

Ю.М. Косиченко, доктор техн. наукФедеральное государственное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»**М.Ю. Косиченко, канд. техн. наук, доцент****Ю.И. Иовчу, аспирантка**Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Южно-Российский государственный технический университет»

КРИТЕРИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Доказано, что высокая эксплуатационная надежность оросительных каналов возможна, если учитывать критерии надежности, включающие как гидравлические, так и комплексные показатели работы.

It is proved that high maintainability of irrigation canals is possible if one considers reliability criteria including both hydraulic and complex performances.

На оросительных каналах могут возникать различные деформации русел, заилиение и зарастание русел водной растительностью, повреждения и деформации противофильтрационных облицовок, значительная фильтрация. Такие явления — причина снижения эксплуатационной надежности, ухудшения технического состояния, уменьшения КПД и срока службы каналов [1].

Под эксплуатационной надежностью каналов понимается обеспечение их эксплуатационных характеристик (расходов, скорости, глубины) при соблюдении требуемого КПД в течение срока службы.

Эксплуатационная надежность оросительных каналов будет обеспечиваться при соблюдении следующих основных критериев:

по допускаемым скоростям

$$\varphi(v) = v - v_{\text{нез}} > 0; \varphi(v) = v - v_{\text{неп}} < 0;$$

по пропускной способности русла

$$\varphi(Q) = Q_{\text{пр}} - Q; \alpha_0 Q_{\text{пр}} \geq \varphi(Q) \geq 0;$$

по коэффициенту полезного действия канала

$$\varphi(\eta) = \eta_{\text{тр}} - \eta; \beta_0 \eta_{\text{тр}} \geq \varphi(\eta) \geq 0;$$

по показателю технического состояния канала

$$\varphi(P_s) = P_{s,\text{тр}} - P; \sigma_0 P_{s,\text{тр}} \geq \varphi(P_s) \geq 0;$$

по вероятности безотказной работы

$$\varphi(P) = P_{\text{тр}} - P; \mu_0 P_{\text{тр}} \geq \varphi(P) \geq 0,$$

где v , $v_{\text{нез}}$, $v_{\text{неп}}$ — соответственно средняя и допустимые незаилиющая и неразмывающая скорости течения; Q , $Q_{\text{пр}}$ — соответственно фактическая и проектная (расчетная) пропускная способность; η , $\eta_{\text{тр}}$ — фактический и требуемый (нормативный) КПД канала; P_s , $P_{s,\text{тр}}$ — соответ-

ственно фактический и требуемый показатели технического состояния канала; P , $P_{\text{тр}}$ — соответственно фактическая и требуемая вероятность безотказной работы; α_0 , β_0 , σ_0 , μ_0 — соответственно коэффициенты допустимого снижения нормативных показателей, обоснование которых дано ниже по результатам статистической обработки натуральных данных.

Поскольку основные эксплуатационные показатели оросительных каналов являются в определенной степени случайными величинами, которые изменяются в зависимости от многих факторов, для оценки эксплуатационной надежности канала целесообразно использовать вероятностные методы, основанные на математической статистике и теории вероятности [2, 3].

В расчетах надежности каналов выход параметров работоспособности за пределы предельных состояний квалифицируется как отказ. В качестве допустимых значений могут быть использованы: допускаемые скорости течения $v_{\text{нез}}$ и $v_{\text{неп}}$, нормативный КПД $\eta_{\text{тр}}$, требуемые значения показателя технического состояния $P_{s,\text{тр}}$ и вероятности безотказной работы $P_{\text{тр}}$.

Вероятность безотказной работы канала по пропускной способности устанавливаем из выражения

$$P = \Phi \left(\frac{Q_{\text{пр}} - Q_{\min}}{\sqrt{\sigma_{Q_{\text{пр}}}^2 + \sigma_{Q_{\min}}^2}} \right), \quad (1)$$

где $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ — табулированная функция нормального распределения (функция

Лапласа); $Q_{\text{пп}}$ — проектный (расчетный) расход в канале; Q_{min} — случайный минимальный расход; $\sigma_{Q_{\text{пп}}}$, $\sigma_{Q_{\text{min}}}$ — соответственно среднеквадратические отклонения расходов $Q_{\text{пп}}$ и Q_{min} .

Дисперсию пропускной способности канала находим по формуле [1, 3]

$$\begin{aligned}\sigma_{Q_{\text{пп}}}^2 = & \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right) \sigma_{\text{в}}^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h} \right)^2 \sigma_{\text{h}}^2 + \\ & + \left(\frac{\partial Q}{\partial n} \right)^2 \sigma_{\text{n}}^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial J} \right)^2 \sigma_{\text{J}}^2.\end{aligned}\quad (2)$$

Принимая сечение канала трапециевидальным, расход при равномерном движении определим по следующей формуле:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \frac{[(\sigma + mh)h]^{\frac{3}{2}}}{[\sigma + 2h\sqrt{1+m^2}]^{\frac{3}{2}}} J^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где σ — ширина канала по дну; h — глубина; n — коэффициент шероховатости русла; J — гидравлический уклон; m — коэффициент заложения откосов.

В результате частного дифференцирования выражения (3) по четырем параметрам канала (σ , h , n , J) можно найти отдельные члены уравнения (2):

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial \sigma} = & \frac{1}{n} J^{\frac{1}{2}} \frac{1}{3} [(\sigma + mh)h]^{\frac{3}{2}} \times \\ & \times h \frac{2,5 - (\sigma + mh)[\sigma + 2h\sqrt{1+m^2}]^{-1}}{(\sigma + 2h\sqrt{1+m^2})^{\frac{3}{2}}}; \\ \frac{\partial Q}{\partial h} = & \frac{1}{n} J^{\frac{1}{2}} \frac{1}{3} [(\sigma + mh)h]^{\frac{3}{2}} \times \\ & \times \frac{5(\sigma + mh) - 4[\sigma + 2h\sqrt{1+m^2}]^{-1} \sqrt{1+m^2}}{(\sigma + 2h\sqrt{1+m^2})^{\frac{3}{2}}}; \\ \frac{\partial Q}{\partial n} = & -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{[(\sigma + mh)h]^{\frac{3}{2}} J^{\frac{1}{2}}}{[\sigma + 2h\sqrt{1+m^2}]^{\frac{3}{2}}}; \\ \frac{\partial Q}{\partial J} = & -\frac{1}{2n} \cdot \frac{[(\sigma + mh)h]^{\frac{3}{2}}}{[\sigma + 2h\sqrt{1+m^2}]^{\frac{3}{2}} J^{\frac{1}{2}}}.\end{aligned}$$

Среднеквадратическое отклонение $\sigma_{Q_{\text{min}}}$ задаем по объектам или рассчитываем по правилу «трех сигм», как $1/6$ поля допусков [2, 3]:

$$\sigma_{Q_{\text{min}}} = \frac{1}{6} \Delta Q,$$

где ΔQ — вероятное изменение (допуск) расхода относительного расчетного (проектного) расхода канала.

Комплексными показателями эксплуатационной надежности оросительных каналов является технический кпд η и показатель их технического состояния P_s , которые определяют по следующим соотношениям:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{пп}}}{Q}, \quad (4)$$

$$P_s = \frac{\eta}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{пп}} = Q_{\phi} + Q_{\text{и}}$ — общие потери воды из канала; Q — расход канала при эксплуатации; Q_{ϕ} — потери воды на фильтрацию из канала; $Q_{\text{и}}$ — потери воды на испарение из канала; η — фактический кпд канала при эксплуатации; $\eta_{\text{тр}}$ — требуемый кпд канала по санитарным нормам и правилам или по расчетам с учетом инженерно-геологических условий.

Требуемый кпд канала устанавливаем по СНиП 2.06.03-85: не менее 0,90 — для магистральных каналов и его ветвей; не менее 0,93 — для распределителей различных порядков.

Более точное значение кпд канала может быть рассчитано в зависимости от инженерно-геологических условий основания и параметров канала [1].

Для необлицованных каналов (в земляном русле):

при свободной фильтрации

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{Q - K_{\phi} L_{\kappa} (B + Ah)}{Q}; \quad (6)$$

при подпертой фильтрации

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{L_o Q - 2K_{\phi} L_{\kappa} (H_o - T_o) T_{\text{cp}} \alpha' \beta' \lambda'}{L_o Q}, \quad (7)$$

где Q — расчетный расход канала; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации грунта ложа канала; L_{κ} — длина канала; B — ширина канала по урезу; A — коэффициент, зависящий от отношения $B/h_{\text{им}}$; H_o — глубина потока от уровня воды в канале до водоупора; T_o — бытовая глубина грунтовых вод; T_{cp} — средняя мощность потока грунтовых вод; L_o — среднее расстояние от канала до естественных понижений; α' , β' , λ' — коэффициенты, учитывающие висячесть, ширину канала и несимметрию стоков.

Для облицованных каналов:

при свободной фильтрации

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{Q - K'_{\text{обл}} \left[\frac{\sigma(h + \delta_o)}{\delta_o} + 2mh + \frac{h^2}{\delta_o} \sqrt{1+m^2} \right] L_{\kappa}}{Q}; \quad (8)$$

при подпертой фильтрации

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{Q \left[\Phi_{\kappa} + 2(K_{\phi} / K'_{\text{обл}}) \delta_o + \sqrt{Tz / E_n} \right] - THL_{\kappa}}{Q \left[\Phi_{\kappa} + 2(K_{\phi} / K'_{\text{обл}}) \delta_o + \sqrt{Tz / E_n} \right]}, \quad (9)$$

где K' — среднениий коэффициент фильтрации облицовки; b — ширина канала по дну; m — заложение откосов; δ — толщина облицовки; Φ_k — фильтрационное сопротивление на гидродинамическое несовершенство канала; T — проводимость основания; Z — критическая глубина залегания уровня грунтовых вод при $E = 0$; E_n — интенсивность испарения на поверхности почвы.

Вероятность обеспечения высокого КПД канала при эксплуатации в соответствии с требуемым его значением при известных статистических показателях за ряд лет наблюдений может быть найдена по формуле

$$P = \Phi \left(\frac{\eta_{tp} - \eta}{\sqrt{\sigma_\eta^2 + \sigma_{\eta_{tp}}^2}} \right), \quad (10)$$

где $\Phi(t)$ — функция Лапласа; η_{tp} — требуемое значение КПД канала, задаваемое в соответствии с техническими требованиями, нормами СНиП или вычисляемое по приводимым выше формулам; σ_h — среднеквадратические отклонения значений КПД.

Аналогично зависимости (10) может быть найдена вероятность обеспечения надежности работы канала по показателю технического состояния при его эксплуатации P_s .

Используя данные натурных исследований оросительных каналов, определим количественные показатели коэффициентов допустимого снижения нормативных показателей $\alpha_0, \beta_0, \sigma_0, \mu_0$ на основе статистической обработки имеющихся данных [1].

В табл. 1 приведена информация по пропускной способности каналов. При обработке данных исключались выпадающие значения. Для статистической оценки коэффициента α_0 определяли показатель сни-

жения замеренной пропускной способности канала по отношению к проектному (расчетному) расходу:

$$\alpha'_i = Q/Q_{np} \approx n_{np}/n,$$

где Q — замеренный расход в канале за характерный период; Q_{np} — проектный (расчетный) расход; n_{np} — проектный коэффициент шероховатости русла; n — коэффициент шероховатости, найденный по натурным данным при расходе Q .

В соответствии с данными статистической обработки представленной в табл. 1 выборки показателя пропускной способности α'_i для 17 оросительных каналов получены следующие статистические характеристики:

а) выборочное среднее значение показателя снижения пропускной способности

$$\bar{\alpha}' = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha'_i}{n} = \frac{14,408}{17} = 0,848;$$

б) дисперсия показателя пропускной способности

$$\sigma_{\alpha'}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha'_i - \bar{\alpha}')^2 = \frac{0,26339}{17-1} = 0,0165;$$

в) среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{\alpha'} = \sqrt{\sigma_{\alpha'}^2} = \sqrt{0,0165} = 0,1284;$$

г) ошибка выборочной средней

$$\sigma_{\bar{\alpha}'} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,1284}{\sqrt{17}} = 0,0312;$$

д) доверительный интервал показателя снижения пропускной способности каналов

$$\bar{\alpha}' \pm t_{\alpha, k} \sigma_{\bar{\alpha}'} = 0,848 \pm 2,12 \cdot 0,0312 = \\ = 0,782 \dots 0,914,$$

Таблица 1

Статистическая обработка данных пропускной способности магистральных и распределительных оросительных каналов

Канал	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	n	n_{np}	$\alpha'_i = \frac{n_{np}}{n}$	$\alpha'_i - \bar{\alpha}'$	$(\alpha'_i - \bar{\alpha}')^2$
БСК-1 (головной участок)	172,37	0,0238	0,0225	0,945	0,097	0,009409
Донской	201,00	0,0268	0,020	0,746	-0,102	0,010404
Терско-Кумский	80,00	0,0237	0,020	0,844	-0,004	0,000016
Баксан-Малка	27,50	0,0225	0,0225	1,0	0,152	0,023104
Нижне-Донской МК	25,60	0,0374	0,0225	0,602	-0,246	0,060516
БСК-1	80,00	0,0259	0,0225	0,869	0,021	0,000441
БСК-3	46,50	0,0172	0,0170	0,988	0,140	0,0196
Теплуша	0,99	0,0350	0,0250	0,714	-0,134	0,017956
Сухая Псарыша	5,00	0,0225	0,0225	1,0	0,152	0,023104
Подкумок-Юца	0,20	0,030	0,025	0,833	-0,015	0,000225
Солдатский р-ль	1,55	0,033	0,025	0,757	-0,091	0,008281
Распределитель 67	0,50	0,040	0,025	0,625	-0,223	0,049729
Бр-Р-7	3,06	0,0157	0,015	0,955	0,107	0,011449
МК Миусской ОС	5,00	0,0208	0,017	0,817	-0,031	0,000961
МР-1	2,97	0,0215	0,017	0,791	-0,057	0,003249
Правобережный	8,00	0,0135	0,013	0,963	0,115	0,013225
Бр-4-X-1	0,32	0,0146	0,014	0,959	0,111	0,012321
				$\Sigma \alpha'_i = 14,408$		$\Sigma = 0,26399$

Таблица 2

**Натурные данные кпд и показателя технического состояния при эксплуатации
просительных каналов**

Канал	η	P_{η}	Канал	η	P_{η}
<i>Необлицованный</i>					
Багаевский МК	0,75	0,83	Правобережный	0,95	1,00
Азовский МК	0,82	0,91	Левобережный	0,90	0,95
Нижне-Донской МК	0,90	1,00	P-2	0,95	1,00
Пролетарский МК	0,85	0,95	P-2-1	0,80	0,84
Донской МК	0,89	0,99	Солдатский	0,80	0,84
БСК-1 (10 км)	0,96	1,06	Дружба	0,80	0,84
БСК-1 (головной участок)	0,928	1,03	Бригадный	0,80	0,84
Невинномысский	0,95	1,05	Северо-Крымский	0,97	1,02
Право-Егорлыцкий	0,84	0,93	Волгоградский	0,93	0,98
Лево-Егорлыцкий	0,76	0,85	<i>С бетонопленочной и грунтопленочной облицовкой</i>		
Правоурванский	0,75	0,83	БСК-3	0,97	1,00
Урвань	0,76	0,85	КОР	0,92	0,95
Кахун	0,76	0,85	Каршинский МК	0,97	1,00
Аксыра	0,76	0,85	БСК-3 (по данным ЮжНИИГиМ)	0,984	1,01
Урвань-Нартан	0,76	0,85	Бг-Р-7	0,979	1,01
Сухая Псарыша	0,80	0,89	Караулбазарский	0,995	1,03
Пришибский	0,80	0,89	Р-2 Каховской ОС	0,95	0,98
Куркучинский	0,80	0,89	ГК МК	0,95	0,98
Серогозский	0,76	0,85	Р-1, Р-1-1, Р-5-2, Р-5-1, Р-8	0,94	0,97
<i>С бетонной облицовкой</i>					
Бг-Р-7	0,80	0,84	Каховской ОС	0,98	1,01
Бг-Р-8	0,80	0,84	Сакский, Приазовский	0,99	1,02
БСК	0,85	0,89	Р-5, Р-9 Каховской ОС	0,96	0,99
			2МК, 2-1К Серогозской ОС	0,998	1,03
			ГК МК (по данным УкрНИИГиМ)	0,976	1,01
			Кулундинский МК		

где $t_{\alpha, k}$ — значение квантиля статистики t распределения Стьюдента, принимаемое при $\alpha = 0,05$ и $k = n - 1$.

Коэффициент допустимого снижения проектной пропускной способности каналов определяем как произведение квантиля распределения Стьюдента на ошибку выборочной средней:

$$\alpha_0 = t_{\alpha, k} \cdot \sigma_{\bar{\alpha}} = 2,12 \cdot 0,0312 = 0,066.$$

Аналогичная обработка натурных данных была проведена по показателям кпд η и технического состояния каналов $P_{\eta} = \eta / \eta_{tp}$ для выборки, включающей 45 значений для необлицованных русел каналов, каналов с бетонной облицовкой и с бетонопленочной и грунтопленочной облицовкой (табл. 2) [1, 4].

В результате были получены следующие статистические характеристики:

а) для необлицованных русел —

$$\bar{\eta} = 0,821; \sigma_{\eta} = 0,0720; \sigma_{\bar{\eta}} = 0,0165;$$

$$\bar{\eta} \pm t_{\alpha, k} \sigma_{\bar{\eta}} = 0,786 \dots 0,856; \beta_0 = t_{\alpha, k} \cdot \sigma_{\bar{\eta}} = 0,035;$$

б) для каналов с бетонной облицовкой —

$$\bar{\eta} = 0,863; \sigma_{\eta} = 0,0716; \sigma_{\bar{\eta}} = 0,0207;$$

$$\bar{\eta} \pm t_{\alpha, k} \sigma_{\bar{\eta}} = 0,817 \dots 0,907; \beta_0 = t_{\alpha, k} \cdot \sigma_{\bar{\eta}} = 0,045;$$

в) для каналов с бетонопленочной и грунтопленочной облицовкой —

$$\bar{\eta} = 0,969; \sigma_{\eta} = 0,0223; \sigma_{\bar{\eta}} = 0,00598;$$

$$\bar{\eta} \pm t_{\alpha, k} \sigma_{\bar{\eta}} = 0,856 \dots 0,982; \beta_0 = t_{\alpha, k} \cdot \sigma_{\bar{\eta}} = 0,013;$$

г) для всех русел каналов —

$$P_{\eta} = 0,915; \sigma_{P_{\eta}} = 0,0742; \sigma_{\bar{P}_{\eta}} = 0,0158;$$

$$\bar{P}_{\eta} \pm t_{\alpha, k} \sigma_{\bar{P}_{\eta}} = 0,882 \dots 0,948; \sigma_0 = t_{\alpha, k} \cdot \sigma_{\bar{P}_{\eta}} = 0,033.$$

Значения коэффициента снижения вероятности безотказной работы μ_0 статистически не устанавливались из-за отсутствия достаточного количества натурных данных по отказам (значения коэффициента μ_0 рекомендуется принимать в пределах 0,03...0,05).

Проведенный статистический анализ натурных данных пропускной способности каналов показал, что среднее значение показателя снижения их пропускной способности при эксплуатации составляет $\bar{\alpha}' = 0,848$, которое найдено с вероятностью $P_{\bar{\alpha}'} = 96,3\%$, а коэффициент допустимого снижения пропускной способности $\alpha_0 = 0,066$; среднее статистическое значение кпд для различных русел каналов (необлицованных и облицованных) $\bar{\eta}$ изменяется от 0,821 до 0,969 с вероятностью $P_{\bar{\eta}}$ от 97,6 до 99,4 %, а коэффициент допустимого снижения β_0 — от 0,013 до 0,045; среднее статистическое значение показателя технического состояния каналов $P_{\bar{P}_{\eta}} = 0,915$ (найдено с веро-

ятностью $P_{\bar{P}} = 98,3 \%$), а коэффициент допустимого снижения этого показателя $\sigma_0 = 0,033$.

Таким образом, высокая эксплуатационная надежность оросительных каналов будет обеспечиваться при выполнении вышеуказанных критериев надежности, включающих как гидравлические, так и комплексные показатели работы канала с учетом предлагаемых коэффициентов допустимого снижения нормативных показателей, изменяющихся в пределах 0,013...0,066.

Ключевые слова: оросительные каналы, критерии эксплуатационной надежности, коэффициенты допустимого снижения показателей.

УДК 502/504:624.131.1:626/627

В.Я. Жарницкий, доктор техн. наук

Н.Ф. Жарницкая, инженер

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА, УЛОЖЕННОГО В ТЕЛО ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОТИН

Коэффициент фильтрации уложенного с уплотнением глинистого грунта является последним и наиболее значимым контролируемым параметром, определяющим качество устраиваемого противофильтрационного элемента. Поэтому вооруженность персонала службы геотехнического контроля современными оперативными методами определения этого показателя приобретает особое значение.

The hydraulic conductivity lied down with compaction of the clay earth is awfully important criteria which definite the quality of dam screen as to permeability. So personnel of Service of the geotechnical control must be provided with the current, swift and shelter methods of quality control in activity. And this post has distinctive meaning.

Строительство плотин из грунтовых материалов получило широкое развитие и распространено во всем мире, хотя аварии и разрушения таких плотин происходят несмотря на значительные достижения техники, совершенствование технологий строительства, повышение общего уровня знаний, опыта и технических решений. В решении задачи по обеспечению надежности, долговечности и эксплуатационной безопасности напорных грунтовых сооружений одну из главных ролей играет этап строительства плотин.

В этой связи обеспечение персонала службы геотехнического контроля современными, оперативными и надежными методами и техническими приемами контроля качества работ приобретает большое

Список литературы

1. Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем [Текст] / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 392 с.
2. Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов [Текст] / Ц. Е. Мирцхулава. – М. : Колос, 1981. – 318 с.
3. Мирцхулава, Ц. Е. Надежность систем осушения [Текст] / Ц. Е. Мирцхулава. – М. : Агропромиздат, 1985. – 239 с.
4. Косиченко, Ю. М. Эксплуатационная надежность оросительных каналов [Текст] / Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 49–50.

значение. Это особенно актуально, если строительство напорных грунтовых сооружений ведется с укладкой нескольких видов грунтов одновременно, с изменчивостью свойств карьерного грунта. В таких условиях только формальное выполнение проектных требований геотехнического контроля в зависимости от объема уложенного грунта прямыми экспериментальными методами приводит к снижению темпов работ из-за неоперативности в оценке качества уплотнения, к большому количеству переделок и, как следствие, к удорожанию строительства.

В производстве работ глинистый материал является наиболее сложным из-за низкой водопроницаемости, влияния погодных условий, небольшого диапазона влажности, при которой грунт допускается к укладке в