдером, оборудованным профилированным ножом, или начерно бульдозером с последующей отделкой вручную по шаблону с радиусом криволинейной кромки, равным радиусу МГК по средней линии гофров. Отклонение профиля грунтового ложа от шаблона не должно превышать 2–3 см (рис. 5.1).

5.3.6. После установки МГК в проектное положение на профилированное ложе следует перед устройством грунтовой обоймы производить подсыпку грунта в зазоры между поверхностью нижней части МГК и грунтовым ложем и его уплотнение бензиновыми или дизельными трамбовками с подштыковкой во впадинах гофров. Трамбовки при уплотнении грунта размещаются на расстоянии 5 см от гребней гофров.

Нулевой слой грунтовой обоймы непосредственно возле трубы МГК следует доуплотнить виброкатками за один-два прохода машины вдоль стенок трубы. В случае использования для уплотнения грунта обоймы пневмокатков доуплотнение нулевого слоя возле стенок МГК следует производить ручными трамбовками или виброплитами.

Если МГК устанавливают на плоское основание, то подсыпка грунта в нижние четверти МГК с уплотнением трамбовками или виброплитами с подштыковкой производится до охвата МГК грунтом не менее чем на 120°. Последующее уплотнение грунта возле МГК производят так же, как при профилированном ложе.

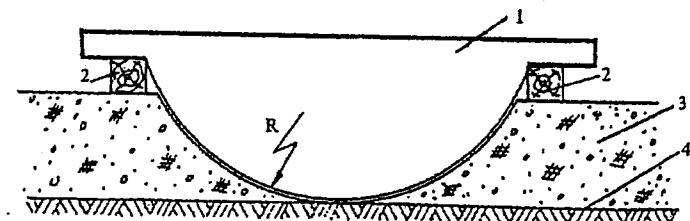


Рис. 5.1. Вырезка грунтового ложа по шаблону

1 — шаблон; 2 — подкладка из брусьев;  
3 — нулевой слой; 4 — верх подушки

5.3.7. При устройстве основания в зимнее время для замены грунта основания и устройства подушки разрешается применять только сухой, несмерзшийся грунт и уплотнять его грунтоуплотняющими машинами по мере отсыпки, не допуская смерзания в рыхлом состоянии.

5.3.8. Котлованы под противофильтрационные экраны следует отрывать параллельно с подготовкой котлована под подушку и после удаления воды заполнять (в зависимости от требований проекта) бетоном, глинощебеночной или цементно-грунтовой смесью с послойным уплотнением виброплитами.

5.3.9. При применении МГК арочного типа бетонные фундаменты сооружаются в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84\* [1].

В случае опирания МГК арочного типа на железобетонную плиту сооружение последней при необходимости обеспечения противоналедных мероприятий должно осуществляться в соответствии с Приложением И.

## 5.4. Монтаж металлических гофрированных конструкций

### 5.4.1. Общие положения

5.4.1.1. В зависимости от местных условий монтировать трубы диаметром до 3 м с болтовыми стыками внахлестку на строительной площадке следует из секций, предварительно собранных из отдельных элементов. Водопропускные сооружения арочного типа и МГК больших диаметров монтируют из отдельных элементов на стройплощадке. Рекомендуется в этом случае на полигонах проводить контрольную сборку и укрупнение элементов.

Когда возможна доставка секций МГК на объект автотранспортом и установка их краном, особенно в районах с расчетной минимальной температурой наружного воздуха ниже минус 40 °С, способ монтажа из секций и укрупненных элементов должен быть основным. При этом рекомендуется производить монтаж МГК с «колес» сразу в проектное положение.

Длину секций следует назначать, исходя из заданных проектных длин МГК, и рекомендуется принимать не более 10 м. В промежуточных секциях число звеньев должно быть нечетным.

Для облегчения затяжки болтов в поперечных стыках при сборке МГК из листов толщиной более 5 мм необходимо обеспечить относительную сдвиговую их продольных стыков до половины длины листа.

5.4.1.2. Сборку МГК следует осуществлять согласно монтажной схеме, определяемой в проекте производства работ. Монтажная схема должна предусматривать: порядок установки гофрированных элементов при сборке и объединении секций, порядок перевозки секций, порядок установки болтов, схему специальных стяжек, оснастки и подмостей для крепления МГК диаметром более 2 м в поперечном сечении во время сборки.

5.4.1.3. В комплект инструментов для монтажа МГК должны входить торцевые ключи, ломики, крюки с кольцами, электрические или пневматические гайковерты, молотки, 10 монтажных болтов длиной 75 мм того же диаметра, что и рабочие болты. Эти болты следует применять для временной стяжки гофрированных листов и не оставлять в конструкции.

5.4.1.4. Проект производства работ должен учитывать особенности установки металлоконструкций в проектное положение в зависимости от верхнего очертания подушки под МГК. При основа-

нии, спланированном без устройства ложа, для труб диаметром до 3 м допускается монтаж трубы рядом с проектной осью с последующей ее накаткой в проектное положение. При профилированном основании ложа секции трубы следует устанавливать краном и объединять на месте.

5.4.1.5. Монтаж МГК со скосенными оголовками должен начинаться со сборки фундаментной части низового оголовка с последующей укладкой металлических конструкций сооружения (секций, элементов) и завершением устройства оголовков.

### 5.4.2. Сборка секций и укрупнение элементов на полигоне

5.4.2.1. Перед сборкой секций труб диаметром до 3 м и укрупнением элементов МГК больших диаметров выполняются подготовительные работы: размещаются пакеты с гофрированными элементами, окаймляющие уголки, ящики с крепежом, необходимый инструмент и, если требуется, передвижная электростанция и компрессор.

5.4.2.2. Рекомендуемая последовательность установки элементов при сборке секций:

- собрать звенья в вертикальном положении (элементы устанавливают на ребро) с постановкой ограниченного числа болтов (3–4 болта) в середине продольных стыков. При этом один торец элемента должен находиться на наружной поверхности звена, а другой — на внутренней. Во втором ряду продольного стыка не должно быть отверстий на наружных гребнях волн, в правильно собранных звеньях МГК все марки элементов должны быть видны;

- установить звенья последовательно в горизонтальное положение на уложенные вдоль секций МГК деревянные брусья так, чтобы продольные стыки в них были на одном уровне, а расположение нахлеста элементов в соединяемых звеньях было строго одинаково;

- объединить звенья в секцию стандартными элементами. При установке этих элементов в местахстыковки трех листов не допускается соприкосновение двух листов, входящих в одно звено. Каждый соединительный элемент должен одним торцом входить в зазор между элементами ранее собранных звеньев. Продольные стыки в звеньях следует располагать с перевязкой — взаимной сдвиговой на величину, равную одному-четырем шагам отверстий поперечных стыков. Величину сдвигов для каждой отдельной МГК принимают постоянной;

- при установке соединительных элементов (сборке секций и их объединении) болты в количестве 3–4 шт. наживить вначале в средних частях продольных и поперечных стыков;

- после объединения в секцию необходимого количества звеньев установить остальные болты. Последними ставятся болты в местах соединения трех элементов;

- болты затянуть электрическими или пневматическими гайковертами, обеспечивающими величину момента затяжки 15–20 кгс·м, а также торцевыми и накидными гаечными ключами. При затяжке болтов необходимо следить за правильностью положения плосковыпуклых и плосковогнутых шайб.

5.4.2.3. При сборке укрупненных элементов и секций МГК болты в продольных стыках следует ставить на расстоянии не менее 15 см от торцов концевых звеньев секции. Поставленные в концевых звеньях болты не должны затягиваться, чем облегчается постановка стандартных элементов с заведением их в зазоры продольных стыков между элементами торцевых звеньев.

#### 5.4.3. Монтаж МГК диаметром (пролетом) до 3 м из секций

5.4.3.1. Монтаж трубы следует осуществлять на спланированном основании по оси трубы (либо рядом). Секции укладывают на деревянные брусья для беспрепятственной постановки болтов в нижней части.

5.4.3.2. Секции в проектное положение, как правило, следует устанавливать автомобильным краном. При строповке секций должны быть приняты меры, исключающие возможность повреждения защитного покрытия. Стропы размещают от торцов секции на расстоянии четверти ее длины. Рекомендуется при строповке использовать прокладки из дорнита.

5.4.3.3. Объединение секций следует производить согласно схеме, приведенной на рис. 5.2. Вначале торцы секций автомобильным краном устанавливают так, чтобы продольные стыки были расположены на одном уровне, затем устанавливают соединительные элементы.

#### 5.4.4. Сборка МГК из отдельных элементов

5.4.4.1. Сборку МГК рекомендуется осуществлять по одной из двух принципиальных схем.

По первой схеме МГК наращивают стандартными элементами позвенно, соблюдая четкую последовательность их установки. Эле-

менты переносят и удерживают в необходимом положении специальными крюками. Центровку отверстий в элементах для установки болтов осуществляют оправками, вставляя их в отверстия, расположенные рядом с отверстиями, в которые вставляют болт. При установке элементов в местах нахлеста 3-х листов не допускается соприкосновение двух листов, входящих в одно звено. Сборку следует производить с установкой минимального количества болтов: вначале ставят 2–3 болта на средних участках продольных и поперечных стыков, после чего производят стяжку в местах соединения 3-х элементов длинными монтажными болтами, которые затем заменяют обычными. После наживления болтов в очередном звене продолжают сборку следующего участка МГК, а в предыдущем звене производят установку и затяжку всех болтов (рис. 5.3)

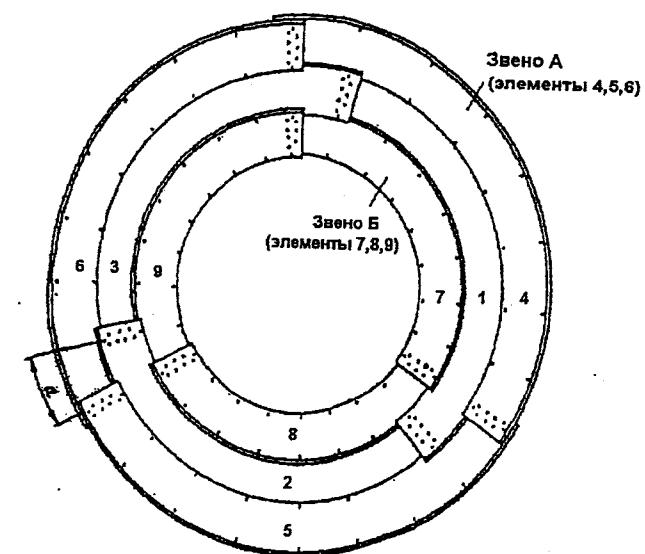
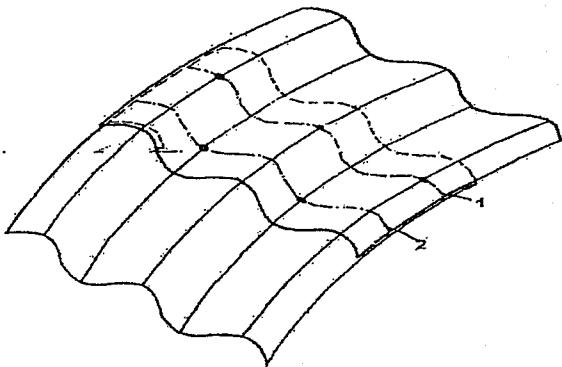


Рис. 5.2. Сборка секции трубы из звеньев (вид с торца)

цифрами показан порядок установки элементов;  
— сдвижка (забег) продольных стыков



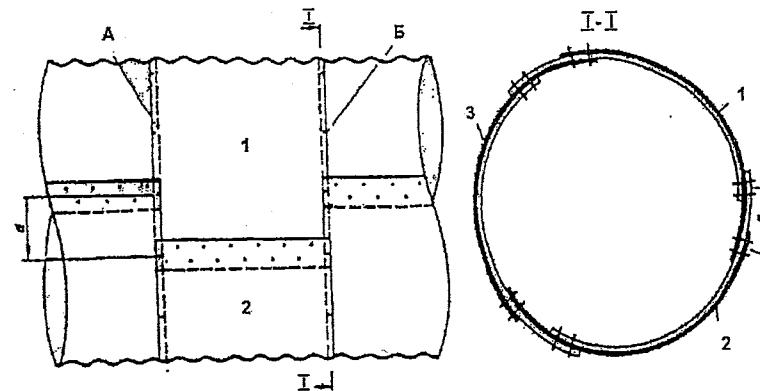
**Рис. 5.3. Размещение болтов продольного стыка**  
1, 2 — первый и второй ряды болтов внутреннего листа

По второй схеме вначале выкладывают нижние элементы на всю длину МГК, объединяя их болтами в средней части. Затем устанавливают по два других элемента звеньев через одно звено. Далее последовательно монтируют оставшиеся элементы пропущенных звеньев, завершая монтаж постановкой и затяжкой всех болтов. Между звеном, в котором затягивают все болты, и собираемым звеном должно быть не менее 3-х звеньев с наживленными болтами.

5.4.4.2. При монтаже МГК на строительной площадке могут быть осуществлены также предварительная сборка звеньев и последующее их объединение. Для труб диаметром до 3 м такая технология сборки является предпочтительной (рис. 5.4). Звенья собирают на специально подготовленной площадке с деревянным настилом в непосредственной близости от сооружаемой трубы. Собранные звенья устанавливают краном на основание, подкладывая под каждое звено деревянные брусья и ориентируя их вдоль трубы (после установки и затяжки всех болтов брусья из-под трубы удаляют). Проектом должны быть предусмотрены переносные подмости.

При сборке МГК для монтажников устраивают подмости внутри трубы.

5.4.4.3. Окаймляющие уголки устанавливают, когда в продольных стыках торцевых звеньев МГК болты, расположенные на расстоянии 0,3–0,5 м от торцов, не затянуты.



**Рис. 5.4. Соединение двух секций**

1, 2, 3 — последовательность установки соединительных элементов;  
А и Б — торцы секций; а — сдвигка (забег) продольных стыков

## 5.5. Устройство дополнительного защитного покрытия

5.5.1. Дополнительное защитное покрытие МГК необходимо в случае применения их в среднеагрессивных средах (п. 3.3.4) и выполняется с применением мастик, полимерных лакокрасочных материалов или эмалей в соответствии с требованиями проекта.

5.5.2. Для дополнительной защиты от коррозии оцинкованных гофрированных труб отверстием до 3 м рекомендуется нанесение покрытия на основе одноупаковочной мастики холодной сушки по ТУ 2513-001-20504464-99 [20].

Мастика применяется в виде двух, трех слоев грунтовочного слоя и покровных слоев общей толщиной 0,5–1,0 мм. Грунтовочный состав приготовляется разбавлением исходной мастики уайт-спиритом, низкокипящим бензином, бутилацетатом и другими растворителями. После нанесения мастика быстро сохнет и образует прочное антикоррозийное, устойчивое к колебаниям температур, износостойкое покрытие. Наносится при температуре воздуха до минус 10 °С.

5.5.3. Мастику наносят на секции труб на заводе. Нанесение покрытия на строительной площадке не рекомендуется. На строительной площадке мастикой покрывают только незащищенные концы секций, элементы и дефектные места, появившиеся в покрытии при транспортировании и сборке секций.

5.5.4. Перед нанесением мастики на незащищенные концы секций их поверхность следует очистить от грязи, пыли, наледей, масляных и нефтяных пятен. Твердые наслоения снимают твердыми металлическими щетками, лед удаляют газовоздушными горелками, нефтяные пятна снимают ветошью, смоченной бензином. Очищенную поверхность сушат с помощью газовоздушных горелок.

5.5.5. Нанесение мастики на соединительные элементы, незащищенные концы секций и дефектные места в зимних условиях допускается при температуре не ниже минус 20 °С. При этом поверхности следует подогревать до температуры 40–50 °С газовоздушными горелками типа ГВПИ или ГВПЛ (однофакельными или многофакельными).

5.5.6. Очистку и нанесение мастики на строительной площадке в зимних условиях следует производить под прикрытием переносных утепленных навесов.

5.5.7. Дополнительное защитное покрытие металлических гофрированных конструкций больших диаметров выполняется с применением полимерных лакокрасочных материалов на полиуретановой основе и материалов приведенных в таблице 3.4.

5.5.8. Работы по устройству защиты МГК на монтажной площадке включают в себя последовательное выполнение операций: по подготовке оцинкованной поверхности, ремонту поврежденного цинкового покрытия, окрашиванию — нанесению грунтовочного покрытия, нанесению покрывных слоев, сушке каждого слоя покрытия.

Все операции по выполнению технологического процесса окрашивания должны производиться при температуре воздуха не ниже 0 и не выше +50 °С и относительной влажности воздуха от 30 до 98 %.

Перед окрашиванием поверхности МГК должны пройти тщательный контроль и освидетельствование состояния цинкового покрытия.

5.5.9. Для более прочной адгезии цинковое покрытие должно быть подвергнуто перед окрашиванием обработке металлическими щетками. Масляные загрязнения предварительно удаляются.

Очистка зон болтовых соединений производится пескоструйным способом. При малых зонах очистки и в труднодоступных местах допускается применение металлических щеток (как ручных, так и механических).

5.5.10. Для пескоструйной очистки следует применять просушенный кварцевый песок фракций 0,5–2,0 мм.

После механической очистки поверхность МГК обдувают сжатым воздухом или очищают волосянymi щетками. При этом следует посменно проверять отсутствие влаги и масла в подаваемом воздухе.

5.5.11. Нанесение лакокрасочных материалов следует производить методом безвоздушного распыления. В труднодоступных местах допускается нанесение лакокрасочных материалов с помощью кисти или валика.

5.5.12. Оборудование, применяемое при производстве работ по подготовке поверхности МГК и ее окрашиванию, приведено в приложении 3.

## 5.6. Устройство грунтовых обойм и засыпки металлических гофрированных конструкций

5.6.1. Устройство грунтовой обоймы выполняется в едином технологическом процессе с засыпкой МГК до проектной отметки.

5.6.2. Устройство грунтовых обойм и засыпку МГК следует вести с опережением возведения земляного полотна. Необходимость оставления в насыпях прогалов для строительства МГК должна быть обоснована проектом, при этом ширину прогала (в свету) следует назначать из расчета обеспечения расстояния между основанием откоса насыпи и осью МГК в уровне максимального горизонтального размера в соответствии с п. 5.3.4.

5.6.3. Устройство грунтовой обоймы вокруг МГК следует производить грунтами, перечисленными в п.п. 4.5 и 4.6, в обоснованных проектом случаях с армированием геотекстилем, объемными георешетками или другими мероприятиями.

Процесс устройства неармированной грунтовой обоймы у труб диаметром до 3 м должен включать следующие виды работ:

- транспортировку грунта из карьера или резерва к трубе, автосамосвалами или скреперами;
- разравнивание грунта бульдозером слоями заданной толщины;
- послойное уплотнение грунта виброкатками или пневмокатками, а в непосредственной близости от трубы виброплитами или трамбовками с подштыковкой грунта в гофрах трубы;
- контроль плотности засыпки.

Для уплотнения грунта на удалении более 1 м от стенки трубы могут применяться все грунтоуплотняющие средства, использующиеся при уплотнении дорожных насыпей.

**5.6.4. Засыпать МГК больших диаметров следует, формируя грунтовую обойму армированными слоями (угол не круче 1:5), толщина которых назначается по расчету и в зависимости от грунтоуплотняющих средств:**

- 0,3–0,6 м — при применении виброкатков;
- до 0,3 м — при использовании пневмокатков.

Особое внимание следует уделять уплотнению грунта у стенок МГК и в гофрах виброплитами или трамбовками, которые следует располагать на расстоянии 5 см от гребней гофров.

**5.6.5. Отсыпку грунта следует производить с разворотом самосвала перед МГК и подачей его для разгрузки задним ходом вдоль оси насыпи или же с кольцевым движением самосвалов и скреперов с въездом со стороны откосов насыпи (рис. 5.5). Вторую схему целесообразно применять в случае засыпки МГК в прогалах.**

Для засыпки МГК в прогалах используются бульдозеры, перемещающие грунт, специально доставленный для этой цели и уложенный на насыпи с обеих сторон МГК. Отсыпку грунта слоями во всех случаях необходимо начинать от МГК по всей ее длине.

**5.6.6. Засыпать МГК необходимо послойно, строго соблюдая последовательность:**

- грунт нулевого слоя укладывают одновременно с обеих сторон МГК и разравнивают бульдозером;
- после уплотнения слоя грунта с одной стороны МГК производят отсыпку второго слоя, а с другой стороны — уплотнение грунта;
- в таком же порядке осуществляются отсыпка и уплотнение всех последующих слоев до верха МГК.

Уплотнение каждого слоя грунта, если оно производится при движении машин вдоль МГК, следует начинать с удаленных от нее участков и с каждым последующим проходом приближаться к стенкам МГК. Уплотнение грунта непосредственно у МГК допускается только тогда, когда с противоположной ее стороны уже отсыпан слой грунта этого же горизонта по всей длине МГК.

**5.6.7. Уплотнение грунта катками целесообразно производить вдоль МГК по кольцевой схеме. Приближение катков к МГК допускается на расстояние не ближе 1,0 м для конструкций диаметром (пролетом) до 10 м, и не ближе 1,5 м — для конструкций диаметром (пролетом) до 15 м. Грунт у стенок МГК при данной технологии необходимо уплотнять виброплитами или трамбовками.**

**5.6.8. Уплотнение грунта в пазухах многоочковых труб рекомендуется производить виброплитами типа AT-12, AV-900 или трамбовками AVS 70, ADS 70/DS 68 с обязательным соблюдением последовательности отсыпки слоев (рис. 5.5). Толщина слоя в пазухе не должна превышать 0,15 м. Для засыпки пазух грунтом можно использовать универсальные экскаваторы-планировщики типа EW-25M1.010.**

**5.6.9. В зимних условиях МГК следует засыпать только сухими несмешившимися грунтами. Допустимое время рабочего цикла от момента разработки грунта до окончания его уплотнения не должно превышать времени, в течение которого грунт сохраняет способность к уплотнению.**

**5.6.10. Проезд над трубами диаметром до 3 м строительных машин с нагрузкой на ось до 10 тс допускается при толщине слоя над верхом конструкции не менее 0,5 м (в плотном теле), с нагрузкой на ось 11–20 тс — при толщине слоя не менее 0,8 м и с нагрузкой на ось 21–50 тс — при толщине слоя не менее 1 м. Если проектом предусмотрена меньшая толщина засыпки, то для пропуска машин через сооружение в месте их проезда требуется досыпать грунт до указанной толщины.**

Устройство грунтовых обойм и засыпка МГК должны производиться под контролем прораба или строительного мастера подразделения, сооружающего конструкцию, и оформляться актом. При отсыпке и уплотнении грунта грунтовых обойм следует вести контроль за поперечными деформациями МГК, сопоставляя результаты контроля с замерами, произведенными до начала засыпки

МГК. Максимальные перемещения свода МГК в вертикальном или горизонтальном направлениях при уплотнении грунта строительными машинами не должны превышать 3 % от номинального диаметра (пролета).

5.6.11. При засыпке МГК больших пролетов для ограничения перемещения свода гофрированной конструкции на определенной стадии отсыпки грунтовой обоймы целесообразно пригружать свод по всей длине МГК специально изготовленными мешками с песком. Величина пригруза и стадия отсыпки грунтовой обоймы, на которой пригружается свод МГК, определяются расчетом при разработке проекта производства работ.

### 5.7. Устройство лотков

5.7.1. Лоток следует устраивать после возведения насыпи над МГК до проектной отметки и при положительной температуре воздуха.

Устройство лотка на непокрытых участках в МГК замкнутого сечения осуществляется после установки очередной секции (длина секции в этом случае должна быть не более 5 м). Непокрытые участки в стыках секции труб заполняются полимербетоном.

5.7.2. При устройстве лотков из сборных блоков их размеры определяются очертанием и кривизной контура гофрированной поверхности трубы.

В местах болтовых соединений применяют блоки пониженной высоты.

Блоки следует изготавливать в стационарных условиях на заводе или на притрассовых производственных предприятиях, оборудованных необходимыми машинами.

Укладка блоков производится на очищенную внутреннюю поверхность трубы, предварительно покрытую защитным слоем. В качестве защитного слоя можно использовать битумные мастики не наполненные (пластбитулен, битудиен и пластбитудиен) и наполненные (битумно-минеральные и битумно-резиновые) и полимерные лакокрасочные материалы (эпоксидно-каучуковую краску или эпоксидно-полиамидную эмаль, или эпоксидно-каменноугольную эмаль).

Кроме перечисленных отечественных материалов целесообразно использование покрытий зарубежного производства, представленных в таблице 5.1.

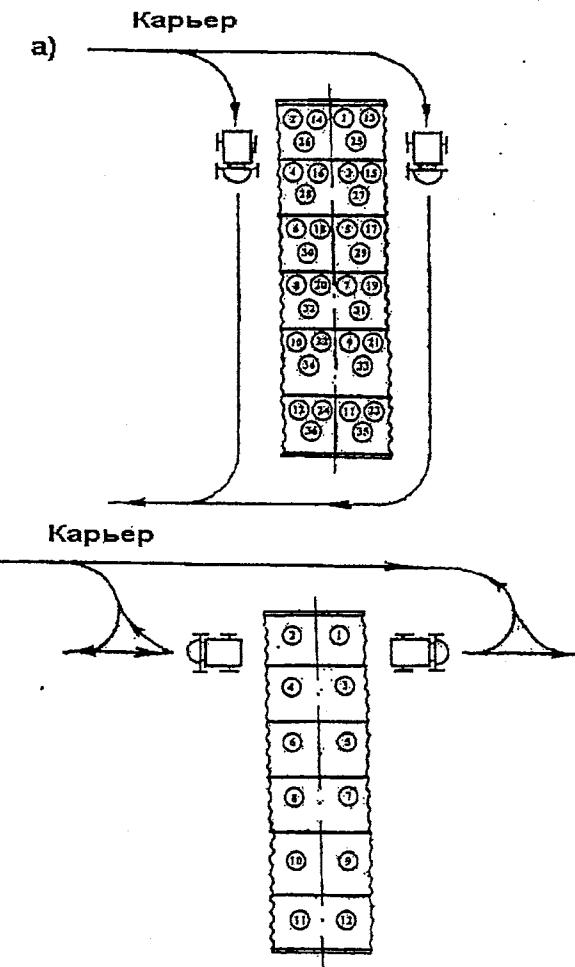


Рис. 5.5. Схемы движения самосвалов и уплотняющих механизмов при устройстве обоймы

(1), (2) и т.д. — последовательность сторонности отсыпки;  
а) при засыпке МГК в прогалах насыпи; б) при свободном подъезде

Таблица 5.1

Покрытия для дополнительной защиты  
оцинкованных поверхностей МГК

Систем покрытия	Толщина сухого слоя, мкм	Расход на 1 м <sup>2</sup> с учетом 30 % потерь, г	Производитель
Грунтовка Stelpant-PU-Zink — 1сл. материал Stelpant-PU-Combin — 2 сл.	40 300 (150×2)	214 764,4	Steelpaint GmbH ФРГ
Грунтовка Penguard Primer Grey — 1сл. материала Jotamastic 87 Aluminium — 1 сл.	50 300 (150×2)	156 630	Jotun Норвегия

5.7.3. Устройство монолитных бетонных лотков должно включать следующие операции:

- очистку поверхности трубы;
- укладку бетона;
- уплотнение бетона по всей ширине лотка.

5.7.4. Изготовление блоков для сборных лотков из полимербетонов рекомендуется производить в инвентарной разборной металлической опалубке. На притрассовых производственных предприятиях блоки удобно готовить в простой металлической форме, для устройства которой можно использовать стандартный лист. Такую форму устанавливают на песчаном основании. Перед укладкой полимербетона форму промазывают вязким машинным маслом или солидолом. Толщина смазки должна быть минимальной.

5.7.5. Уплотнение блоков производят с помощью вибратора, имеющего цилиндрическую форму рабочей площадки.

Разравнивать и уплотнять полимербетон надо сразу после выгрузки, не допуская его остыния, что особенно важно в случае укладки на холодную поверхность металла формы. Уплотнение нужно

успевать проводить до потери подвижности смеси в результате остывания или схватывания. В случае необходимости можно уменьшить период жизнеспособности смеси за счет увеличения температуры подогрева заполнителей и наполнителей, а также за счет увеличения количества отвердителя.

5.7.6. Для ускорения обрачиваемости форм и повышения степени полимеризации полимербетона можно подогревать не только заполнители, но и формы.

Для получения высокопрочных и особо морозостойких блоков с высокой степенью полимеризации связующего рекомендуется проводить термообработку отформованных изделий продолжительностью 48 ч. при температуре  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Термообработка может проводиться и при других температурных режимах. Для определения ее продолжительности необходим соответствующий пересчет времени. Термообработка блоков при температуре выше  $70^\circ\text{C}$  во избежание деформации под действием собственного веса должна проводиться на специальных поддонах.

5.7.7. Работы по устройству лотков из полимербетона включают:

- развертывание и подготовку средств механизации, устройство освещения в трубе;
- удаление воды и сушку внутренней поверхности трубы;
- зачистку поверхности под лоток;
- приготовление щебеночных и песчано-гравийных смесей;
- приготовление полимербетона и полимерраствора;
- укладку блоков;
- укладку и уплотнение полимербетона.

5.7.8. Для удобства погрузки и выгрузки блоков лотков транспортируют их к месту работы производят в пакетах или контейнерах, в которых блоки укладываются попарно.

5.7.9. Устройство сборных лотков следует проводить в два этапа.

Первый этап включает укладку блоков на одной или более секциях. Блоки, как и полимерраствор, подают на место укладки в горячем состоянии. Подогрев блоков может производиться в песке на металлических листах.

Укладку сборного лотка производят позвенно. Замес полимерраствора рассчитывают и приготовляют на одно звено трубы. По-

лимерраствор доставляют на место укладки в легкой смесительной емкости и распределяют по поверхности трубы с помощью специальных фигурных шпателей. Нижнюю и боковые поверхности перед укладкой блоков смачивают полимерраствором. Укладку блоков производят со сдвигкой с целью полного заполнения полимерраствором продольных швов между блоками. При укладке блоков продольный стык трубы, попадающий между блоками, перекрывают закладной доской.

Для уменьшения толщины приклеивающего слоя и удаления излишков раствора блоки снаружи подвергают воздействию переносного вибратора с цилиндрической рабочей поверхностью.

На втором этапе с помощью полимербетона производят заделку продольных и поперечных швов трубы и устройство сливов.

Время между этапами желательно предельно сократить, чтобы теплый полимербетон укладывался в швы при еще не остывших блоках.

Уплотнение полимербетона и формирование наружной поверхности производят с помощью вибратора. Для виброплощадок можно использовать электромеханический вибратор с регулируемой возмущающей силой, а также вибраторы с выдвижными дебалансами, позволяющими снизить вибрацию при пуске и остановке вибратора.

Для устройства сливов рекомендуется более жесткий полимерраствор (см. таблицу К.2 Приложения К). Уплотнение сливов можно производить как вручную, так и с помощью плоских пневматических бучард или легких отбойных молотков. Для уплотнения можно также приспособить вибратор со специально изготовленной для него виброплощадкой соответствующей формы.

5.7.10. Применение одной марки связующего для приготовления полимерраствора и полимербетона (например, 1510) позволяет упростить производство работ.

5.7.11. Технология укладки сборных лотков из легких бетонных блоков и комбинированных лотков аналогична технологии устройства лотков из полимерных блоков. Бетонные блоки перед укладкой также рекомендуется прогревать, благодаря чему достигается более высокая степень полимеризации связующего приклеивающего раствора.

Поверхность бетонных блоков необходимо покрывать защитным слоем полимерраствора. С этой целью снаружи бетонные бло-

ки для достижения смачиваемости рекомендуется протирать полимерраствором. Затем полимерраствор с помощью шпателей распределяют по наружной поверхности блоков слоем толщиной не более 5 мм.

5.7.12. Монолитный лоток рекомендуется выполнять из полимербетона, приготовленного на подогретых заполнителях, что повышает качество смеси, ее пластичность, способствует ускорению выгрузки, лучшей смачиваемости поверхности цинкового покрытия, уплотнению укладываемого материала при меньших давлениях, сокращению сроков вибрирования и повышению качества поверхности лотка.

Лоток трубы при углах охвата до 120° устраивают без применения опалубки. Формирование наружной поверхности лотка и уплотнение полимербетона производят с помощью вибратора.

Для повышения морозостойкости лотка рекомендуется переход от металла МГК к сливу и сливы покрывать тонким слоем вяжущего (см. приложение К табл. К1).

5.7.13. Сборные блоки по обработанному основанию укладываются вручную в направлении, противоположном подаче блоков ("на себя"). При устройстве сборных лотков в трубах на полигонах или непосредственно на строительной площадке блоки следует укладывать одновременно в направлениях от середины к торцам трубы или секции.

В местах болтовых соединений укладываются сборные элементы пониженной высоты.

5.7.14. При устройстве сборных лотков на строительной площадке в смонтированных секциях или трубах блоки к месту укладки подвозят в контейнерах с полками. Полки в контейнерах следует устраивать из плоских гофрированных листов. Укладка блоков на полки контейнеров допускается в два ряда. Второй ряд должен быть уложен плоской стороной вниз. При транспортировании в полевых условиях их укладываются в гофрированные элементы. Укладка элементов блоками друг на друга в количестве более четырех не разрешается.

5.7.15. После окончания работ по устройству сборного лотка поверхность его обрабатывается битумной эмульсией. Работы по устройству сборного лотка считаются законченными после полного распада битумной эмульсии на его поверхности. При этом поверх-

ность лотка должна приобрести ярко выраженный гладкий черный цвет.

## 6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА РАБОТ

6.1. Контроль за производством работ должен осуществляться на всех стадиях технологического процесса в соответствии с СНиП 3.01.04 – 87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения» [21].

6.2. Контроль качества и приемка работ должны обеспечивать:

- высокое качество выполняемых работ и полное соответствие их утвержденному проекту и действующим нормативным документам;
- соответствие качества материалов и конструкций требованиям утвержденного проекта и государственных стандартов;
- своевременное осуществление промежуточной приемки выполненных работ и правильное оформление соответствующей производственно-технической документации.

До приемки скрытых работ и ответственных конструкций запрещается проводить последующие работы (например, установку трубы на не принятую грунтовую подушку или засыпку трубы с не принятым дополнительным защитным покрытием).

6.3. Контроль плотности грунта естественного основания, а также контроль плотности грунтовой подушки, укладываемой взамен слабого грунта основания, осуществляется через каждые 0,5 м высоты подушки. Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке (Приложение Л).

По окончании подготовки основания МГК составляют акт на скрытые работы по стандартной форме.

6.4. Перед началом работ по монтажу следует проверить наличие маркировки, отбраковать элементы и обеспечить комплектность элементов и крепежа.

При отбраковке элементов и крепежа следует проверять качество защитного покрытия, маркировку элементов, геометрические размеры элементов и крепежа.

На внутренней поверхности каждого гофрированного листа у второго ряда отверстий для продольного стыка на первом выпуклом

гофре должны быть указаны марки стали и элемента, клеймо ОТК завода и инспектора по качеству. Марка элемента условно обозначает диаметр МГК и толщину листа. На каждом пакете гофрированных элементов должна быть бирка с указанием марки элемента, марки стали, толщины элемента, диаметра МГК, завода-изготовителя и год выпуска.

Поверхность цинкового защитного покрытия труб не должна иметь видимых трещин, забоин, наплыдов на стыкуемых поверхностях и мест, не покрытых цинком. Использование элементов с указанными дефектами не допускается. Дефекты защитного покрытия устраняются заводом-изготовителем.

Качество дополнительного защитного полимерного покрытия, которое наносится в заводских условиях, должно отвечать требованиям проекта.

6.5. Перед началом монтажа МГК должны быть выполнены контрольная сборка и все подготовительные работы. Если на месте строительства МГК рядом с подготовленным основанием отсутствует ровная площадка, то для сборки МГК следует подготавливать подмости, располагая их вблизи проектной оси МГК. В ходе монтажа и после его завершения осуществляется геодезический контроль.

6.6. Приемка смонтированной МГК перед устройством грунтовой обоймы должна быть оформлена актом.

6.7. При выполнении работ по защите от коррозии металлоконструкций должны контролироваться:

- температура окружающего воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- обезжиренность и чистота сжатого воздуха, применяемого в процессе производства работ;
- степень очистки поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов;
- гарантийный срок пригодности защитных покрытий;
- время технологической выдержки наносимых слоев защитного покрытия и время выдержки полного покрытия.

Контроль высыхания лакокрасочных покрытий следует осуществлять по ГОСТ 19007-73\*.

6.8. Контроль качества лакокрасочного покрытия должен производиться по внешнему виду, толщине и адгезии.

6.9. Контроль внешнего вида покрытия осуществляется согласно ГОСТ 9.407-84\* «Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида» [22].

Покрытие не должно иметь пропусков, трещин, сколов, пузьрей, кратеров, морщин и других дефектов, влияющих на защитные свойства.

6.10. Контроль толщины покрытия осуществляется с помощью толщиномеров электромагнитного типа.

Толщина покрытия на элементе определяется как средняя арифметическая величина из количества замеров, принятого для данной конструкции. Количество точек определяется в разных местах в зависимости от длины элемента: при длине элемента до 5 м — 5 точек, при длине элемента выше 5 м — 11 точек.

Определение толщины покрытия в каждой точке производится по 5 контрольным замерам толщины в радиусе 5 мм, при этом максимальная толщина покрытия в каждой точке определяется как средняя арифметическая величина.

6.11. Контроль адгезии покрытия должен осуществляться по методу решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 15140-78\* «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» [23]. Адгезия покрытия должна быть не более 2 баллов.

Испытание на адгезию следует производить методом параллельных надрезов по взаимно-перпендикулярным направлениям. Надрезов должно быть не менее шести длиной не менее 20 мм.

Надрезы делаются на расстоянии 1 мм друг от друга на покрытиях толщиной до 60 мкм, на расстоянии 2 мм при толщине покрытия от 60 до 120 мкм и расстоянии 3 мм на покрытиях толщиной более 120 мкм.

При прорезании слоя до металла может наблюдаться незначительное отслаивание покрытия в виде мелких чешуйек в местах пересечения линий решетки. Нарушение допускается не более чем на 5 % решетки.

На участках проверки адгезии покрытие должно быть восстановлено по принятой схеме окрашивания.

✓ 6.12. Устройство грунтовой обоймы ведется под постоянным геодезическим контролем.

6.13. Контроль плотности грунта следует осуществлять путем отбора проб на протяжении всего процесса устройства обоймы и за-

сыпки МГК. Является на горизонтах 0,25, 0,5 и 0,75 высоты с обеих сторон МГК на расстоянии 0,1 и 1 м от боковых стенок в средней по ее длине части и на одной трети ее длины от оголовков. Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке.

Результаты контроля заносятся в акт на скрытые работы.

6.14. Во избежание чрезмерного сплюсывания конструкции (с образованием вертикально вытянутой эллиптичности) при уплотнении боковых призм грунта производят оперативный контроль поперечных деформаций трубы и следят за тем, чтобы уменьшение горизонтального диаметра не выходило за пределы 3 % nominalного диаметра в соответствии с СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве» [24]. Такая деформация не представляет опасности развития в стенах трубы значительных пластических деформаций изгиба и даже создает некоторый резерв несущей способности конструкции. Если же возникает опасность большей деформации, то внутри трубы на уровне горизонтального диаметра устанавливают временные горизонтальные распорки, которые извлекают после засыпки трубы. При засыпке глинистым грунтом с послойным уплотнением пневмокатком Д-551 и ручными электротрамбовками эти трубы не нуждаются в установке временных распорок.

6.15. Оценку качества выполнения работ по устройству лотка следует производить внешним осмотром (проверкой отсутствия трещин, бугров, впадин, расслоений) и контролем геометрических размеров.

По окончании работ составляется акт приемки лотка в трубе.

6.16. При приемке построенного сооружения должна быть представлена следующая документация: чертежи МГК, на которых нанесены согласованные изменения; акты освидетельствования и промежуточной приемки ответственных конструкций и скрытых работ (устройство оснований, монтаж конструкций, устройство дополнительного защитного покрытия и лотков, грунтовая обсыпка МГК); акт освидетельствования МГК в целом; паспорт (сертификат) на поставленные стальные конструкции; паспорт (сертификат) на поставленные материалы для армогрунтовой обоймы; сводная ведомость указанных документов.

## 7. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ

7.1. При производстве работ по постройке МГК следует руководствоваться указаниями главы СНиП 12-03-2001\* «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» [25], действующими правилами и нормами техники безопасности и охраны труда в строительстве по соответствующим видам работ, а также требованиями настоящих ТУ.

7.2. Все рабочие должны быть проинструктированы по технике безопасности и обучены работам, которые они должны выполнять. По окончании обучения каждый рабочий должен сдать экзамен по технике безопасности комиссии. Результаты экзамена оформляются протоколом.

7.3. Запрещается осуществлять монтаж МГК без полного комплекта необходимого инструмента.

7.4. Установку элементов при монтаже секций МГК следует производить с помощью специальных крюков. Монтируемый элемент разрешается освобождать от крюков только после фиксации его положения болтами или оправками.

7.5. Запрещается находиться внутри МГК непосредственно под монтируемым элементом, а также устанавливать соединительные болты до тех пор, пока положение этого элемента не зафиксировано оправками не менее чем в двух точках.

7.6. При перекатке смонтированной МГК или отдельных секций следует находиться только позади перекатываемой конструкции.

7.7. Подъем полностью смонтированной трубы краном допускается только после затяжки всех соединительных болтов.

7.8. Помещения с оборудованием для разогрева мастики должны быть удалены от огнеопасных строений, складов битума, гидроизоляционных материалов не менее чем на 50 м с учетом преобладающего направления ветра.

Емкости для разогрева мастики должны загружаться не более чем на 3/4 их объема так, чтобы уровень был всегда выше зоны обогрева.

7.9. В помещении с емкостями для разогрева и приготовления мастик должен быть комплект противопожарного оборудования (огнетушители, лопаты и сухой песок).

7.10. При изготовлении грунтовок исходные нефтяные битумы или компаунды с температурой 160–180 °С должны быть охлаждены до температуры 80–90 °С и влиты в бензин (а не наоборот). Эта операция должна сопровождаться тщательным перемешиванием грунтовки деревянными мешалками.

7.11. Загустевшие лаки допускается применять после их разжижения соответствующим неканцерогенным растворителем.

7.12. В случае воспламенения битума в емкостях для его варки гасить пламя следует сухим песком или огнетушителями. Запрещается гасить воспламенившийся битум (мастику) водой.

7.13. В битумоварочном помещении должна быть аптечка с необходимыми медикаментами и перевязочным материалом.

7.14. При устройстве монолитного полимербетонного лотка в конструкциях диаметром до 2 м длиной более 20 м следует предусматривать вентиляцию. Рекомендуется применять осевые вентиляторы типа МЦ-7 с частотой вращения 1450 об/мин. При использовании вентиляторов других марок их подбор должен вестись из расчета обеспечения скорости движения воздуха не менее 1 м/с.

7.15. При производстве работ по защите элементов гофрированных труб полимерными материалами следует соблюдать изложенные ниже правила техники безопасности:

- процесс окраски должен производиться в соответствии с ГОСТ 12.3.005-75\* ССБТ «Работы окрасочные. Общие требования безопасности» [26], а также «Санитарными правилами при окрасочных работах с применением ручных распылителей» № 991-72, утвержденными Минздравом СССР от 22.09.1972;

- при подготовке поверхности к окрашиванию необходимо соблюдать требования безопасности по ГОСТ 9.402-80\* «Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием» [27];

- в складах и на участках по ведению окрасочных работ не допускается производство работ, связанных с применением открытого огня. Участки необходимо снабдить пенными огнетушителями, ящиками с песком и другим противопожарным инвентарем;

- производственный персонал не должен допускаться к выполнению окрасочных работ без средств индивидуальной защиты, соответствующей требованиям ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих» [28];

- рабочие, ведущие окрасочные работы, должны работать в спецодежде. Спецодежду, облитую растворителем или лакокрасочными материалами, следует немедленно заменить чистой;
  - для предохранения органов дыхания от воздействия паров красок и растворителя рабочие должны пользоваться респираторами типа РУ-60А или РПГ-67, а также защитными очками;
  - для защиты кожи рук необходимо применять резиновые перчатки или защитные мази и пасты по СНиП «О принятии строительных норм и правил Российской Федерации "Безопасность труда в строительстве. Часть I. Общие требования"» [29] типа ИЭР-1, силиконовый крем и др.;
  - тара, в которой находятся лакокрасочные материалы и растворители, должна иметь наклейки или бирки с точными наименованием и обозначением материалов. Тара должны быть исправной и иметь плотно закрывающиеся крышки;
  - опилки, ветошь, обтирочные концы, тряпки, загрязненные лакокрасочными материалами и растворителями, следует складывать в металлические ящики и по окончанию каждой смены выносить в специально отведенные места;
  - около рабочего места должна быть чистая вода или свежеприготовленный физиологический раствор (0,6–0,9 % раствор хлористого натрия), чистое сухое полотенце, протирочный материал;
  - при попадании в глаза растворителя или лакокрасочного материала необходимо немедленно обильно промыть глаза водой, затем физиологическим раствором, после чего обратиться к врачу;
  - после окончания работы необходимо произвести уборку рабочего места, очистку спецодежды и защитных средств.
- 7.16. В каждой смене по строительству МГК должны быть выделены и обучены специальные лица для оказания первой помощи.
- 7.17. На каждом строящемся объекте должна быть организована постоянная связь с центральным прорабским пунктом, имеющим утвержденный приказом по строительству порядок организации медицинской помощи и эвакуации, в случае необходимости, травмированных или заболевших работников с объекта.

## Нормативные ссылки

В настоящих технических указаниях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы» / Минстрой России. — М.: ГП ЦПП, 1996.
2. СНиП СП 32-104-98 «Проектирование земляного полотна железнодорожной колеи 1520 мм» / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 1999.
3. СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений» / Минстрой России. — М: ГП ЦПП, 1995.
4. ГОСТ 1759.4-87 «Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний». — М.: Издательство стандартов, 1992.
5. ГОСТ 1759.5-87 «Гайки. Механические свойства и методы испытаний». — М.: Издательство стандартов, 1991.
6. ГОСТ 15150-69\* «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения, транспортировки в части воздействия климатических факторов внешней среды». — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
7. ГОСТ 1050-88\* «Сталь углеродистая качественная конструкционная». — М.: Издательство стандартов, 1996.
8. ГОСТ 4543-71\* «Сталь легированная конструкционная». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.
9. ГОСТ 9.307-89 (ИСО 1461-89, СТ СЭВ 4663-84) ЕСЗКС. «Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля». — М.: Издательство стандартов, 1989.
10. ГОСТ Р 51163-98 «Покрытия термодиффузионные цинковые на крепежных и других мелких изделиях. Общие требования и методы контроля»
11. «Руководство по применению полимерных материалов (пено-пластов, геотекстилей, георешеток, полимерных дренажных труб) для усиления земляного полотна при ремонтах пути» / МПС России. — М., 2002.
12. ГОСТ 14637-89 «Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества». — М.: Издательство стандартов, 1990.

13. ГОСТ 14637-89 «Прокат толстолистовой горячекатаный из углеродистой стали обыкновенного качества»
14. ГОСТ 19281-89\* «Прокат из стали повышенной прочности»
15. ГОСТ 380-94 «Сталь углеродистая обыкновенного качества»
16. ГОСТ 4543-71\* «Сортовой прокат, в том числе фасонный»
17. ГОСТ 26633-91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые»
18. СНиП 2.03.11-85 «Захита строительных конструкций от коррозии»
19. «Технические условия погрузки и крепления грузов». — М., 1990.
20. ТУ 2513-001-20504464-99 «Герметики силиконовые и тиоколовые, резинобитумные мастики, клеи, гидроизоляция, наливные полы, каучуки (резины)»
21. СНиП 3.01.04-87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения» / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 1995.
22. ГОСТ 9.407-84\* «Покрытия лакокрасочные. Методы определения внешнего вида». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.
23. ГОСТ 15140-78\* «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.
24. СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве» / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2001.
25. СНиП 12-03-2001\* «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2001.
26. ГОСТ 12.3.005-75\* ССБТ «Работы окрасочные. Общие требования безопасности». Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
27. ГОСТ 9.402-80\* «Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием». — М.: Стандартинформ, 2005.
28. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих». Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
29. «О принятии строительных норм и правил Российской Федерации "Безопасность труда в строительстве. Часть I. Общие требования"» // Бюллетень нормативных актов федер. органов исполнит. власти, № 38, 17.09.2001, официальное издание / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2001.
30. СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах (с изм. и доп.)». — М.: ГУП ЦПП, 2000.
31. СН 525-80 «Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них». — М.: Стройиздат, 1981.
32. СНиП 2.01.15-90 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования» / Госстрой СССР. — М., 1991.
33. ГОСТ 1759.1-82\* (СТ СЭВ 2651-80) «Болты, винты, гайки и шурупы. Допуски, методы контроля размеров и отклонений, формы и расположения поверхностей». — М.: Издательство стандартов, 1993.
34. ГОСТ 1759.2-82 (СТ СЭВ 2179-80) «Болты, винты и шпильки. Дефекты поверхности и методы контроля». — М.: Издательство стандартов, 1982.
35. ГОСТ 1577-93 «Прокат толстолистовой и широкополосный из конструкционной качественной стали. Технические условия». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

Список принятых сокращений

Аббревиатура	Полное наименование
БКЭ	Бесконечный конечный элемент
ИГИ	Инженерно-геологические изыскания
КЭ	Конечный элемент
ЛСМ	Линейно спектральная методика
МГК	Металлическая гофрированная конструкция
МГЭ	Метод граничных элементов
МКЭ	Метод конечных элементов
ОСР	Общее сейсмическое районирование
ПКЭ	Протяженный конечный элемент
ПРА	Пакет расчетных акселерограмм
ТДЦ	Термодиффузионное цинкование
ПП	Полистирольные пенопласты

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОФРИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

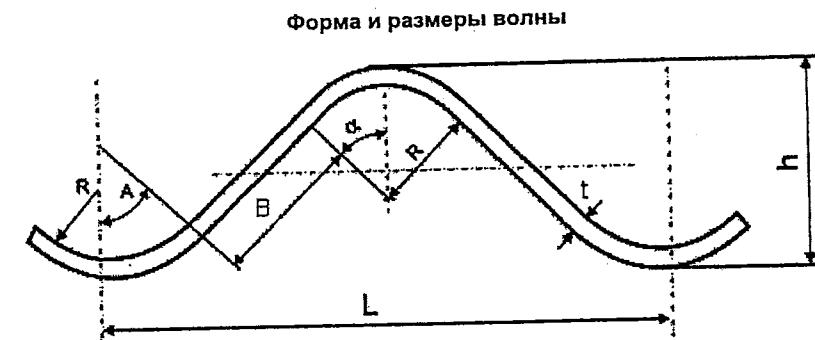


Таблица А1

Гофрированные листы с размерами волны 164×57 мм  
(Производитель ООО «БСК-335 завод» в России)

Толщина листа, см	Угол видимости круговой части, град.	Длина прямой вставки, см	Площадь волны гофрированного листа, см <sup>2</sup> /см	Момент инерции волны гофрированного листа, см <sup>4</sup> /см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup> /см	Радиус инерции, см
t	α	B	F	I	W	i
0,3	53,5	3,109	0,384	1,554	0,54	2,013
0,4	54,28	2,920	0,531	2,075	0,72	1,978
0,5	55,14	2,718	0,625	2,601	0,91	2,040
0,6	56,09	2,500	0,758	3,153	1,10	2,040
0,7	57,18	2,260	0,893	3,716	1,30	2,041
0,8	58,43	1,992	1,030	4,293	1,50	2,042

Таблица А2

Гофрированные листы с размерами волны 152,4×50,8 мм  
 (Производители: ЗАО «Гофросталь» в России, Канада, Италия)

Толщина листа, см	Угол видимости круговой части, град,	Длина прямой вставки, см	Площадь волны гофрированного листа, см <sup>2</sup> /см	Момент инерции волны гофрированного листа, см <sup>4</sup> /см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup> /см	Радиус инерции, см
t	α	B	F	I	W	i
0,3	44,58	4,772	0,372	1,120	0,441	2,013
0,4	44,94	4,664	0,497	1,507	0,593	1,978
0,5	45,3	4,554	0,621	1,900	0,748	2,040
0,6	45,68	4,441	0,746	2,443	0,962	2,040
0,7	46,08	4,325	0,871	2,715	1,069	2,041

Таблица А3

Гофрированные листы с размерами волны 150×50 мм  
 (Производители ОАО «Алексинстройконструкция» в России, Норвегия, Швеция)

Толщина листа, см	Угол видимости круговой части, град,	Длина прямой вставки, см	Площадь волны гофрированного листа, см <sup>2</sup> /см	Момент инерции волны гофрированного листа, см <sup>4</sup> /см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup> /см	Радиус инерции, см
t	α	B	F	I	W	i
0,3	51,47	2,873	0,377	1,177	0,444	1,77
0,4	52,26	2,693	0,504	1,582	0,586	1,77
0,5	53,13	2,500	0,630	1,995	0,726	1,78
0,6	54,1	2,292	0,757	2,417	0,863	1,79
0,7	55,2	2,060	0,885	2,850	1,000	1,79

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Состав и требования к объему исходных данных  
 для расчета гофрированных конструкций  
 по методу конечных элементов (МКЭ)

Для выполнения расчетов гофрированных металлических труб с использованием МКЭ требуются исходные данные о размерах предполагаемой конструкции сооружения, материале конструкции, высоте насыпи, составе грунтов основания, толщине слоев основания и их характеристики, диаметре или пролете МГК, характеристики волны гофрированного листа, модуль деформации грунта засыпки.

Для каждого из элементов расчета приводятся основные физико-механические показатели, используемые в расчетах по МКЭ: наименование грунта, модуль деформации, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, удельный вес, коэффициент сцепления.

Если массив грунта с гофрированными металлическими ограждающими конструкциями по своей структуре является неоднородным, то с учетом особенностей его поперечного сечения указываются зоны, переменные по толщине, где грунт располагается слоями.

При использовании мероприятий по изменению свойств грунтового массива применением георешеток или других способов армирования необходимы данные о геометрических и физико-механических характеристиках указанных элементов, а также схема их раскладки в плане и по высоте массива с указанием мест заанкеривания (если такие имеются).

Если откос массива грунта укреплен подпорной стенкой или габионами, то необходимы данные по конструкции, геометрии и характеристикам указанных элементов.

При установке металлических гофрированных конструкций на фундамент необходимы исходные данные о конструкции фундамента, его размерах, материалах, из которого он изготовлен и глубине заложения. Если для обеспечения устойчивости фундамента используются дополнительные конструктивные мероприятия («подушки» из тонкого бетона, сваи и т.п.), то необходимы данные о характеристиках используемых элементов.

Гофрированные металлические ограждающие конструкции при построении расчетной конечно-элементной модели рассматриваются как единые конструкции, моделирование которых выполняется с использованием плоских балочных конечных элементов. Исходными

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Расчет металлических гофрированных конструкций по прочности и устойчивости на эксплуатационные нагрузки с использованием упрощенных формул

1. Расчет МГК круглого сечения диаметром менее 3 метров допускается производить по условию ограничения нормальной силы по формуле

$$\frac{N}{A} \leq R_y m \quad (B1)$$

где:

$N$  — нормальное (тангенциальное) усилие в гофрированной конструкции от расчетных нагрузок, приходящееся на длину  $\lambda$  одной волны гофрированного листа (Н; кг);

$A$  — площадь одной волны гофрированного листа ( $\text{м}^2$ ;  $\text{см}^2$ ); для гофрированных листов с длиной волны  $\lambda = 0,164$  м, величина  $A$  принимается по приложению А;

$R_y$  — расчетное сопротивление стали по пределу текучести, принимаемое в соответствии с таблицей 50 СНиП 2.05.03-84\* и п. 4.1. настоящих ТУ; (Па; кг/см<sup>2</sup>);

$m = 0,7$  — коэффициент условий работы, учитывающий возможность возникновения изгибающих моментов вследствие неоднородности грунтовой засыпки по глубине и других факторов.

2. Нормальное (тангенциальное) усилие  $N$  в МГК от расчетных нагрузок, приходящееся на одну волну (длину волны  $\lambda$ ) гофрированного листа определяется по формуле

$$N = \frac{\gamma n D \cdot \left( h_{eq} + h + \frac{D}{2} \right) \cdot \lambda}{2 + \frac{E_0}{E} \cdot \frac{D}{\delta} \cdot (1 - \nu^2)} + \frac{\gamma_{sh} n_1 \delta \frac{D}{2} \lambda}{1 + \frac{\delta^2}{3D^2}} \quad (B2)$$

где:

$\gamma$  — удельный вес грунта засыпки; ( $\text{Н}/\text{м}^3$ ;  $\text{кг}/\text{см}^3$ )

$n = 1,3$  и  $n_1 = 1,1$  — коэффициент перегрузки определяется по СНиП 2.05.03-84\*;

$h_{eq}$  — условная высота насыпи, эквивалентная по действию временной железнодорожной нагрузке; (м; см)

$$h_{eq} = \frac{q}{\gamma \cdot (b + h)} \quad (B3)$$

данными для конструкции являются, как правило, погонные: площадь поперечного сечения, момент инерции поперечного сечения, физико-механические характеристики материала конструкции и предельные значения прочностных параметров.

В зависимости от реальных условий закрепления краев конструкции к фундаменту в качестве граничных условий для нее задается шарнирное закрепление или заделка граничных узлов.

Поскольку основной целью расчетов с использованием МКЭ является анализ состояния гофрированной металлической ограждающей конструкции, то наибольший интерес представляет область грунта, расположенного в непосредственной близости от конструкции. Размер конечных элементов определяется из условия корректного определения расчетных параметров состояния в области взаимодействия конструкции с грунтом. Размер конечных элементов рекомендуется принимать не более  $(0,01-0,02) \cdot L$ , где  $L$  — длина образующей сечения трубы. На расстоянии более  $2 \cdot R$  от ограждающей конструкции допускается постепенное увеличение размера конечных элементов до  $0,1 \cdot L$ .

В перечень исходных данных должны быть также включены:

- расчетные нагрузки с указанием типа нагрузки и ее параметров;
- если предполагается выполнение динамических расчетов (например, на сейсмические воздействия), то необходимы данные о параметрах динамических нагрузок;
- дополнительные требования Заказчика, если таковые имеются.

Таблица В1

Геометрические параметры гофрированных листов  
с размерами гофра 16.4×5.7 см

Толщина листа, см	Угол видимости круговой части, град.	Длина прямой вставки, см	Площадь волны гофрированного листа, см <sup>2</sup> /см	Момент инерции волны гофрированного листа, см <sup>4</sup> /см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup> /см	Радиус инерции, см	Расчетная толщина эквивалентной трубы, см
t	a	B	F	I	W	i	δ
0,300	106,991	3,109	0,384	1,554	0,54	2,013	3,408
0,320	107,292	3,072	0,409	1,632	0,57	1,997	3,488
0,350	107,753	3,016	0,448	1,819	0,63	2,016	3,603
0,380	108,227	2,959	0,486	1,980	0,69	2,018	3,714
0,390	108,388	2,940	0,499	2,033	0,71	2,018	3,749
0,400	108,551	2,920	0,531	2,075	0,72	1,978	3,784
0,450	109,387	2,821	0,574	2,335	0,81	2,016	3,954
0,500	110,267	2,718	0,625	2,601	0,91	2,040	4,114
0,560	111,387	2,589	0,704	2,931	1,02	2,040	4,295
0,600	112,178	2,500	0,758	3,153	1,10	2,040	4,411
0,700	114,344	2,260	0,893	3,716	1,30	2,041	4,687
0,800	116,861	1,992	1,030	4,293	1,50	2,042	4,946

$b = 2,7$  м (270 см) — длина шпалы;

$h$  — расстояние от подошвы рельса до верха МГК (м; см);

$q$  — эквивалентная нагрузка, определяемая в соответствии со СНиП 2.05.03-84\* в зависимости от длины и формы линии влияния величины  $N$ ; при отсутствии линии влияния допускается принимать  $q = 270$  кН/м (270 кг/см);

$D$  — диаметр трубы (м; см);

$E_0$  — модуль деформации грунта засыпки (Па; кг/см<sup>2</sup>);

$E$  — модуль упругости стали (Па; кг/см<sup>2</sup>);

$\delta$  — условная толщина МГК из гладкого листа, имеющей ту же погонную изгибную жесткость, что и МГК из гофрированного листа, (с длиной волны  $\lambda = 0,164$  м значения  $\delta$  приведены в таблице В.1);

$\nu = 0,25$  — коэффициент Пуассона материала МГК;

$\gamma_{sh}$  — удельный вес материала МГК ( $\text{Н}/\text{м}^3$ ; кг/см<sup>3</sup>).

3. Расчет трубы по устойчивости осуществляется по условию ограничения нормального (тangенциального) погонного усилия в МГК  $T$  от нормативных нагрузок

$$T < T^{np}, \quad (\text{B4})$$

где:

$$T^{np} = \frac{E\delta^2}{D^2 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left( 1 + \frac{E_0}{E} \cdot \frac{D^3}{\delta^3} \cdot \frac{1-\nu^2}{6} \right),$$

$$T = \frac{N_n}{\lambda}.$$

$N$  — нормальное (тangенциальное) усилие в МГК от нормативных нагрузок, приходящееся на длину одной волны  $\lambda$  гофрированного листа; ( $\text{Н}; \text{кг}$ )

величина  $N_n$  вычисляется по формуле (В1) при  $n = n_1 = 1$ .

4. При расчете МГК допускается образование в конструкции не более 3 пластических шарниров при условии отсутствия знакопеременной нагрузки в шарнире.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Примеры расчета сооружений из МГК с распределительной конструкцией

Целью настоящего примера расчета является определение влияния на работу металлической гофрированной конструкции (МГК) арочного типа, взаимодействующей с грунтом засыпки, распределительной конструкции, расположенной над МГК. Схема расчетной конструкции представлена на рис. Г1. Расчет произведен на 1 м толщины грунтового массива.

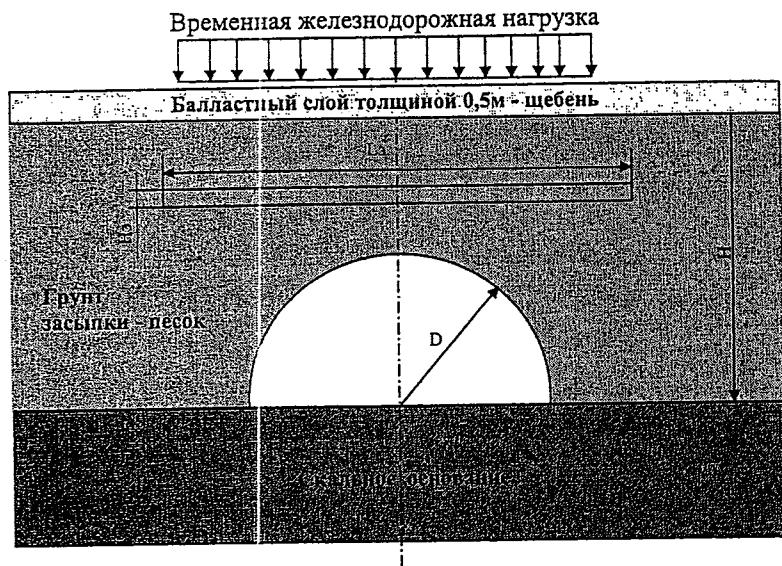


Рис. Г1. Расчетная схема  
«МГК — грунт — распределительная конструкция»

Предполагается, что МГК арочного типа, имеющая форму полуокружности с диаметром  $D$  равным 8 метров, жестко закреплена в скальное основание (запрещены как линейные, так и угловые перемещения). Характеристики гофры  $130 \times 32,5$  представлены в таблице Г1.

Таблица Г1

Геометрические характеристики волны гофрированного листа

Толщина, мм	Момент инерции, $\text{см}^4/\text{см}$	Площадь, $\text{см}^2/\text{см}$	Момент сопротивления, $\text{см}^3/\text{см}$	Приведенная толщина, см
2,5	2,729	0,871	2,03	3,2

В качестве распределительной конструкции принята железобетонная плита толщиной 30 см. Модуль упругости бетона класса В25 принят в соответствии с СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы» равным  $3 \cdot 10^7 \text{ кН}/\text{м}^2$ .

Характеристики грунта засыпки приведены в таблице Г2.

Таблица Г2

Характеристики грунта засыпки

Параметр	Песок	Щебень	Ед. изм.
Удельный вес грунта	17	25	$\text{kN}/\text{м}^3$
Модуль деформации	10000	130000	$\text{kN}/\text{м}^2$
Коэффициент Пуассона	0,33	0,3	
Сцепление	1	1	$\text{kN}/\text{м}^2$
Угол трения	30	40	Град.

В настоящем Приложении рассмотрены две расчетные схемы с разной высотой засыпки грунта  $H = 12\text{м}$  и  $H = 1,5\text{м}$ . В каждом случае расчет производился с наличием и отсутствием распределительной конструкции.

Временная железнодорожная нагрузка определялась в соответствии с СНиП 2.05..03-84\* «Мосты и трубы» по формуле:

$$p_v = \frac{v}{2.7 + h},$$

где:

$v$  — интенсивность временной вертикально нагрузки от подвижного состава железных дорог, определяемой в зависимости от длины загружения  $\lambda = D + h$  и положения вершины линии влияния  $a = 0,5$ ;

$D$  — диаметр МГК;

$h$  — расстояние от подошвы рельса до верха МГК.

Таким образом, для высоты засыпки  $H = 12\text{м}$   $p_v = 20,5\text{кН}/\text{м}$ , для  $H = 1,5\text{м}$   $p_v = 63,85\text{ кН}/\text{м}$ .

Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м представлена на рис. Г2.

Деформированная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м представлена на рис. Г3.

Эпюры главных и сдвиговых напряжений в грунте представлены на рис. Г4, Г5.

Эпюры сжимающих усилий и изгибающих моментов в арке представлены на рис. Г6, Г7.

Усилия в арке от веса грунта и железнодорожной нагрузки с учетом и без учета распределительной конструкции представлены в таблице Г3.

Таблица Г3

Экстремальные усилия в пяте арки от постоянных и временных нагрузок при высоте засыпки  $H = 12$  м

	Вес грунта засыпки			Вес грунта засыпки и железнодорожная нагрузка		
	без экрана	с экраном	относительное изменение, %	без экрана	с экраном	относительное изменение, %
N, кН	606,1	601,0	-0,8	686,4	684	-0,3
M, кНм	18,63	16,86	-9,5	25,45	22,9	-10

Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 1,5$  м представлена на рис. Г8.

Деформированная схема для высоты засыпки  $H = 1,5$  м представлена на рис. Г9.

Эпюры главных и сдвиговых напряжений в грунте представлены на рис. Г10.

Эпюры сжимающих усилий и изгибающих моментов в арке представлены на рис. Г11, Г12.

Усилия в арке от веса грунта и железнодорожной нагрузки с учетом и без учета разгружающего пакета представлены в таблице Г4.

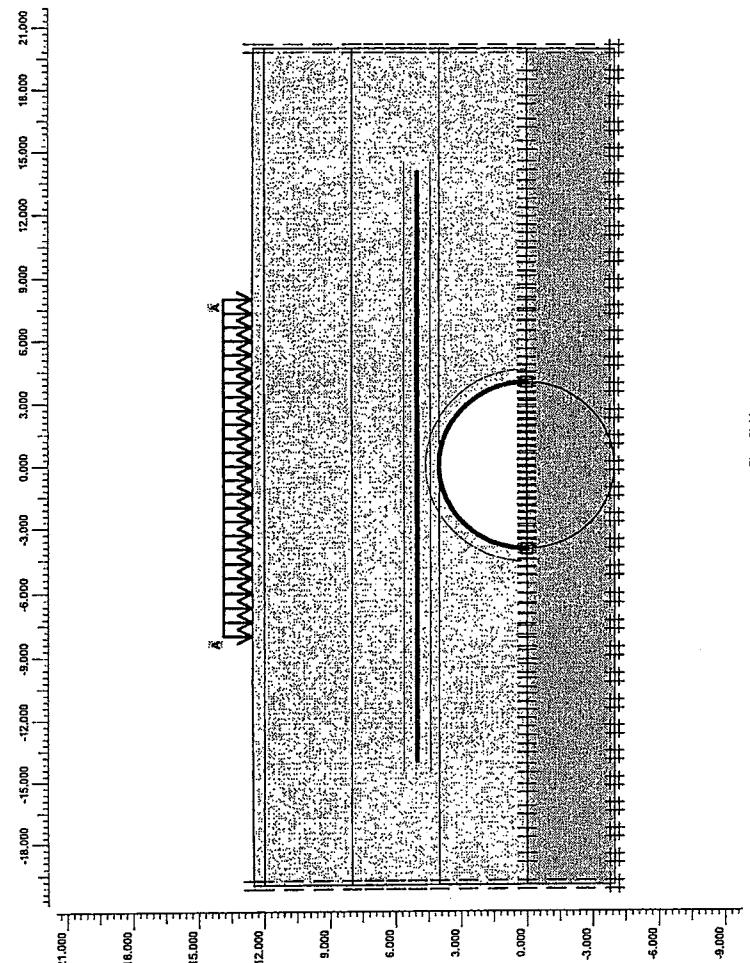


Рис. Г2. Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м

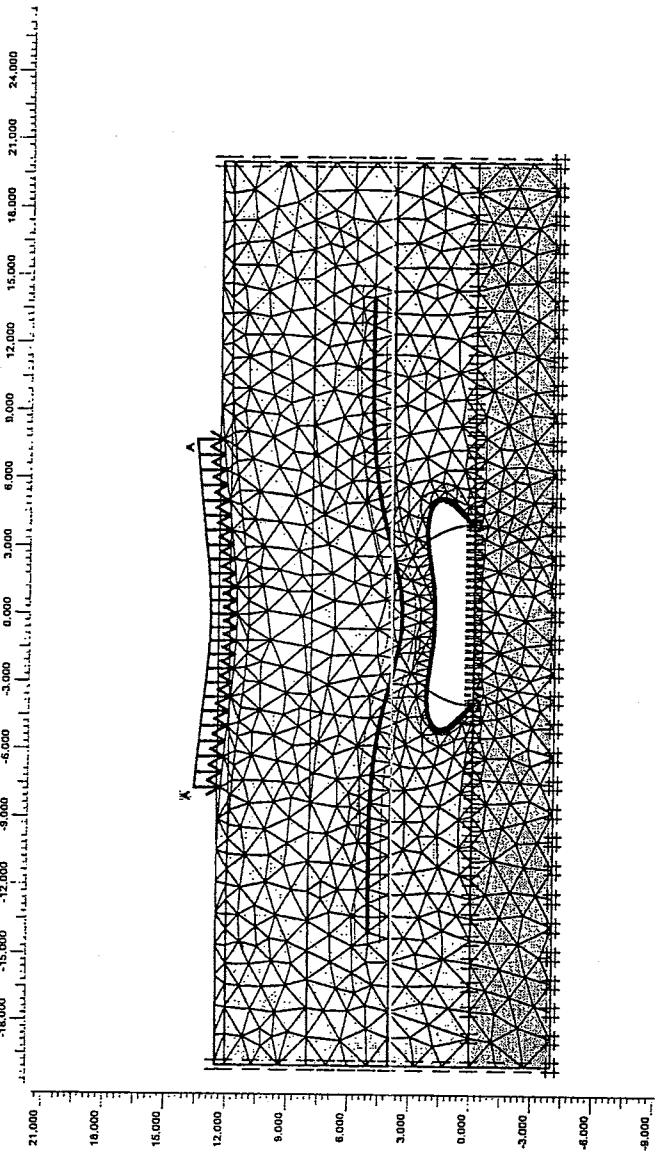


Рис. Г3. Деформированная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м

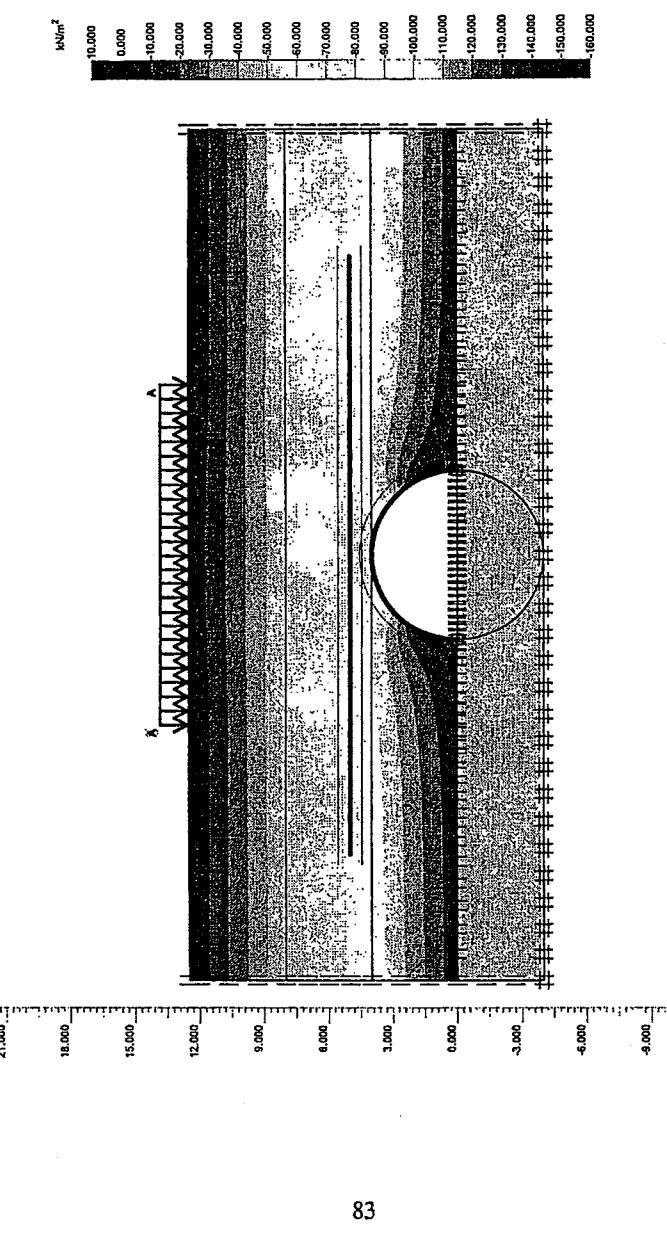


Рис. Г4. Эпюра главных напряжений в грунте при высоте засыпки  $H = 12$  м

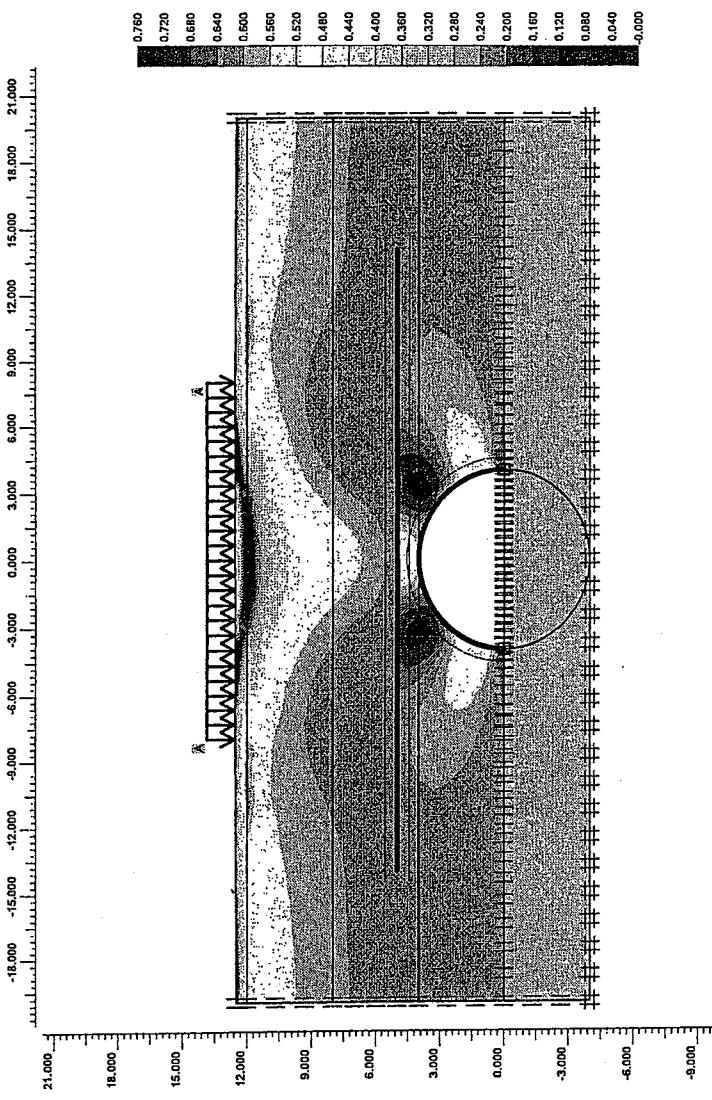


Рис. Г5. Эпюра сдвиговых напряжений в грунте при высоте засыпки  $H = 12$  м

84

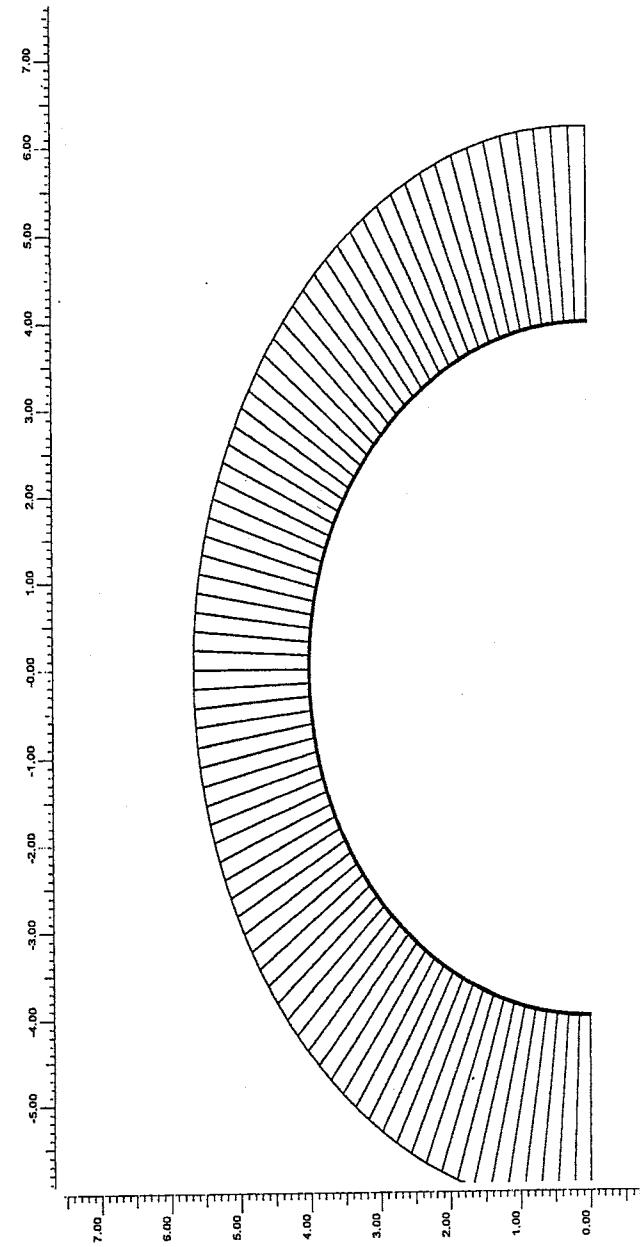


Рис. Г6. Эпюра скжимающих усилий в арке при высоте засыпки  $H = 12$  м

85

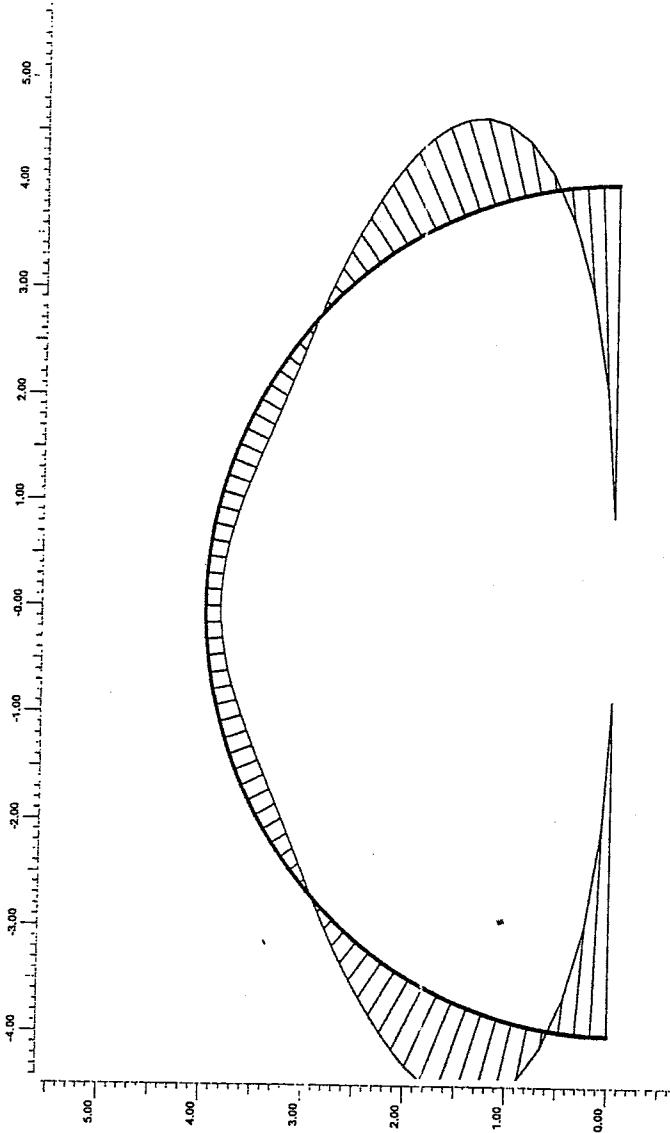


Рис. Г7. Эпюра изгибающих моментов в арке при высоте засыпки  $H = 12$  м

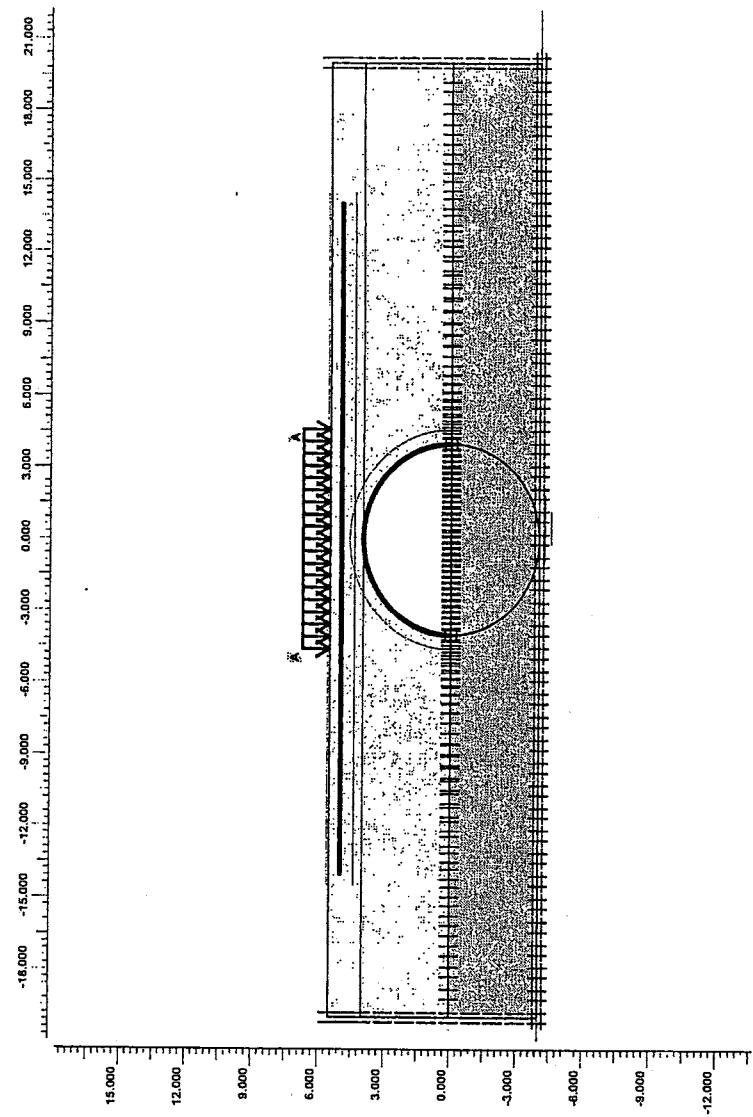
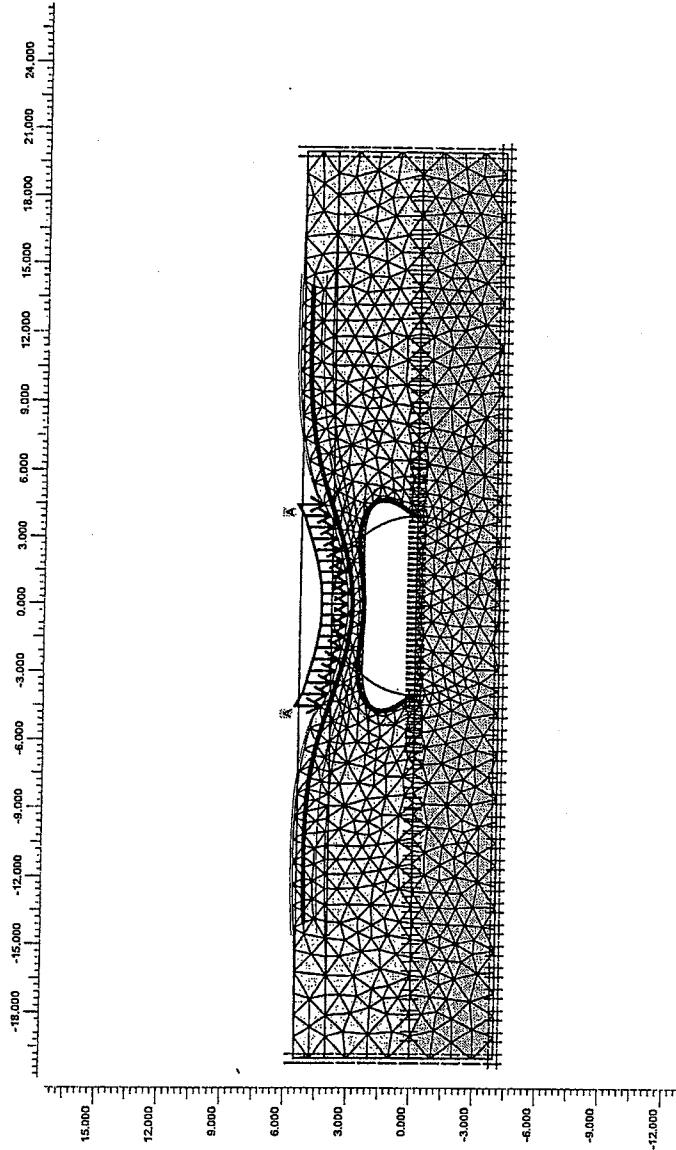
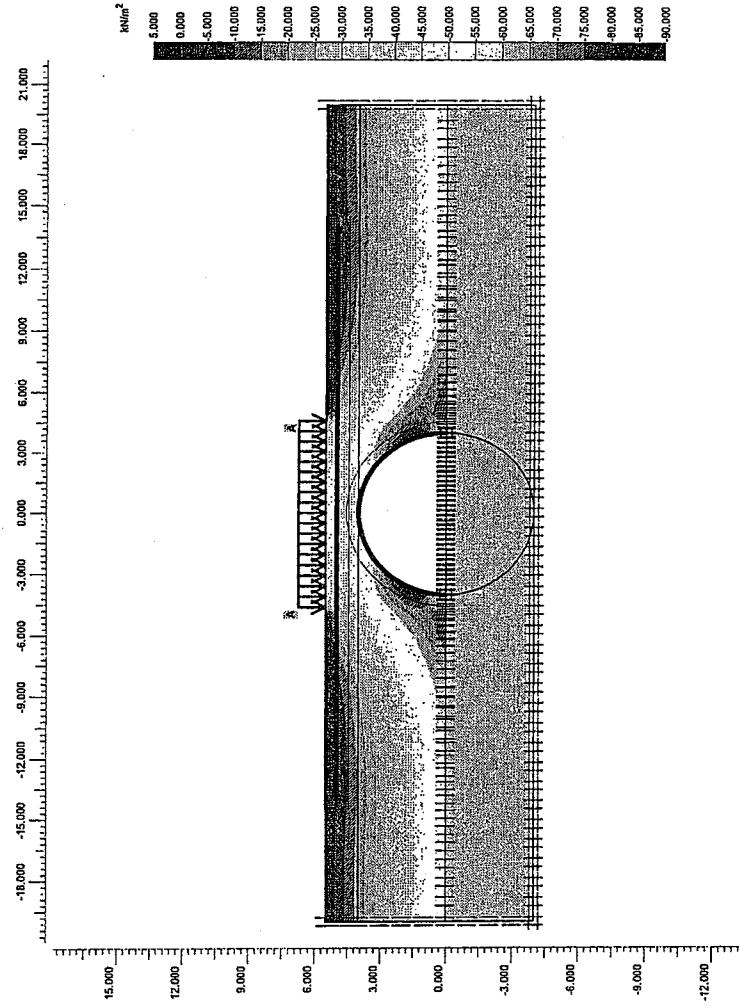


Рис. Г8. Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 1,5$  м



88

Рис. Г9. Деформированная схема для высоты засыпки  $H = 1,5$  м



89

Рис. Г10. Эпюра главных напряжений в грунте при высоте засыпки  $H = 1,5$  м

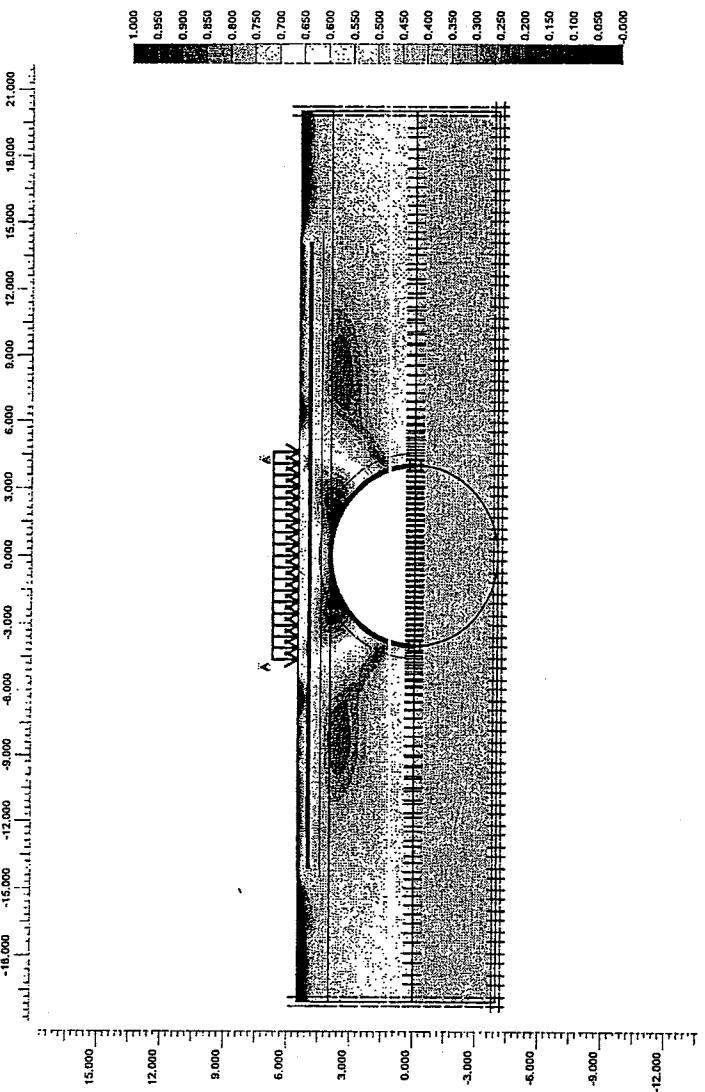


Рис. Г11. Эпюра сдвиговых напряжений в грунте при высоте засыпки  $H = 1,5$  м

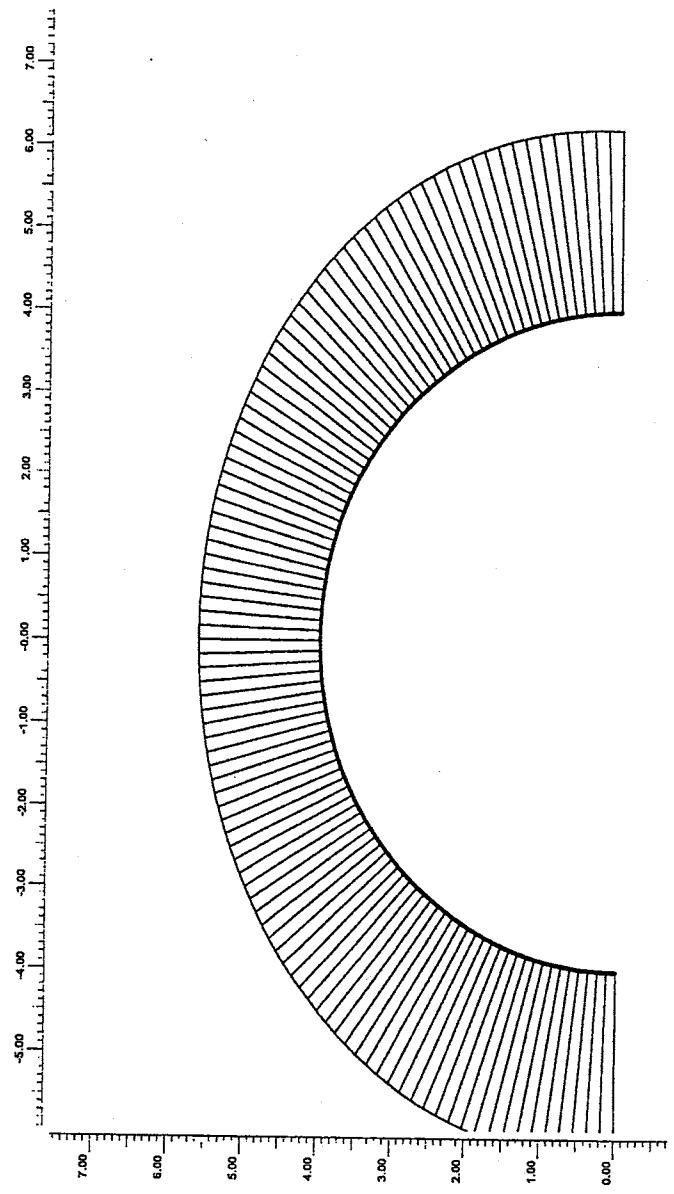


Рис. Г12. Эпюра скимающих усилий в арке при высоте засыпки  $H = 1,5$  м

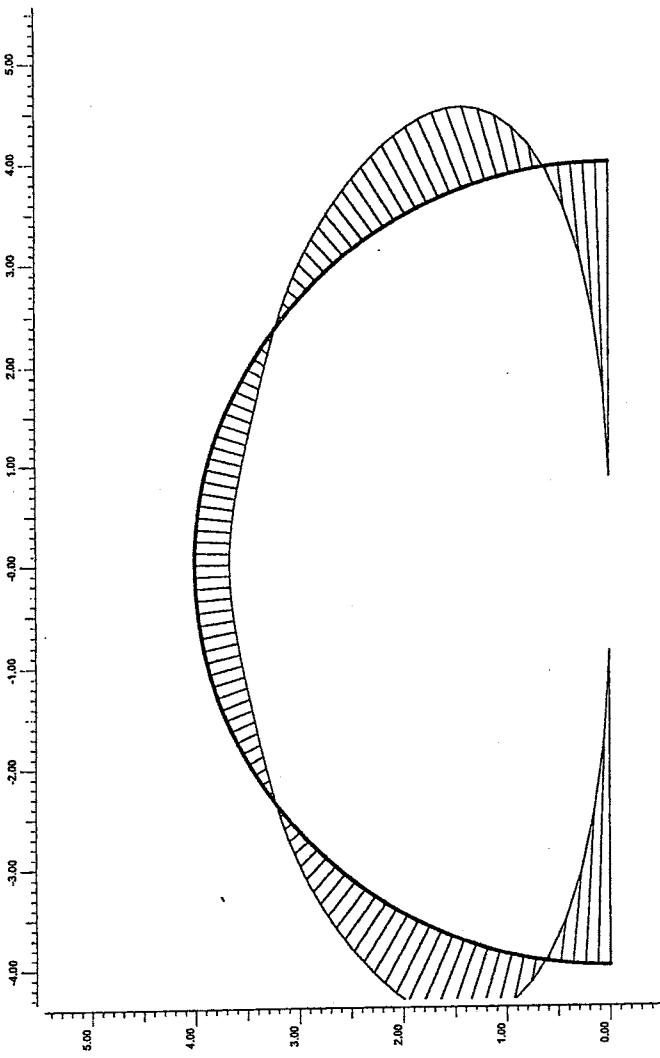


Рис. Г13. Эпюра изгибающих моментов в арке при высоте засыпки  $H = 1,5$  м

Таблица Г4

Экстремальные усилия в пяте арки от постоянных и временных нагрузок при высоте засыпки  $H = 1,5$  м

	Вес грунта засыпки			Вес грунта засыпки и железнодорожная нагрузка		
	без пакета	с пакетом	относительное изменение, %	без пакета	с пакетом	относительное изменение, %
N, кН	154	154	0	408	391	-4,2
M, кНм	-1,44	-1,23	-14,5	27,93	20,65	-26

Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 1,5$  м с установкой двух вертикальных пакетов представлена на рис. Г14.

Деформированная схема представлена на рис. Г15.

Эпюры главных и сдвиговых напряжений в грунте представлены на рис. Г16, Г17.

Эпюры сжимающих усилий и изгибающих моментов в арке представлены на рис. Г18, Г19.

Усилия в арке от веса грунта и железнодорожной нагрузки с учетом и без учета защитного экрана представлены в таблице Г5.

Таблица Г5

Экстремальные усилия в пяте арки от постоянных и временных нагрузок при высоте засыпки  $H = 12$  м и вертикальных экранах

	Вес грунта засыпки			Вес грунта засыпки и железнодорожная нагрузка		
	без пакета	с пакетом	относительное изменение, %	без пакета	с пакетом	относительное изменение, %
N, кН	606,1	598,0	-1,3	686,4	632	-8
M, кНм	18,63	14,16	-24	25,45	17,38	-32

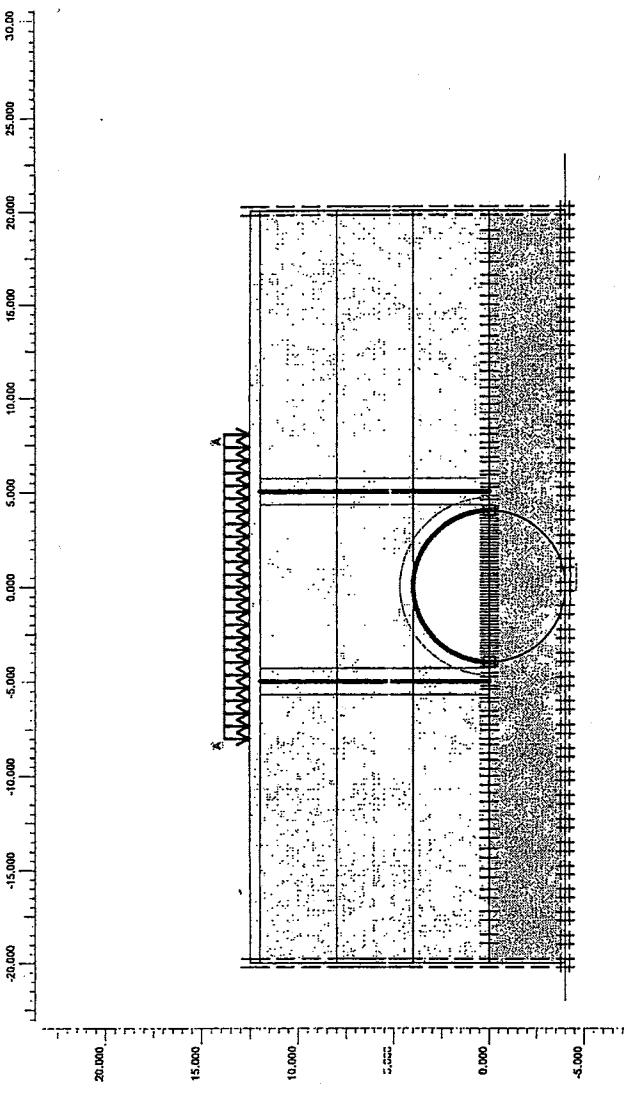


Рис. Г14. Расчетная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м с установкой двух вертикальных пакетов

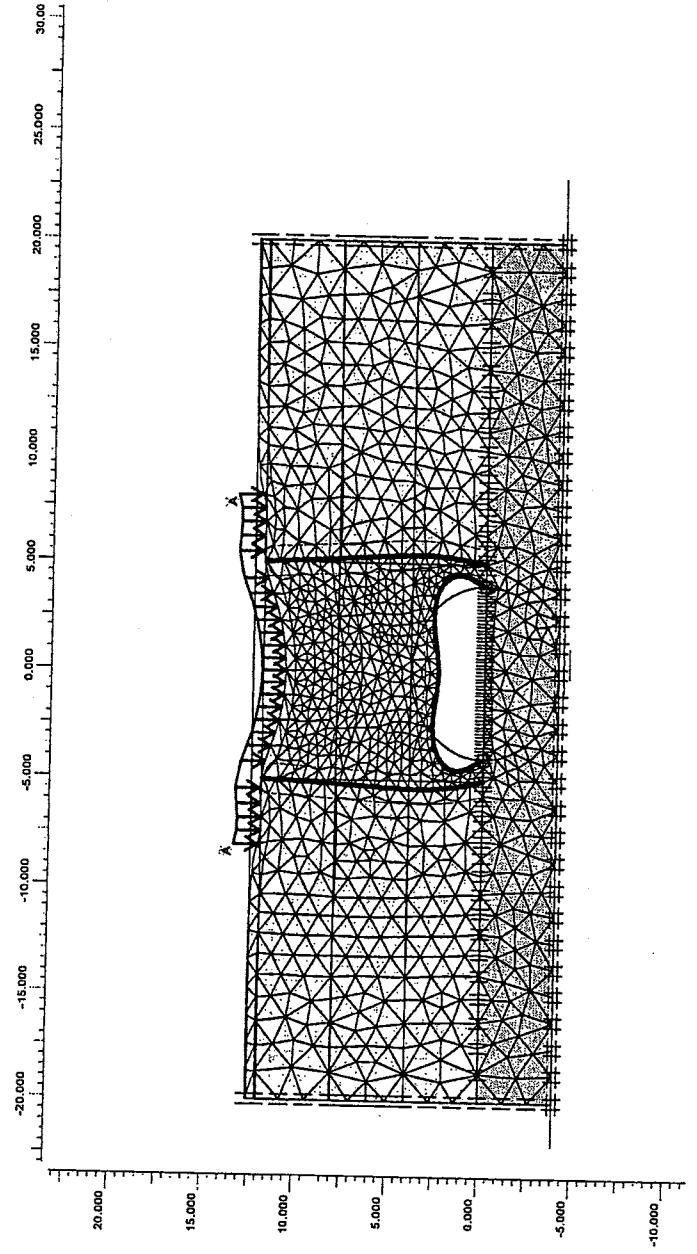


Рис. Г15. Деформированная схема для высоты засыпки  $H = 12$  м. с установкой двух вертикальных пакетов

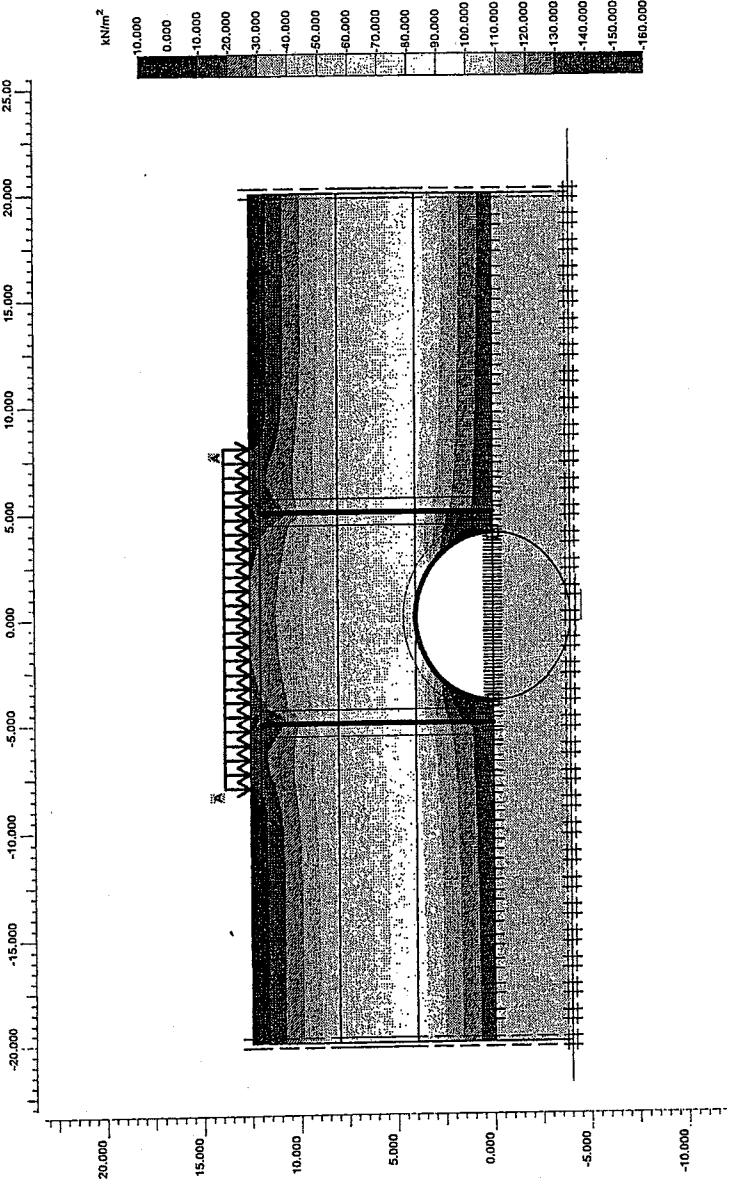


Рис. Г16. Эпюра главных напряжений в грунте при высоте засыпи  $H = 12 \text{ м}$  и вертикальных пакетах

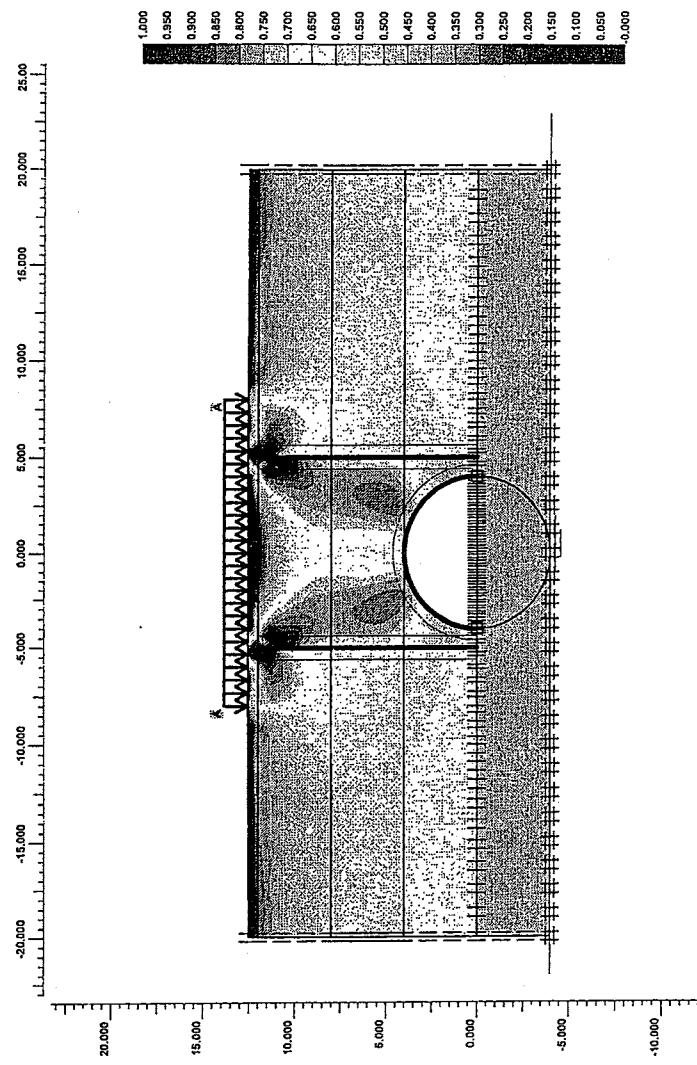
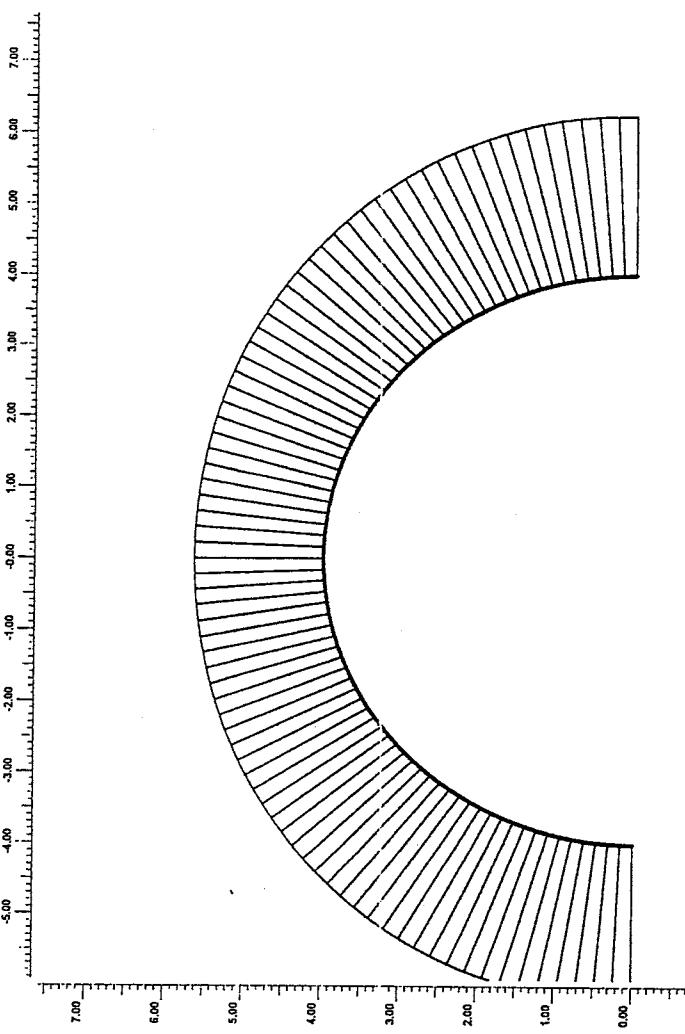
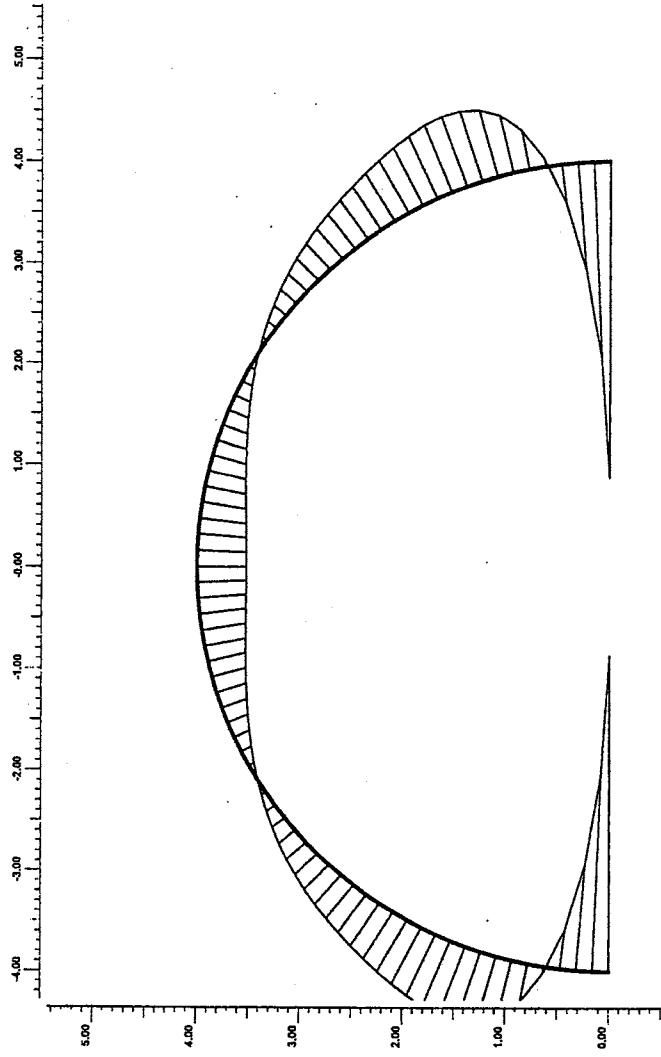


Рис. Г17. Эпюра касательных напряжений в грунте при высоте засыпи  $H = 12 \text{ м}$  и вертикальных пакетах



98

Рис. Г18. Эпюра сжимающих усилий в арке при высоте засыпки  $H = 12$  м и вертикальных пакетах



7\*

99

Рис. Г19. Эпюра изгибающего момента в арке при высоте засыпки  $H = 12$  м и вертикальных пакетах

Повышение несущей способности МГК возможно с использованием горизонтальных разгружающих пакетов, обладающих значительной жесткостью на изгиб. Эффективность данных пакетов максимальна при минимальной высоте засыпки над МГК и снижается с увеличением толщины грунтового слоя. Протяженность пакета в поперечнике должна не только перекрывать весь пролет МГК, но и иметь достаточную длину с целью создания заделки пакета в грунте, что тем самым позволит перераспределить вертикальное давление грунта от транспортной нагрузки над МГК на большую площадь.

Увеличения несущей способности МГК, в случае значительной высоты насыпи возможно с использованием вертикальных пакетов. В этом случае снижение давление грунта на МГК достигается за счет возникновения сил трения по поверхности пакет-грунт. Максимальная эффективность вертикальных пакетов достигается при наибольшей их высоте.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Расчет гофрированных конструкций на сейсмические воздействия

#### 1. Общие положения

1.1. Расчет гофрированных конструкций необходимо проводить независимо от их диаметра при сейсмичности площадки строительства 8 и более баллов, а так же для труб диаметром более трех метров при сейсмичности площадки 7 баллов.

1.2. При определении сейсмичности площадки строительства рекомендуется пользоваться данными сейсмомикрорайонирования (СМР). При отсутствии данных СМР допускается назначать сейсмичность по рекомендациям СНиП II-7-81 и картам «А», «Б» общего сейсмического районирования (ОСР) территории России. Выбор карты осуществляется по требованию заказчика, а при их отсутствии в соответствии с п. 1.4 и 2.5 СНиП II-7-81 и «Рекомендаций по заданию сейсмических воздействий для расчета зданий разной степени ответственности» [30].

1.3. Сейсмические нагрузки должны сочетаться с временными длительными и временной железнодорожной и температурной нагрузками с коэффициентами сочетаний, принимаемыми по таблице Д1.

Таблица Д1

Коэффициенты сочетаний для учитываемых нагрузок

№ за- груже- ния	Коэффициенты сочетаний для учитываемых нагрузок					Примечания
	сей- миче- ская	временна яя железнодо- рожная	вре- менная дли- тель- ная	темпе- ратур- ная	постоян- ная	
1	1	—	0,5	0,5	1,0	
2	0,8	0,7	—	—	1,0	$I_c - I_p = 2$
		0,5	—	—		$I_c - I_p = 1$
		0,3	—	—		$I_c = I_p$

Примечание:  $I_c$  — сейсмичность по карте «С» ОСР;  $I_p$  — расчетная сейсмичность в соответствии с п. 2.

1.4. Допускается три способа расчета МГК на сейсмические воздействия:

- задание сейсмической нагрузки сейсмическим давлением грунта на трубу;
- определение сейсмической нагрузки по линейно спектральной методике в соответствии с п.2.2.а) СНиП II-7-81;
- расчет МГК с использованием акселерограмм землетрясений в соответствии с п.2.2.б) СНиП II-7-81.

1.5. Задание сейсмической нагрузки в виде сейсмического давления грунта на МГК допускается для расчета труб диаметром до 3 метров, а также для расчета гофрированных конструкций большего диаметра при расчетной сейсмичности площадки строительства 7 баллов.

1.6. При задании сейсмической нагрузки в виде сейсмического давления грунта на трубу расчет трубы с учетом сейсмических воздействий производится так же, как и на статическую нагрузку, но с заменой удельного веса грунта засыпки  $\rho g$  на величину  $\rho_e g$

$$\rho_e g = \frac{\rho g}{\cos \varepsilon} \quad (D1)$$

где:

$$\varepsilon = \arctg(AK_1) = \arctg(0,2 \cdot 0,25)$$

$A$  — расчетное ускорение основания в долях ускорения силы тяжести  $g$ ;

$K_1 = 0,25$  — коэффициент предельных состояний по СНиП II-7-81.

1.7. При оценке прочности гофрированных конструкций на сейсмические воздействия следует вводить коэффициент условий работы в соответствии с п. 2.14 СНиП II-7-81.

1.8. Линейно-спектральная методика (ЛСМ) для оценки сейсмической нагрузки на гофрированные конструкции рекомендуется в качестве основной при оценке сейсмостойкости МГК, не оговоренных в п. 1.6

Для расчета гофрированных конструкций по ЛСМ рассматривается расчетная схема в виде упругой полосы, моделирующей насыпь и включающей МГК. Размер фрагмента насыпи и особенности ее дискретизации регламентируются в соответствии с рекомендациями Приложения В. По контуру выделенной из насыпи и основания области ставят граничные условия в соответствии с рекомендациями Приложения В.

1.9. Расчетная сейсмическая инерционная нагрузка  $S_{ij}$ , приложенная к точке сосредоточения массы  $i$  и соответствующая  $j$ -ой форме собственных колебаний, определяется по формуле:

$$S_{ij} = K_i \cdot Q \cdot A \cdot \beta_j \cdot K_v^{(j)} \cdot \eta_j \quad (D2)$$

Здесь  $K_i = 0,25$  — коэффициент предельных состояний, учитывающий допускаемые повреждения трубы от землетрясения расчетной силы;

$Q_i$  — вес части сооружения, насыпи или основания, сосредоточенной в точке  $i$ ;

$A$  — относительное максимальное расчетное ускорение, измеряемое в долях от ускорения силы тяжести и принимаемое равным 0,1, 0,2 и 0,4 для 7, 8 и 9 баллов соответственно; допускается уточнение уровня сейсмического воздействия в соответствии с таблицей D2.

Таблица D2

Значения расчетных ускорений  
для различной ситуационной сейсмичности

№ п/п	Сейсмичность в баллах по картам			Расчетное ускорение, доли $g$
	A	B	C	
1	10	10	10	
2	9	10	10	1,009
3	9	9	10	0,873
4	8	9	10	0,783
5	9	9	9	0,508
6	8	9	9	0,439
7	8	8	9	0,392
8	7	8	9	0,256
9	8	8	8	0,222
10	7	8	8	0,198
11	7	7	8	0,197
12	7	7	7	0,129
13	—	7	7	0,112
14	—	—	7	0,1

$\beta_j$  — коэффициент динамичности, соответствующий  $j$ -ому тону собственных колебаний, принимаемых согласно п. 2.6\* СНиП II-7-81\*;

$K_v^{(j)}$  — коэффициент, учитывающий поглощение энергии и принимаемый по формуле (D4).

$\eta_{ij}$  — коэффициент формы колебаний, определяемый по формуле:

$$\eta_{ij} = \frac{x_{ij} \sum_{k=1}^n Q_k x_{kj} \alpha_k}{x_{ij} \sum_{k=1}^n Q_k x_{kj}^2} \quad (Д3)$$

где:

$x_{ij}$  — смещения  $i$ -ой точки сооружения по  $j$ -ой форме колебаний;

$\alpha_k$  — параметр, определяемый проекцией единичного вектора направления воздействия на направления  $k$ -ой обобщенной координаты; величина  $\alpha_k$  принимается равной 1, если обобщенное перемещение совпадает с направлением воздействия. В частности, при горизонтальном воздействии равны 1 значения  $\alpha_k$  для масс, имеющих горизонтальные смещения и 0 для масс, имеющих вертикальные смещения. Для всех масс грунтового основания  $\alpha_k = 0$ .

1.10. Коэффициент  $K_{\psi}^{(j)}$ , учитывающий поглощение энергии, определяется в зависимости от коэффициента неупругого сопротивления  $\gamma_j$  по  $j$ -ой форме колебаний, категории грунтов и периода  $j$ -го тона колебаний конструкции по формуле

$$K_{\psi}^{(j)} = \sqrt{\frac{\gamma_3}{\gamma_j}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{2\varphi_j \pi t_3}{T_j}} \right) \quad (Д4)$$

где:

$\gamma_3 = 0,1, 0,16$  и  $0,22$  соответственно для грунтов I, II и III категорий;

$\gamma_j$  — коэффициент неупругого сопротивления по форме  $j$ , определяемый по формуле Д.3.6

$t_3$  — продолжительность землетрясений, принимается при отсутствии сейсмологических данных равной  $20$  с;

1.11. Периоды колебаний  $T_j$  и собственные формы колебаний  $x_{ij}$  находятся путем решения собственной проблемы для матриц  $M^{-1}R$  или  $DM$ , где  $M$  — матрица инерции,  $R$  — матрица жесткости,  $D$  — матрица податливости сооружения. Элементы  $x_{ij}$  являются собственными векторами указанных матриц, а периоды связаны с собственными числами  $\lambda_j$  и  $\nu_j$  матриц  $M^{-1}R$  и  $D$  соответственно следующими формулами

$$T_j = \frac{2\pi}{\sqrt{\lambda_j}} = 2\pi\sqrt{\nu_j} \quad (Д5)$$

1.12. Коэффициент неупругого сопротивления по формам колебаний  $j$  определяется по формуле

$$\gamma_j = \frac{T_j^2}{4\pi^2} \frac{\sum_{s=1}^{nf} \sum_{k=1}^{nf} b_{ks}^{(r)} x_{kj} x_{si}}{\sum_{k=1}^n x_{kj}^2 m_k^2} \quad (Д6)$$

где:

$b_{ks}^{(r)}$  — элементы матрицы гистерезисного демпфирования  $B_c$ ;

$n$  — число степеней свободы системы;

$m_k$  — масса части сооружения насыпи основания, сосредоточенная в точке  $K$ ;

$nf$  — число учитываемых степеней свободы.

1.13. Матрицы  $R$  и  $M$ , используемые в п. 1.12, строятся стандартными методами строительной механики. Матрица  $B_c$  строится теми же методами и с использованием тех же программных средств, что и матрица жесткости  $R$ , но с заменой модулей упругости элементов конструкции  $E_k$  на соответствующие произведения  $\gamma_k^{(ss)} \cdot E_k^{(ss)}$ , где  $\gamma_k^{(ss)}$  — коэффициент неупругого сопротивления  $k$ -го элемента конструкции. Вместо матриц  $R$  и  $B_c$  можно вычислять обратные к ним матрицы: матрицу податливости  $D = R^{-1}$  и матрицу  $B_c^{-1}$ .

1.14. Коэффициенты неупругого сопротивления  $\gamma_k^{(ss)}$  для элементов системы допускается принимать по таблице Д3.

Таблица Д3

Коэффициенты неупругого сопротивления

Материал	Коэффициенты $\gamma_k^{(ss)}$ в расчетах	
	при упругой работе конструкции по п. 7	при неупругой работе конструкции по п. 1.15
Сталь	0,03	0,05
Бетон и железобетон	0,07	0,1
Грунт насыпи и основания	0,12	0,2
Подвижной состав железных дорог	0,1	0,12

1.15. Расчет гофрированных конструкций с использованием акселерограмм землетрясений в соответствии с п. 2.2.6) СНиП II-7-81 рекомендуется проводить для конструкций диаметром более 6 метров при расчетной сейсмичности 9 баллов, а при расчетной сейсмичности выше 9 баллов для конструкций диаметром более 3 метров. Расчетная схема МГК с прилегающим массивом грунта назначается в соответствии с рекомендациями раздела 2. Коэффициенты неупругого сопротивления конструкции назначаются при этом по таблице Д1. Расчетные акселерограммы назначаются по данным изысканий и СМР. При отсутствии СМР допускается назначать расчетные акселерограммы в соответствии с «Рекомендациями по назначению уровня сейсмического воздействия на здания различной степени ответственности». Допускается моделирование акселерограмм в соответствии с данным Приложением п. 3.

## 2. Задание граничных условий в конечно-элементной динамической модели для расчета гофрированных труб на сейсмические воздействия

2.1. При моделировании насыпи с МГК с использованием МКЭ из массива грунта и насыпи вырезается фрагмент конечных размеров, показанный на рис. Д1. Граница контакта фрагмента с отброшенной частью системы включает:

- а) вертикальные боковые линии (см. рис. Д2)
- б) горизонтальную линию понизу выделенной области (см. рис. Д3).

2.2. По боковым границам условно выделенной из системы области устанавливается демпфирующая (акустическая или неотражающая) граница. При этом затухание на единицу площади границы определяется по формуле

$$\tilde{b}_z = a_1 \sqrt{E\rho} ; \quad \tilde{b}_x = a_2 \cdot \sqrt{E\rho} \quad (\text{Д7})$$

где:

$a_1$  и  $a_2$  — безразмерные коэффициенты, принимаемые в данном случае равными единице.

При моделировании границы конечными элементами в узлах элементов боковой границы устанавливаются демпферы с коэффициентом вязкого демпфирования:

$$b = \tilde{b} \cdot t \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (\text{Д8})$$

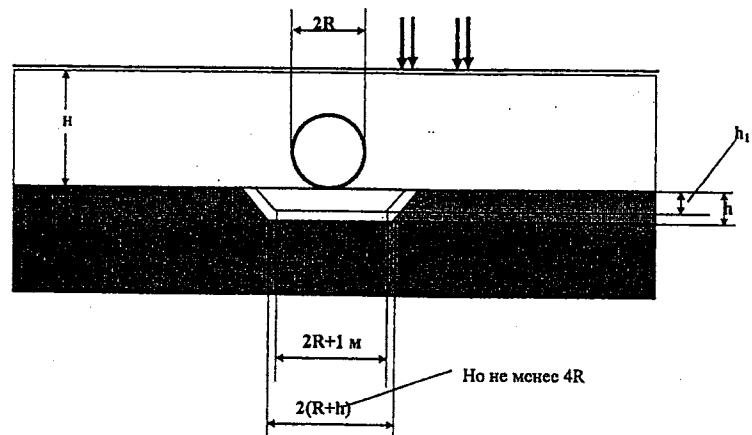


Рис. Д1. Фрагмент системы, моделируемый с использованием МКЭ

2.3. По нижней линии области рекомендуется моделирование отброшенной части области упругодемпфированным стержнем на сплошном упругодемпфирующем Винклеровом основании (рис. Д3).

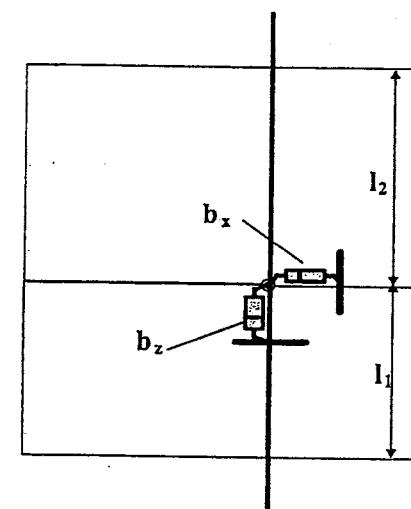


Рис. Д2. Схема расстановки демпферов по боковой границе вырезанной области основания

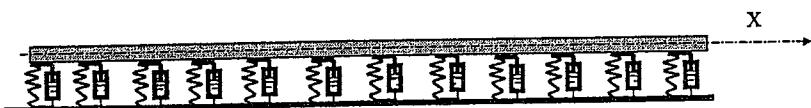


Рис. Д3. Модель отброшенной части основания

Жесткость основания определяется по формуле

$$K_z = E_0 b_0 t; \quad K_x = 0,6 \cdot K_z \quad (\text{Д9})$$

Здесь

$b_0$  — размерная константа, принимаемая равной  $1 \text{ м}^{-1}$  для песков,  $1,2 \text{ м}^{-1}$  — для супесей и суглинков и  $1,5 \text{ м}^{-1}$  — для глин и крупнообломочных грунтов,  $t = 1 \text{ м}$  ширина вырезанной из массива области;

$E_0$  — модуль деформации грунта основания на отметке расположения низа вырезанной области основания.

При моделировании границы конечными элементами в узлах элементов устанавливается пружина жесткостью  $C = K \cdot (l_1 + l_2) / 2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — длины примыкающих к узлу конечных элементов (рис.Д4)

Затухание на единицу площади границы определяется по формуле

$$\tilde{b}_z = \sqrt{\frac{E_0 p_0 b_0}{g}}; \quad \tilde{b}_x = 0,6 \cdot b_z \quad (\text{Д10})$$

где  $p_0 = 14 \text{ кН/м}^2$ ,  $g$  — ускорение силы тяжести.

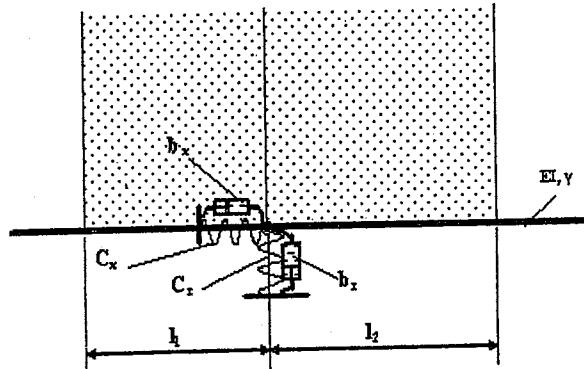


Рис. Д4. Схема расстановки демпферов по боковой границе вырезанной области основания

При моделировании границы конечными элементами в узлах элементов нижней границы устанавливаются демпферы с коэффициентом вязкого демпфирования

$$b = \tilde{b} \cdot t \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (\text{Д11})$$

Погонную массу и затухание в стержне рекомендуется определять по результатам динамических испытаний штампов на площадке строительства из условия соответствия передаточных функций или импульсных переходных функций модели и натурных данных.

2.4. При отсутствии экспериментальных данных допускается исключать распределяющий стержень из расчетной схемы. При этом рекомендуется кроме расчетов с модулем деформации  $E_0$  проводить дополнительные расчеты с модулем деформации  $E_0/2$  и  $2E_0$ .

2.5. Для уточнения параметров расчетной модели за счет включения в нее упруго-демпфированного весомого стержня необходимо задать три дополнительных параметра: характеристику распределительной способности основания, основной период собственных колебаний основания и амплитуду установившихся вынужденных колебаний основания на некотором расстоянии от источника возмущения.

2.6. Распределительная способность основания характеризуется длиной зоны положительных деформаций от края приложения нагрузки (рис.Д5).

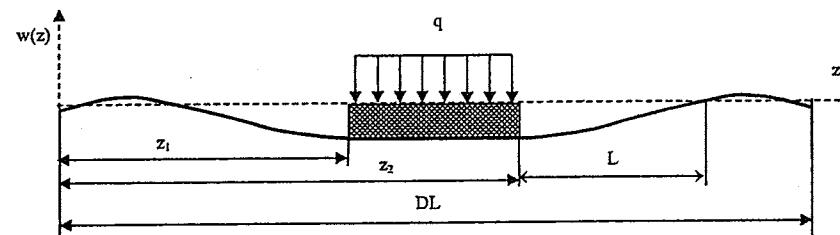


Рис. Д5. Деформация основания от приложенной нагрузки

Для предлагаемой модели прогибы поверхности основания описываются уравнением:

$$w(z) = w_0 \cdot Y_1\left(\frac{z}{\lambda}\right) + \theta_0 \cdot \lambda \cdot Y_2\left(\frac{z}{\lambda}\right) - \frac{\lambda^4}{4} \cdot \sum_{z_1 < z} q \cdot \left( Y_1\left(\frac{z-z_1}{\lambda}\right) - 1 \right) + \frac{\lambda^4}{4} \cdot \sum_{z_2 < z} q \cdot \left( Y_1\left(\frac{z-z_2}{\lambda}\right) - 1 \right) \quad (\text{Д12})$$

где

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4EI}{E_0 b_0}}$$

$$Y_1(x) = ch(x) \cdot \cos(x);$$

$$Y_2(x) = \frac{1}{2} \cdot (ch(x) \cdot \sin(x) + sh(x) \cdot \cos(x));$$

$$Y_3(x) = \frac{1}{2} \cdot sh(x) \cdot \sin(x);$$

$$Y_4(x) = \frac{1}{4} \cdot (ch(x) \cdot \sin(x) - sh(x) \cdot \cos(x))$$

Начальные параметры  $w_0$  и  $\theta_0$  определяются из решения системы уравнений:

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ \theta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{4}{\lambda^2} Y_3\left(\frac{DL}{\lambda}\right) & -\frac{4}{\lambda} Y_4\left(\frac{DL}{\lambda}\right) \\ -\frac{4}{\lambda^3} Y_2\left(\frac{DL}{\lambda}\right) & -\frac{4}{\lambda^2} Y_3\left(\frac{DL}{\lambda}\right) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} -\lambda^2 \cdot q \cdot \left( Y_3\left(\frac{DL-z_1}{\lambda}\right) - Y_3\left(\frac{DL-z_2}{\lambda}\right) \right) \\ -\lambda \cdot q \cdot \left( Y_2\left(\frac{DL-z_1}{\lambda}\right) - Y_2\left(\frac{DL-z_2}{\lambda}\right) \right) \end{pmatrix} \quad (\text{Д13})$$

На рис. Д.6 приведен пример расчетных прогибов. Жесткость стержня  $EJ$  подбирается так, чтобы расчетная величина  $L$  совпадала с натурной.

При этом жесткость стержня  $EJ$  определяется по формуле:

$$EJ = \frac{E_0 \lambda^4}{4}, \quad (\text{Д14})$$

где величина  $\lambda$  определяется в зависимости от величины  $L$  по графику на рис. Д7 или по формуле:

$$L(\lambda) = 17.05 - 29.193 \cdot e^{-0.2L} + 12.191 \cdot e^{-0.4L} \quad (\text{Д15})$$

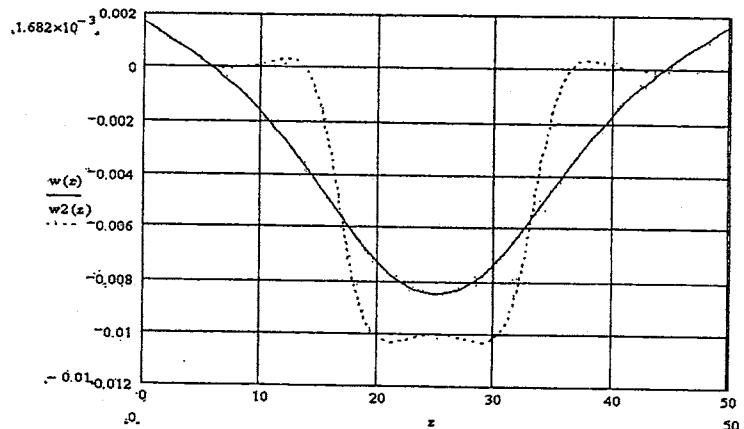


Рис. Д6. Пример расчета прогибов стержня под нагрузкой при  $EI = 1000000 \text{ Нм}^2$  (сплошная линия) и  $EI = 1000 \text{ Нм}^2$  (пунктир)

2.7. Погонная масса стержня  $\rho \cdot F$  определяется по формуле:

$$\rho F = \frac{K_z}{p^2} \cdot (1 + \frac{1}{\mu}), \quad (\text{Д16})$$

где

$$\mu = \frac{K_z \cdot l^4}{EJ \cdot \pi^4}; p — \text{частота основного тона колебаний основания.}$$

2.8. Показатель демпфирования в стержне  $k$  определяется на основе замера установившейся амплитуды от «точечного» источника (рис. Д8) на расстоянии  $x$  от этого источника. Рекомендуется принимать  $x$  в диапазоне от  $5r$  до  $20r$ , где  $r$  — фактический размер зоны возбуждения.

Расчетная величина амплитуды определяется по формуле:

$$A = \sqrt{S^2 + C^2}, \quad (\text{Д17})$$

где

$$S = \sum_{i=1}^{10} s_i \cdot \cos(\alpha_i x), \quad C = \sum_{i=1}^{10} c_i \cdot \cos(\alpha_i x)$$

$$s_i = \frac{\alpha_i^4 \cdot EJ + E_0 \cdot b_0 - \mu \cdot \omega^2}{(\alpha_i^4 \cdot EJ + E_0 \cdot b_0 - \mu \cdot \omega^2)^2 + (\kappa \cdot EJ \cdot \omega \cdot \alpha_i^2 + 2 \cdot n_0 \cdot E_0 \cdot b_0 \cdot \omega)^2}$$

$$c_i = \frac{\kappa \cdot EJ \cdot \omega \cdot \alpha_i^2 + 2 \cdot n_0 \cdot E_0 \cdot b_0 \cdot \omega}{(\alpha_i^4 \cdot EJ + E_0 \cdot b_0 - \mu \cdot \omega^2)^2 + (\kappa \cdot EJ \cdot \omega \cdot \alpha_i^2 + 2 \cdot n_0 \cdot E_0 \cdot b_0 \cdot \omega)^2},$$

где

$$\alpha_i = \frac{i \cdot \pi}{l}$$

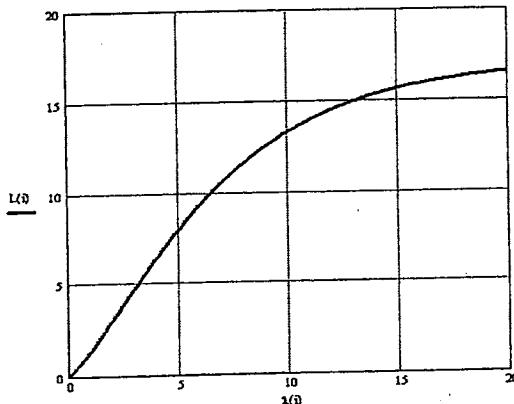


Рис. Д7. Зависимость  $L(\lambda)$

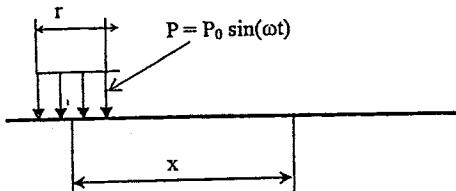


Рис. Д8. Схема динамического загружения основания

2.9. Нормирование амплитуды ускорений расчетных акселерограмм и процедура построения кратковременного процесса изложены в специальной литературе.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Методические рекомендации по гидравлическому расчету металлических гофрированных водопропускных труб

#### 1. Общие положения

1.1. Уклон трубы должен удовлетворять следующим требованиям:

$$i_m \geq i_k, \quad (E1)$$

где  $i_k$  — критический уклон, величина которого при безнапорном режиме достигает 0,02...0,03.

В исключительных случаях величина  $i_k$  может быть принята и меньше, но не менее 0,01.

При  $i_t > 0,01$  пропускная способность труб определяется в соответствии с Руководством по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений или Пособием по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений.

1.2. Принимается, что поток находится в спокойном состоянии, т.е. глубина его перед входом в трубу удовлетворяет условию (E2)

$$h > h_k, \quad (E2)$$

где  $h_k$  — критическая глубина воды в конце входящего потока.

Для труб, имеющих на входе быстротоки, проверяется возможность входа потока в трубу в бурном состоянии. Порядок расчета приводится в Методических указаниях по гидравлическим расчетам косогорных труб, Руководстве по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и книге «Косогорные водопропускные трубы».

Если в результате расчета окажется, что имеет место вход как при спокойном состоянии потока, то гидравлический расчет производят согласно Пособию по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений, как для равнинных труб.

1.3. Настоящими методическими рекомендациями предусматривается выполнение гидравлического расчета в двух вариантах: при наличии и отсутствии гладкого лотка.

1.4. Рекомендации разработаны для гофрированных труб без оголовков со срезом перпендикулярно оси трубы, с оголовком, срезанным параллельно откосу, с оголовком типа «капюшон» и раструбным с углом раструбности  $\Theta = 20^\circ$ .

1.5. Типоразмеры МГК приведены в настоящих ТУ. МГК отличаются от технически гладких труб существенно большей шероховатостью, что обусловлено наличием гофров.

Среднее значение коэффициента шероховатости  $n = 0,025 \dots 0,03$ , а при гофрах больших размеров (более  $152,4 \times 50,8$  мм) или наносов в лотковой части трубы коэффициент шероховатости может достигать величины 0,04.

## 2. Гидравлический расчет

### 2.1. Определение пропускной способности труб

#### «Длинные» и «короткие» трубы. Учет влияния нижнего бьефа

2.1.1. Трубы, на пропускную способность которых при безнапорном режиме оказывает влияние их длина, называют «длинными» в гидравлическом отношении. У «коротких» труб это влияние отсутствует.

2.1.2. «Короткими» считают трубы, для которых соблюдается условие:

$$i_t > i_k, \quad (E3)$$

2.1.3. Критический уклон для наиболее распространенных отверстий труб с гладкими лотками диаметром 1,5; 2,0 и 3,0 м определяют по таблицам Е1 и Е2.

Параметры расхода определяются по формуле:

$$\Pi_Q = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{gD}}, \quad (E4)$$

где:  $Q$  — расход в сооружении,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D$  — диаметр трубы, м;

$g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

При  $i_t < i_k$  с некоторым приближением «короткими» можно считать трубы при соблюдении критерия относительной длины:

$$\frac{l_t}{D} \leq 20, \quad (E5)$$

где  $l_t$  — длина трубы.

2.1.4. Приводимые ниже в настоящем разделе зависимости для определения пропускной способности труб при безнапорном режиме относятся к «коротким» трубам.

2.1.5. Глубины на входе и подпerteые глубины перед «длинными» трубами определяют по формулам, полученным из аналогичных зависимостей для гладких труб, приведенных в Руководстве по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений, с введением

в них поправок, учитывающих повышенную шероховатость гофрированных труб:

$$\frac{h_{\text{кр(дл)}}}{D} = \frac{h_k}{D} + 0,007 \left( \frac{l_m}{D} - 20 \right) \cdot \left( \frac{h_k}{D} \right)^2 \cdot \frac{n_{\text{гофр}}}{n}, \quad (E6)$$

$$\frac{H_{\text{дл}}}{D} = \frac{H}{D} + 0,005 \left( \frac{l_m}{D} - 20 \right) \cdot \left( \frac{H}{D} \right)^2 \cdot \frac{n_{\text{гофр}}}{n}, \quad (E7)$$

где:  $\frac{h_k}{D}$  и  $\frac{H}{D}$  — соответственно относительная глубина на входе и относительная подпertiaя глубина для «коротких» труб;

$n = 0,015$  и  $n_{\text{гофр}}$  — коэффициенты шероховатости соответственно для гладких и гофрированных труб.

2.1.6. При значительной бытовой глубине водотока происходит затопление труб со стороны нижнего бьефа, что снижает их пропускную способность.

С некоторым приближением можно считать, что критерии затопления труб со стороны нижнего бьефа, полученные для гладких труб, сохраняются и для гофрированных, т.е. затопленными будут трубы при соблюдении условий:

$$h_{ub} \geq 1,25 h_k \text{ и } h_{ub} \geq 1,1 h_m, \quad (E8)$$

где:  $h_{ub}$  — глубина в нижнем бьефе над нижней точкой дна трубы в выходном сечении;

$h_k$  — критическая глубина в трубе;

$h_m$  — высота трубы.

Критическую глубину в круглых трубах определяют по таблицам Е1 и Е2.

Более точно учет затопления производится согласно Руководству по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений.

2.1.7. Для металлических гофрированных труб принимается безнапорный режим протекания, то есть, когда входное сечение не затоплено и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность. Полунапорный, частично-напорный и напорный режимы не рекомендуются из-за конструктивных особенностей гибких металлических труб.

Таблица Е1

## Безнапорный режим

Отв., м	Вертикально срезанные торцы трубы			Торцы трубы, срезанные по откосу насыпи			Трубы с раструбными оголовками			$V_{\max}$ , м/с	$h_k$ , м	$i_k$
	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м			
1,3	—	0,89	—	—	—	—	1,3	—	—	0,84	2,64	0,55
1,5	—	0,96	—	—	—	—	1,5	—	—	0,9	2,77	0,60
1,8	—	1,06	—	—	—	—	1,8	—	—	1,00	2,94	0,66
2,4	—	1,24	—	—	—	—	2,4	—	—	1,17	3,24	0,77
1,5	—	2,6	1,3	—	—	—	2,6	—	—	1,23	3,33	0,81
—	3,1	1,51	—	—	—	—	—	3,1	1,42	3,53	0,90	0,005
—	3,6*	1,57	—	—	—	—	—	3,6	1,48	3,71	0,98	0,005
—	—	—	—	—	—	—	—	3,8	1,54	3,77	1,02	0,005
—	—	—	—	—	—	—	—	4,3	1,67	3,93	1,09	0,006
2,0	2,5	—	1,14	2,5	—	—	1,14	2,5	—	—	1,07	2,98
	3,3	—	1,26	3,0	—	—	1,26	3,0	—	—	1,19	3,17
	3,5	—	1,37	3,5	—	—	1,37	3,5	—	—	1,29	3,34
	4,0	—	1,47	4,0	—	—	1,47	4,0	—	—	1,39	3,48
	4,9	—	1,65	4,9	—	—	1,65	4,9	—	—	1,56	3,73
	—	5,4	1,75	5,4	—	—	1,75	5,4	—	—	1,65	3,85
	—	6,2	1,89	6,2	—	—	1,89	—	—	6,2	1,78	4,04
	—	6,4	2,02	—	6,4	—	2,02	—	6,4	—	1,91	4,08
	—	7,3*	2,09	—	7,3	2,09	—	7,3	—	7,3	1,97	4,26
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,3	1,29
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,005

Отв., м	Вертикально срезанные торцы трубы			Торцы трубы, срезанные по откосу насыпи			Трубы с раструбными оголовками			$V_{\max}$ , м/с	$h_k$ , м	$i_k$
	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м	$Q_{3p}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3ax}$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м			
—	—	—	—	7,8	2,16	—	7,8	2,05	—	4,36	1,35	0,005
—	—	—	—	8,0*	2,20	—	8,0	2,08	—	4,39	1,37	0,006
—	—	—	—	—	—	—	8,8*	2,21	—	4,54	1,45	0,006
—	—	—	6,0	—	1,59	—	—	—	—	3,49	0,99	0,004
—	—	—	10,0	—	2,09	—	—	—	—	4,13	1,30	0,004
—	—	—	12,0	—	2,32	—	—	—	—	4,39	1,44	0,004
—	—	—	14,0	—	2,54	—	—	—	—	4,63	1,57	0,005
3,0	—	—	16,0	—	2,73	—	—	—	—	4,84	1,70	0,005
—	—	—	17,1	—	2,84	—	—	—	—	4,95	1,76	0,005
—	—	—	—	—	20,1	3,13	—	—	—	5,22	1,92	0,005
—	—	—	—	—	22,0*	3,31	—	—	—	5,38	1,98	0,006

\* Только для труб под автомобильную дорогу

Таблица Е2  
Полунапорный режим

Отв., м	Вертикально срезанные торцы трубы		Торцы трубы, срезанные по откосу насыпи		Трубы с раструб- ными оголовками		$V_{\text{вых}}$
	$Q$	$H$	$Q$	$H$	$Q$	$H$	
1,5	4,5	2,05	—	—	4,5	1,88	4,30
	5,5	2,57	—	—	5,5	2,22	4,91
	6,5	3,19	—	—	6,5	2,63	5,49
	7,4	3,85	—	—	7,4	3,06	5,99
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
2,0	9,0	2,66	9,0	2,59	9,0	2,46	4,98
	10,0	2,97	10,0	2,85	10,0	2,67	5,23
	11,0	3,32	11,0	3,13	11,0	2,90	5,58
	12,2	3,78	12,2	3,50	12,2	3,20	5,98
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
3,0	—	—	23,0	3,66	—	—	5,69
	—	—	24,9	3,90	—	—	6,00
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—

2.1.8. Безнапорный режим протекания в трубах сохраняется до полного затопления входного сечения, что характеризуется условием:

$$\frac{h_{\alpha}}{D} < 1,$$

(Е9)

где  $h_{\alpha}$  — глубина на входе в трубу;

$D$  — диаметр входного сечения, считая по впадинам гофра (наименьший, диаметр).

2.1.9. Возможность существования безнапорного режима и заполнения трубы на входе в «короткие» трубы определяют по графику (рис. Е1), на котором приведена зависимость относительной глубины потока на входе в трубу  $\frac{h_{\alpha}}{D}$  от параметра расхода  $\Pi_Q = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{gD}}$ .

Этот же график позволяет по заданному заполнению установить соответствующую ему величину расхода.

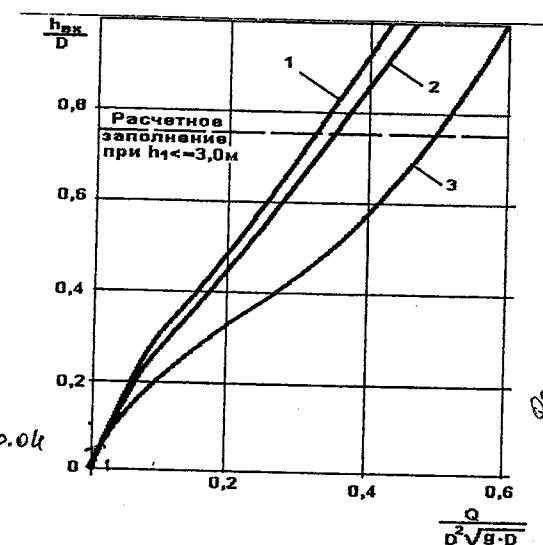


Рис. Е1. График для определения глубины воды на входе в трубы при типах оголовков:

1 — порталном, 2 — раструбном, 3 — коридорном

2.1.10. Подпертую глубину перед безнапорными трубами определяют по формуле:

$$H = \left( \frac{Q}{mb_k \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (E10)$$

где  $m$  — коэффициент расхода, определяемый по таблице Е3 в зависимости от типа входного оголовка;

$b_k$  — средняя ширина потока при критической глубине, определяемая по таблице Е4.

Таблица Е3

Величины коэффициента расхода

Тип оголовка	Коэффициент расхода, $m$
Без оголовка (вертикальный срез)	0,33
Срезанный параллельно откосу	0,33
«Капюшон»	0,33
Раструбный $\Theta = 20^\circ$	0,365

Таблица Е4

Зависимость средней ширины потока от параметра расхода

$\Pi_\varrho = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{gD}}$	$\frac{b_k}{D}$	б <sub>к</sub> при диаметрах труб D, м					
		1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	5,0
0,02	0,49	0,49	0,61	0,73	0,98	1,47	2,45
0,03	0,52	0,52	0,65	0,78	1,04	1,56	2,6
0,04	0,57	0,57	0,71	0,85	1,14	1,71	2,85
0,05	0,59	0,59	0,73	0,88	1,18	1,77	2,95
0,06	0,62	0,62	0,77	0,93	1,24	1,86	3,1
0,07	0,63	0,63	0,78	0,94	1,26	1,89	3,15
0,08	0,64	0,64	0,8	0,96	1,28	1,92	3,2
0,09	0,66	0,66	0,82	0,99	1,32	1,98	3,3
0,1	0,67	0,67	0,83	1,00	1,34	2,01	3,35
0,12	0,69	0,69	0,84	1,03	1,38	2,07	3,45
0,14	0,72	0,72	0,9	1,08	1,44	2,16	3,6

$\Pi_\varrho = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{gD}}$	$\frac{b_k}{D}$	б <sub>к</sub> при диаметрах труб D, м					
		1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	5,0
0,16	0,74	0,74	0,92	1,1	1,47	2,2	3,68
0,18	0,76	0,76	0,94	1,13	1,51	2,26	3,78
0,2	0,77	0,77	0,94	1,15	1,54	2,31	3,85
0,25	0,79	0,79	0,99	1,18	1,58	2,37	3,95
0,3	0,81	0,81	1,01	1,21	1,62	9,43	4,05
0,35	0,82	0,82	1,02	1,23	1,64	2,46	4,1
0,4	0,83	0,83	1,03	1,24	1,66	2,49	4,15
0,45	0,84	0,84	1,04	1,25	1,67	2,5	4,18
0,5	0,84	0,84	1,05	1,26	1,68	2,52	4,2
0,55	0,84	0,84	1,05	1,26	1,68	2,52	4,2
0,6	0,84	0,84	1,05	1,26	1,68	2,52	4,2
0,65	0,84	0,84	1,05	1,26	1,68	2,52	4,2
0,7	0,83	0,83	1,03	1,24	1,66	2,49	4,15

2.1.11. При несовершенном сжатии потока на входе в трубу (ширина по подпружному уровню высоких вод ПУВВ перед входом в трубу менее шести ее отверстий) коэффициент расхода определяют по формуле:

$$m = m_{\text{табл}} + \frac{(0,385 - m_{\text{табл}}) \cdot \omega_n}{3\Omega - 2\omega_n}, \quad (E11)$$

где:  $m_{\text{табл}}$  — значение коэффициента расхода по табл. Е3;

$\Omega$  — площадь живого сечения потока в подводящем русле;

$\omega_n$  — площадь живого сечения потока в трубе на отметке подпружного уровня.

## 2.2. Режим протекания в гофрированной металлической трубе

Гидравлический расчет гофрированных металлических труб, работающих в равнинных условиях, производится в соответствии с указаниями, изложенными в Пособии по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений (под редакцией Г.Я.Волченкова, 1992 г.), со следующим корректировками.

1. Уклоны гофрированных труб должны приниматься равными или больше критических, но не менее 0,01;

2. Коэффициенты расхода при безнапорном режиме принимаются равными:

а) для безоголовочного типа входа (с вертикальным срезом и срезом параллельно откосу)  $m = 0,33$ ;

б) для раструбных оголовков с углом раструбности  $20^\circ$  —  $m = 0,36$ .

2.2.1. Возвышение самой высокой точки внутренней поверхности трубы в любом поперечном сечении над поверхностью воды в трубе при пропуске расчетного расхода должно быть: в круглых и сводчатых трубах высотой до 3,0 м и не менее  $\frac{1}{4}$  высоты трубы; выше 3,0 м — не менее 0,75 м.

Безнапорный режим сохраняется вплоть до затопления входного сечения трубы ( $H/h_t = 1,0$ ), где  $H$  — глубина потока перед трубой;  $h_t$  — высота трубы.

2.2.2. При безнапорном режиме труба гидравлически работает как водослив с широким порогом.

Расход воды, пропускаемый безнапорной «короткой» неподтопленной трубой (рис. Е2), определяется по формуле

$$Q = m \cdot b_k \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}, \quad (E12)$$

где:  $m$  — коэффициент расхода;

$b_k = \frac{\omega_k}{h_k}$  — средняя ширина потока в сечении с критической

глубиной  $h_k$ ;

$\omega_k$  — площадь живого сечения потока при глубине  $h_k$ , где  $h_k$  — критическая глубина потока в трубе.

2.2.3. При заданном типе входного оголовка расчетные расходы круглых эллиптических и овoidalных труб определяют по параметру расхода

$$\Pi_Q = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{g \cdot D}}, \quad (E13)$$

Значения параметра расхода труб при безоголовочных типах входного отверстия следует принимать:

— с вертикальным срезом — 0,415;

— со срезом параллельно откосу — 0,46;

— для раструбного оголовка с углом раструбности  $20^\circ$  — 0,495.

2.2.4. По влиянию глубины воды в нижнем бьефе трубы делят на «затопленные» с нижнего бьефа и «незатопленные» (рисунки Е3, Е4).

2.2.5. Затопленными с нижнего бьефа считают трубы, работающие в условиях, при которых уровень нижнего бьефа влияет на пропускную способность трубы (вследствие затопления сжатого сечения), в противном случае трубы считаются «незатопленными» с нижнего бьефа.

Пропускную способность «длинной» трубы определяют по формуле:

$$Q = m \cdot \sigma_n \cdot b_k \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2}, \quad (E14)$$

где  $\sigma_n$  — коэффициент подтопления, который определяется методом последовательного приближения, его значения меньше 1,0.

Напор перед круглыми «длинными» трубами  $H_o$  определяется по Пособию по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений или книге Н.П.Розанова «Гидравлические расчеты водопропускных труб».

2.2.6. Пропускную способность многоочковых гофрированных труб при условии соблюдения расстояния между их осями не менее  $0,25D$  определяют как сумму отдельно работающих одноочковых труб. Расчет многоочковых труб аналогичен расчету одноочковых, при этом расход каждой трубы принимают равным  $Q_n = \frac{Q}{n_t}$ , где  $n_t$  — количество труб.

2.2.7. В случае применения многоярусных труб, в первом ярусе не следует укладывать металлические гофрированные трубы. Расчет многоярусных труб начинают с определения подпора перед трубой в предположении, что весь расход проходит через трубы нижнего яруса и производят расчет отдельной трубы согласно рекомендациям для одноочковых труб.

### 3. Алгоритмы выбора рационального типа водопропускного тракта труб

3.1. В основе алгоритма лежит методика расчета водопропускного тракта, предполагающая, что продольный профиль всего водопропускного тракта и его отдельных элементов задан.

### 3.2. Основные этапы алгоритма:

- расчет размеров подходных быстротоков и гидравлических характеристик потока в них, в том числе с учетом переломов (изменения уклонов поверхности дна) и аэрации потока;
- расчет сопряжений быстротока с трубой (сужений);
- расчет глубин и скоростей на всей длине трубы, включая входной и выходной участки, с учетом условий сопряжения с быстротоком и аэрации;
- расчет глубин и скоростей потока на укреплении без устройства гасителей;
- расчет глубин размыва за укреплением нижнего бьефа с учетом гидрографа паводка, каменной наброски и возможности образования промоины (канавы) в выходном логе;
- определение размеров укреплений нижнего бьефа;
- выбор вариантов конструкций водопропускного тракта, удовлетворяющих всем требуемым ограничениям (по допускаемым скоростям, зазорам в трубе, глубинам воронок размыва в выходном логе и т.п.).

Определение наилучшего из допускаемых вариантов должно осуществляться на основе технико-экономического сравнения. Возможно также изменение (перепроектирование) продольного профиля водопропускного тракта с последующим повторением расчетов.

$$v_b = v_c, \quad (E15)$$

где:  $v_b$  — ширина быстротока;

$v_c$  — ширина трубы (сужения).

Расчет водопропускного тракта ведется для автомобильных дорог — на расчетный расход  $Q_p$ . При наличии снегового и ливневого стока  $Q_p$  и  $Q_{max}$  выбирают как максимальные из соответствующих расходов. Аккумуляция при расчете косогорных труб не учитывается.

#### 3.3. Последовательность расчета:

3.3.1. Назначают тип трубы с учетом величины расхода, характера водотока, шероховатости; а также начальное отверстие трубы (обычно  $d = 1,5$  м или при других формах поперечного сечения  $v = 1,5$  м).

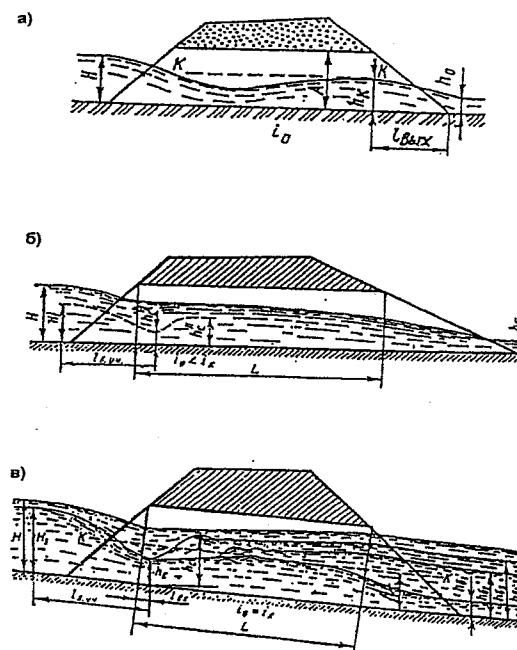


Рис. Е2. Схема протекания воды в равнинной трубе при безнапорном режиме:

а) «короткая»; б) «длинная»; в) «незатопленная» ( $h_{62}, h_{63}$ ) и «затопленная с нижнего бьефа ( $h_{64}$ )

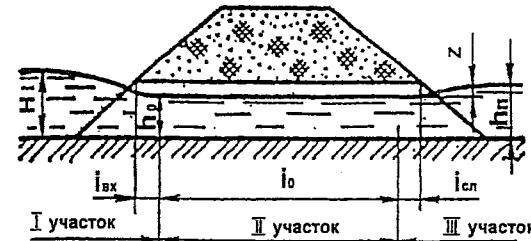


Рис. Е3. Схема протекания воды в безнапорной трубе, затопленной с нижнего бьефа

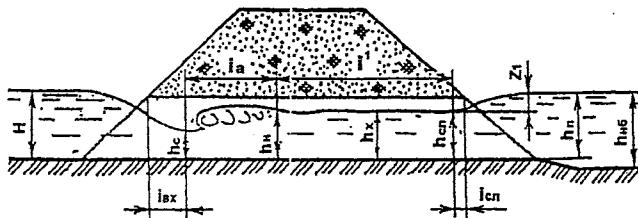


Рис. Е4. Схема протекания воды в безнапорной трубе, подтопленной с нижнего бьефа, с незатопленным сжатым сечением

3.3.2. Рассчитывают быстроток. Длину быстротока принимают от выхода из нагорной канавы до начала сужения при установлении в нем равномерного движения.

Начинают с быстротока шириной по дну  $b_b = d$  или  $\varepsilon$  с трапециoidalной формой и наиболее слабым типом укрепления. Последовательно увеличивают ширину  $b_b$  с шагом 0,25 м до выполнения двух условий:

- $h_x < h_{n_2}$ , где  $h_x$  — критическая глубина на входе в быстроток;  $h_{n_2}$  — глубина воды в нагорной канаве в месте ее сопряжения с быстротоком (приближенно ее можно принимать равной глубине канавы);
- $V_{\delta(\max)} < V_{\delta(\min)}$ , где  $V_{\delta(\max)}$  — максимальная скорость воды в быстротоке;  $V_{\delta(\min)}$  — допускаемая скорость для материала и конструкции быстротока.

По глубине воды в конце быстротока определяют параметр кинетичности.

Затем определяют стоимость быстротока и переходят к расчету быстротока с более мощным типом укрепления, и на основе технико-экономического сравнения вариантов выбирают более экономичный.

3.3.3. Расчет сужения начинают с максимального угла сужения  $\Theta = 20^\circ$ . Задаваясь характером сопряжения сужающейся части быстротока с трубой и степенью сужения  $\varepsilon = b_b / b$ , определяют глубины на входе в трубу. Если при пропуске расчетного расхода  $Q_p$  зазор между верхом трубы и средней по сечению отметкой свободной поверхности на начальном участке трубы меньше допускаемого СНиП 2.05.03-84\*, либо если высота максимального всплеска на стенке сужения  $h_{n_2}$  больше высоты трубы ( $h_{n_2} > h_m$ ), либо если глубина в гребне на оси

трубы больше высоты трубы  $h_{n_2} > h_m$ , то уменьшают угол сужения на  $5^\circ$  и повторяют расчет сужения.

При этом необходимо учитывать, что при уменьшении угла сужения увеличивается длина участка сужения и, в то же время, уменьшается длина быстротока, поэтому на входе в сужение при изменении  $\Theta$  будут меняться скорости и глубины потока, устанавливаемые при расчете быстротока.

3.3.4. Если при каком-либо угле  $\Theta > 8-10^\circ$  указанные выше ограничения выполнены, то расчет сужения заканчивают. Если и при этом не выполняются ограничения на величину зазора в трубе, то назначают следующее отверстие трубы и переходят к п. 2 алгоритма.

Если по каким-либо причинам подходной быстроток и сужение отсутствуют, то расчет отверстия трубы производится, как для равнинных условий. При этом для расчетного расхода  $Q_p$  допускается только безнапорный и только при выполнении требования о величине зазора в трубе согласно СНиП 2.05.03-84\*.

3.3.5. Рассчитывают среднюю часть трубы, исходя из глубин и скоростей на входном участке трубы, по уравнению неравномерного движения (Чарномский В.И.). Аналогично расчету быстротока величина  $Q_p$  принимается та же и соблюдается регламентируемый СНиП 2.05.03-84\* зазор между поверхностью воды и верхом трубы. При не выполнении этого условия переходят к следующему отверстию трубы и если оно больше ширины быстротока  $b_b$ , возвращаются к п. 2 алгоритма, принимая  $b_b$  равной новому отверстию трубы, а если меньше — то к п. 3 алгоритма. Для приближенных расчетов допускается вместо построения кривой свободной поверхности рассчитывать глубину в трубе (для труб с переломами — нормальную глубину для участка с максимальным уклоном).

3.3.6. Рассчитывают глубины и скорости на выходе из трубы.

3.3.7. Назначают начальный тип укрепления выходного русла (каменная наброска, плиты, монолитный бетон, сборные блоки и т.п.). Если  $V_{\delta(\max)} > V_{\delta(\min)}$ , то меняют тип укрепления на более мощный, и так до тех пор, пока не будет удовлетворено условие  $V_{\delta(\max)} \leq V_{\delta(\min)}$ , либо не будут исчерпаны все возможные типы укреплений.

3.3.8. Назначают начальный тип выходного русла из числа приведенных в Пособии по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений.

3.3.9. Рассчитывают глубины размыва в выходном русле заданного типа. Если максимальная глубина размыва (с учетом образования

канала) больше 2,5 м, то переходят на следующий, более мощный тип выходного русла (в порядке возрастания номеров и индексов) и расчет повторяют. Если никакой из типов выходных русел не обеспечивает глубины размыва меньше допустимой, то увеличивают отверстие трубы и переходят к п. 2.

3.3.10. Рассчитывают скорости и глубины потока на укреплении.

3.3.11. Рассчитывают ширину укрепления и глубину заделки его концевой части с учетом растекания потока на укреплении и глубины воронки размыва.

3.3.12. Если в результате расчетов осуществлен перебор всех допустимых отверстий труб и при этом не найден вариант, удовлетворяющий всем необходимым ограничениям, то водопропускной тракт необходимо перепроектировать. При этом необходимо:

- изменить уклоны отдельных частей водопропускного тракта;
- изменить ширину быстротока;
- изменить угол сужения  $\Theta$  или степень сжатия  $\varepsilon$ .

После введения соответствующих корректив для п. 3.3.12, а) – в) повторяют расчеты, начиная с п. 3.3.1 алгоритма. Если расчеты по перепроектированному варианту опять не удовлетворяют ограничениям, снова производят перепроектировку и т.д.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Расчет осадок МГК и назначение строительного подъема

Расчет осадок МГК для точек под осью насыпи следует производить по графику (рис. Ж1), определяя расчетную осадку  $S_p$  по формуле

$$S_p = \frac{100}{E} * S_T \quad (\text{Ж1})$$

где  $S_T$  — осадка основания при модуле деформации грунта  $E = 100 \text{ кгс/см}^2$  (см. рис. Ж1).

Исходными параметрами для расчета осадок должны быть: модуль деформации, объемная масса грунта, мощность геологических слоев в основании, высота насыпи.

Осадка МГК на многослойном основании рассчитывается путем суммирования осадок в пределах каждого слоя.

Расчетную осадку  $S_p$  под осью насыпи следует сравнивать с предельно допустимой осадкой  $S_d$ , определяемой по формуле

$$S_d = 0,5 S_p + 0,75 iL \quad (\text{Ж2})$$

где  $iL$  — разница отметок лотка МГК на входе и выходе ( $i$  — уклон,  $L$  — длина МГК).

Примечание. Формула применима для уклонов МГК до 0,05, предусмотренных в п. 1.8 настоящих ТУ.

В случае если расчетная осадка превышает величину  $S_d$ , необходимо принять меры по изменению проектного решения, в первую очередь, рассматривая варианты увеличения уклона лотка МГК или толщины подушки, либо переходить к другой конструкции водопропускного сооружения.

Строительный подъем назначают, определяя ординату под насыпью насыпи по формуле

$$\Delta = S_p + 0,25 iL, \text{ которая не должна превышать величины } 0,5 (S_p + iL).$$

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Оборудование, приборы и инструменты, рекомендуемые при производстве работ при антикоррозийной обработке, ремонте и гидроизоляции металлических гофрированных конструкций

#### 1. Подготовка поверхности к окрашиванию

№ п/п	Оборудование	Марка	Технические данные
1.	Аппарат дробеструйный	АД-150М	Производительность — 10–12 м <sup>3</sup> /час. Рабочее давление — 0,6 Мпа. Габариты — 936×775×1360 мм. Масса — 250 кг.
2.	Аппарат дробеструйный	Clermco SCWB-2452	Объем 200 л с дистанционным управлением и дозирующим вентилем
3.	Машина шлифовальная электрическая	Э-2102	Диаметр абразивного круга — 180 мм. Скорость вращения — 8500 об./мин. Габариты — 438×175×270 мм. Вес — 6 кг
4.	Машина шлифовальная пневматическая	УПШР № 1	Диаметр проволочной щетки — 100 мм. Скорость вращения — 8500 об./мин. Габариты — 870×70×119 мм. Вес — 3,8 кг.

#### 2. Оборудование для окрашивания

№ п/п	Оборудование	Марка	Технические данные
1.	Установка безвоздушного распыления	GMMax 7900	Производительность — 7,9 л/мин. Количество подключаемых пистолетов — 4 шт. Максимальная длина шлангов — 90 м. Бензопривод фирмы Grace с КПД 90 %. Вес — 80,0 кг. Максимальное рабочее давление — 210 атм.
2.	Установка высокого давления	7000 Н	Подача насосов без противодавления не менее 5,6 л/мин. Давление нагнетания без подачи 24,4+0,5 МПа. Электродвигатель специальный взрывозащищенный, мощность — 2,0 кВт. Габариты — 975×500×610 мм. Масса — 80 кг.

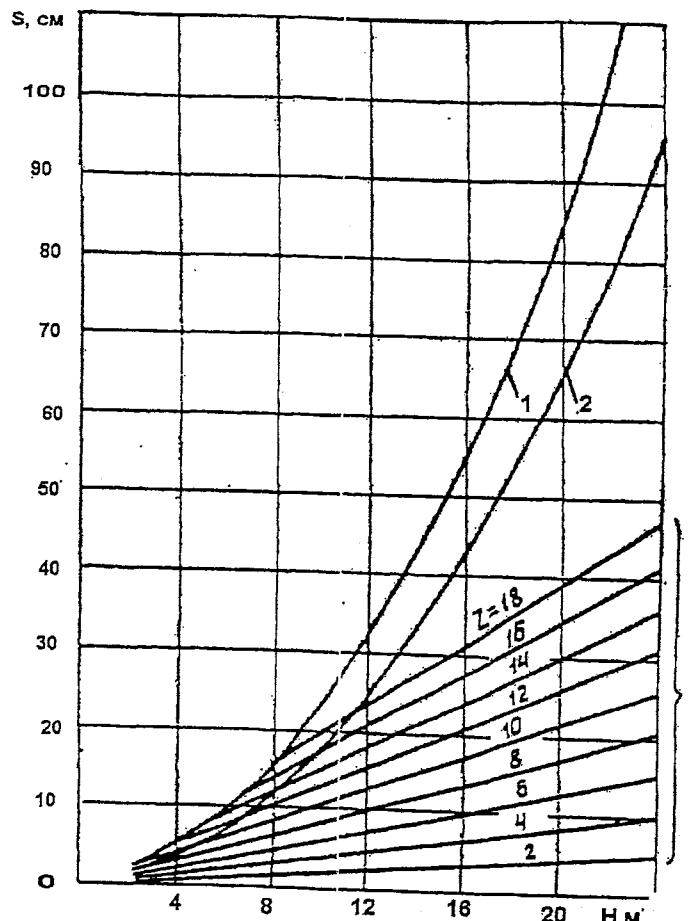


Рис. Ж1. Расчетный график для определения осадки МГК

$S_T$  — осадка основания при модуле деформации грунта 100 кг/см<sup>2</sup>;  
 $H$  — высота насыпи;  
 $Z$  — расстояние нижней границы слоя до верха основания;  
1, 2 — при однородном основании и  $y = 1-1,7 \text{ т/м}^3$ ;  
3 — при неоднородном основании

№ п/п	Оборудование	Марка	Технические данные
3.	Установка для безвоздушного окрашивания	WIWA 18066	Преобразователь давления 66:1. Максимальная мощность при свободном потоке 18,0 л/мин. Максимальное входное давление воздуха — 6,5 бар. Максимальный размер сопла — 1×1. 6/2×1, 1 мм

### 3. Инструменты и приборы контроля

№ п/п	Оборудование	Марка	Технические данные
1.	Вискозиметр	ВЗ-4 или ВЗ- 246	Диаметр сопла — 4,0 мм. Вместимость — 100 мл.
2.	Магнитный толщиномер	МТ-50 НЦ	Диапазон измерений — 50—2000 мкм. Рабочая температура — 5—40 °С.
3.	Толщиномер	Минитест 1001	Диапазон измерений — 0—1250 мкм. Рабочая температура — 0—50 °С.

### 4. Материалы и оборудование для ремонта локальных повреждений защитного покрытия методом металлизации

4.1. Методом металлизации напылением можно наносить цинковые или алюминиевые покрытия, как в заводских условиях, так и на строительной площадке. Толщина металлизационных покрытий не менее 120 мкм.

Металлизация напылением в настоящее время является лучшим средством защиты от коррозии стальных деталей в построенных условиях. Нанесение металлизационных покрытий производится способами газопламенного напыления или электрометаллизацией.

Наряду с методом металлизации для защиты сварных швов и поврежденного при сварке цинкового покрытия деталей в случаях, когда эти покрытия были нанесены горячим цинкованием или гальванизацией, допускается применение протекторных грунтов.

Для улучшения защитного действия и долговечности цинкового покрытия или протекторного грунта рекомендуется поверх них нанести один слой битумного лака.

Последняя защита стальных элементов сварных соединений производится бетонированием их цементно-песчанным раствором сло-

ем толщиной не менее 20 мм составом (по массе) 1:1,5—1:2 при водокементном отношении 0,35—0,4 и пластичности 6—8 см.

4.2. Для нанесения покрытий способом электрометаллизации применяют цинковую проволоку диаметром 1,5 и 2 мм, марки ЦТ, содержащую 99,9 % чистого цинка. При производстве работ в зимнее время рекомендуется применять проволоку диаметром 1,5 мм. Цинковую проволоку следует хранить в сухих закрытых помещениях. Перед употреблением проволоку выравнивают, удаляют грязь, окислы, жир и влагу.

Для нанесения алюминиевых покрытий применяют проволоку алюминиевую сварочную марок Св-А85, Св-А5, Св-АМц, Св-АМг3, Св-АМг5, проволоку алюминиевую круглую электротехническую марок АГ и АГТ из алюминия марок А5 и А7 и проволоку из алюминия, алюминиевых сплавов для холодной высадки марок АД1, АМц, АМг2.

Цинковые протекторные грунты представляют собой смесь наполнителя, цинковой пыли и лаковой основы. В состав грунта входят 80—95 % (по массе) цинковой пыли.

Материалы для цинковых протекторных грунтов: ацетон — ГОСТ 2768-84; растворитель (разжигатель Р-4) — ГОСТ 7827-74\*; перхлорвиниловый лак ХСЛ — ГОСТ 7313-75\*.

В построенных условиях защитные покрытия наносят лишь на сварные швы и близлежащие участки, поврежденные при сварке закладных деталей, а также доводят толщину защитного слоя, нанесенного на поверхность деталей, до проектной величины.

4.3. Нанесение покрытий газопламенным способом. Способ газопламенного нанесения покрытий менее трудоемок; чем способ электрометаллизации, а установка для газопламенного напыления покрытий дешевле и легче электрометаллизационных установок. Поэтому этому способу нанесения покрытий в построенных условиях следует отдать предпочтение.

Антикоррозионные покрытия газопламенным способом наносят с помощью агрегатов для газопламенного напыления порошковых материалов (УПАГ-1), газопламенной установки УГПЛ и газового металлизатора МГИ-4.

Для прочного сцепления защитного слоя с основанием сварные швы и закладные детали перед нанесением покрытия должны быть нагреты нейтральным пламенем распылительной горелки до 250—350 °С. Необходимая толщина покрытия достигается за несколько проходов распылительной горелки. Слои покрытия должны перекрывать один другой.

Особо тщательно следует покрывать зазоры между закладными деталями и соединительными связями, углы и ребра деталей. Прочность сцепления покрытия с основанием зависят от режима работы установки: температуры пламени горелки, давления сжатого воздуха и расстояния от насадки горелки до покрываемой поверхности, угла наклона горелок. Расстояние от горелки до покрываемой поверхности должно составлять 70–200 мм. Угол наклона струи расплавленного металла к поверхности должен составлять 90–75°. В труднодоступных местах допускается производить металлизацию при наклоне струи менее 75° (но не меньше 45°). При металлизации изделия не должны нагреваться выше 150–200 °С.

Агрегаты газопламенного напыления обслуживаются оператором металлизатором 4–5-го разряда. На металлизацию сварных швов и закладных деталей стыков крупнопанельных зданий затрагивается около 3,5 чел.-ч/м поверхности, на покрытие одного сварного узла встыке — в среднем 1,5–2 мин. На нанесение 1 м покрытия толщиной 120 мкм с учетом технологических потерь расходуется 0,9–1 кг порошка цинка. Нанесение покрытий способом электрометаллизации производится с помощью комплекта КДМ-2 или ручного электродугового аппарата ЭМ-14М. Для питания электрической дуги металлизационных аппаратов применяются источники питания постоянного тока с жесткой вольт-амперной характеристикой и плавной регулировкой напряжения, преобразователи типа ПСГ-500 и ПСУ-500 (ГОСТ 304-82) или выпрямители типа ВС-600 и др. В комплект входят также компрессоры производительностью 0,5–1 м/мин. Принцип работы электрометаллизационных аппаратов: при соприкосновении с электрической дугой проволока расплавляется и капли металла распыляются струей сжатого воздуха. Для лучшего сцепления покрытий, наносимых способом электрометаллизации на стальные соединения, поверхность последних делают шероховатой.

На металлические детали покрытие наносят сразу же после подготовки поверхности. Разрыв во времени между подготовкой поверхности и напылением не должен превышать 3–4 ч.

Электрометаллизационные установки обслуживает сварщик 5-го разряда, имеющий разрешение на выполнение работ по металлизации и на компрессоре. Для нанесения антикоррозионного покрытия оператор заправляет в подающий механизм электрометаллизатора проволоку. По окончании процесса подготовки и регулирования электрометаллизатора последовательно включают подачу воздуха и электрического тока и производят напыление. Чтобы достигнуть необходимой

толщины защитного покрытия (150–200 мм), его наносят в три-четыре слоя. Скорость перемещения электрометаллизатора 1 м/мин.

4.4. Расход цинковой проволоки на покрытие 1 м сварного шва составляет 130–160 г, средний расход цинковой проволоки на 1 м покрытия — 2 кг.

№ п/п	Оборудование	Марка	Страна- производитель
1.	Ручной электродуговой металлизатор	ЭМ – 4	Россия
2.	Ручной газопламенный металлизатор	МГИ – 4	Россия
3.	Ручной металлизатор	МК – 50	фирма «Metallisation», Англия
4.	Ручной металлизатор	SNM – Top Jet	Франция

Рекомендуемые металлизаторы (горелки) портативны и при относительной малой массе обеспечивают высокую производительность труда (до 20–30 кг/час по цинку).

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Рекомендации по применению новых конструктивных решений сооружений из МГК с полистирольными пенопластами в суровых климатических условиях

1. При использовании полистирола в сооружениях из МГК достигаются следующие цели при отсутствии (или минимуме) противоналедных сооружений и противопучинных мероприятий, а именно:

- уменьшение глубины промерзания-оттаивания и неравномерности грунтов основания МГК и снижения вероятности возникновения наледи перед сооружением, а также сокращения ее площади и объема;

- снижение напряженно-деформированного состояния окружающих сооружение пучинистых грунтов и существенное уменьшение усилий, прогибов, а также напряжений в конструкциях МГК;

- устранение неравномерности промерзания-оттаивания грунта в основании МГК, что позволяет устраниить неравномерное распределение сил морозного пучения;

- повышение долговечности (надежности) конструкций МГК вследствие снижения абсолютной величины периодически возникающих деформаций морозного пучения;

- сохранение деформационных и прочностных свойств грунтов основания по длине МГК практически в одинаковых величинах и их плавное изменение при промерзании и оттаивании;

2. Полистирольные пенополисты (ПП) укладываются в грунт совместно с устройством дренирующего слоя, который предусматривается в следующих вариантах:

- в виде песчаного слоя, располагаемого под ПП;

- в виде песчаного слоя, включающего в себя теплоизолирующий слой;

- в виде дренирующего слоя из геотекстиля, обладающего продольной водопроницаемостью.

3. Применение в сооружениях из МГК утеплителя — полистирола толщиной в 0,20 м существенно изменяет температурный режим окружающих их грунтов. Для сравнения — глубина промерзания (мощность сезонномерзлого) грунта в основании МГК под оголовками составляет 0,55 м (В-4), а грунта в некотором удалении от МГК 2,8 м. Это на 2,25 м или в 5 раз меньше, чем глубина промерзания лога водо-тока вдали от ВПТ. При высоте насыпи от верхней части МГК до вер-

ха насыпи до 1 м применение ПП предусматривается снаружи конструкции (рис. И1). В связи с неровной поверхностью металла конструкции следует укладывать не менее 0,15 м слоя песка над полистирольным пенопластом и армирующие сетки из геотекстиля.

4. В сооружениях из МГК при высоких насыпях (рис. И2) рекомендуется укладка ПП на откосах и в теле насыпи непосредственно над МГК и призмами обрушения. На откосах над плитами полистирола с целью защиты его от ультрафиолетовых лучей должны быть предусмотрены укрепления из геосинтетических материалов, заполняемых грунтом. На глубине 0,50–0,60 м от верха насыпи также укладывается полистирол.

В поперечном направлении ПП укладываются до откосов насыпи. В продольном направлении длина укладки ПП предусматривается не менее 2–3 диаметров (ширины) МГК (рис. И2).

5. Для повышения эффективности применения ПП и надежности работы сооружения из МГК следует его применение комбинировать с геосинтетическими материалами (дренирующие, армирующие сетки и гидроизоляция). Это позволяет повысить эффективность обеспечения полной и частичной теплозащиты пучинистого грунта земляного полотна и основания водопропускной трубы от промерзания, необходимого дренирования дорожной одежды, защитить слой ПП от механических повреждений и, в итоге, увеличить долговечность применяемого полистирольного пенопласта и ВПТ в целом (рис. И2, И3).

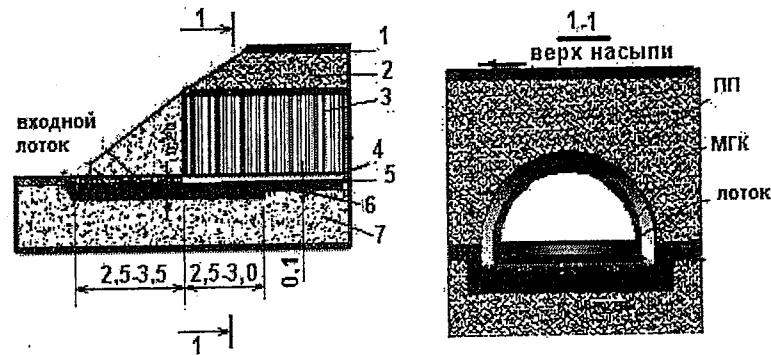


Рис. И1. Сооружение из МГК с утеплителем полистиролом  
 1 — верх насыпи; 2 — тело насыпи; 3 — сооружение из МГК;  
 4 — бетонный лоток МГК; 5 — армирующая сетка геотекстиля;  
 6 — ПП; 7 — пучинистый грунт основания

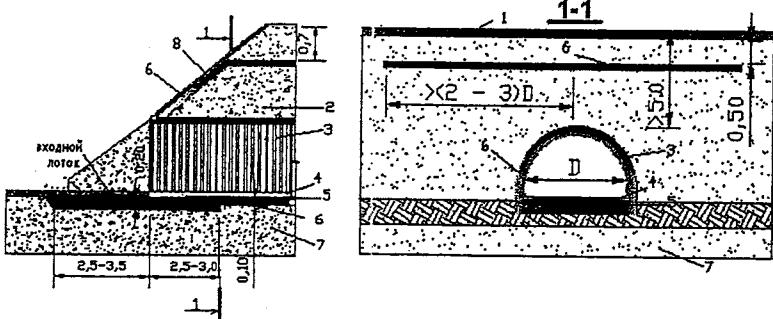


Рис. И2. Металлическая гофрированная конструкция с ПП при высокой насыпи:

- 1 — верх насыпи;
- 2 — тело насыпи;
- 3 — МГК;
- 4 — лоток из бетона внутри МГК;
- 5 — армирующая сетка геотекстиля;
- 6 — ПП;
- 7 — пучинистый грунт основания;
- 8 — укрепление откоса геотекстильным материалом

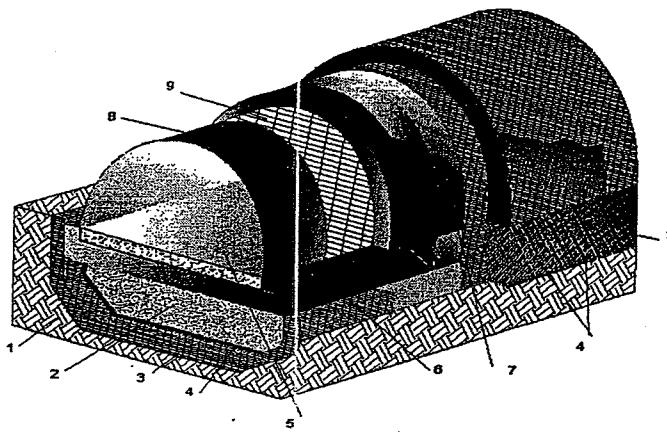


Рис. И3. Применение ПП в комплексе с геосинтетическими материалами в сооружениях из МГК

- 1 — пучинистый грунт основания;
- 2 — песок крупный;
- 3 — дренажный мат;
- 4 — защитное полотно (предохранительный, фильтрующий слой — холст из синтетических волокон);
- 5 — бетонный лоток;
- 6 — пенополистирол;
- 7 — гидроизоляция;
- 8 — МГК;
- 9 — армирующая сетка

В этих конструктивных решениях по всему периметру звена МГК используется дренажный мат 3. Он препятствует накоплению как атмосферной, так и мигрирующей влаги в дисперсных грунтах вокруг стенки звена МГК и позволяет путем фильтрации отвести их вниз под МГК. Далее влага отводится через фильтрующий песок 2 и горизонтальный мат 3 в основании за пределы МГК.

6. При возведении водопропускных труб из МГК без откосных стенок оголовков пропускная способность труб снижается и возникает необходимость в формировании оголовочной части трубы (рис. И4). На откос насыпи и в грунт следует укладывать полистирольные плиты, защищенные сверху бетоном (камнем) или из плоского оцинкованного металлического листа (возможно из гофрированного, но с меньшей толщиной листа).

7. При прочных грунтах основания и применении армирующих сеток геотканей в нем предусматривается устройство трубы без фундамента на гравийно-песчаной подушке. Поверх полистирольных плит, уложенных в основании трубы, отсыпается защитный (выравнивающий) слой из песка (позиция 12) толщиной 0,10–0,15 м, усиленный геосеткой (8) (таблица И1).

Целесообразно усиливать грунт засыпки над трубой с помощью армирующих сеток. При промерзании грунта засыпки это увеличивает ее жесткость и далее должно препятствовать неравномерному вертикальному выпучиванию звеньев трубы от последствий сил морозного пучения.

8. Наледный процесс у водопропускных труб обусловливается в основном нарушением естественных условий дренирования подрусловых и грунтовых потоков, увеличенным промерзанием грунтов на отмостках из-за экранирующего действия массивных фундаментов и увеличенного промерзания грунтов вблизи них, а также уплотнением грунтов основания под воздействием веса насыпи.

На таких водотоках целесообразно применять конструктивное решение МГК, приведенное на рис. И5.

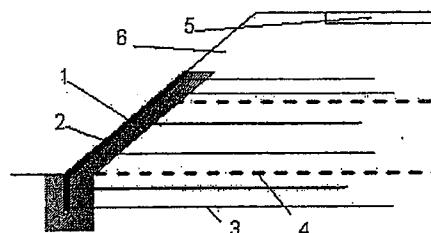


Рис. И4. Конструктивное решение оголовочной части водопропускной трубы из МГК:

- 1 — металлический оцинкованный лист;
- 2 — ПП;
- 3 — армирующие (анкерирующие) полотнища из геотекстиля;
- 4 — МГТ;
- 5 — верх насыпи;
- 6 — насыпь

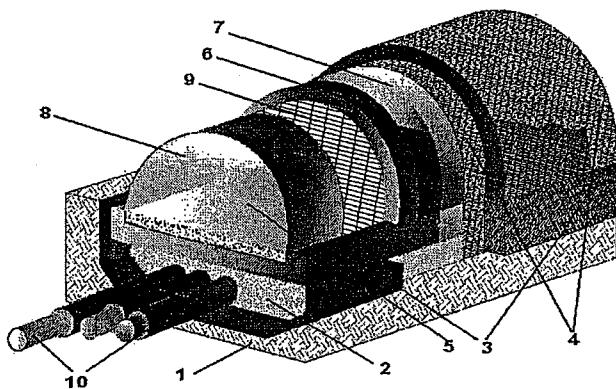


Рис. И5. Применение полистирола в качестве теплоизоляции совместно с геосинтетическими материалами на водотоках с наледями и пучинистыми грунтами:

- 1 — пучинистый грунт основания;
- 2 — песок крупный (фильтрационный);
- 3 — дренажный мат;
- 4 — защитное полотно (предохранительный, фильтрующий слой — холст из синтетических волокон);
- 5 — бетонный лоток;
- 6 — пенополистирол;
- 7 — гидроизоляция;
- 8 — МГК;
- 9 — армирующая сетка;
- 10 — трубы под лотком МГК, утепленные ПП и защитным кожухом из полимера для фильтрации грунтовых вод

МГК теплоизолируется по периметру полистирольным пенопластом в комбинации с геосинтетическими материалами. Под лотком устраиваются утепленные ПП трубы (позиция 10) для отвода грунтовых вод. Толщину полистирола по периметру МГК следует назначать равной 0,10 м. Под входными и выходными звенями в пределах длины 2,5–3,0 м, а также под укрепленными лотками, примыкающими к концевым частям трубы в пределах 2,5–3,5 м, следует увеличить толщину ПП до 0,20 м.

При такой конструкции водопропускной трубы проявления наледных процессов вследствие отвода грунтовых вод по утепленным трубам (позиция 10) минимальны.

Силы морозного пучения, действующие на подошву и стены МГК, также уменьшаются на порядок ввиду того, что миграции влаги в промерзающую зону препятствует дренажный мат (позиция 3).

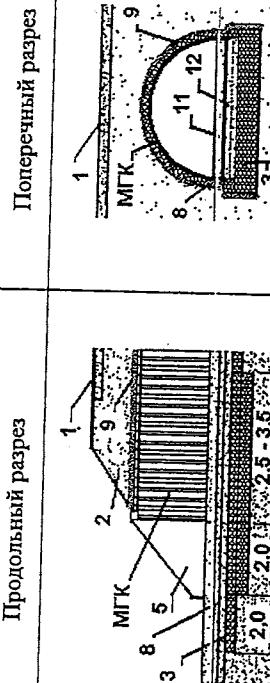
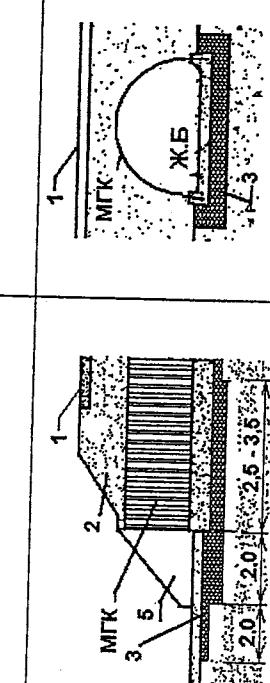
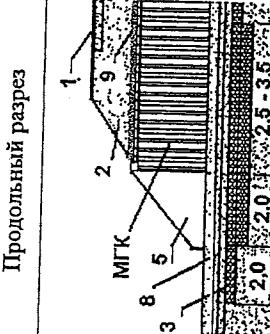
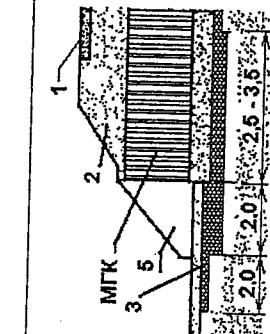
На участках дорог, где часто образуются наледи перед трубами, целесообразно в грунтах основания (рисунок И5, позиция 1) устройство новой дренажной системы — сборных дренажных каналов (брикетов) взамен фильтрующего песка (позиция 2).

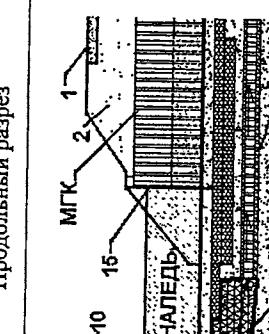
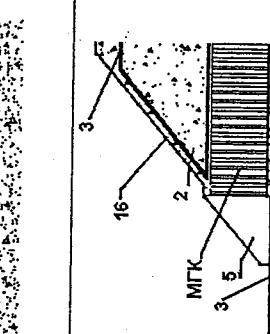
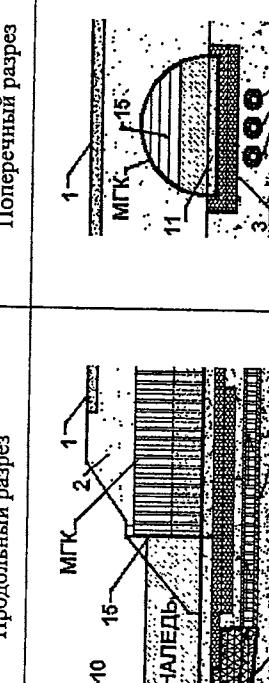
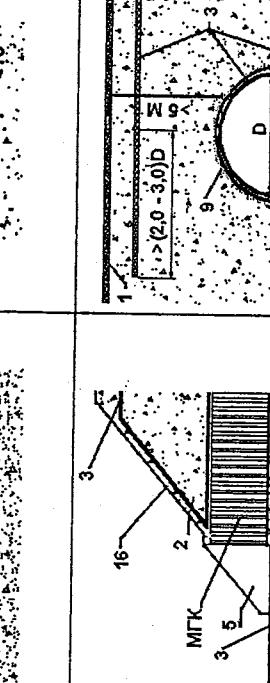
Дренажные системы выполняют из щебня (гравия) фракции 10–15 мм, обработанные эпоксидным компаундом.

9. Использование ПП в конструкциях водопропускных труб препятствует и уменьшает более глубокое промерзание толщи грунтов, окружающих трубу. Тем не менее, абсолютная (совершенная) теплоизоляция грунтов вокруг водопропускной трубы, полностью исключающая миграцию влаги в них, затруднительна.

В этой ситуации целесообразно использование дренажных (фильтрующих) матов в комплексе с ПП в конструкциях трубы (таблица И1, поз. в). Это эффективно прерывает миграцию влаги и препятствует ее скоплению в грунтах, что в конечном итоге уменьшают действие сил морозного пучения на конструкции трубы.

**Таблица И1**  
**Конструктивные решения водопропускных труб**  
**с полистирольными пенопластами, рекомендуемые**  
**в суровых климатических условиях (на наледных и**  
**пучинистых участках)**

№ п/п	Продольный разрез	Поперечный разрез	Примечание
a			МГК с полистиролом. Толщина полистирола 10 см по периметру, а под концевыми элементами и участками трубы прияты 20 см. МГК устроена на гравийно-песчаной подушке. Над пологом засыпан слой песка (12) армированный геотекстилем (8) (георешетка)
б			Комбинированная водопропускная труба с металлической сводчатой несущей конструкцией и железобетонным лотком — основанием. Железобетонный лоток сооружения устроен на гравийно-песчаной подушке. Под железнобетонным лотком предусмотрены плиты полистирола толщиной в 20 см

№ п/п	Продольный разрез	Поперечный разрез	Примечание
в			МГК на наледном участке. В русле водотока под лотком проложены трубы с теплоизоляцией (13). Грунтовые и подземные воды (10) попадают в водозаборник (14) и далее протекают по трубам (13) за пределы водопропускной трубы. Водозаборник (14) состоит из дренажных (фильтрующих) матов с защитной водопроницаемой тканевой оболочкой, задерживающей грунтовые частицы
г			При насыпях высотой более 5 м предусматриваем применение ПП дополнительно над трубой в насыпи. В попечном направлении ПП уложены до откосов насыпи. В продольном направлении длина укладки ПП, снятая от центральной оси МГК, предусматривается не менее 2-3 пролета МГК

Условные обозначения: 1 — верх насыпи; 2 — верх насыпи (ПП); 3 — полистирол (ПП); 4 — входной отводок (звено трубы); 5 — отрылок; 6 — укрепленный лоток; 7 — фундамент; 8 — армированная прослойка из геотекстиля; 9 — полистироловая пленка (два слоя поверх полистирола); 10 — поток грунтовых или подземных вод; 11 — бетонный лоток; 12 — песок (10..15 см) над полистиролом; 13 — дренажные трубы, утепленные полистиролом и защитным кожухом из полимера для фильтрации грунтовых вод; 14 — водозаборник; 15 — щит из досок применяемый для частичного закрытия отверстия трубы; 16 — геотекстиль укрепляющий откос насыпи

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Материалы, применяемые при устройстве лотков

1. Полимербетоны и полимеррастворы приготавливают на основе эпоксидной смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-93), а в качестве пластифицирующего модификатора, способствующего уменьшению усадочных деформаций, применяют тиокол НВБ-2 (ГОСТ 12812-80). Для уменьшения вязкости связующего может вводиться сланцевый битум. В качестве отвердителей применяют полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-594-80) или АФ-2 (ТУ 294-70). В состав связующего вводят этилсиликат-40 (ГОСТ 26378-84).

2. В качестве крупного заполнителя для полимербетонов рекомендуется применять щебень из естественного камня или щебень из гравия, которые должны отвечать требованиям ГОСТ 8267-93.

При устройстве лотков водопропускных труб в качестве крупного заполнителя может быть использован гравий, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8267-93. Применение крупных заполнителей из осадочных горных пород не допускается. Для приготовления полимербетонов допускается применение щебня и гравия с размерами фракции до 10 мм. Зерновой состав каждой фракции должен отвечать требованиям ГОСТ 26633-91. Морозостойкость щебня, гравия и щебня из гравия должна обеспечивать получение полимербетонов требуемой морозостойкости и быть не ниже F300.

3. Для приготовления полимербетонов и полимеррастворов рекомендуется применять пески, отвечающие требованиям ГОСТ 8736-85. Зерновой состав песка должен соответствовать кривой просеивания, приведенной в ГОСТ 26633-91. Модуль крупности песка должен быть от 2 до 3. При этом надо учитывать, что если в песке содержание зерен, проходящих через сите № 014, превышает 2 %, то необходимо уменьшить количество наполнителя. Содержание в песке пылевидных, илистых и глинистых частиц не должно превышать 0,5 %.

4. Испытание крупных заполнителей следует производить по ГОСТ 8269-87, а песка — по ГОСТ 8735-88. Крупные и мелкие заполнители должны быть сухими (влажность не более 1 %). Не допускается загрязнение заполнителей карбонатами (мел, мрамор, известняк), основаниями (известь, цемент) и металлической пылью (стальная, цинковая). Влажность наполнителей должна быть не более 1 %. Кислотостойкость песка и наполнителей должна быть не ниже 97-98 %.

5. В предлагаемых составах полимербетонов и полимеррастворов используются связующие с одинаковыми компонентами и одним из двух отвердителей.

Изменение соотношений по массе компонентов в связующих, рекомендуемых для устройства лотков труб, эксплуатируемых в районах с расчетной температурой воздуха ниже -40 °С, допускается (в процентах к массе ЭД-20):

а) в полимеррастворах для сланцевого битума от 100 до 150 % при содержании тиокола 150-250 % и от 150 до 200 % при содержании тиокола 200-250 %;

б) в полимербетонах для сланцевого битума до 50 % при содержании тиокола не менее 30 %, от 50 до 100 % при содержании тиокола 50-150 % и от 100 до 150 % при содержании тиокола 150-200 %.

Для изготовления лотков по прочностным характеристикам рекомендуются связующие с ограниченным содержанием тиокола и сланцевого битума числовых марок не выше 1010, характеристики которых приведены в таблице К.1.

6. Составы полимеррастворов и полимербетонов следует принимать согласно таблице К.2

Для снижения вязкости полимеррастворов следует использовать растворители Р-40, Р-4, Р-5, № 646, смесь этилцеллозольва с ацетоном. В порядке исключения допускается применение бензина.

7. Для приготовления асфальтобетонных смесей следует применять битумы нефтяные дорожные вязкие марок БНД 40/60, БНД 60/90 и БНД90/130 или БН 60/90 и БН90/130 по ГОСТ 22245-90\*, а также строительные битумы марок IV и V по ГОСТ 6617-76\* (только для блоков), пески природные нефракционированные и фракционированные, отвечающие требованиям ГОСТ 8736-93\* (крупные, средние или мелкие), минеральные порошки активированные или неактивированные из карбонатных горных пород, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 16557-78.

Таблица К.1

## Состав связующих

Числовая марка связующего смолы	Количество в частях по массе					аминофенольного отвердителя АФ-2
	эпоксидной ЭД-20	низковязкого гиокола НВБ-2	сланцевого битума СБ	этилсиликата ЭГС-40	полиэтиленполиамина	
35	100	30	50	3	12-15	30-35
55	100	50	50	3	12-15	30-35
510	100	50	100	3	12-15	30-35
1010	100	100	100	3	12-15	30-35
1510	100	150	100	3	12-15	30-35
1515	100	150	150	3	12-15	30-35
2010	100	200	100	3	12-15	30-35
2015	100	200	150	3	12-15	30-35
2020	100	200	200	3	12-15	30-35
2520	100	250	200	3	12-15	30-35

Таблица К.2

## Состав полимеррастворов и полимербетонов

Компонент	Размер фракций, мм	Количество в частях по массе в составе полимеррастворов					для защиты бетонных блоков	для защиты бетонных блоков
		полимербетонов с наполнителем			из местных материалов	прилипки		
		1	2	3	1	2		
Щебень или гравий	10-20	22-24	22-24	22-24	23-24	23-25	-	-
Щебень или гравий	5-10	15-17	15-17	16-17	16-17	15-17	-	-
Песок кварцевый	0,15-5	31-32	31-33	32-33	48-50	49-51	-	(42-44)/70
Песок кварцевый фракционированный	Менее 0,63	-	-	-	-	(39-41)/65	-	(49-50)/79,5
Наполнитель	Менее 0,15	18-19	18-20	18-20	-	-	24-26	26-28
Связующие	-	11	10	9	11	10	23-24	19-21
Растворитель	-	-	-	-	-	-	11-12	9-11
							6-8	

Примечание. Допускается приготовление полимеррастворов из местных материалов без наполнителей, при этом расход основного составляющего приведен в знаменателе. Применение растворителей допускается в случае крайней необходимости.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

### Методы испытаний и контроля степени уплотнения грунтов

Использование для гофрированных труб элементов из тонколистового металла толщиной 1,5–2,5 мм, долговечность которого в значительной мере зависит от защитных мероприятий по предотвращению коррозии, а прочность и деформативность трубы от плотности засыпки, заставляет предъявлять к качеству работ по постройке таких сооружений повышенные требования.

При устройстве оснований в виде песчано-гравелистых и других подушек в процессе работ контролируют геометрические размеры, а также плотность подушки и противофильтрационных экранов. В большинстве случаев плотность контролируют визуально по следу от груженого автомобиля или от другой значительной нагрузки. При большой толщине подушки (больше 1 м) и специальных указаниях проекта плотность определяют методом лунок или прибором Н.П. Ковалева. Во время производства этих работ следят за постоянным осушением котлована, не допуская его обводнения. В условиях вечной мерзлоты не допускают также скопления воды в естественных впадинах в зоне трубы.

Инструментальный контроль включает съемку продольного профиля подушки перед укладкой трубы.

Трубы нужно засыпать грунтом под контролем одного из инженерно-технических работников. Качество засыпки труб контролируют, проверяя толщину слоев грунта, разницу уровней засыпки по обеим сторонам трубы и в пазухах многоочковых труб, соответствие материала засыпки требованиям проекта. В процессе отсыпки проверяется плотность грунта на горизонтах 0,25; 0,5 и  $0,75 D$  по высоте с обеих сторон трубы на расстоянии 0,1 и 1 м от боковых стенок в средней по ее длине части ( $D$  — диаметр трубы). Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке. Достаточно просто и оперативно это можно осуществить с помощью прибора Н.П. Ковалева (рис. Л1), основанного на принципе гидростатического взвешивания. Непосредственно с помощью прибора определяют объемную массу влажного грунта и его скелета (плотность). По известным объемной массе, влажности грунта и плотности вычисляют влажность.

Степень уплотнения грунта в пределах призмы засыпки оценивают коэффициентом  $K$ , который представляет собой отношение достигнутой плотности к максимальной стандартной, определяемой по

методу стандартного уплотнения. Последнюю приводят в проекте производства работ на основании данных инженерно-геологических изысканий. В соответствии с общепринятыми требованиями коэффициент уплотнения обеспечивают не ниже 0,95.

Полученные значения плотности сравнивают с величиной максимальной стандартной плотности, вычисляют коэффициент уплотнения грунта. Коэффициент от 0,95 и больше свидетельствует о достаточном уплотнении. Естественная влажность грунта засыпки не должна отличаться от оптимальной больше чем на 10 %.

Если темп работ позволяет, контролировать плотность и влажность грунта можно методом режущих колец или комбинированным способом. В последнем случае объемную массу влажного грунта определяют прибором Н.П. Ковалева, а влажность известным способом путем высушивания. Плотность грунта определяется расчетом.

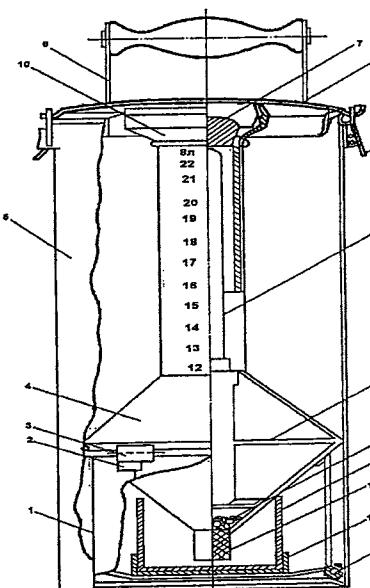


Рис. Л1. Влагомер-плотномер Н.П. Ковалева

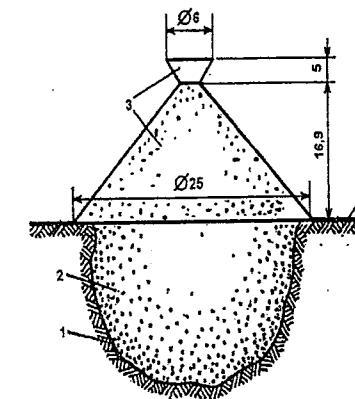


Рис. Л2. Схема размещения воронки над лункой

При использовании для засыпки труб крупнообломочных грунтов, а также в зимнее время, применяют метод лунок. Он заключается

*Для заметок*

в том, что в грунте выкапывают лунку глубиной 10–15 см с объемом 3–5 л. Вынутый из лунки грунт взвешивают, а объем лунки замеряют, заполняя ее сухим песком из мерного сосуда. Разделив массу грунта, извлеченного из лунки, на его объем, находят объемную массу влажного грунта. Влажность грунта определяют высушиванием, а плотность расчетом. В летнее время для определения объема лунки вместо песка ее можно заполнять водой, предварительно уложив полиэтиленовую прокладку (рис. Л2).

В случае существенных отступлений от проекта или при необеспечении необходимой степени плотности, характеризуемой коэффициентом уплотнения, засыпка должна быть приостановлена и приняты соответствующие меры по достижению заданных требований. До начала засыпки нужно в пяти–семи сечениях по длине трубы замерить вертикальный диаметр. Для этой цели рекомендуется телескопическая рейка с ценой деления 1 мм. С помощью этой же рейки и нивелира по тем же сечениям производят съемку продольного профиля трубы. Измерения диаметров и съемку профиля повторяют в процессе строительства и после завершения отсыпки насыпи.

Качество работ по устройству лотка оценивают визуально и по данным лаборатории о прочности бетона, его морозо- и влагостойкости. При осмотре лотка обращают внимание на трещины, раковины, отслоение материала лотка от поверхности трубы и т. п.