МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ
ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

ИНСТРУКЦИЯ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ СИСТЕМ НАПОРНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА ГРУНТОВ

П 59-72

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

ИНСТРУКЦИЯ
ПО ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ СИСТЕМ НАПОРНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА ГРУНТОВ

П 59-72

„ЭНЕРГИЯ"
Ленинградское отделение
1972

Излагается методика гидравлического расчета системы «грунтовый насос—трубопровод» при гидравлическом транспорте несвязных грунтов.

Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов

П 59-72

«Энергия», Ленинградское отделение, 1972 г., стр. 32 с рис.

Научный редактор — *И. А. Гиршкан*

Редактор *Е. Н. Боравская*

Сдано в производство 20/IV 1972 г. Подписано к печати 28/VI 1972 г.
М-06503. Печ. л. 2,0 + 2 вкл. Уч.-изд. л. 2,87. Бум. л. 1,0.
Формат 60×90/16. Зак. 210. Тираж 1000 Цена 29 коп.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники имени Б. Е. Веденеева. 194220. Ленинград, Гжатская ул., 21.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Трубопроводный транспорт грунтов и различных материалов получил в СССР широкое распространение. Существующие многочисленные эмпирические методы и формулы инженерного гидравлического расчета гидротранспортных систем зачастую противоречивы, поэтому создание нормативных документов в этой области, основанных на заслуживающих доверия исследованиях, является настоятельной необходимостью. Исходя из этого в 1967 г. были выпущены «Технические указания по расчету напорного гидравлического транспорта грунтов» Настоящая инструкция является переработанным и дополненным изданием «Указаний» 1967 г. В ней, помимо гидравлического расчета незаиленных трубопроводов, изложены вопросы проектирования гидротранспортной системы «грунтовый насос—трубопровод» и включены отсутствующие в первом издании разделы по пересчету рабочих характеристик грунтовых насосов с воды на гидросмесь и определению наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы.

В приложениях даны обоснования методики расчета, некоторые справочные материалы и примеры расчетов. Настоящая инструкция разработана следующими организациями и лицами

1) ВНИИГ им Б. Е. Веденеева: М А Дементьев, В. А Мелентьев, В. П. Щербаков;

2) МИСИ им. В. В. Куйбышева: А. П. Юфин, Н Т. Белова, Л И. Гусак;

3) институт гидромеханики АН УССР. Н А Силин, Ю. К. Витошкин, В М Карасик;

4) ВНИИНЕРУД. В К. Супрун, Б В. Михайлов;

5) треста «Гидромеханизация» Минэнерго. Н. А Лопатин, Г. Н. Масляков, И П. Ефимов, Н. В Ивановская.

Рукопись Инструкции была просмотрена начальником Отдела дальнего гидротранспорта УкрНИИГидроуголь Н Е. Офенгенденом. Рецензирование рукописи было выпслнено в Институте «Гидропроект» имени С. Я. Жука — Б. М. Шкундиным, в ЛПИ им. М. И. Калинина В. С Кнорозом и в Ленморниипроекте — В. Н. Песочинским.

Инструкция утверждена Главниипроектом Минэнерго СССР (решение № 17 от 20 января 1972 года) и отнесена согласно СН 395-69 к разделу пособий и руководств

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР	**Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов**	Взамен ВСН-02-66

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая Инструкция распространяется на гидравлические расчеты, связанные с выбором основного гидротранспортного оборудования (грунтовых насосов с электродвигателями переменного тока) и трубопроводов для гидравлического транспорта несвязных грунтов (песчаных, гравийных, галечниковых) и продуктов дробления крупнообломочных пород с удельным весом вещества 2,60—2,70 $т/м^3$. Расчет гидравлического транспорта углей, золошлаковых материалов, связных глинистых грунтов, различных структурных смесей и других материалов в настоящей Инструкции не рассматривается.

1.2. Приведенные формулы применяются для расчета гидравлического транспорта грунтов средневзвешенной крупности $d_0 = 0{,}25 \div 70$ *мм* при $d_0/D \leqslant 0{,}15$, наибольшей относительной крупности частиц грунта $d_{наиб} \leqslant 0{,}3D$ и объемной консистенции гидросмеси не более 0,3 (D — диаметр трубопровода)

1.3. В Инструкции учитывается зависимость потерь напора от следующих основных факторов диаметра трубопровода и шероховатости его внутренней поверхности, скорости движения гидросмеси и ее консистенции, средневзвешенной крупности и коэффициента разнозернистости грунта. Инструкция не распространяется на гидросмеси с твердыми частицами, которые имеют форму пластинок, игл и т. д

1.4. В Инструкции принята следующая терминология и обозначения:

трубопровод (пульпопровод) — система труб, по которой транспортируется гидросмесь,

гидросмесь (пульпа) — механическая смесь твердого материала с водой;

земснаряд — агрегат, включающий грунтовый насос с двигателем, грунтозаборное устройство на подъемной раме и механизмы для перемещений в процессе разработки грунта;

расход гидросмеси $Q_{см}$, $м^3/сек$; $м^3/ч$ — суммарный объем воды и твердого материала, проходящий через поперечное сечение трубопровода за единицу времени;

ВНЕСЕНА	УТВЕРЖДЕНА:	СРОК ВВЕДЕНИЯ
Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники имени Б. Е. Веденеева, Московским инженерно-строительным институтом имени В. В. Куйбышева, Институтом гидромеханики АН УССР, Всесоюзным научно-исследовательским институтом нерудных материалов, Трестом Гидромеханизация	ГЛАВНИИПРОЕКТОМ МИНЭНЕРГО СССР	1 июня 1972 г.

расчетная скорость v, *м/сек* — средняя по поперечному сечению трубы скорость гидросмеси,

критическая скорость $v_{кр}$, *м/сек* — средняя по поперечному сечению трубы скорость движения гидросмеси, соответствующая началу выпадения частиц грунта из потока на дно трубы.

действительный удельный вес гидросмеси $\gamma_{см}$, *кг/м*^{3} — вес движущейся гидросмеси в объеме между двумя поперечными сечениями трубы, деленный на этот объем;

действительная объемная консистенция гидросмеси c_0 (величина безразмерная) — отношение суммы объемов движущихся твердых частиц в объеме трубы между двумя ее поперечными сечениями к величине этого объема; связь между величинами $\gamma_{см}$ и c_0 выражается формулой

$$c_0 = \frac{\gamma_{см} - \gamma_в}{\gamma_т - \gamma_в},$$

где $\gamma_т$, *кГ/м*^{3}; $\gamma_в$, *кГ/м*^{3} — удельные веса материала частиц взвеси и воды;

Расходный удельный вес гидросмеси $\gamma_р$, *кГ/м*^{3} — вес гидросмеси, протекающей в единицу времени через поперечное сечение трубы $G_{см}$, деленный на объемный расход гидросмеси $Q_{см}$:

$$\gamma_р = \frac{G_{см}}{Q_{см}}, \quad кГ/м^3.$$

Расходная объемная консистенция гидросмеси $c_р$ (величина безразмерная) — отношение объемного расхода твердого материала $Q_т$ к объемному расходу гидросмеси $Q_{см}$:

$$c_р = \frac{Q_т}{Q_{см}}.$$

1.5. Величина расходной объемной консистенции определяется по действительной объемной консистенции при различных $v/v_{кр}$ по табл. 1.

Таблица 1

c_0	$c_р$				
	$\frac{v}{v_{кр}} = 1{,}0$	$\frac{v}{v_{кр}} = 1{,}20$	$\frac{v}{v_{кр}} = 1{,}5$	$\frac{v}{v_{кр}} = 2{,}0$	$\frac{v}{v_{кр}} = 2{,}5$
0,02	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
0,04	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026
0,06	0,036	0,037	0,039	0,042	0,045
0,08	0,051	0,053	0,057	0,061	0,065
0,10	0,068	0,072	0,076	0,082	0,086
0,12	0,037	0,091	0,097	0,103	0,107
0,14	0,107	0,112	0,118	0,124	0,128
0,16	0,128	0,134	0,139	0,146	0,150
0,18	0,150	0,155	0,161	0,167	0,171
0,20	0,171	0,177	0,183	0,189	0,192

Примечание. При расчете расходной объемной консистенции в режиме гидротранспорта с неподвижным слоем отложений рекомендуется принимать $v : v_{кр} = 1$.

1.6. Консистенцию гидросмеси разрешается выражать отношением веса движущегося грунта в объеме между двумя поперечными сечениями трубы к весу воды $P_в$ в этом объеме:

$$c_s = \frac{P_т}{P_в} = \frac{\gamma_т}{\gamma_в} \frac{\gamma_{см} - \gamma_в}{\gamma_т - \gamma_{см}}.$$

Консистенция гидросмеси выражается также отношением объема движущегося грунта (взятого в естественном сложении с порами между частицами) между двумя поперечными сечениями трубы к объему гидросмеси между этими поперечными сечениями трубы

$$c_0' = c_0 \frac{\gamma_т}{\gamma_{т.п}} \leftarrows \frac{c_0}{1 - m},$$

где $\gamma_{т\,п}$ — объемный вес грунта в естественном сложении; m — пористость грунта в естественном сложении (в долях единицы).

График зависимости между величинами консистенций c_0, c_s, c_0' изображен на рис. 1.

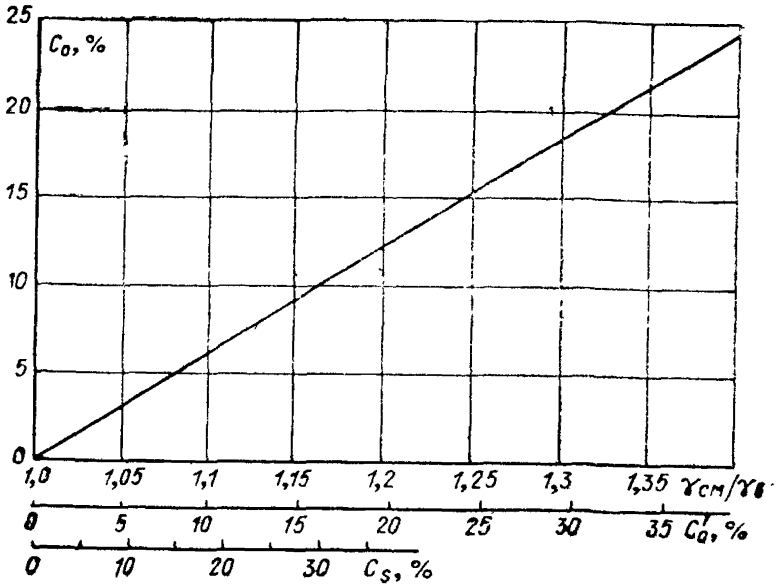


Рис. 1. График зависимости консистенции от удельного веса гидросмеси.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА

2 1. Результаты гранулометрического анализа грунта рекомендуется изображать на полулогарифмической сетке в виде кривой гранулометрического состава, а также в виде гистограммы и кривой распределения (рис. 2). По характеру гистограммы или кривой распределения гранулометрического состава все песчаные, гравийные и галечниковые грунты, а также материалы, образовавшиеся в результате механического дробления крупнообломочных пород, разделяются с достаточным приближением на две группы: одномодальные грунты и двухмодальные грунты.

Для одномодальных грунтов распределение фракций по крупности в составе может быть принято близким к логарифмически нормальному закону распределения случайных величин. Двухмодальные грунты можно представить как смесь двух одномодальных грунтов при различном их содержании в составе.

2 2. В качестве расчетной крупности грунта следует принимать средневзвешенную крупность d_0, *мм*:

$$d_0 = \frac{\Sigma d_i p_i}{100}, \text{ мм},$$

где d_i — среднеарифметическое значение крупности i-ой стандартной фракции, *мм*; p — процентное содержание i-ой фракции по весу в составе пробы грунта.

2 3 Способность грунта транспортироваться потоком воды следует характеризовать коэффициентом Φ, являющимся функцией гидравлической крупности частицы грунта. Величины Φ для стандартных фракций грунта приведены в табл 2.

Таблица 2

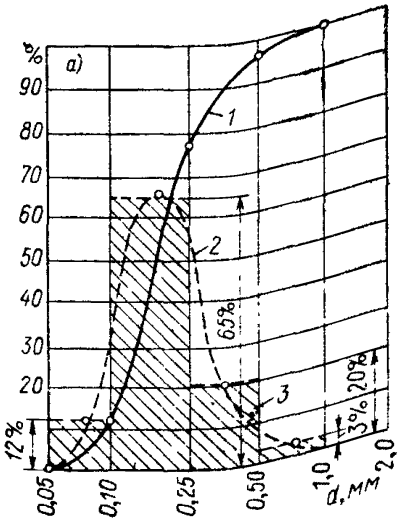
Фракция грунта, *мм*	0,05÷÷0,10	0,10÷÷0,25	0,25÷÷0,50	0,50÷÷1,0	1,0÷÷2,00	2÷3	3÷5	5÷10	>10
ψ	0,02	0,20	0,40	0,80	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0

Для многофракционного грунта вычисляется средневзвешенное значение этого коэффициента

$$\psi_{ср} = \frac{\Sigma \psi_i p_i}{100},$$

где ψ_i — средняя величина для i-ой стандартной фракции; p_i — процентное содержание i-ой фракции по весу в составе пробы грунта.

2.4. Если в одномодальном грунте содержится не более 10% сравнительно крупных фракций, то при определении d_0 и $\psi_{ср}$ наличие их в составе грунта рекомендуется не учитывать; например, при определении d_0 и $\psi_{ср}$ мелкого песчаного грунта можно не учитывать фракции крупнее 2 *мм*, если их содержится менее 10%.



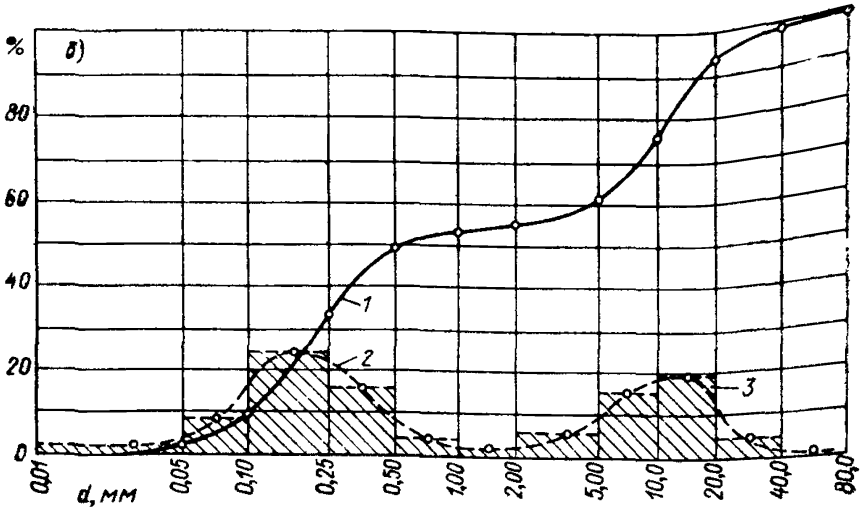


Рис. 2.

а) одномодальный грунт: *1*—кривая гранулометрического состава; *2*—кривая распределения; *3*—гистограмма; *б*) двухмодальный грунт: *1*—кривая гранулометрического состава, *2*—кривая распределения, *3*—гистограмма.

2.5 Разнозернистость грунта определяется коэффициентом разнозернистости:

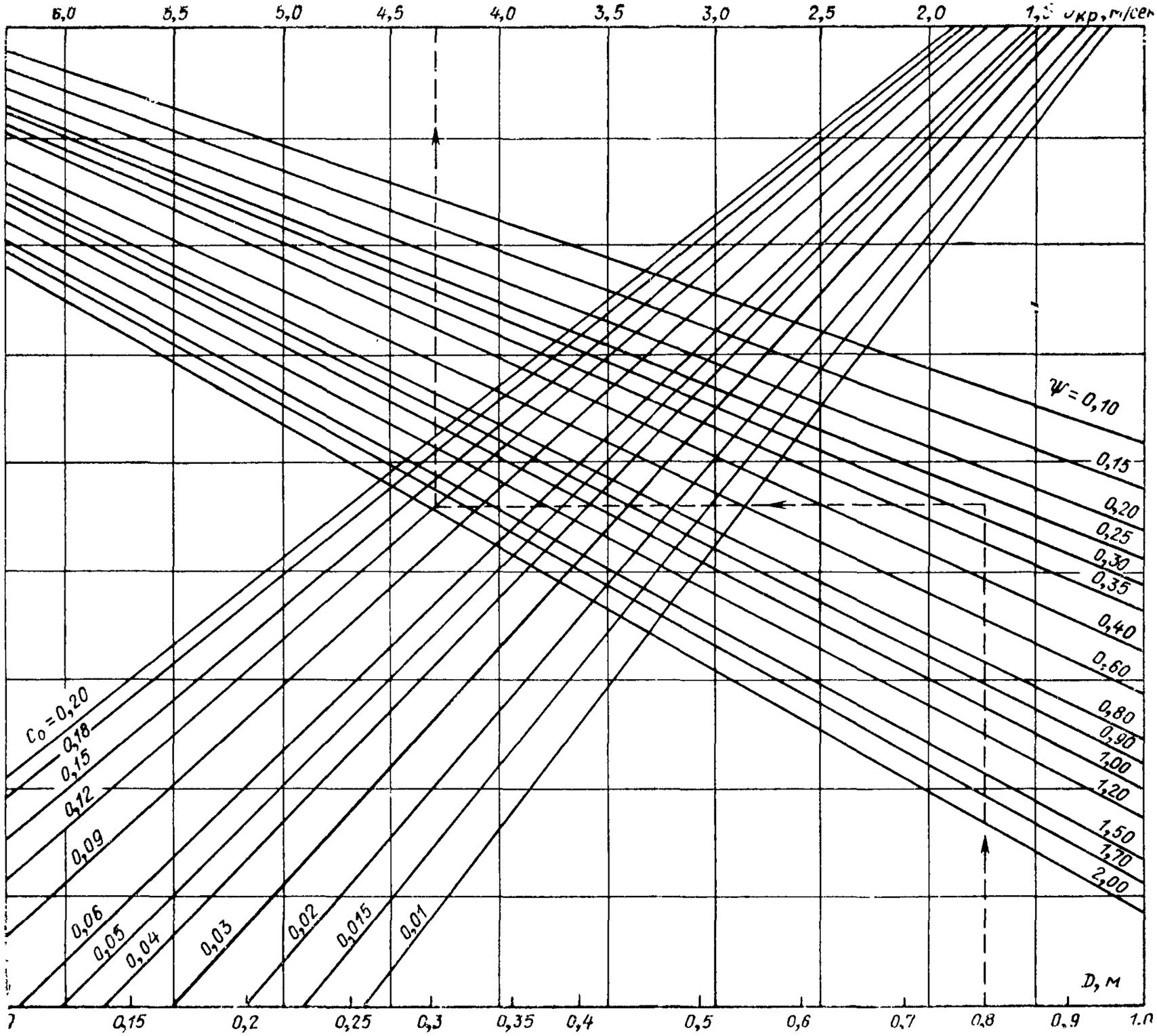


Рис. 3. Номограмма для расчета $v_{кр}$ по формуле $v_{кр} = 8{,}3 \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{\Psi_{ср} c_0}$

$$j = \frac{3d_{10}}{d_{90}},$$

где d_{10} и d_{90} — крупности частиц грунта, меньше которых в составе содержится соответственно 10 и 90%; d_{10} и d_{90} определяются по кривой гранулометрического состава грунта

2 6. Если транспортируемый грунт представляет смесь двух грунтов и кривая распределения фракций по крупности является двухмодальной, то разнозернистость $j_{ср}$ определяется как средневзвешенная величина разнозернистости каждого грунта в отдельности, т. е.:

$$j_{ср} = \frac{j_1 p_1 + j_2 p_2}{p_1 + p_2},$$

где p_1 и p_2 — процентное содержание каждой составляющей грунта по весу в составе пробы грунта, j_1 и j_2 — коэффициенты разнозернистости каждой составляющей грунта.

2.7. Расчеты гидротранспортных систем выполняются по осредненному (средневзвешенному) гранулометрическому составу грунтового массива: карьера, штабеля и т. п. В случаях, когда в грунтовом массиве содержатся разновидности грунта, гранулометрический состав которых существенно отличается от осредненного, рекомендуется выполнять поверочный расчет запроектированной системы на транспортирование указанных разновидностей грунта.

3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А. Расчет критической скорости движения гидросмеси

3.1. Критическая скорость движения гидросмеси определяется по формуле:

$$v_{кр} = 8{,}3 \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{c_0 \psi_{ср}},\ м/сек, \qquad (1)$$

где D — диаметр трубопровода, *м*. Критическую скорость можно определять также по номограмме рис. 3

3.2. Расход гидросмеси при критической скорости транспортирования, определяется по формуле

$$Q_{см.кр} = \frac{\pi D^2}{4} v_{кр}. \qquad (2)$$

3.3. Высота неподвижного слоя отложения грунта ΔH_3 в горизонтальном трубопроводе при $Q_{см} < Q_{см.кр}$ определяется по формуле:

$$\Delta H_3 = 0{,}4D \sqrt[3]{\frac{Q_{см.кр}}{Q_{см}} - 1}\ .\ м. \qquad (3)$$

3.4 Диаметр трубопровода гидротранспортной системы рекомендуется подбирать с учетом обеспечения режима работы системы без заиления. Работа системы в режиме заиления должна быть обоснована технико-экономическим расчетом

Б. Расчет удельных потерь напора на трение

3.5. Удельные потери напора при гидравлическом транспорте грунта в горизонтальных напорных трубопроводах определяются по формуле

$$I_{см} = I_в + \Delta I, \qquad (4)$$

где $I_{см}$ и $I_в$ — удельные потери напора при движении в одном и том же трубопроводе, соответственно, гидросмеси и чистой воды (без транспортируе-

мой взвеси) при одинаковых объемных расходах; ΔI — дополнительные (по сравнению с $I_в$) удельные потери напора, обусловленные наличием твердых частиц в потоке гидросмеси.

Примечания. 1. При режиме заиления значения $I_в$ принимаются равными удельным потерям напора при движении чистой воды со скоростью $v_{кр}$.

2. Определение $I_в$ можно производить.

а) с помощью графика рис. 4 — для новых стальных трубопроводов или стальных трубопроводов, ранее использовавшихся только для гидравлического транспорта;

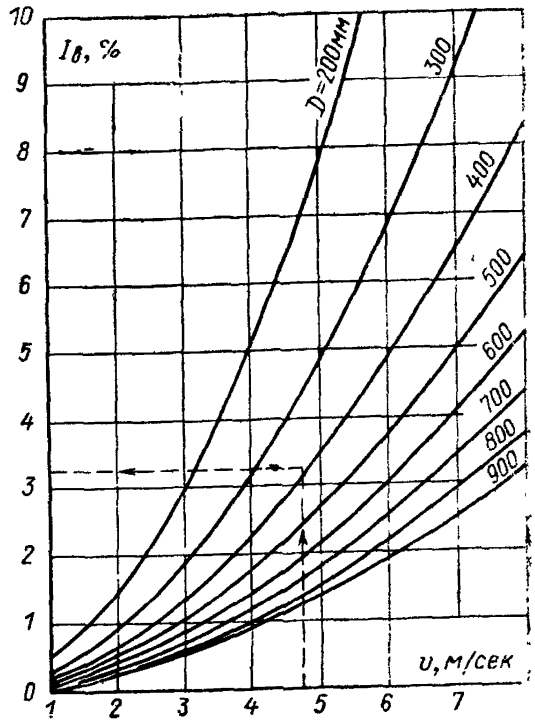
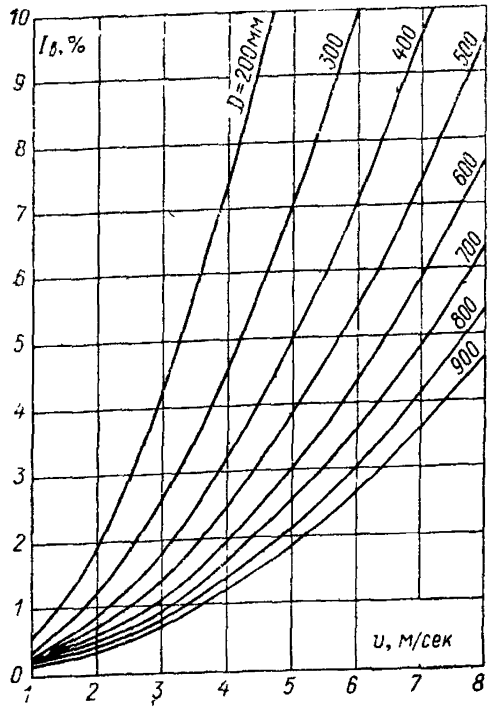


Рис. 4. График для определения удельных потерь напора на трение при движении воды в трубопроводах из новых стальных труб.



б) с помощью графика рис. 5 — для стальных труб, эксплуатировавшихся ранее как водопроводные, или для труб с корродированной внутренней поверхностью.

3.6. Удельные потери напора в трубопроводе при движении чистой воды определяются по формуле

$$I_в = \lambda_в \frac{v^2}{2gD}, \qquad (5)$$

где $\lambda_в$ — коэффициент гидравлического трения трубопровода; g — ускорение силы тяжести 9,81 *м/сек*^{2}.

3.7. Коэффициент гидравлического трения для новых стальных трубопроводов или стальных трубопроводов, ра-

Рис. 5. График для определения удельных потерь напора на трение при движении воды в трубопроводах из стальных корродированных труб.

нее использовавшихся только для гидравлического транспорта, вычисляется по формуле

$$\lambda_в = \frac{0{,}31}{(\lg \mathrm{Re} - 1)^2}, \qquad (6)$$

где $\mathrm{Re} = \frac{vD}{\nu}$, ν — кинематический коэффициент вязкости воды, *м²/сек*; при температуре воды 20° $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ *м²/сек*.

В случае использования для гидравлического транспорта стальных труб, эксплуатировавшихся ранее как водопроводные, или труб с корродированной внутренней поверхностью, коэффициент $\lambda_в$ рекомендуется вычислять по формуле

$$\lambda_в = 0{,}24 \left[\frac{1{,}9 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{1}{\mathrm{Re}}\right]^{0{,}226}, \qquad (7)$$

где D выражается в *м*.

Вычисленные по формулам (6), (7) величины коэффициентов сопротивления $100\lambda_в$ в диапазоне скоростей 1,0—8,0 *м/сек* для стандартных диаметров труб приведены в табл. 3.

Таблица 3

v, *м/сек*	Диаметры труб *D*, *м*								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
Гидравлически гладкие трубопроводы									
1,0	1,93	1,66	1,54	1,45	1,40	1,35	1,32	1,30	1,25
1,5	1,66	1,54	1,43	1,35	1,30	1,29	1,23	1,20	1,17
2,0	1,68	1,46	1,35	1,29	1,24	1,19	1,16	1,14	1,12
2,5	1,60	1,40	1,30	1,23	1,19	1,15	1,12	1,10	1,08
3,0	1,54	1,35	1,26	1,19	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05
3,5	1,51	1,32	1,23	1,16	1,12	1,09	1,06	1,04	1,02
4,0	1,47	1,29	1,19	1,14	1,10	1,07	1,04	1,02	1,00
4,5	1,43	1,26	1,17	1,11	1,08	1,04	1,02	1,00	0,98
5,0	1,40	1,23	1,15	1,10	1,06	1,03	1,00	0,98	0,97
5,5	1,37	1,21	1,13	1,08	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95
6,0	1,35	1,20	1,12	1,07	1,03	1,00	0,98	0,96	0,94
8,0	1,29	1,14	1,07	1,02	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90
Трубопроводы шероховатые (с корродированной поверхностью)									
1,0	2,27	1,93	1,77	1,66	1,58	1,51	1,46	1,42	1,38
1,5	2,20	1,88	1,72	1,61	1,53	1,47	1,42	1,38	1,34
2,0	2,17	1,85	1,70	1,59	1,51	1,45	1,40	1,36	1,32
2,5	2,15	1,83	1,68	1,57	1,49	1,44	1,39	1,34	1,31
3,0	2,14	1,82	1,67	1,56	1,48	1,43	1,38	1,34	1,30
3,5	2,13	1,81	1,66	1,55	1,48	1,42	1,37	1,33	1,20
4,0	2,12	1,80	1,65	1,55	1,47	1,41	1,37	1,32	1,29
4,5	2,11	1,80	1,65	1,54	1,47	1,41	1,36	1,32	1,28
5,0	2,11	1,79	1,64	1,54	1,46	1,41	1,36	1,32	1,28
5,5	2,10	1,79	1,64	1,54	1,46	1,40	1,36	1,31	1,28
6,0	2,10	1,79	1,64	1,53	1,46	1,40	1,36	1,31	1,28
8,0	2,10	1,79	1,63	1,53	1,46	1,40	1,35	1,31	1,28

3.8. Расчет дополнительных удельных потерь напора производится по формуле

$$\Delta I = \delta \sqrt[4]{j}\ \sqrt[3]{c_0^2}\ \frac{Q_{см.кр}}{Q_{см}}, \qquad (8)$$

где δ — коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц грунта $d_0 : D$ и определяемый по табл. 4.

Таблица 4

$100\frac{d_0}{D}$	Диаметр труб D, м						
	0,10—0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0,05	0,050	0,051	0,052	0,053	0,054	0,055	0,056
0,10	0,090	0,100	0,110	0,125	0,140	0,150	0,160
0,15	0,120	0,130	0,155	0,180	0,210	0,230	0,250
0,20	0,140	0,170	0,205	0,240	0,270	0,300	0,330
0,30	0,180	0,210	0,260	0,300	0,340	0,375	0,410
0,4	0,215	0,275	0,325	0,370	0,400	0,435	0,475
0,5	0,230	0,305	0,360	0,405	0,440	0,475	0,505
0,6	0,240	0,330	0,380	0,430	0,470	0,505	0,535
0,7	0,247	0,350	0,400	0,450	0,490	0,530	0,560
0,8	0,250	0,365	0,410	0,465	0,510	0,545	0,580
0,9	0,255	0,375	0,420	0,480	0,530	0,565	0,605
1,0	0,260	0,385	0,430	0,490	0,540	0,580	0,615
1,5	0,270	0,402	0,460	0,530	0,580	0,630	0,665
2,0	0,280	0,415	0,470	0,550	0,595	0,650	0,690
2,5	0,285	0,425	0,480	0,565	0,605	0,665	0,705
3,0	0,290	0,430	0,490	0,575	0,620	0,675	0,715
3,5	0,295	0,435	0,500	0,585	0,630	0,680	0,725
4,0	0,300	0,450	0,510	0,595	0,635	0,685	0,730
4,5	0,300	0,450	0,520	0,600	0,640	0,690	0,735
5,0	0,300	0,450	0,530	0,600	0,640	0,690	0,735

При $100\frac{d_0}{D} < 0{,}05$ коэффициент $\delta = 100\frac{d_0}{D}$.

В. Расчет местных гидравлических сопротивлений

3.9. Суммарные потери напора $h_з$ м вод. ст. (местные и на трение) при движении гидросмеси в напорных трубопроводах в пределах корпуса земснаряда определяются по формуле

$$h_з = \zeta_з \frac{v^2}{2g}, \qquad (9)$$

где $\zeta_з$ — коэффициент гидравлических сопротивлений, зависящий от консистенции гидросмеси и определяемый по табл. 5.

Таблица 5

Марка земснаряда	Консистенция гидросмеси		
	c_0=0,05	c_0=0,10	c_0=0,15
1000-80	0,90	1,05	1,20
500-60	1,30	1,45	1,70
300-40	1,65	1,90	2,20

Примечание. Коэффициент $\zeta_з$ для консистенций $c_0 > 0{,}15$ определяется экстраполяцией.

3.10. Удельные суммарные (местные и на трение) потери напора $I_{см.п}$ в плавучем трубопроводе с полноповоротными шарнирными сочленениями вычисляются по формуле

$$I_{см.п} = \beta I_{см}, \qquad (10)$$

где β — коэффициент, зависящий от угла между сочленениями трубопровода и изменяющийся от 1,2 до 2,8, в расчетах рекомендуется принимать $\beta=2,0$

3 11 Потери напора в отводах трубопровода при гидравлическом транспорте $h_м$ *м* вод ст следует определять по формуле

$$h_м = \zeta_м \frac{v^2}{2g} \frac{\gamma_{см}}{\gamma_в}, \qquad (11)$$

где $\zeta_м$ — коэффициент местных гидравлических сопротивлений в отводах, определяемый по табл. 6

Таблица 6

Плавное закругление оси									Резкий поворот оси	
$\alpha=90°$			$\alpha=60°$			$\alpha=30°$				
$\frac{R}{D}=1$	1,5	3,0	1	1,5	3,0	1	1,5	3,0	$\alpha=60°$	$\alpha=30°$
0,45	0,40	0,24	0,30	0,20	0,16	0,10	0,07	0,05	0,50	0,16

Примечание. R — радиус закругления оси отвода, D — диаметр отвода.

3.12 Удельные потери напора $I_{см\,\alpha}$ на трение в наклоненных к горизонту трубопроводах вычисляются по формуле

$$I_{см\alpha} = I_в + (I_{см} - I_в)\cos\alpha, \qquad (12)$$

где α — угол наклона оси трубопровода к горизонту

Примечание Расчет потерь напора в наклоненных к горизонту участках трубопровода по формуле (12) выполняется только тогда, когда длина этих участков превышает 10% общей длины трубопровода и угол наклона составит более 25°.

3 13 Удельные суммарные (местные и на трение) потери напора $I_{см}$. в разводящих на карте намыва трубопроводах, монтируемых на быстроразъемных соединениях, рекомендуется вычислять по формуле

$$I_{см\,р} = 1,5I_{см}. \qquad (13)$$

Г. Расчет суммарных потерь напора в трубопроводах при гидравлическом транспорте

3.14. При работе земснаряда общие потери напора складываются из потерь напора во внутренних трубопроводах и арматуре, в плавучем трубопроводе, в магистральном трубопроводе, за счет местных сопротивлений, потерь напора на преодоление геодезического подъема по трассе трубопровода, а также, обычно пренебрегаемых, потерь напора на кинетическую энергию при выбросе гидросмеси из трубы. Суммарные потери напора выражаются формулой

$$H = k\,[h_з + h_м + I_{см.п}l_п + I_{см\alpha}l_\alpha + I_{см}l + I_{см.р}l_р] + h_г, \qquad (14)$$

$k = 1,15$, рекомендуемый коэффициент „запаса"; $l_п$, l_α, l, $l_р$ — длины плавучего, наклоненного, магистрального и разводящего трубопроводов; $h_з$ — потери напора в напорном трубопроводе в пределах земснаряда; $h_м$ — потери напора в местных сопротивлениях; $h_г$ — потери напора на преодоление геодезического подъема.

Величина $h_г$ *м* вод. ст. вычисляются по формуле

$$h_г = \pm \Delta z \frac{\gamma_{см}}{\gamma_в}, \qquad (15)$$

здесь Δz — разность геодезических отметок оси грунтового насоса и оси трубопровода в месте выпуска гидросмеси, *м* Знак (+) берется в случае подъема трубопровода, знак (—) в случае понижения

3.15 Потери напора за счет всех местных сопротивлений в расчетах на стадии проектного задания разрешается принимать в размере 10% от потерь напора на трение

3 16 Потери напора во всасывающем трубопроводе определяются особенностями конструкции грунтозаборного устройства земснаряда. Потерями напора на геодезический подъем гидросмеси во всасывающей трубе можно пренебрегать

4. ПЕРЕСЧЕТ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ С ВОДЫ НА ГИДРОСМЕСЬ

4.1. Расчеты гидравлической системы выполняются с помощью расходно-напорной ($Q-H$) и расходно-мощностной ($Q-N$) характеристик грунтовых насосов при работе на гидросмесях различной консистенции и разной степени износа рабочего колеса насоса

4 2. Характеристики грунтовых насосов определяются специальными испытаниями на воде и приведены в «Альбоме оборудования для гидромеханизации» (Том 1, Грунтовые насосы и землесосы, Информэнерго, Москва, 1970 г). При работе на гидросмеси характеристики насоса изменяются в зависимости от консистенции и гранулометрического состава грунта. Кроме того, характеристика насоса изменяется во времени вследствие абразивного износа рабочего колеса.

4.3. Определение напора, создаваемого новым грунтовым насосом при работе на гидросмеси, производится по формуле·

$$H_{см} = k_0 H_в \left[1 + \frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\psi}}\right], \tag{16}$$

где $H_в$ — напор, развиваемый новым насосом при работе на воде; k_0 — безразмерный коэффициент, принимаемый равным единице для грунтовых насосов всех типов кроме 20Р-11 и 500-60.

Для грунтовых насосов типа 20Р-11 и 500-60 коэффициент k_0 принимается

$$\begin{aligned} &\text{при } Q_{см} \leqslant Q_0 \qquad k_0 = 1{,}0, \\ &\text{при } Q_{см} \geqslant Q_0 \qquad k = 1 + 25 c_0 \lg \frac{Q_0}{Q_{см}}, \end{aligned} \tag{17}$$

где $Q_0 = 0{,}8 Q_{см.макс}$; $Q_{см.макс}$ — максимальный расход нового грунтового насоса при работе на гидросмеси;

$$Q_{см.макс} = Q_{в.макс}\,[1 - 1{,}65 c_0]; \tag{18}$$

$Q_{в\ макс}$ — максимальный расход при работе насоса на воде принимается равным

для насоса типа 20Р-11 — 4800 *м³/ч*;

для насоса типа 500-60 — 10500 *м³/ч*.

Для прочих насосов $Q_{в.макс}$ принимается по рабочим характеристикам.

4.3. При пересчете рабочих характеристик частично или полностью изношенного грунтового насоса в формулу (16) вместо $H_в$ следует подставлять

$$H_{в.из} = H_в\,[1 - a_1^q q^5], \tag{19}$$

а вместо $Q_{в\ макс}$

$$Q_{в\ макс\ из} = Q_{в\ макс}\,[1 - a_2^q q^5], \tag{20}$$

где a_1 и a_2 — опытные коэффициенты (табл. 7); q — доля перекаченного насосом грунта от общего нормативного количества грунта, определяющего срок службы рабочего колеса

Таблица 7

Наименование грунтов	a_1	a_2
Песчаный . .	0,15	0,30
Гравийный . .	0,10	0,14

Примечания. 1. Количество перекаченного насосом грунта, определяющее срок службы (ресурс работы) рабочего колеса, рекомендуется принимать по статистическим данным производственных предприятий

2 Приведенные формулы не рекомендуется применять для расчета работы грунтовых насосов, реставрированных с помощью электросварки в производственных условиях

4.4. Пересчет коэффициента полезного действия грунтового насоса при работе на гидросмеси осуществляется по формуле

$$\eta_{см} = \eta_в (1 - 0{,}33c_0), \qquad (21)$$

где $\eta_{см}$ — к. п. д. грунтового насоса при работе на гидросмеси консистенции c_0; $\eta_в$ — к. п. д. грунтового насоса при работе на воде (принимается по соответствующей характеристике насоса в «Альбоме оборудования для гидромеханизации»).

4 5 Пересчет мощности на валу при работе на гидросмеси выполняется по формуле

$$N_{см} = N_в \frac{H_{см}}{H_в} \frac{\eta_в}{\eta_{см}}, \qquad (22)$$

где $N_в$ и $N_{см}$ — мощность грунтового насоса на валу при работе на воде и на гидросмеси.

Примечание. К. п. д. для изношенного насоса принимается как для нового насоса по формуле (21).

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

А. Расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по рабочим характеристикам насоса и трубопровода

5.1. Расчетом совместной работы грунтового насоса и трубопровода определяются энергетически наивыгоднейшие для данной гидротранспортной системы консистенции и расходы гидросмеси, т. е. такие, при которых затраты энергии на транспортирование единицы объема грунта (удельные затраты энергии) будут наименьшими. Одновременно должно быть выдержано условие устойчивой работы системы без опасности закупорки трубопровода.

Примечание В дальнейшем, под словом «наивыгоднейший» следует понимать «энергетически наивыгоднейший».

5 2. Совместная работа грунтового насоса и трубопровода возможна при режимах, когда их расходно-напорные ($Q — H$) характеристики пересекаются (рис. 6).

Примечания. 1. Пересчет ($Q — H$) характеристики грунтового насоса с воды на гидросмесь выполняется по формулам раздела 4.

2 ($Q — H$) характеристика трубопровода на воде и гидросмеси строится для принятых диаметра и длины трубопровода с учетом геодезического подъема по формулам (1)—(15).

3. В качестве расчетной рекомендуется принимать характеристики средние между характеристиками нового и изношенного насосов.

5 3. По точкам пересечения ($Q-H$) характеристик насоса и трубопровода определяют расход, который может подать насос в данный трубопровод, уложенный по проектируемой трассе, при той или иной консистенции гидросмеси Консистенция гидросмеси, определяемая точкой касания ($Q-H$) характеристик (точка e на рис. 6), является предельной, при ко-

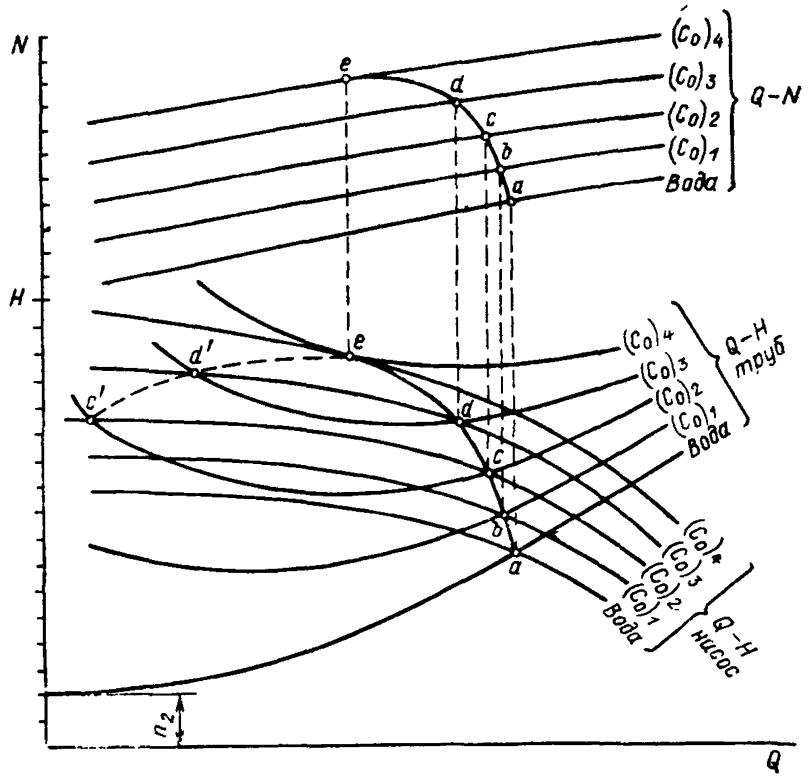


Рис. 6. Расходно-напорные характеристики насоса и трубопровода.

торой возможна работа грунтового насоса в данных условиях гидравлического транспорта (левее точки e все режимы работы насоса неустойчивы).

5.4. Наивыгоднейшая консистенция вычисляется так:

а) для каждой точки пересечения расходно-напорных характеристик насоса и трубопровода находятся расходы гидросмеси для принятых величин консистенции c_0 (рис. 6);

б) для каждой точки пересечения расходно-напорных характеристик насоса и трубопровода по расходно-мощностным характеристикам определяется мощность $N_{см}$ для принятых величин консистенций c_0 (рис. 6);

в) для найденных величин $N_{см}$ и $Q_{см}$ и принятых величин c_0 вычисляется производительность гидротранспортной системы по грунту $Q_т$ и удельные затраты энергии $E_{см}$:

$$Q_т = Q_{см} c_р; \qquad (23) \qquad E_{см} = N_{см}/Q_т, \qquad (24)$$

где $c_р$ — расходная консистенция гидросмеси, определяемая в зависимости от c_0 по табл. 1.

Примечание. Зависимости $Q_{см} = f_1(c_0)$; $N_{см} = f_2(c_0)$; $Q_т = f_3(c_0)$ и $E_{см} = f_4(c_0)$ представляются в графической форме (рис. 7).

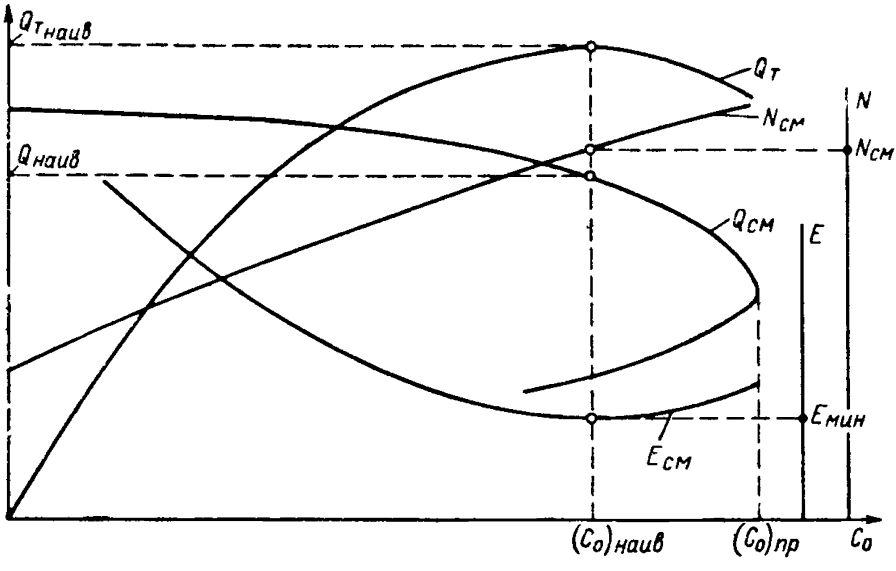


Рис. 7. График зависимости $Q_{см} = f_1(c_0)$; $N_{см} = f_2(c_0)$; $Q_т = f_3(c_0)$; $E_{см} = f_4(c_0)$.

5.5. Консистенция $c_{0\,наив}$, соответствующая $E_{см\,мин}$, является наивыгоднейшей для данной гидротранспортной системы. При отсутствии минимума $E_{см} = f_4(c_0)$ расчетное значение консистенции $c_{0\,наив}$ принимается из условия устойчивой работы гидротранспортной системы:

$$c_{0\,наив} = 0{,}8 c_{0.пр},$$

где $c_{пр}$ — консистенция, определяемая по точке касания $(Q - H)$ характеристик насоса и трубопровода.

Тип грунтового насоса	Диаметр колеса, *мм*	Расход		Напор, *м* вод. ст.	К. п. д. %	Число оборотов, *об/мин*
		м³/ч	*л сек*			
1000-80	2310	14000	3900	78	78	300
500-60	1330	8500	2370	62	68	500
20Р-11 (300-40)	1230	4200	1170	52	57	495
3ГМ-2М	850	2160	600	50	65	735
3ГМ-1-350А	865	1900	527	61	69	740
	910	1900	527	43	70	590
20Гру-8л	1360	5200	1450	63	70	500
16Гру-8л	1030	2000	555	60	68	590
10Гру-8л	700	900	250	38	72	730

5 6. Для принятого значения $c_{0\,\text{наив}}$ и соответствующего ему $Q_{\text{см наив}}$ определяется статическая высота всасывания $H_{\text{вс}}$ грунтового насоса:

$$H_{\text{вс}} = (H_{\text{г}} + H_{\text{к}}) \frac{\gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{в}}} - H_{\text{к}} + H_{\text{см.вс}}, \; м, \tag{25}$$

где $H_{\text{г}}$ — геодезическая высота всасывания (разница отметок оси насоса и уровня воды), $H_{\text{к}}$ — глубина погружения всасывающего наконечника под уровень воды, *м*; $H_{\text{см вс}}$ — суммарные потери напора местные и на трение при движении гидросмеси во всасывающем трубопроводе, *м*

5.7. Ориентировочная предельная статическая высота всасывания $H_{\text{вс.пр}}$ вычисляется по формуле:

$$H_{\text{вс.пр}} = 10\left[1 - \left(\frac{n\sqrt{Q_{\text{см}}}}{\varkappa}\right)^{4/3} \frac{\gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{в}}}\right], \; м \tag{26}$$

где n — число оборотов рабочего колеса землесоса *об/мин*; $\varkappa$ — „кавитационная" быстроходность насоса. Для грунтовых насосов современной конструкции $\varkappa$ можно определить по формуле

$$\varkappa = \frac{4400}{\left(\frac{715}{m^4} + 0{,}2m^2\right)^{3/4}} \tag{27}$$

$$m = \frac{D_0}{\sqrt[3]{\frac{Q_{\text{см}}}{n}}}; \tag{28}$$

где D_0 — входной диаметр рабочего колеса, *м*; $Q_{\text{см}}$ —расход гидросмеси, $м^3/мин$.

При $H_{\text{вс}} > H_{\text{вс.пр}}$ необходимо изменить условия всасывания или уменьшить расчетную величину c_0.

Б. Упрощенный расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по паспортным (табличным) данным грунтового насоса

5.8 Для временных трубопроводов, прокладываемых на период строительного сезона, и для коротких магистральных трубопроводов определение режима работы гидротранспортной системы разрешается выполнять упрощенно с помощью паспортных (табличных) данных грунтового насоса (табл. 8).

Таблица 8

Допустимая высота всасывания, *м* вод. ст.	Наибольшие размеры крупных включений грунта, *мм*	Мощность, *квт*		Рекомендуемый тип электродвигателя	Диаметры патрубков, *мм*	
		на валу	электродвигателя		всасывающего	напорного
5,0	350	4300	4400	ДАП 260/99-20	854	672
4,8	350	2200	2440	СМ 3000-500	600	600
5,0	220	1150	1250	СДН 16-41-12	500	500
5,2	190	520	630	АК-13-62-8	350	300
4,5	210	520	630	АК-13-62-8	350	350
5,5	210	375	500	АК-13-62-10	350	350
7,5	300	1450	1600	СДН3-16-51-12	500	450
7,2	230	600	630	АКН-14-46-10	400	350
7,6	150	150	200	АК-112-8	250	200

5.9 Диаметр стандартного трубопровода, в котором движение гидросмеси должно осуществляться в режиме скоростей, близких к критическим, определяется по формуле

$$D = 2\sqrt{\frac{Q_{в.пасп}}{\pi v_{кр}}}, \qquad (29)$$

где $Q_{в\ пасп}$ — паспортный (табличный) расход по воде выбранного грунтового насоса; $v_{кр}$ — критическая скорость, вычисленная по формуле (1).

5 10. Величина нормативной по ЕРЕР консистенции при расчете критической скорости по формуле (1) принимается в зависимости от группы грунта по ЕРЕР (при пористости 35%) согласно табл. 9.

Таблица 9

Группа грунта по ЕРЕР	Наименование грунта по СНиП II-Б. 1-62	Т : Ж по ЕРЕР	c_0
I	Песок пылеватый	1 : 7	0,088
II	Песок мелкий и средний	1 : 9	0,068
III	Песок крупный	1 : 11	0,056
IV	Песок гравелистый	1 : 14	0,044
V	Грунт гравийный	1 : 18	0,035
VI	Грунт гравийно-галечниковый	1 : 22	0,028

Примечания.

1. Определение диаметра трубопровода производится подбором с помощью формул (1) и (29) или по номограмме (рис 8).

2. При несовпадении вычисленного диаметра трубопровода со стандартным следует принимать ближайший стандартный диаметр по сортаменту труб.

5.11. Ориентировочно диаметр трубопровода можно определить в зависимости от используемого оборудования и наименования транспортируемого грунта по данным табл. 10.

Таблица 10

Тип грунтового насоса	Категория грунта по ЕРЕР	
	I, II, III	IV, V, VI
	Диаметр трубопровода, *мм*	
1000-80	1000	900
500-60	700	600
20Р-11 (300-40)	600	500
3ГМ-1-350А	400	350
8Гр-8	300	250

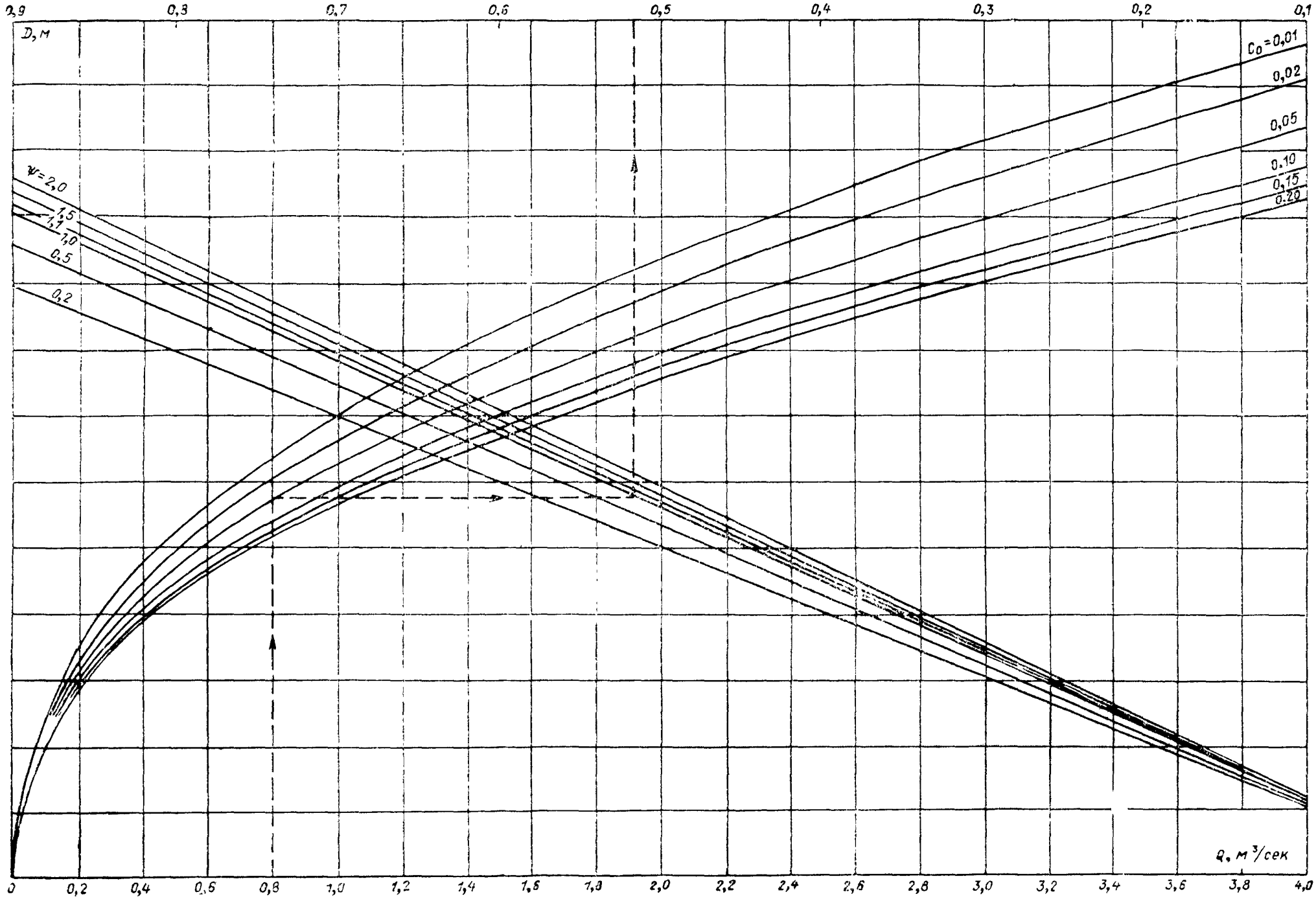


Рис. 8. Номограмма для определения диаметра трубопровода D

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ, ПОДАЮЩИХ ГРУНТОВЫЕ СМЕСИ

В основу методики расчета удельных потерь напора при движении гидросмеси в напорных трубопроводах положена наиболее распространенная среди исследователей двухчленная формула

$$I_{см} = I_в + \Delta I, \tag{30}$$

где $I_{см}$ — удельные потери напора при движении гидросмеси, $I_в$ — то же при движении воды; ΔI — дополнительные удельные потери, вызванные наличием в потоке твердых частиц.

Как показывают опытные материалы, в диапазоне скоростей от $v = v_{кр}$ до $v = (2 \div 3)\, v_{кр}$ величина ΔI обратно пропорциональна первой степени скорости и ее можно записать в виде:

$$\Delta I = \frac{B}{v}, \tag{31}$$

где B — параметр, не зависящий от скорости и являющийся функцией различных характеристик гидросмеси, а также ее жидкой и твердой составляющих.

Учитывая, что $I_в$ находится, приблизительно, в прямой зависимости от v^2, формулу (30) можно представить в виде:

$$I_{см} = Av^2 + \frac{B}{v}. \tag{32}$$

Структура формулы (32) предопределяет наличие на изоконсистентной кривой $I_{см} = f(v)$ точки, в которой $I_{см}$ — минимально, что подтверждается и данными отечественных и зарубежных исследований гидротранспорта песчаных и гравийных грунтов. Скорость v_0, соответствующая минимуму кривой $I_{см} = f(v)$, определяется по формуле

$$v_0 = \sqrt[3]{\frac{B}{2A}}. \tag{33}$$

С учетом (33) формулу (32) можно записать в виде:

$$I_{см} = I_в \left[1 + 2\left(\frac{v_0}{v}\right)^3\right]. \tag{34}$$

Формула (34) была рекомендована в «Указаниях» 1967 г. в качестве расчетной для определения удельных потерь напора на трение при движении гидросмеси по напорным трубопроводам.

В общем случае скорость v_0 не совпадает с критической скоростью $v_{кр}$, при которой начинается осаждение частиц грунта или материала в нижней части трубы, однако, с достаточной точностью для практики можно считать, что минимальные удельные потери напора отвечают критическому ре-

жиму транспортирования, так как величины $I_{кр}$ и $I_{мин}$ отличаются незначительно Поэтому в настоящей Инструкции в качестве расчетной принята формула, имеющая структуру формулы (30). Величина $\Delta I_{кр}$ была определена на основании опытных данных, которыми авторы располагали еще при составлении «Указаний» 1967 г, а также на основе дополнительных данных, полученных на различных экспериментальных установках в течение 1967—1969 гг

Окончательная формула для расчета удельных потерь напора при гидравлическом транспорте песчаных и гравийных грунтов в горизонтальных трубопроводах получена в следующем виде:

$$I_{см} = \lambda_в \frac{v^2}{2gD} - \delta \sqrt[4]{i} \sqrt[3]{c_0^2} \frac{Q_{см\ кр}}{Q_{см}}. \qquad (35)$$

В настоящей Инструкции рассмотрены две характерные группы грунтов, различающихся по своему гранулометрическому составу, так называемые «одномодальные» и «двухмодальные» грунты Зная закономерности распределения фракций в составе, можно получить физически обоснованный параметр разнозернистости грунта обеих групп.

Исследования движения чистой воды в стальных трубопроводах, по которым транспортировался грунт, показали, что гидравлические сопротивления в таких трубах вследствие шлифовки их внутренней поверхности частицами грунта, близки к сопротивлениям в гидравлически гладких трубах. Однако это справедливо лишь для трубопроводов, собранных из новых стальных труб. Если для гидравлического транспорта используются стальные трубы, эксплуатировавшиеся ранее на водопроводных магистралях, или трубы с корродированной поверхностью стенок, то при гидравлическом транспорте эти трубы не отшлифовываются до гидравлически гладких, и при движении в них чистой воды их следует рассчитывать как шероховатые трубы. Поэтому в Инструкции приведены рекомендации по определению коэффициента сопротивления $\lambda_в$ для гидравлически гладких и шероховатых труб.

В результате обработки имеющихся материалов по гидравлическому транспорту песчаных и гравийных грунтов получена формула для расчета высоты слоя отложений в горизонтальном трубопроводе при расходе гидросмеси меньше критического.

Для обоснования методики расчета были использованы материалы лабораторных и производственных исследований по гидравлическому транспорту грунтов, проведенных различными организациями (табл 11). Кроме того использованы данные ВНИИГС, НИИЖелезобетона и др.

В основу расчета гидравлических систем положены условия совместной работы грунтового насоса и трубопровода, поэтому в настоящей Инструкции приведена методика, согласно которой полученные на воде рабочие характеристики грунтовых насосов пересчитываются на гидросмесь различной консистенции с учетом абразивного износа проточной части насоса

На основании различий гидродинамических и кавитационных характеристик грунтовых насосов, можно последние разделить на две группы:

а) насосы, при работе которых увеличение консистенции гидросмеси во всех режимах (кроме срывной кавитации при $Q_{макс}$, рис 9, *а*) сопровождается повышением напора;

б) насосы типа 20Р-11 и 500-60, при работе которых увеличение консистенции гидросмеси вызывает повышение напора лишь до определенного расхода $Q_{пр}$ При расходах, превышающих $Q_{пр}$ (рис. 9,*б*), увеличение консистенции гидросмеси приводит к снижению напора.

Таблица 11

Наименование организации	Место проведения исследований	Диаметр трубопровода, *мм*	Исследованный грунт	Время проведения исследований, гг.
ВНИИГ	Экспериментальная установка в Ленинграде	250	Гравелистый песок и гравийный грунт	1950—1953
ВНИИГ	Экспериментальная установка в Мингечауре	355	Гравийно-галечниковый грунт и гравелистый песок	1951—1953
МИСИ и Трест „Гидромеханизация" Минэнерго СССР	Экспериментальная установка в Дмитрове	250 300 350	Мелкий и крупный песок, гравийный грунт	1935—1938
	Экспериментальная установка в Волгограде	407 514	Крупный песок, гравийно-галечниковый грунт	1965—1966
Институт Гидромеханики АН УССР	Экспериментальная установка в Киеве	104 206 308	Мелкий песок	1960—1965
	Производственная установка на Каховской и Кременчугской ГЭС	614 800	Мелкий песок	1955—1958
МИСИ и УкрНИИгидроуголь	Экспериментальная установка в Донецке	358	Щебенистый грунт, крупностью до 50 *мм* Песчанистый и глинистый сланец крупность до 100 *мм*	1968—1969

В настоящей Инструкции приведен метод пересчета расходно-напорных характеристик для обеих указанных групп насосов. Пересчет рабочих

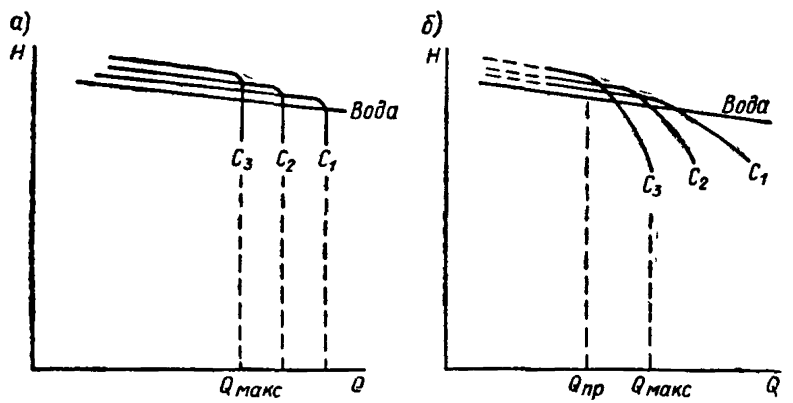


Рис. 9

а) расходно-напорные характеристики насосов; *б)* расходно-напорные характеристики насосов 20Р-11 и 500-60.

характеристик грунтовых насосов при гидроабразивном износе дается в зависимости от количества, пропущенного через насос грунта в долях от нормативного количества, определяющего полный (предельный) износ рабо-

чего колеса. Формулы пересчета расходно-напорных характеристик грунтовых насосов получены на основе обобщения экспериментальных и производственных материалов по насосам типа 12р-7, 3ГМ-1-350А, 10Гру-8Т, 20Р-11 (300-40) и 500-60.

Устойчивая работа грунтового насоса для заданных условий гидравлического транспорта возможна, когда расходно-напорные характеристики насоса и трубопровода пересекаются в одной точке Точка пересечения этих характеристик определяет расход гидросмеси или воды, который может подать насос в трубопровод, уложенный по выбранной трассе В Инструкции приведен метод расчета энергетически наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы, при котором затраты энергии на транспортирование единицы объема грунта (удельные затраты энергии) наименьшие. Как известно, в стоимость гидротранспорта включаются и другие затраты на амортизацию оборудования, оплату обслуживающего персонала и др Однако эти затраты будут для данной гидротранспортной системы постоянными, поэтому в приводимом методе расчета они не рассматриваются Учитывая, что при перекачке грунта происходит изменение расходно-напорной характеристики грунтового насоса в качестве расчетной рекомендуется принимать среднюю характеристику между характеристиками нового и изношенного насосов, а затем определяют наивыгоднейшие для заданных условий гидравлического транспорта расход гидросмеси и ее консистенцию

В Инструкции приведен упрощенный метод расчета гидротранспортной системы, основанный на паспортных (табличных) данных грунтовых насосов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов (по СНиП II-Б. 1-62)

Наименование крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности от веса сухого грунта, %
Крупнообломочные	
Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц—галечниковый)	Вес частиц крупнее 10 *мм* составляет более 50%
Грунт дресвяный (при преобладани окатанных частиц—гравийный)	Вес частиц крупнее 2 *мм* составляет более 50%
Песчаные	
Песок гравелистый	Вес частиц крупнее 2 *мм* составляет более 25%
Песок крупный	Вес частиц крупнее 0,5 *мм* составляет более 50%
Песок средней крупности	Вес частиц крупнее 0,25 *мм* составляет более 50%
Песок мелкий	Вес частиц крупнее 0,10 *мм* составляет более 75%
Песок пылеватый	Вес частиц крупнее 0,10 *мм* составляет менее 75%

Примечание. Для установления наименования последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта, сначала крупнее 10 *мм*, затем крупнее 2 *мм*, далее крупнее 0,5 *мм* и т. д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения $c_0^{1,2}$; $c_0^{1/6}$; $c_0^{2/3}$

c_0	$c_0^{1,2}$	$c_0^{1/6}$	$c_0^{2/3}$	c_0	$c_0^{1,2}$	$c_0^{1/6}$	$c_0^{2/3}$
0,01	0,0040	0,463	0,0465	0,11	0,0709	0,692	0,2300
0,02	0,0091	0,521	0,0742	0,12	0,0785	0,703	0,2440
0,03	0,0148	0,557	0,0966	0,13	0,0865	0,711	0,2560
0,04	0,0209	0,585	0,1170	0,14	0,0945	0,721	0,2700
0,05	0,0276	0,606	0,1355	0,15	0,1028	0,730	0,2820
0,06	0,0338	0,625	0,1530	0,16	0,1110	0,736	0,2940
0,07	0,0407	0,641	0,1700	0,17	0,1190	0,745	0,3070
0,08	0,0479	0,656	0,1860	0,18	0,1281	0,752	0,3200
0,09	0,0556	0,670	0,2010	0,19	0,1365	0,759	0,3300
0,10	0,0631	0,680	0,2150	0,20	0,1450	0,765	0,3420

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по рабочим характеристикам грунтового насоса и трубопровода

Разработать и перекачать мелкий песок земснарядом 300-40 с грунтовым насосом 20Р-11 на расстояние 1500 *м* с геодезическим подъемом 10 *м*. Гранулометрический состав мелкого песка приведен в табл 12

Таблица 12

Размер фракций, *мм*	> 0,50	0,50 — 0,25	0,25 — 0,10	0,10 — 0,05
Содержание, %	0,5	11,8	70,0	17,7

Определение характеристик грунта. 1. Строятся кривая гранулометрического состава и гистограмма (рис. 10). С помощью гистограммы устанавливается, что рассматриваемый грунт (мелкий песок по СНиП II-Б 1-62) относится к группе одномодальных грунтов. По трудности разработки — грунт II категории

2. По кривой гранулометрического состава определяются показатели состава $d_{10} = 0{,}075$ *мм* и $d_{90} = 0{,}27$ *мм*.

3. Подсчитываются:

коэффициент разнозернистости $j = \frac{3 \cdot 0{,}075}{0{,}27} = 0{,}83$;

средневзвешенная крупность грунта $d_0 = \frac{1}{100}(1{,}075 \cdot 17 \cdot 7 + 0{,}175 \cdot 70 +$

$+ 0{,}375 \cdot 11{,}8 + 0{,}50 \cdot 0{,}50) = 0{,}18$ *мм*;

средневзвешенный коэффициент $\Psi_{ср} = \frac{1}{100}[0{,}02\ 17{,}7 + 0{,}2\ 70 + 0{,}4 \cdot 11{,}8 +$

$+ 0{,}8 \cdot 0{,}5] = 0{,}20$.

Пересчет расходно-напорной характеристики нового грунтового насоса типа 20Р-11 1. Вычисление коэффициента k_0. Максимально возможный расход насоса при работе на воде равен $Q_{в\ макс} = 4800$ м³/ч. Результаты вычисления $Q_{см\ макс}$ и Q_0 по формуле (18) при различных c_0 сведены в табл. 13.

Таблица 13

c_0	$Q_{см\ макс}$ м³/ч	Q_0 м³/ч
0,05	4400	3520
0,10	4000	3200
0,12	3840	3070
0,15	3600	2880
0,20	3200	2560

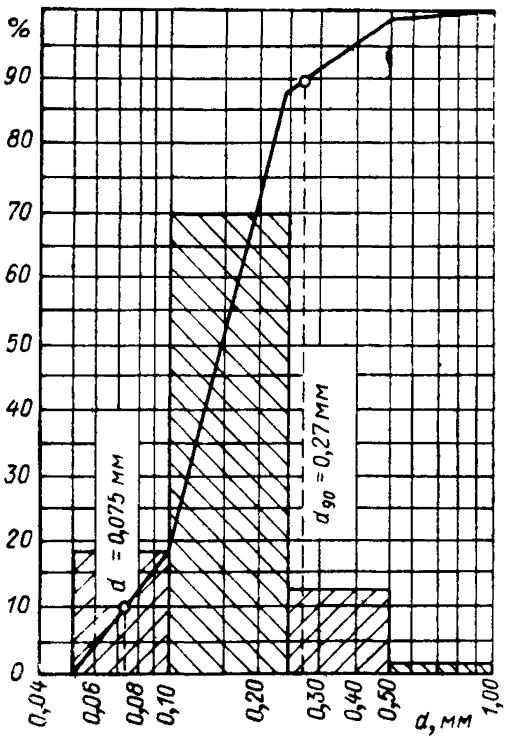


Рис. 10. Кривая гранулометрического состава и гистограмма фракций одномодального грунта.

Результаты вычисления k_0 по формуле (17) для различных $Q_{см}$ и принятых величин c_0 сведены в табл. 14

2 Вычисление напора при работе нового насоса на гидросмеси производится по формуле (16) при различных $Q_{см}$ и принятых величин c_0. Величина напора при работе нового насоса на воде $H_в$ для различных $Q_{см}$ определена по рабочей характеристике, приведенной в «Альбоме оборудования для гидромеханизации». Результаты вычислений сведены в табл. 15.

Пересчет расходно-напорной характеристики полностью изношенного грунтового насоса типа 20Р-11 производится аналогично пересчету характеристик нового насоса с учетом формулы (20) при $q=1,0$ и коэффициентах $a_1=0,15$ и $a_2=0,30$

Таблица 14

$Q_{см}$, м³/ч	k_0				
	c_0=0,05	c_0=0,10	c_0=0,12	c_0=0,15	c_0=0,20
4400	0,879	—	—	—	—
4200	0,906	—	—	—	—
4000	0,931	0,758	—	—	—
3800	0,962	0,812	0,730	—	—
3600	0,987	0,875	0,790	0,640	—
3500	1,0	0,910	0,835	0,690	—
3400	1,0	0,937	0,867	0,730	—
3300	1,0	0,965	0,905	0,775	—
3200	1,0	1,00	0,946	0,837	0,515
3000	1,0	1,00	1,00	0,932	0,650
2800	1,0	1,00	1,00	1,00	0,800
2600	1,0	1,00	1,00	1,00	0,970
2500	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 15

$Q_{см}$, $м^3/ч$	$H_в$, $м$	c_0=0,05, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}$=1,062		c_0=0,10, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}$=1,142		c_0=0,12, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}$=1,18		c_0=0,15, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}$=1,23		c_0=0,20 $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}$=1,324	
		k_0	$H_{см}$	k_0	$H_{см}$	k_0	$H_{см}$	k_0	$H_{см}$	k_0	$H_{см}$
4400	50,5	0,879	47,0	—	—	—	—	—	—	—	—
4200	51,5	0,906	50,0	—	—	—	—	—	—	—	—
4000	52,5	0,931	52,0	0,758	45,5	—	—	—	—	—	—
3800	53,0	0,962	54,2	0,812	50,2	0,710	44,5	—	—	—	—
3600	54,0	0,987	56,5	0,875	54,0	0,790	50,3	0,640	42,6	—	—
3500	54,5	1,00	58,5	0,910	56,5	0,835	53,5	0,690	—	—	—
3400	55,0	1,00	58,5	0,937	59,0	0,868	56,1	0,730	49,3	—	—
3300	55,5	1,00	59,0	0,965	—	0,910	59,5	0,775	—	—	—
3200	56,0	1,00	—	1,00	64,0	0,946	62,5	0,837	57,0	0,515	38,7
3000	56,5	1,00	60,0	1,00	64,5	1,00	67,0	0,932	69,5	0,650	48,5
2800	57,0	1,00	—	1,00	65,0	—	—	1,00	70,0	0,800	60,5
2600	57,5	1,00	—	1,00	—	—	—	1,00	71,5	0,970	74,5
2500	58,0	1,00	62,0	1,00	66,5	1,00	69,0	1,00	71,5	1,00	77,0
2100	59,5	1,00	—	1,00	—	—	—	1,00	73,0	1,00	—
2000	60,0	1,00	64,0	1,00	68,5	1,00	71,0	1,00	73,9	1,00	79,5
1750	60,5	1,00	—	1,00	—	—	—	1,00	74,5	1,00	80,0
1600	60,7	1,00	—	1,00	—	—	—	1,00	75,0	1,00	—
1500	61,0	1,00	65,0	1,00	67,7	1,00	72,0	1,00	75,0	1,00	81,0
1000	62,0	1,00	66,0	1,00	71,0	1,00	73,0	1,00	76,3	1,00	82,0
500	63,0	1,00	—	1,00	—	—	—	1,00	77,5	1,00	83,5

$$Q_{в\ макс\ из.} = 4800\,(1 - 0{,}30^{1{,}5}) = 3350\ м^3/ч.$$

Результаты вычисления $Q_{см.макс\ из}$ и Q_0 по формулам (18) и (20) различных c_0 даны в табл. 16.

Результаты вычисления напора при работе изношенного насоса на гидросмеси для различных $Q_{см}$ и принятых величин c_0 сведены в табл. 17

Расходно-напорные характеристики нового и изношенного насоса на гидросмеси для различных c_0 приведены на рис. 11. Для расчета наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы для каждого из принятых c_0 берется расходно-напорная характеристика насоса, средняя между характеристиками, соответствующими новому и изношенному насосам (рис. 12).

Таблица 16

c_0	$Q_{см\ макс.из}$, $м^3/ч$	$Q_в$, $м^3/ч$
0,05	3070	2460
0,10	2800	2240
0,12	2680	2140
0,15	2520	2020
0,20	2250	1800

Определение диаметра трубопровода. Диаметр трубопровода принимаем равным 600 *мм* согласно табл 10 для грунта II категории, транспортируемого насосом типа 20Р-11.

Расчет потерь напора в трубопроводе $D = 600$ *мм* длиной 1500 *м* при транспортировании гидросмеси различной консистенции с геодезическим подъемом 10 *м*. Величины консистенции гидросмеси в расчете принимаются такие же, как и ранее. c_0=0,05; c_0=0,010; c_0=0,12; c_0=0,15 и c_0=0,20. Расчет критической скорости производится по формуле (1); расход гидросмеси, соответствующей критической скорости, определяется по формуле (2); удельные потери напора вычисляются по формуле (5), дополнительные удельные потери напора — по формуле (8), суммарные потери напора — по формуле (14) при коэффициенте запаса k=1,15. Результаты расчета сведены в табл. 18

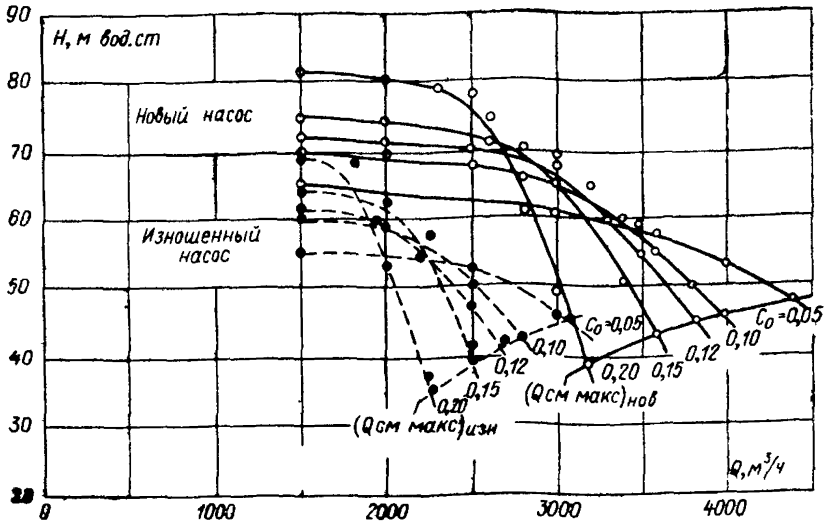


Рис. 11. Расходно-напорные характеристики нового и изношенного грунтовых насосов 20Р-11.

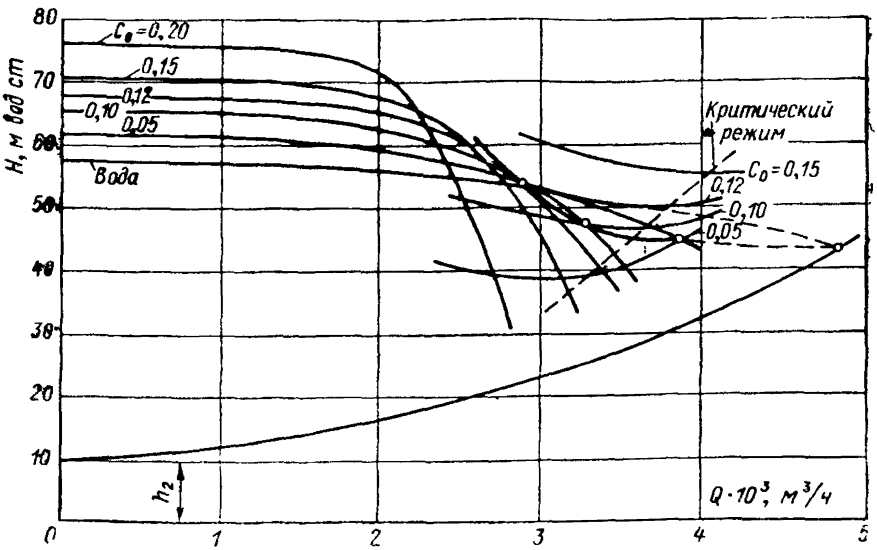


Рис. 12. Расходно-напорные характеристики грунтового насоса 20Р-11 (средние)

Таблица 17

$Q_{см}$, $м^3/ч$	$H_{в.из}$	$c_0=0{,}15$; $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}=1{,}062$		$c_0=0{,}10$, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}=1{,}142$		$c_0=0{,}12$, $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}=1{,}18$		$c_0=0{,}15$; $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}=1{,}23$		$c_0=0{,}20$; $1+\frac{c_0^{1,2}}{\sqrt{\Psi}}=1{,}324$	
		k_0	$H_{см.из}$	k_0	$H_{см.из}$	k_0	$H_{см.из}$	k_0	$H_{см\ из}$	k_0	$H_{см.из}$
3070	47,8	0,879	44,7	—	—	—	—	—	—	—	—
3000	48,0	0,894	45,6	—	—	—	—	—	—	—	—
2800	48,6	—	—	0,758	42,5	—	—	—	—	—	—
2680	49,0	—	—	—	—	0,710	41,0	—	—	—	—
2520	49,5	—	—	—	—	0,787	45,5	0,635	38,2	—	—
2500	49,5	0,986	52,0	0,875	49,5	0,799	46,6	0,653	39,6	—	—
2400	49,8	1,00	—	—	—	—	—	0,720	44,0	—	—
2250	50,2	1,00	—	1,00	57,2	—	—	—	—	0,505	33,6
2200	50,4	1,00	—	—	—	—	—	0,866	54,0	0,555	37,1
2000	51,0	1,00	54,2	1,00	58,4	1,00	60,0	1,00	62,9	0,760	51,4
1800	51,5	1,00	—	—	—	1,00	—	—	—	1,00	68,0
1500	51,8	1,00	55,0	1,00	49,1	1,00	61,2	1,00	63,7	1,00	68,8
1000	52,8	1,00	56,0	1,00	60,0	1,00	62,2	1,00	65,0	1,00	69,3
500	53,5	—	—	—	—	—	—	1,00	65,8	1,00	70,8

Таблица 18

$V_{кр}$ $м/сек$	$Q_{кр}$, $м^3/ч$	V, $м^3/сек$	$Q_{см}$, $м^3/ч$	Удельные потери			H, $м$
				$100\ i_в$	$100\ \Delta i$	$100\ i_{см}$	
			$c_0=0{,}05$				
3,20	3250						
		2,48	2500	0,95	0,63	1,58	40,8
		2,77	2800	0,95	0,56	1,51	39,4
		2,93	3000	0,95	0,52	1,47	38,8
		3,15	3200	0,95	0,49	1,44	38,1
		3,47	3500	1,11	0,45	1,56	40,3
		3,65	3700	1,23	0,43	1,66	42,3
		3,83	3900	1,34	0,41	1,75	43,8
			$c_0=0{,}10$				
3,64	3250						
		2,65	2700	1,22	0,32	2,04	50,2
		2,93	3000	1,22	0,74	1,96	48,7
		3,35	3400	1,22	0,65	1,87	47,1
		3,65	3700	1,23	0,60	1,83	46,2
			$c_0=0{,}12$				
3,76	3800						
		2,48	2500	1,29	1,06	2,35	56,3
		2,93	3000	1,29	0,89	2,18	53,2
		3,65	3700	1,29	0,72	2,01	50,0
		3,93	4000	1,40	0,67	2,01	51,0
			$c_0=0{,}15$				
4,00	4050						
		2,96	3000	1,45	1,08	2,53	60,5
		3,42	3500	1,46	0,92	2,37	57,2
		3,77	3800	1,45	0,85	2,30	56,0
		4,05	4100	1,50	0,79	2,29	55,8

Расходно-напорная характеристика трубопровода нанесена при различных c_0 на рис. 12

Расчет оптимального режима работы гидротранспортной системы. 1. По точкам пересечения расходно-напорных характеристик грунтового насоса и трубопровода определяются расчетные расход и напор при перекачке гидросмеси различной консистенции (табл. 19).

Таблица 19

c_0	$H_{см}$	$Q_{см}$
0,05	44,0	3880
0,10	47,5	3250
0,12	54,0	2850

2) Определение удельных затрат энергии на перекачку гидросмеси $E_{см}$, *квт/м*³.

Для расчета величины $E_{см}$ предварительно определяются. к. п д. грунтового насоса при работе на гидросмеси по формуле (21). мощность на валу насоса при работе на гидросмеси — по формуле (22), расходная консистенция гидросмеси — по данным табл. 1, производительность гидротранспортной системы по грунту — по формуле (23) Результаты расчета сведены в табл. 20.

Таблица 20

c_0	$c_р$	$Q_{см}$, *м*³/*ч*	$H_в$, *м*	$H_{см}$, *м*	$\eta_в$	$\eta_{см}$	$N_в$, *квт*	$N_{см}$, *квт*	$Q_т$, *м*³/*ч*	E, *квт·ч·м*³
0,05	0,030	3880	53,0	44,0	0,55	0,54	830	700	116	6,0
0,10	0,068	3250	56.0	47,5	0,53	0,51	750	660	221	3,0
0,12	0,087	2850	57,0	54,0	0,51	0,49	690	680	247	2,75

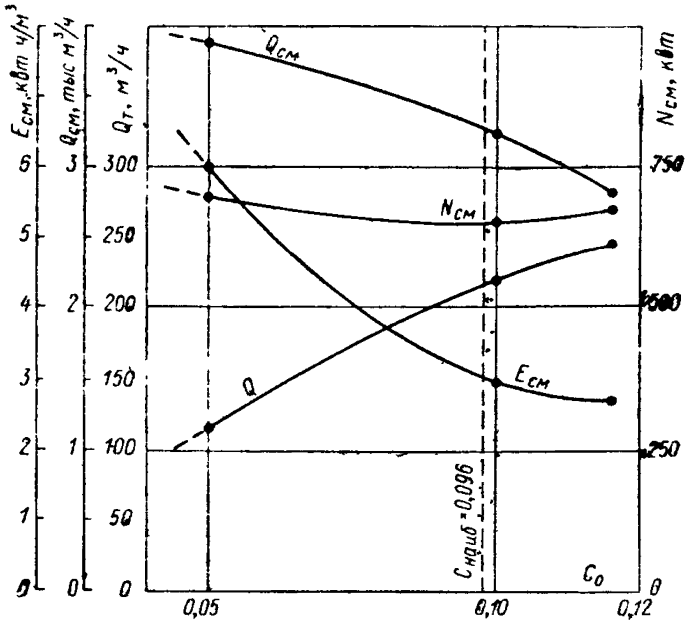


Рис. 13. График $Q_{см} = f(c_0)$; $Q_т = f(c_0)$; $N_{см} = f(c_0)$; $E_{см} = f(c_0)$.

На графике рис. 13 нанесены кривые $Q_{см} = f(c_0)$; $Q_т = f(c_0)$; $N_{см} = f(c_0)$ и $E_{см} = f(c_0)$. Из рассмотрения графика следует, что кривая зависимости $E_{см} = f(c_0)$ не имеет минимума, поэтому наивыгоднейшая консистенция берется равной 0,8 $C_{опр}$, т е. $C_{0.наив} = 0{,}8 \cdot 0{,}12 = 0{,}096$.

При этом $Q_т = 220$ *м³/ч*, затраты энергии на перекачку грунта по гидротранспортной системе составит $E_{см} = 3{,}05$ *квтч/м³*, а потребная мощность на валу грунтового насоса $N_{см} = 655$ *квт*.

Фактический расход гидросмеси $Q_{см} = 3300$ *м³/ч* и скорость транспортирования $v = 3{,}25$ *м/сек*, что несколько ниже критической скорости $v_{кр} = 3{,}60$ *м/свк*, поэтому гидротранспорт будет осуществляться при небольшом слое заиления, который определяется по формуле (3).

Пример 2. Упрощенный расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по паспортным (табличным) данным грунтового насоса

Исходные данные к расчету те же, что и в примере 1. Расчет при заданных характеристиках грунта выполняется в следующей последовательности.

1) согласно табл. 9 принимаем Т : Ж = 1 9, тогда при пористости грунта $m = 0{,}35$ $c_0 = 0{,}068$;

2) согласно табл. 8 для грунтового насоса типа 20Р-11 расход $Q = 4200$ *м³/ч*;

3) диаметр трубопровода по номограмме рис. 8 равен $D = 0{,}64$ *м*. В расчете принимается $D = 0{,}60$ *м*,

4) расчетная скорость движения гидросмеси $v = \frac{1{,}17}{0{,}28} = 4{,}15$ *м/сек*;

5) критическая скорость вычисляется по формуле (1) $v_{кр} = 3{,}45$ *м/сек* а расход, соответствующий этой скорости, — по формуле (2) $Q_{кр} = 0{,}97$ *м³/сек* = 3500 *м³/ч*.

Так как расчетная скорость больше критической, трубопровод будет работать без заиления.

6) удельные потери напора на трение при движении воды с расчетной скоростью v вычисляются по формуле (5):

$$100I_в = 1{,}06\frac{4{,}15^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}60} = 1{,}53,$$

где для гидравлически гладких труб $D = 0{,}60$ *м* коэффициент сопротивления принят, по данным табл 3, равным $100\lambda_в = 1{,}06$;

7) дополнительные удельные потери напора определены по формуле (8):

$$100\Delta I = 100 \cdot 0{,}03 \cdot \sqrt[4]{0{,}83} \cdot \sqrt[3]{0{,}068^2} \cdot \frac{3500}{4200} = 0{,}48;$$

8) удельные потери напора на трение составляют: $100I_{см} = 1{,}53 + 0{,}48 = 2{,}01$;

9) суммарные потери напора в трубопроводе $D = 0{,}60$ *м* длиной 1500 *м* при геодезическом подъеме 10 *м* подсчитаны по формуле (14) с учетом местных потерь напора, равных 10% от суммарных потерь напора и коэффициенте запаса $k = 1{,}15$.

$$H_{см} = 1{,}15\left[1{,}10 \cdot 2{,}01 \cdot \frac{1500}{100}\right] + 10 \cdot 1{,}15 = 49{,}7м < 52\ м.$$

Напор грунтового насоса типа 20Р-11 равен 52 *м* (см. табл. 8).

Пример 3. Расчет характеристик грунта с двухмодальным распределением фракций гранулометрического состава

Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 21.

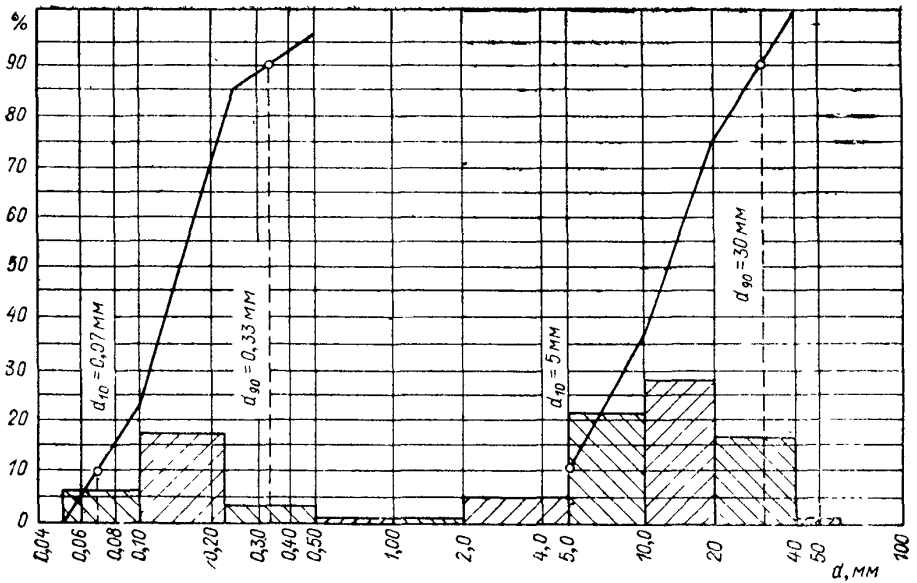


Рис. 14. Кривые гранулометрического состава и гистограмма фракций двухмодального грунта.

Таблица 21

Размер фракций, *мм*	0,05—0,10	0,10—0,25	0,25—0,50	0,50—1,0	1—2	2—5	5—10	10—20	20—40	40—60
Содержание, %	6	17	3	1	1	5	21	28	17	1

1) строится гистограмма гранулометрического состава грунта (рис. 14), из рассмотрения которой следует, что грунт относится к группе двухмодальных грунтов;

2) выделяются фракции 0,05—1 *мм*, которых в составе содержится 27%, и 1—60 *мм* которых в составе содержит 73%;

3) производится пропорциональный пересчет содержания фракций каждой составляющей грунта (табл. 22 и 23);

Таблица 22

Размер фракции, *мм*	0,05—0,10	0,10—0,25	0,25—0,50	0,50—1,0	Σ
Содержание, %	$\frac{6}{22{,}2}$	$\frac{17}{63}$	$\frac{3}{11{,}1}$	$\frac{1}{3{,}7}$	$\frac{27}{100}$

Таблица 23

Размер фракций, *мм*	1—2	2—5	5—10	10—20	20—40	40—60	Σ
Содержание, %	$\frac{1}{1{,}4}$	$\frac{5}{6{,}9}$	$\frac{21}{28{,}7}$	$\frac{28}{38{,}3}$	$\frac{17}{23{,}3}$	$\frac{1}{1{,}4}$	$\frac{73}{100}$

4) кривые гранулометрического состава составляющих грунта приведены на рис. 14. С помощью этих кривых определяется коэффициент разнозернистости каждой составляющей:

$$j_1 = \frac{3 \cdot 0{,}07}{0{,}33} = 0{,}64; \quad j = \frac{3 \cdot 5{,}0}{30} = 0{,}50;$$

5) определяется средневзвешенный коэффициент разнозернистости смеси двух составляющих грунта

$$j_{ср} = \frac{0{,}64 \cdot 27 + 0{,}5 \cdot 73}{100} = 0{,}54;$$

6) рассчитывается средневзвешенная крупность всего состава грунта

$$d_{\bullet} = \frac{1}{100}[0{,}075 \cdot 6 + 0{,}175 \cdot 17 + 0{,}375 \cdot 3 + 0{,}75 \cdot 1 + 1{,}5 \cdot 35{,}5 + 75 \cdot 21 + + 15 \cdot 28 + 30 \cdot 17 + 50 \cdot 1] = 11{,}6 \text{ мм};$$

7) рассчитывается средневзвешенный коэффициент всего состава грунта:

$$\Psi_{ср} = 1{,}47.$$

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

1. Основные положения 4
2. Характеристика гранулометрического состава грунта . . 6
3. Гидравлический расчет напорных трубопроводов 8
А. Расчет критической скорости движения гидросмеси . . 8
Б. Расчет удельных потерь напора на трение 8
В. Расчет местных гидравлических сопротивлений 11
Г. Расчет суммарных потерь напора в трубопроводах при гидравлическом транспорте 12
4. Пересчет рабочих характеристик грунтовых насосов с воды на гидросмесь 13
5. Определение наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы 14
А. Расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по рабочим характеристикам насоса и трубопровода 14
Б Упрощенный расчет наивыгоднейшего режима работы гидротранспортной системы по паспортным (табличным) данным грунтового насоса 17

Приложения 19

1. Обоснование методики гидравлического расчета гидротранспортных систем, подающих грунтовые смеси 19
2 Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов (по СНиП II-Б. 1-62) 22
3. Значения $c_0^{1,2}$; $c_0^{1/6}$; $c_0^{2/3}$ 23
4. Примеры расчета 23

Цена 29 коп.

gost.e-ecolog.ru