

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЙ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В КИТАЕ

Э. И. Михневич¹, доктор технических наук
Ли Цзэмин^{1,2}, аспирант

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

²Шэньянский технологический институт, г. Фушунь, Китай

Аннотация

Проанализированы применяемые в Китае водонепроницаемые конструкции креплений ирригационных каналов. Приведены облицовки сборными железобетонными плитами, укладываемыми на слой композитной мембраны, и крепление, выполненное из бетона, заливаемого в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани. Предложена конструкция крепления в виде решетчатых и ячеистых плит, укладываемых на водонепроницаемую пленку, с заполнением решеток и ячеек крупнозернистым материалом, диаметр которого определяют по разработанным нами формулам.

Ключевые слова: ирригационные каналы, водонепроницаемые крепления, композитные мембраны, решетчатые и ячеистые плиты, методика расчета.

Abstract

E. I. Mikhnevich, Li Zeming WATERPROOF DESIGNS FOR FASTENING IRRIGATION CHANNELS IN CHINA

An analysis of the used made in China waterproof designs for fastening irrigation canals is given. The lining are presented with prefabricated reinforced concrete slabs laid on a layer of composite membrane, and fastenings made of concrete poured into molding bags made of two-layer polymer fabric. A fastening design has been proposed in the form of lattice and cellular slabs laid on a waterproof film, with the lattice and cells filled with coarse-grained material, the diameter of which is determined according to the formulas we have developed.

Keywords: irrigation channels, waterproof fastenings, composite membranes, lattice and cellular slabs, calculation methods.

Введение

Для снижения фильтрационных потерь из оросительных каналов, повышения их КПД и предотвращения подтопления в приканальной зоне облицовки каналов должны быть водонепроницаемыми и обеспечивать защиту русла от размыва потоком воды. Особое значение имеет хорошее состояние магистральных каналов, которые являются непосредственным поставщиком воды из водных источни-

ков (рек, водохранилищ, озер) на орошение. Многие из них – крупные водотоки, что характерно для ирригационных систем Китая. Так, общая протяженность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао, составляет 188,6 км, а расход воды на входе в канал – 565 м³/с; воду от главного канала в зону орошения отводят 16 магистральных каналов [1].

Крепление каналов сборными железобетонными плитами и бетонной облицовкой

Наиболее распространенный тип крепления ирригационных каналов – облицовка сборными железобетонными плитами (рис. 1) или монолитным бетоном [2, 3]. В руслах, сложенных глинистыми, лессовидными и мелкозернистыми грунтами, плиты укладывают на гравийно-песчаную подготовку толщиной 0,1–0,2 м.

Бетонные крепления обладают высокой прочностью, долговечностью и малым коэф-

фициентом шероховатости, что способствует уменьшению размеров поперечного сечения и повышению скорости течения воды в русле. Более удобны в применении сборные железобетонные плиты, которые позволяют повысить темпы строительства за счет индустриализации и механизации строительного процесса. Такие крепления отличаются малыми затратами на техническое обслуживание, а к их недостаткам

можно отнести ручные работы по заделке стыков плит, недостаточную трещиностойкость, а также их высокую начальную стоимость.

Водонепроницаемость бетонного крепления повышается укладкой плит на композитную геомембрану, которая представляет собой непроницаемый материал, состоящий из геотекстильного полотна и геомембраны из полиэтилена или поливинилхлорида, обеспечивающей полную защиту от просачивания воды из канала.

В Китае на небольших каналах применяют унифицированное бетонирование всего сечения русла (рис. 2). Для этого используют механизированную опалубку и автобетономешалки при приготовлении бетонной смеси непосредственно на берегу канала [4].

В строительстве крупных каналов в отдаленных горных районах Китая для облицовки русла применяется чешуйчатый бетон, приготовляемый из смеси цемента, песка, гальки и крупных камней [5]. Чешуйчатый бетон заполняют камнями или крупной галькой с размером частиц 10–15 см и более. Количество камней в смеси не должно превышать 25 % от объема бетонной конструкции. Преимущество устройства таких креплений заключается в использовании местных материалов для приготовления бетона, что, соответственно, позволяет избежать транспортных затрат на доставку инертных заполнителей бетонной смеси. Этот вид облицовки не рекомендуется применять на каналах в торфяных и лессовидных грунтах.



Рис. 1. Облицовка канала сборными железобетонными плитами



Рис. 2. Бетонная облицовка поперечного сечения канала

Специфичным типом креплений, применяемых в КНР, является крепление, выполненное из бетона, который заливается в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани (рис. 3). Бетон формовочного мешка представляет собой структуру, образованную после затвердевания бетона путем заливки бетонного раствора в формовочный мешок с помощью насоса высокого давления [6].

Укажем преимущества крепления: высокая степень механизации, прочная устойчивая защита откосов, длительный срок службы. Сам формовочный мешок обладает определенной степенью водопроницаемости, и после заливки бетона излишки воды в бетонной смеси могут вытекать из мешка. Это способствует снижению водоцементного отношения, ускорению затвердевания бетона и повышению его прочности на сжатие. Структура бетонной облицовки в виде формовочного мешка обладает хорошим эффектом защиты от проса-

чивания, коэффициент использования воды, подаваемой на орошение, может достигать более 96 %, что позволяет реализовать водосберегающее орошение.

Конструкции бетонной облицовки в виде формовочного мешка применяют на небольших каналах шириной по дну от 1 до 1,5 м. В то же время каналы с таким типом крепления имеют более низкий коэффициент заложения откосов, что позволяет уменьшить площадь поперечного сечения. К недостаткам такого типа крепления можно отнести трудоемкий процесс его устройства. Толщина самого формовочного мешка должна обеспечить устойчивость откосов к различным видам деформаций.

В горных районах Китая защиту откосов устраивают из шламовой кладки на слое водонепроницаемой композитной геомембраны. Опорная плита и боковая стенка выполнены из шламовой кладки толщиной 0,3–0,5 м (рис. 4).



Рис. 3. Бетонная облицовка с применением формовочного мешка

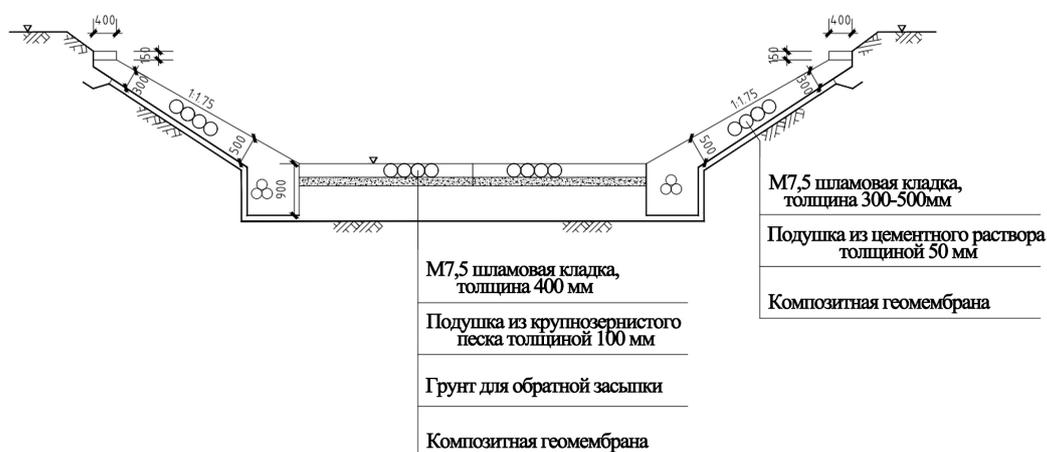


Рис. 4. Крепление из шламовой кладки на слое композитной геомембраны

Преимущества такого крепления: хороший эффект защиты от просачивания и обморожения, небольшие инвестиции, нетрудоемкая укладка геомембраны. К недостаткам можно отнести повышение коэффициента шероховатости канала и трудности устранения повреждения геомембраны.

Для больших каналов (шириной по дну 6–8 м и более) используют конструкцию крепления в виде монолитных непроницаемых бетонных плит толщиной 0,15 м, которые укладывают на слой композитной геомембраны (рис. 5).

Преимущества такого крепления: хороший эффект защиты от просачивания, небольшая шероховатость поверхности русла, соответственно, высокая скорость течения воды и уменьшение площади поперечного сечения.

Недостаток крепления – в слабой приспособляемости к деформациям.

Для удобства производства работ, снижения времени строительства крепления и лучшей его адаптации к деформациям используют конструкции из сборно-бетонных плит непроницаемого типа на слое композитной геомембраны [7]. Дно канала укрепляют опорной монолитной бетонной плитой толщиной 0,12 м, а откосы – сборно-бетонными плитами толщиной 0,08 м; слой композитной геомембраны укладывают и под опорную монолитную плиту, и под сборные бетонные плиты на откосах (рис. 6).

В районах с низкими зимними температурами для повышения устойчивости креплений в пучинистых грунтах сборно-бетонные плиты укладывают на теплоизоляционные пенополистирольные плиты толщиной не менее 7 см [8].



Рис. 5. Крепление канала непроницаемыми бетонными плитами на слое композитной геомембраны

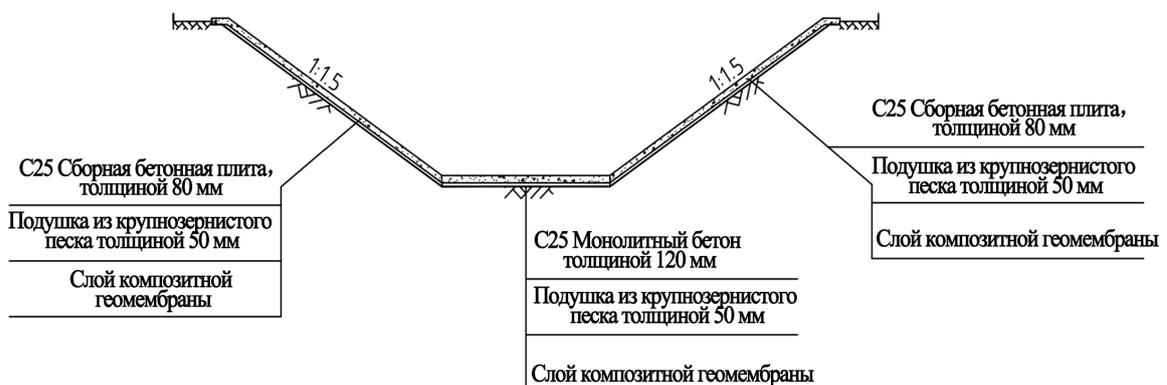


Рис. 6. Крепление откосов сборными бетонными плитами по слою геомембраны

Крепление каналов решетчатыми и ячеистыми плитами

Для снижения объема бетона в конструкциях креплений каналов и повышения устойчивости сыпучих крупнозернистых материалов на поверхности откосов предлагается использовать крупнорешетчатые и мелкорешетчатые (ячеистые) плиты, укладываемые на водонепроницаемую геомембрану. Решетки и ячейки в этих плитах заполняются крупнозернистыми материалами. Тот или иной тип плит выбирают в зависимости от крупности материала засыпки, имеющегося в наличии. Если используется материал большой крупности (камни, гравий, щебень), то применяют решетчатые плиты, а если крупнозернистый песок или мелкий гравий – то ячеистые плиты (рис. 7).

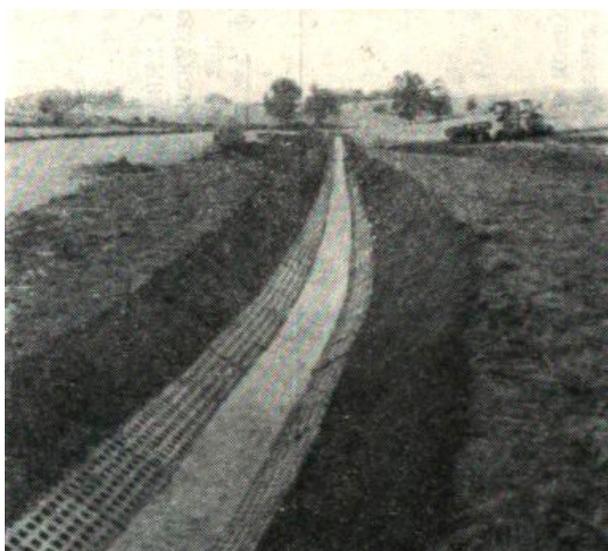


Рис. 7. Крепление канала ячеистыми плитами

Крупность материалов засыпки рассчитывают из условия их устойчивости к размыву русловым потоком. Расчетной стадией для определения требуемого диаметра D заполнителя крупноразмерных решеток является стадия начала подвижки отдельных зерен материала, а для ячеистых плит (при ширине ячейки $b \leq 10D$) за расчетную принимают стадию взвешивания грунта, что позволяет значительно уменьшить крупность материала засыпки, но при этом объем бетона в таких плитах будет несколько выше, чем в крупнорешетчатых.

При определении крупности зерен материала засыпки для указанных стадий рекомендуется использовать формулы Э. И. Михневича [9] применительно к допускаемым

скоростям для дна и откосов, решая их относительно диаметра. За расчетные принимают скорости, соответствующие стадии начала влечения отдельных зерен грунта для засыпки решетчатых плит и стадии начала их взвешивания – для ячеистых.

Формула определения допускаемой неразрывающей скорости для дна в стадии начала влечения отдельных зерен несвязного грунта имеет вид:

$$v_{н.доп} = 2,06 \left(\frac{R}{d} \right)^{0,167} \sqrt{\frac{g \rho_1 d f_n}{\rho_B}}, \quad (1)$$

где R – гидравлический радиус русла, м;

d – расчетный диаметр грунта, м;

ρ_1 – плотность грунта с учетом взвешивания его водой, кг/м³;

ρ_B – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

f_n – коэффициент внутреннего трения грунта; для крупнозернистого материала засыпки принимается равным 0,80 для гравия; 0,9 – для мелкого щебня; 0,7 – для гравийно-песчаных смесей; $f_n = 1$ для каменной наброски и крупных сортированных фракций щебня.

Решая эту формулу относительно диаметра, получаем зависимость для определения среднего диаметра материала наброски дна $D_{дн}$ (с учетом коэффициента запаса K_3):

$$D_{дн} = \frac{K_3 v^3}{8,74 R^{0,5} (g \rho_1 f_n / \rho_B)^{1,5}}, \quad (2)$$

где v – скорость течения воды, м/с;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения наброски по дну, принимают равным 1,15.

Формула определения допускаемой неразрывающей скорости для откоса с коэффициентом заложения m в стадии начала влечения отдельных зерен несвязного грунта имеет вид:

$$v_{доп} = 2,06 \left(\frac{R}{d} \right)^{0,167} \left(\frac{g \rho_1 d}{\rho_B} \right)^{0,5} \left[f_n^2 - \frac{1}{m^2} \right]^{0,25}. \quad (3)$$

Решая формулу (3) относительно диаметра, получаем зависимость для определения расчетного диаметра D материала наброски откосов, в которой за расчетную принимается стадия начала влечения отдельных частиц:

$$D = \frac{K_3 v^3}{8,74 R^{0,5} (g \rho_1 / \rho_B)^{1,5} (f_n^2 - 1/m^2)^{0,75}}, \quad (4)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения наброски на откосе, принимаемый равным 1,2;

m – коэффициент заложения откоса.

Содержание частиц с расчетным диаметром D должно быть в наброске не менее 50 % по массе, а ее толщина не менее $3D$.

Если в качестве крепления откосов применяют бетонные ячеистые (мелкорешетчатые) плиты, то диаметр частиц крупнозернистого материала (заполнителя ячеек) рассчитывают для стадии начала взвешивания грунта.

Формула определения допускаемой скорости для дна в стадии начала взвешивания несвязного грунта имеет вид:

$$v_{\text{доп}} = 5,96 \left(\frac{R}{d} \right)^{0,1} \left(\frac{g \rho_1 d f}{\rho_B} \right)^{0,5}. \quad (5)$$

Решая формулу относительно диаметра, получаем зависимость для определения среднего диаметра материала пригрузки дна $D_{\text{дн}}$ (с учетом коэффициента запаса K_3):

Выводы

1. В качестве водонепроницаемых конструкций креплений ирригационных каналов широкое внедрение получили сборные железобетонные плиты, укладываемые на слое композитной геомембраны.

2. В Китае на небольших ирригационных каналах (шириной по дну порядка 1–2 м) применяют два типа креплений: бетонирование всего сечения русла с использованием механизированной опалубки и автобетономешалки для приготовления бетонной смеси непосредственно на берегу канала, а также крепление, выполненное из бетона, заливаемое

$$D_{\text{дн}} = \frac{K_3 v^{2,5}}{86,72 R^{0,25} (g \rho_1 f / \rho_B)^{1,25}}. \quad (6)$$

Формула определения допускаемой скорости для откоса в стадии начала взвешивания несвязного грунта имеет вид:

$$v_{\text{доп}} = 5,96 \left(\frac{R}{d} \right)^{0,1} \left(\frac{g \rho_1 d}{\rho_B} \right)^{0,5} \left[f^2 - \frac{1}{m^2} \right]^{0,25}. \quad (7)$$

Решая эту формулу относительно диаметра, получаем зависимость для расчета диаметра частиц наброски, укладываемой в ячейки плит на откосе, в следующем виде:

$$D = \frac{K_3 v^{2,5}}{86,72 R^{0,25} (g \rho_1 / \rho_B)^{1,25} (f^2 - 1/m^2)^{0,625}}. \quad (8)$$

Практически тип плиты крепления выбирают на основе технико-экономических расчетов с учетом наличия материалов требуемой крупности и возможной экономии бетона.

мого в формовочные мешки, изготовленные из двухслойной полимерной ткани.

3. Для снижения объема бетона в конструкциях креплений каналов и повышения устойчивости сыпучих крупнозернистых материалов на поверхности откосов предлагается использовать решетчатые и ячеистые плиты, укладываемые на водонепроницаемую геомембрану.

Решетки и ячейки в этих плитах заполняются крупнозернистым материалом, диаметр зерен которого рассчитывают по разработанным нами формулам.

Библиографический список

1. Михневич, Э. И. Пропускная способность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао / Э. И. Михневич, Ли Цзэмин // 37-е пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Рязань, 3–7 окт. 2022 г. : доклады и сообщения / МГУ ; ред. Р. С. Чалов [и др.]. – Москва, 2022. – С. 128–130.
2. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.] ; под ред. В. С. Алтунина. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 160 с.
3. Zhang, Wei. Discussion on the construction technology of cast-in-place concrete impermeable channel / Wei Zhang // Sichuan Building Materials. – 2014. – № 40 (3). – P. 222–224. (на кит.)
4. Ma, Jimin. Application and measures of concrete lining machine in channel construction / Jimin Ma // Water Resources. – 2013. – № 1. – P. 48–53. (на кит.)

5. Wen, Yuxia. Measures to prevent infiltration lining of irrigation channels / Yuxia Wen // Gansu Agriculture. – 2006. – № 5. – P. 129. (на кит.)
6. Wang, Hongbao. Application of moulded bag concrete lining in the engineering / Hongbao Wang // Shaanxi Water Resources. – 2022. – № 5. – P. 155–159. (на кит.)
7. Xu, Qiuzi. Seepage control channel lining technology in farmland water conservancy construction / Qiuzi Xu // China Science and Technology Information. – 2022. – № 8. – P. 67–69. (на кит.)
8. Shi, Jiao. Evaluating the effectiveness and adaptability of Anti-frost-heaving materials for channel lining in frozen earth areas based on temperature-stress coupling / Jiao Shi // Journ. of Changjiang River Scientific Research Institute. – 2022. – № 39 (3). – P. 131–136. (на кит.)
9. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск : БНТУ, 2021. – 311 с.

Поступила 5 июня 2024 г.