

$$\tau = (G\gamma + \eta\dot{\gamma}) + \operatorname{tg}\rho'\sigma, \quad (2'')$$

Согласно зависимости (2'') сопротивление почвы возрастает с увеличением скорости приложения нагрузки до бесконечности по прямой, описываемой уравнением:

$$y = a + bx. \quad (a)$$

Действительно, до определенного момента сопротивление почвы сжатию линейно возрастает до некоторого значения с увеличением скорости приложения нагрузки, затем интенсивность его роста снижается. Абсцисса точки перегиба затухающей кривой $\tau = f(\dot{\gamma})$ называется критической скоростью.

Стабилизация сопротивления почвы с увеличением скорости приложения нагрузки объясняется перераспределением доли вязкой деформации в сторону упругой, не зависящей от скорости, на первой стадии ползучести. С учетом этого уравнение (2'') записывается в виде:

$$\tau = GV_0^e + \left[\eta\dot{\gamma} - \frac{V}{C}(\eta\dot{\gamma} - GV_0^e) \right] + \operatorname{tg}\rho'\sigma, \quad (3)$$

где V/C — коэффициент пластичности почвы, характеризующий изменение пластической деформации с увеличением скорости приложения нагрузки [4]; C — скорость распространения упругих напряжений звука в почве; V_0^e — мгновенная упругая деформация; V_0^e — длительная упругая деформация, H .

Литература.

1. Кулен А., Кипперс Х. Современная земледельческая механика. Перевод с англ. А.Э. Габриэлена. Под ред. Ю.А. Смирнова. — М.: Агропромиздат, 1986.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. — М.: Госстройиздат, 1978.
3. Вязов С.С. Реологические основы механики грунтов. — М.: Высшая школа, 1978.
4. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. — М.: Колос, 1968.

Вполне очевидно, что начало стабилизации сопротивления почвы, проявится при таком значении критической скорости $V_{кр}$, когда приращение упругого сопротивления будет равно или больше уменьшения вязкого сопротивления. На этом основании из (3) имеем:

$$\eta\dot{\gamma} - \frac{V_{кр}}{C}\eta\dot{\gamma} \leq \frac{V_{кр}}{C}G\gamma. \quad (4)$$

После преобразований относительно $V_{кр}$ значение критической скорости деформации можно определить из выражения:

$$V_{кр} \geq C \frac{\eta\dot{\gamma}}{G\gamma + \eta\dot{\gamma}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что при постоянном значении скорости распространения упругих колебаний, критическая скорость деформации почвы тем выше, чем больше её вязкие свойства, то есть критическая скорость возрастает при увеличении влажности и содержания глины в почве [1].

Если допустить, что в (5) $G\gamma = \eta\dot{\gamma}$, то получим $V_{кр} \geq 0,5C$ или значение критической скорости деформации почвы не меньше половины значения скорости распространения в ней звука.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА

А.Г. АЛИМОВ, кандидат технических наук

Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий

Эколого-мелиоративное состояние орошаемых земель в значительной степени зависит от фильтрационных потерь воды из каналов и водоемов. Это одна из главных причин локального или регионального подтопления земель.

Поэтому очень важно применять научно обоснованные водосберегающие конструкции противофильтрационных покрытий (бетонных, железобетонных и др.), которые исключают такие потери или хотя бы сводят их до допустимого минимума.

Слабое звено бетонных и железобетонных покрытий — деформационные швы и стыки, так как даже при хорошей их герметизации образуются трещины в

результате температурно-усадочных и неравномерных деформаций основания, в частности от морозного пучения, набухания или просадки подстилающих грунтов, что вызывает значительные потери воды.

Создание эффективной противофильтрационной защиты на каналах и водоемах направлено на рациональное использование водных ресурсов и предотвращение подтопления, заболачивания и засоления окружающих земель, что служит одним из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, утвержденных Президентом РФ 21 мая 2006 г.

На основании теоретических, экспериментальных, натурных и патентно-информационных исследований автором разработаны современные водосберегающие конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, технологии их устройства и методы расчетов [1, 2].

Противофильтрационное покрытие каналов и водоемов (рис. 1) [1] включает уложенную на грунт основания противопучинистую подготовку с расположенным на ее поверхности гидроизоляционным слоем, сверху которого предусмотрена облицовка из бетонных (железобетонных) плит или монолитный бетон (железобетон) с деформационными швами. Противопучинистая подготовка по периметру канала (водоема) выполняется разнотолщинной и многослойной. Менее теплопроводные слои укладывают в верхней ее части, а минимальная (t_w , см), ниже нижнего уреза воды, и максимальная (t'_w , см), выше вер-

где k_i — коэффициент пропорциональности, $k_i = 5 \cdot 10^{-5}$, кПа·м³/(кг·см); γ_b — плотность бетона (железобетона), кг/м³; C_i — коэффициент, зависящий от типа облицовки (для монолитной бетонной облицовки $C_i = 0,46 \cdot R_b \cdot t_b^2 / (m \cdot \Delta H + b_3)$; для монолитной железобетонной — $C_i = 0,78 \cdot \mu \cdot R_s \cdot t_b^2 / (m \cdot \Delta H + b_3)$), кПа·см.

Для сборной облицовки из предварительно напряженных плит коэффициент C_i рассчитывается по формуле:

$$C_i = \frac{0,87 \cdot t_b^2}{m \cdot \Delta H + b_3} (\mu_n \cdot R'_s + \mu \cdot R_s) \cdot (1 - 0,65 \frac{\mu_n \cdot R'_s + \mu \cdot R_s}{R_b}),$$

где R_b и R_b — расчетное сопротивление бетона осевому соответственно растяжению и сжатию для предельного состояния первой группы, кПа; μ — коэффициент армирования железобетонной облицовки ненапрягаемой арматурой; R_s и R'_s — расчетное сопротивление соответственно ненапрягаемой и напрягаемой арматуры растяжению для предельного состояния первой группы, кПа; μ_n — коэффициент армирования железобетонной облицовки напрягаемой арматурой; λ_w — коэффициент теплопроводности противопучинистой подготовки, Вт/(м·К); γ_w —

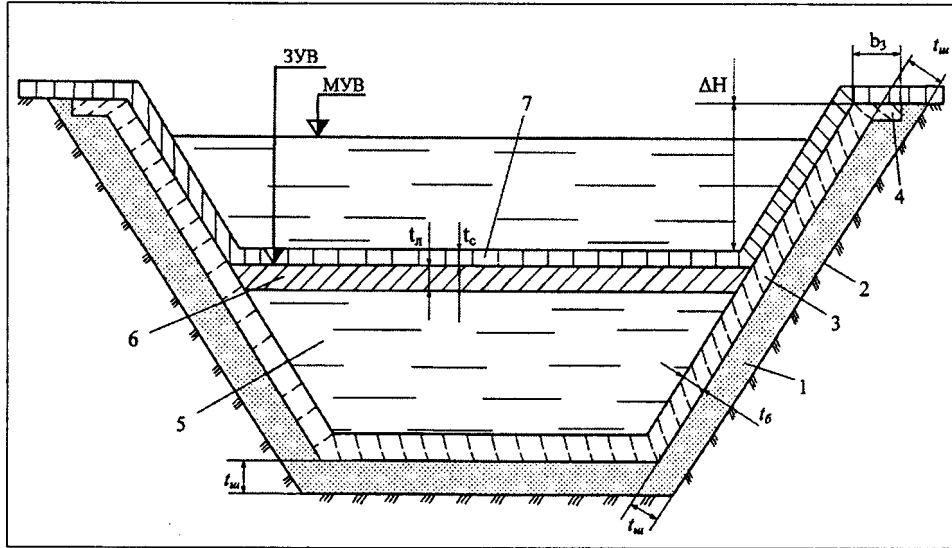


Рис. 1. Противофильтрационное покрытие каналов и водоемов: 1 — противопучинистая подготовка; 2 — подстилающий грунт основания; 3 — бетонная или железобетонная облицовка; 4 — заплечики облицовки; 5 — вода; 6 — ледяной покров; 7 — снег; ЗУВ — зимний уровень воды; МУВ — максимальный уровень воды.

хнего уреза воды в канале (водоеме), толщины противопучинистой подготовки под облицовкой установлены из зависимостей:

$$t_w = A \left[h_n - \left(\frac{t_c}{\lambda_c} + \frac{t_b}{\lambda_b} \right) \lambda_z \right] - B t_b \gamma_b - C_i / \left(A \frac{\lambda_z}{\lambda_w} + B \gamma_w \right); \quad (1)$$

$$t'_w = 1,3 t_w; \quad (2)$$

где $A = \sigma_n [0,66 b_3 - 0,33 m(\Delta H + t_b)]$, кПа; σ_n — нормативное значение давления, создаваемое в 1 см промороженного грунта, кПа/см; b_3 — ширина заплечика облицовки на дамбе канала (водоема), см; m — заложение откоса канала (водоема); ΔH — превышение верхней границы облицовки над эксплуатационным горизонтом воды в канале (водоеме) в зимний период, см; t_n — толщина ледяного покрова в регионе строительства заданной обеспеченности, см; h_n — глубина промерзания грунтов заданной обеспеченности на откосе без покрытия, см; t_c — минимальная толщина сложившегося снежного покрова, см; λ_c, λ_b и λ_z — коэффициент теплопроводности соответственно снега, бетона и грунта Вт/(м·К); t_b — толщина бетона (железобетона) облицовки, см;

$$B = k_i (\Delta H \sqrt{1 + m^2} + b_3), \text{ кПа} \cdot \text{м}^3 / \text{кг};$$

плотность противопучинистой подготовки, кг/м³.

Расстояние между деформационными швами (l , м) в монолитном бетоне облицовки, воспринимающей критические усадочные напряжения в начальный период твердения бетона составляет:

$$l \leq 3,16 k_2 \sqrt{h} \cdot \operatorname{arctg} \epsilon \cdot E / (\epsilon \cdot E - 1,75 R_{bt}), \quad (3)$$

где k_2 — коэффициент размерности, м^{1/2}; $\operatorname{arctg} \epsilon \cdot E / (\epsilon \cdot E - 1,75 R_{bt})$ — обратная гиперболическая функция — аретакосинус; ϵ — величина относительной усадочной деформации бетона; E — начальный модуль упругости бетона, МПа.

Расстояния между деформационными швами в монолитном бетоне (l_b , м) или железобетоне ($l_{ж.б.}$, см) облицовки при её смерзании с ложем канала можно определить по следующим зависимостям:

$$l_b \leq 0,6 h (R_b - 3,5 R_{bt}) / \sigma_c; \quad (4)$$

$$l_{ж.б.} \leq -p/2 + \sqrt{(p/2)^2 + q}, \quad (5)$$

где h — толщина облицовки, м; σ_c — напряжение смерзания облицовки с основанием, МПа; $p = h \cdot (3,6 \mu \cdot R_s - 0,45 R_b) / \sigma_c$, м; $q = \mu \cdot h^2 (4,7 R_b \cdot R_s - 3,2 R_s^2 \mu) / \sigma_c^2$, м².

Допустимая глубина воды в канале (водоеме) над облицовкой рассчитывается по формулам:

$$H_6 \leq k_3 \cdot R_{bt} \left[\frac{1907h^2}{L^2} + \frac{70L \cdot E_0}{(1-\mu_0^2)h \cdot E} \right] - 2,4h; \quad (6)$$

$$H_{ж.б.} \leq k_3 \cdot \mu \cdot R_s \left[\frac{3254h^2}{L^2} + \frac{264L \cdot E_0}{(1-\mu_0^2)h \cdot E} \right] - 2,4h; \quad (7)$$

$$H_{н.ж.б.} \leq k_3 (\mu_n \cdot R'_s + \mu \cdot R_s) \left(1 - 0,65 \frac{\mu_n \cdot R'_s + \mu \cdot R_s}{R_b} \right) \times \quad (8)$$

$$\times \left(\frac{3594h^2}{L^2} + \frac{292E_0}{(1-\mu_0^2)h \cdot E} \right) - 2,4h,$$

где H_6 , $H_{ж.б.}$, $H_{н.ж.б.}$ — допустимая глубина воды в канале (водоеме) соответственно над монолитным бетоном, железобетоном облицовки или над облицовкой из сборных предварительно напряженных железобетонных плит, м; k_3 — коэффициент размерности, м/МПа; L — расстояние между швами облицовки, м; μ_0 — коэффициент Пуассона для грунтов основания; E_0 — модуль деформации подстилающих грунтов, МПа(кг/см²); E — модуль упругости бетона, МПа (кг/см²).

Расчетные сопротивления бетона R_b , R_{bt} и арматуры R_s , R'_s в формулах (3)...(8) приведены в МПа.

Деформационный шов противофильтрационной облицовки каналов и водоемов (рис. 2) [2], выполненной из бетонных и железобетонных плит, включает пороизоловую прокладку, полимерную герметизирующую мастику и противоадгезионный слой, при этом

к нижней поверхности стыкуемых плит (рис. 2, а) или к их торцевым граням (рис. 2, б) в конструкции шва герметично приклеена гидроизоляционная прокладка шириной 100...500 мм, выполненная с компенсатором в виде свободно деформируемой складки.

Предельные размеры деформационного шва можно рассчитать так:

$$B_w \geq \frac{100[\Delta h + \alpha \cdot L \cdot (t_{max} - t_{min})]}{\varepsilon \cdot k} \geq [\delta]; \quad (9)$$

$$\delta^* < \frac{\delta}{\sin \beta} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_k}, \quad (10)$$

где B_w — ширина деформационного шва, мм; Δh — предельное высотное смещение одной плиты облицовки относительно другой, мм; α — коэффициент линейного расширения бетона, град.⁻¹; L — расстояние между деформационными швами, мм; t_{max} — максимальная температура воздуха при эксплуатации, °С; t_{min} — минимальная температура воздуха в зимнее время, °С; ε — относительное удлинение при разрыве образцов полимерной герметизирующей мастики, выдержанных на воздухе, %; k — коэффициент, учитывающий снижение деформативности мастики в результате внешних воздействий и длительного напряжения (для тиоколовых мастик $k=0,25$); $[\delta]$ — минимальная ширина шва, при которой полимерная мастика сохраняет упругие свойства, мм; δ^* — минимальная толщина мастики в конструкции шва, мм; δ — максимальная толщина полимерной герметизирующей мастики по контакту с торцевыми гранями стыкуемых плит в конструкции шва, мм; β — угол наклона торцевых граней плит к их лицевым поверхностям, град; σ_a — величина адгезионной прочности полимерной герметизирующей мастики к бетону, кг/см²; σ_k — величина когезионной прочности мастики, кг/см².

Максимальная толщина полимерной герметизирующей мастики по контакту с торцевыми гранями стыкуемых плит в конструкции шва установлена из зависимости:

$$\delta \geq k^* \cdot \frac{m \cdot \gamma \cdot H \cdot B_w}{\sigma_a}, \quad (11)$$

где m — коэффициент, учитывающий условия работы шва, $m = 1,3$; k^* — коэффициент размерности, $k^* = 49$; γ — плотность воды, г/см³; H — наполнение канала, м; B_w — ширина шва, мм; σ_a — величина адгезионной прочности полимерной герметизирующей мастики к бетону, кПа.

Компенсатор в конструкции шва из полимерной мастики (рис. 2) заполнен пластичной, гидрофобной и морозостойкой смазкой.

Вместо полимерной мастики при формировании деформационного шва противофильтрационной облицовки каналов и водоемов можно использовать битумно-полимерную. Ее укладывают в полость шва с устройством заплечиков по верху стыкуемых плит. В остальном все компоненты остаются такими же как в ранее рассмотренном варианте. Предельные размеры шва установлены по формулам:

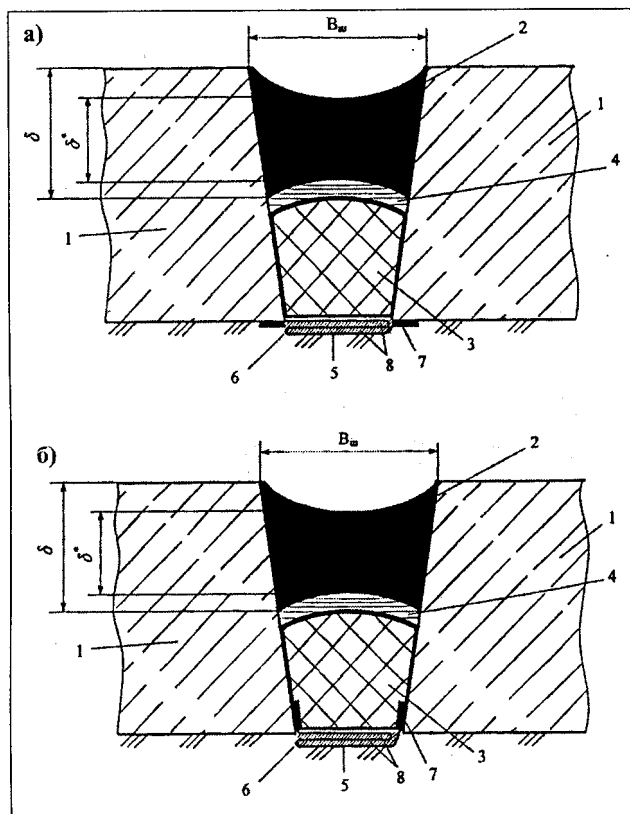


Рис. 2. Деформационный шов противофильтрационной облицовки каналов и водоемов из полимерной мастики: 1 — бетонные или железобетонные плиты; 2 — полимерная мастика; 3 — пороизоловая прокладка; 4 — противоадгезионный слой; 5 — гидроизоляционная прокладка; 6 — компенсатор; 7 — участки приклеенной гидроизоляционной прокладки к стыкуемым плитам облицовки; 8 — пластичная, гидрофобная и морозостойкая смазка.

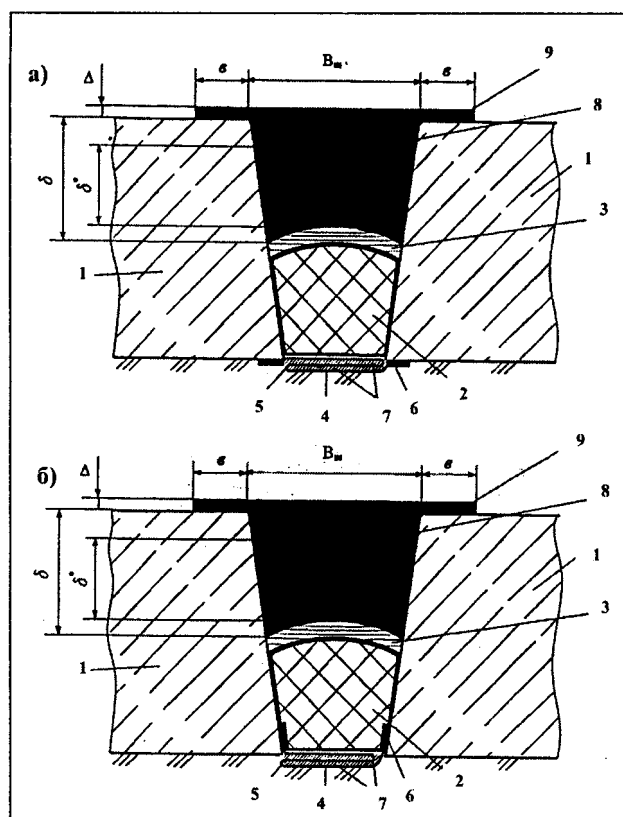


Рис. 3. Деформационный шов противофильтрационной облицовки каналов и водоемов из битумно-полимерной мастики: 1 — бетонные или железобетонные плиты; 2 — пороловая прокладка; 3 — противоадгезионный слой; 4 — гидроизоляционная прокладка; 5 — компенсатор; 6 — участки приклеенной гидроизоляционной прокладки к стыкуемым плитам облицовки; 7 — пластичная, гидрофобная и морозостойкая смазка; 8 — битумно-полимерная мастика; 9 — заплечики из битумно-полимерной мастики.

$$B_m \geq 100 \left[\frac{\Delta h}{\varepsilon_2 \cdot k_2} + \frac{\alpha \cdot L \cdot (t_{\max} - t_{\min})}{\varepsilon_1 \cdot k_1} \right] \geq [\delta]; \quad (12)$$

$$\delta^* < \frac{\delta}{\sin \beta} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_k} - \Delta, \quad (13)$$

где ε_1 — среднее значение показателя относительного удлинения битумно-полимерной герметизирующей мастики при разрыве в диапазоне эксплуатационных температур от $t_{\max}$ до $t_{\min}$, %; ε_2 — среднее значение показателя относительного удлинения

битумно-полимерной мастики в диапазоне температур, при которых имеют место неравномерные деформации основания: морозное пучение от 0 до $t_{\min}$, °C, просадка и набухание от 0 до $t_{\max}$, °C, %; k_1 и k_2 — коэффициенты усталости материала заполнения шва, учитывающие снижение деформативности битумно-полимерной герметизирующей мастики при долговременной работе соответственно в диапазоне эксплуатационных температур от $t_{\max}$ до $t_{\min}$ ($k_1 = 0,6$) и в области положительных или отрицательных температур ($k_2 = 0,4 \dots 0,7$); Δ — толщина заплечиков на стыкуемых плитах, мм ($\Delta = 30 \dots 50$ мм).

Остальные обозначения для расчета предельных размеров шва из битумно-полимерной мастики, входящие в формулы (12) и (13), те же, что и в зависимостях (9)–(11).

Максимальная толщина битумно-полимерной герметизирующей мастики в конструкции швов устанавливается из зависимости (11).

Возможная величина взаимных продольных или вертикальных перемещений плит 1 облицовки без нарушения герметичности шва при деформациях может достигать в случае использования полимерной мастики не менее 80 мм, а битумно-полимерной — не менее 40 мм.

Если в основании канала или водоема находится сильно деформируемый суглинистый грунт, водонепроницаемость швов достигается благодаря наличию в их нижней части герметично приклеенной гидроизоляционной прокладки с компенсатором.

Предложенные современные водосберегающие конструкции противофильтрационных покрытий водоемов и каналов, технологии их устройства и методы расчетов защищены патентами Российской Федерации на изобретения [1, 2]. Использование выполненных разработок обеспечивает надежную, долговременную противофильтрационную защиту мелиоративных каналов и водоемов, возводимых в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, что позволит предотвратить заболачивание, засоление и подтопление ценных сельскохозяйственных угодий, то есть значительно улучшит мелиоративную и экологическую обстановку на орошаемых землях.

Литература.

1. Патент № 2284390 (RU), С 1 МПК E 02 B 3/16 (2006.01). Противофильтрационное покрытие каналов / Алимов А.Г. (RU); заявитель и патентообладатель гос. научн. учрежд. Поволж. научн. — исслед. ин-т эколого-мелиорат. технологий. — № 2005102269/03; заявл. 31.05.2005; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 17.-23 с.: 1 ил.
2. Патент № 2278202 (RU), С 1 МПК E 02 B 3/16 (2006.01). Деформационный шов противофильтрационной облицовки каналов и водоемов (варианты) / Алимов А.Г. (RU); заявитель и патентообладатель гос. научн. учрежд. Поволж. научн. — исслед. ин-т эколого-мелиорат. технологий. — № 2004138978/03; заявл. 30.12.2004; опубл. 20.06.2006, Бюл. № 17.-15 с.: 4 ил.

ВНИМАНИЮ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ И ДРУГИХ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ЛИЦ!

Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК» издает монографии и другую книжную продукцию с редактированием и всеми выходными данными.

Цены договорные.

Заявки отправлять по адресу: 101000, г. Москва, Моспочтамт, а/я 166.

Тел.: (495) 557-13-01, (916) 241-63-43

E-mail: agroaprk@mail.ru