

Оригинальная статья

УДК 502/504:626.82.691.11

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-63-68

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ УСАДОЧНЫМИ ШВАМИ БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КАНАЛОВ

ЖАРНИЦКИЙ ВАЛЕРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ^{1✉}, д-р техн. наук, профессор
zharnitskiy@mail.ru

СМИРНОВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ¹, канд. техн. наук, доцент
sxodnyasmirnov@mail.ru

АНДРЕЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ^{2✉}, канд. техн. наук, доцент
andreev-rf@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

² РАНХиГС. Институт государственной службы и управления; 119571, г. Москва, пр-кт Вернадского, 82, стр. 1, офис 3329, Россия

Оценка предрасположенности бетона к трещинообразованию с последующими изменениями объема и характера пор, а также капиллярных ходов, деформационных и прочностных свойств материала (особенно деформаций растяжения и прочности на разрыв) является основным показателем, по которому можно спрогнозировать стойкость и долговечность облицовок водохозяйственных каналов. С помощью регулирования технологических факторов можно значительно понизить интенсивность влажностной усадки, что в свою очередь позволяет достичь повышения показателей эксплуатационной надежности и долговечности бетонных облицовок. Основной причиной проявления усадочных трещин в бетоне является превышение в определенный момент непроявившихся усадочных деформаций, в результате которых образуются растягивающие напряжения в материале при стесненной усадке, предельной растяжимости бетона. Качественное прогнозирование потенциальной стойкости и долговечности облицовок водохозяйственных каналов возможно при проведении оценки предрасположенности бетона к трещинообразованию с последующими изменениями объема, характера пор и капиллярных ходов, деформационных и прочностных свойств материала облицовки.

Ключевые слова: бетонные облицовки, агрессия внешней среды, растрескивание бетона, усадка бетона, трещиностойкость бетона, прочностные свойства, силы сцепления, растягивающие усилия

Формат цитирования: Жарницкий В.Я., Смирнов П.А., Андреев Е.В. Экспериментально-теоретическое обоснование метода оценки трещиностойкости и расстояния между усадочными швами бетонных облицовок водохозяйственных каналов // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-63-68.

© Жарницкий В.Я., Смирнов П.А., Андреев Е.В., 2022

Original article

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD FOR ASSESSING CRACK RESISTANCE AND DISTANCE BETWEEN SHRINK JOINTS OF CONCRETE LININGS OF WATER MANAGEMENT CANALS

ZHARNITSKIY VALERY YAKOVLEVICH^{1✉}, doctor of technical sciences, professor
zharnitskiy@mail.ru

SMIRNOV ALEXANDR PETROVICH¹, candidate of technical sciences, associate professor
sxodnyasmirnov@mail.ru

ANDREEV EVGENIJ VLADIMIROVICH^{2✉}, candidate of technical sciences, associate professor
andreev-rf@mail.ru

¹ Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49, Russia

² RANHiGS. Institute of state service and management; 119571, Moscow, prospect Vernadskogo, 82, bld. 1, office 3329, Russia

Assessment of the susceptibility of concrete to cracking with subsequent changes in the volume and nature of pores, as well as capillary passages, deformation and strength properties

of the material (especially tensile deformations and tensile strength) are the main indicators by which the resistance and durability of linings of water channels can be predicted. By regulating technological factors, it is possible to significantly reduce the intensity of moisture shrinkage, which in turn makes it possible to achieve an increase in the operational reliability and durability of concrete linings. The main reason for the manifestation of shrinkage cracks in concrete is the excess, at a certain point in time, of non-manifested shrinkage deformations, as a result of which tensile stresses are formed in the material with constrained shrinkage, the ultimate tensile strength of concrete. Qualitative prediction of the potential resistance and durability of linings of water channels is possible when assessing the predisposition of concrete to cracking with subsequent changes in the volume, nature of pores and capillary passages, deformation and strength properties of the lining material.

Keywords: concrete linings, environmental aggression, concrete cracking, concrete shrinkage, concrete crack resistance, strength properties, adhesion forces, tensile forces

Format of citation: Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P., Andreev E.V. Experimental and theoretical substantiation of the method for assessing crack resistance and distance between shrink joints of concrete linings of water management canals // Prirodoobustroystvo. – 2022. – № 2. – S. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-63-68.

Введение. Бетонные облицовки водохозяйственных каналов являются тонкостенными конструкциями с большой открытой поверхностью, которая подвергается агрессивному воздействию температурно-влажностного режима и природно-климатических условий внешней среды. Агрессия внешней среды вызывает в бетоне деструктивные процессы. Одним из важнейших процессов является микро- и макротрещинообразование. Оценка предрасположенности бетона к трещинообразованию с последующими изменениями объема и характера пор и капиллярных ходов, деформационных и прочностных свойств материала (особенно деформаций растяжения и прочности на разрыв) служит основой прогнозирования потенциальной стойкости и долговечности облицовок водохозяйственных каналов.

Растрескивание бетона монолитных облицовок происходит главным образом в результате влажностной усадки бетона в процессе его твердения. Интенсивность влажностной усадки зависит от многих факторов, главными из которых являются: состав бетона; качество его укладки и уплотнения; температурно-влажностные условия внешней среды; методы и продолжительность ухода за уложенным бетоном. Регулируя технологические факторы, можно существенно снизить интенсивность влажностной усадки и тем самым повысить эксплуатационную надежность и долговечность бетонных облицовок.

Материалы и методы исследований. Непосредственной причиной появления усадочных трещин в бетоне является превышение в какой-то момент непроявившихся усадочных деформаций, которые вызывают растягивающие напряжения в материале при стесненной усадке, предельной растяжимости бетона.

Другими словами, растрескивание бетона имеет место, когда растягивающие напряжения

в бетоне от стесненной усадки превышают его предел прочности на растяжение. В этой связи за условие трещиностойкости бетона может быть принято выражение

$$\varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}} \leq \varepsilon_{\text{пр.раст.}}, \quad (1)$$

или

$$\sigma_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}} \cdot E_{\text{раст}} \leq R_{\text{п}}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}}$ – непроявившаяся относительная деформация при стесненной усадке; $\varepsilon_{\text{пр.раст.}}$ – предельная относительная деформация растяжения; $\sigma_{\text{п}}$ – величина растягивающих напряжений в бетоне; $E_{\text{раст}}$ – модуль упругости бетона при растяжении; $R_{\text{п}}$ – предел прочности бетона при растяжении.

При выборе критерия трещиностойкости следует учитывать, что по условию (2) для оценки трещиностойкости необходимо на конкретный момент иметь два экспериментально полученных параметра: « $\varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}}$ » и « $E_{\text{раст}}$ ». В этой связи в качестве критерия целесообразно принять условие (1).

Оценка бетона сопротивляться трещинообразованию в соответствии с принятым критерием производится по величине коэффициента трещиностойкости:

$$K_{\text{тр}} = \frac{\varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}}}{\varepsilon_{\text{пр.раст.}}}. \quad (3)$$

Непроявившаяся усадка определяется как разность между относительными деформациями полной и стесненной усадки:

$$\varepsilon_{\text{ус}}^{\text{н}} = \varepsilon_{\text{ус}}^{\text{п}} - \varepsilon_{\text{ус}}^{\text{ст}}. \quad (4)$$

Полная и стесненная относительные деформации определяются на образцах, которые формируются в специальных стальных формах с вкладышами (рис. 1) и гнездами для установки капроновых нитей-маяков.

Перед заполнением форм бетоном днище, стенки и вкладыши форм закрываются слоем полиэтиленовой пленки, смазанной минеральным маслом, чтобы исключить сцепление бетона с поверхностью формы и вкладышей.

После окончания формовки, в период между началом и концом схватывания бетона, в образцах напротив гнезд для капроновых нитей-маяков устанавливаются металлические кнопки с метками (рисками) для регистрации деформаций образца в процессе усадки бетона.

Сразу после установки кнопок с метками в гнездах бортов форм устанавливаются капроновые нити-маяки, и компаратором фиксируется их положение по отношению к меткам на кнопках с точностью до 5 мкм. Одновременно формируются три образца-близнеца. На первом из них определяется свободная (полная) усадка, для чего до установки капроновых нитей-маяков из формы осторожно извлекаются вкладыши, чтобы не создавать препятствий для деформаций усадки на всей длине образца.



Рис. 1. Форма-стенд для определения усадки бетона

Fig. 1. Form-stand for determining the shrinkage of concrete

На втором образце определяют стесненную усадку, поскольку свободной деформации при его усадке препятствуют вкладыши, которые не извлекают в течение всего времени испытаний. Третий образец предназначен для определения предельной растяжимости бетона и хранится в форме с вынутыми вкладышами до испытаний. При этом кнопки с метками на образце и капроновые нити-маяки на стенках формы не устанавливаются.

Расходы материалов на 1 м³ бетона представлены в таблице 1. В процессе испытаний образцы находились в помещении при температуре +18...23°C и относительной влажности 50...60%. Основные результаты исследований представлены в таблице 2.

Из приведенных данных следует, что свободная (полная) усадка увеличивается с ростом концентрации водовяжущего теста при изготовлении бетона, а стесненная усадка и предельная растяжимость, наоборот, уменьшаются. Вероятно, это связано с повышением жесткости структуры конгломерата и увеличением (против оптимального) толщины прослоек матрицы из отвердевшего вяжущего между зернами заполнителя-песка. В результате этого коэффициент трещиностойкости интенсивно увеличивается с уменьшением концентрации водовяжущего теста, что соответствует известному из практики положению о большей трещиностойкости тощих растворов [1-7].

В основу методики по определению расстояния между усадочными швами облицовок положены следующие предпосылки:

1. Усадка развивается равномерно по всему объему материала. Из этого следует, что если отсутствует сцепление бетона одежды с основанием, усадка не вызывает растрескивания, поскольку изменению размеров (объема) материала не препятствуют никакие внешние и внутренние (неравномерность усадки) силовые факторы.

2. Растрескивание происходит вследствие возникновения непроявившейся усадки, то есть усадки, развитию которой воспрепятствовали внешние силовые факторы. В случае антифильтрационных монолитных бетонных одежд главными внешними силовыми факторами, препятствующими проявлению усадки (то есть вызывающим непроявившуюся усадку), являются активные единичные силы (напряжения) сцепления подошвы одежды с грунтовым основанием. Эти силы активно проявляются только с момента возникновения смещения подошвы одежды по основанию вследствие усадки бетона одежды (с момента достижения предельного равновесия).

3. Величина этого сцепления в пределах каждой элементарной площадки на контакте одежды с грунтом является функцией силы трения подошвы одежды о грунт и соотношения относительной деформации усадки и относительной предельной растяжимости бетона ($\epsilon_{ус} / \epsilon_{пр.рост.}$), поскольку, если это отношение равно или больше единицы, возникающие усадочные деформации бетона погашаются деформациями растяжимости. В этом случае не происходит изменения размеров (объема) материала, то есть смещения подошвы одежды по основанию, а значит, не возникают активные силы сцепления.

Составы пескобетона

Table 1

Sand concrete compositions

Соотношение цемент: песок (по смешанному вяжущему и песку без пылевидных фракций) <i>Cement ratio: sand (on mixed binder and sand without powdered fractions)</i>	Истинное водоцементное отношение (по смешанному вяжущему) <i>True water cement relationship (on mixed binder)</i>	Концентрация водовяжущего теста (по массе) <i>Concentration of water-binding dough (by weight)</i>	Расходы материалов в кг на 1 м ³ бетона <i>Consumption of materials in kg per 1 m³ of concrete</i>					
			Песок / Sand		Цемент клинкерный <i>Clinker cement</i>	Смешанное вяжущее (клинкерный цемент с пылевидными фракциями песка) <i>Mixed binder (clinker cement with sand powdered fractions)</i>	Вода / Water	
			Без пылевидных фракций <i>No powdered fractions</i>	Общий <i>Common</i>			Наводотребность песка <i>For sand water requirements</i>	На затворение смешанного вяжущего <i>For mixing of binder</i>
1:2,0	0,5	0,412	1184	1308	468	592	83	296
1:2,7	0,5	0,343	1352	1494	359	501	95	250
1:3,4	0,5	0,292	1480	1635	280	435	104	218

Таблица 2

Результаты исследований трещиностойкости пескобетона

Table 2

Results of sand concrete crack resistance studies

Состав пескобетона (Ц/П) <i>Composition of sand concrete (C/S)</i>	Концентрация водовяжущего теста в бетоне (по массе) <i>Concentration of water binding dough (by weight)</i>	Коэффициент трещиностойкости <i>Coefficient of crack resistance</i>	Значения относительных деформаций к 10 ⁻⁵ <i>Values of relative deformations κ 10⁻⁵</i>		
			Свободной (полной) усадки <i>Free (full) shrinkage</i>	Стесненной усадки <i>Constrained shrinkage</i>	Предельной растяжимости <i>Ultimate tensile strength</i>
1:2	0,412	1,90	151	69	43
1:2,7	0,343	1,38	142	78	46
1:3,4	0,292	0,81	131	90	50

Функциональная зависимость единичных активных сил сцепления (напряжений) для одномерной (линейной) задачи при единичной ширине полосы принята в виде:

$$\tau_{\text{ед}} = \delta \cdot \rho_o \cdot f_{\text{тр}} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{ус}}}{\varepsilon_{\text{пр.раст.}}}, \quad (5)$$

где δ – толщина облицовки, см; ρ_o – средняя плотность бетона, т/см³; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения бетона по грунту; $\varepsilon_{\text{ус}}$ – относительная деформация усадки бетона; $\varepsilon_{\text{пр.раст.}}$ – относительная предельная растяжимость бетона.

4. Распределение активных сил сцепления по длине контактного слоя (рис. 2) принято по закону:

$$\tau = 0,5 \tau_{\text{ед}} \cdot l^2 \quad (6)$$

или после подстановки значения $\tau_{\text{ед}}$ из выражения: (5)

$$\tau = 0,5 \delta \cdot \rho_o \cdot f_{\text{тр}} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{ус}}}{\varepsilon_{\text{пр.раст.}}} \cdot l^2. \quad (7)$$

Здесь l – рассматриваемая координата от сечения, где $\tau = 0$ (центр усадки), м.

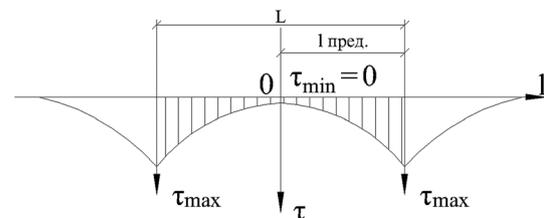


Рис. 2. Расчетная эпюра распределения напряжений сцепления (τ) по контакту облицовки с грунтом
Fig. 2. Calculated diagram of distribution of bond tensions (τ) on the contact of the lining with cement

5. Активные силы сцепления, суммируясь по длине от начала отсчета (сечения, где $\tau = 0$, центр усадки) до места (сечения), где они достигают максимальной величины τ_{max} (отрезок $l_{\text{пред}}$, рис. 2), создают растягивающее усилие в облицовке, которое вызывает в этом сечении разрыв (трещину) в бетоне, поскольку здесь растягивающие напряжения в бетоне достигают предела прочности бетона на растяжение.

Величина растягивающего усилия определяется интегралом:

$$P = 0,5 \cdot \delta \cdot \rho_o \cdot f_{тр} \cdot \frac{\varepsilon_{ус}}{\varepsilon_{пр.раст.}} \int_0^{l_{пред.}} l^2 dl, \quad (8)$$

откуда

$$P = 0,167 \cdot \delta \cdot \rho_o \cdot f_{тр} \cdot \frac{\varepsilon_{ус}}{\varepsilon_{пр.раст.}} \cdot l_{пред.}^3 \quad (9)$$

Величина растягивающих напряжений в бетоне облицовки от растягивающего усилия при линейной одномерной задаче определяется как

$$\sigma_p = \frac{P}{\sigma}, \quad (10)$$

а после подстановки значения P из выражения (9) принимает вид:

$$\sigma_p = \frac{0,167 \cdot \rho_o \cdot f_{тр} \cdot \varepsilon_{ус}}{\varepsilon_{пр.раст.}} \cdot l_{пред.}^3 \quad (11)$$

На основании вышеизложенных предпосылок координата сечения ($l_{пред.}$), где должна возникать трещина от усадки при достижении растягивающими напряжениями в бетоне предела прочности его на растяжение, может определяться из выражения:

$$0,167 \cdot \rho_o \cdot f_{тр} \cdot \frac{\varepsilon_{ус}}{\varepsilon_{пр.раст.}} \cdot l_{пред.}^3 \leq R_p^n \cdot K_{од} \cdot K_{ур}, \quad (12)$$

откуда значение $l_{пред.}$ будет определяться как

$$l_{пред.} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot R_p^n \cdot K_{од} \cdot K_{ур} \cdot \varepsilon_{пр.раст.}}{\rho_o \cdot f_{тр} \cdot \varepsilon_{ус}}}, \quad (13)$$

где R_p^n – нормативное сопротивление бетона на растяжение, т/м²; $K_{од}$ – коэффициент однородности бетона; $K_{ур}$ – коэффициент условия работы.

Библиографический список

1. **Вердиев А.А.** Надежность бетонных и железобетонных облицовок магистральных каналов, эксплуатируемых в различных инженерно-геологических условиях // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1(25). – С. 161-177.
2. **Ставская И.С.** Продольные трещины в защитном слое бетона в условиях коррозионных повреждений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГСУ, 2014. – 36 с.
3. **Капустин Ф.Л., Помазкин Е.П.** Влияние гидроизоляционной проникающей капиллярной смеси на водопроницаемость бетона и микроструктуру цементного камня // Гидротехническое строительство. – 2018. – № 2. – С. 9-12.
4. **Борделяну Г.В.** Экспериментально-статистические исследования деформаций ползучести заводского бетона с построением математических моделей второго порядка для их вычисления

Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P., Andreev E.V.

Experimental and theoretical substantiation of the method for assessing crack resistance and distance between shrink joints of concrete linings of water management canals

Общее расстояние между трещинами L , то есть расстояние между усадочными швами в облицовке из условия симметрии (рис. 2), определяется по формуле:

$$L = \frac{2}{K_T} \sqrt[3]{\frac{6 R_p^n \cdot K_{од} \cdot K_{ур} \cdot \varepsilon_{пр.раст.}}{\rho_o \cdot f_{тр} \cdot \varepsilon_{ус}}}, \quad (14)$$

где K_T – коэффициент запаса против образования трещин.

В расчетах для экспериментальной проверки методики рекомендуется принимать: $f_{тр}$ – 0,7...1,0; ρ_o – 2,3...2,4 г/см³; $K_{од}$ – 0,40...0,45; $K_{ур}$ – 0,25...0,45; K_T – 1,4...1,7.

Значения соотношения $\left(\frac{\varepsilon_{ус}}{\varepsilon_{пр.раст.}}\right)$ рекомендуется определять экспериментально для принятого состава бетона с учетом температурно-влажностных условий твердения бетона и технологии ухода за ним, но для предварительных расчетов это соотношение можно принимать в пределах 0,2...0,1, что соответствует концентрации водовяжущего теста в бетоне от 0,4 до 0,3 по массе и водовяжущего отношения от 0,4 до 0,6 [1-7]. При этом следует иметь в виду, что с увеличением концентрации водовяжущего и водоцементного теста это соотношение уменьшается.

Выводы

В основе прогнозирования потенциальной стойкости и долговечности облицовок водохозяйственных каналов лежит оценка предрасположенности бетона к трещинообразованию с последующими изменениями объема, характера пор и капиллярных ходов, деформационных и прочностных свойств материала облицовки.

References

1. **Verdiev A.A.** Nadezhnost betonnyh i zhelezobetonnyh oblitsovok magistralnyh kanalov, expluati.ruemyh v razlichnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah / Nauchny zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. – 2017. – № 1(25). – S. 161-177.
2. **Stavskaya I.S.** Prodolnye treshchiny v zashchitnom sloe betona v usloviyah korrozionnyh povrezhdenij / avtoreferat dissertatsii kandidata tehnikeskikh nauk. – M.: MGSU. 2014. – 36 s.
3. **Kapustin F.L., Pomazkin E.P.** Vliyanie gidroizolyatsionnoj pronikayushchej kapillyarnoj smesi na vodopronitsaemost betona i mikrostrukturu tsementnogo kamnya / Gidrotehnikeskoe stroitelstvo. – 2018. – № 2. – S. 9-12.
4. **Bordelyanu G.V.** Experimentalno-statisticheskie issledovaniya deformatsij polzuchesti zavodskogo vychisleniya i prognozirovaniya: avtoreferat dis. kand. tehn. nauk. – Kishinev: 1974. – 23 s.

и прогнозирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кишинев, 1974. – 23 с.

5. **Галустов К.З.** Двухкомпонентная теория. Развитие и уточнение теории ползучести бетона: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1980. – 35 с.

6. **Корниенко П.А., Прозоровский А.Г., Сабодаш П.Ф.** Об учете массовых сил в расчетах плоско-параллельного слоя бетонной смеси на наклонном грунтовом массиве // Материалы научно-технической конференции. – М.: МГУП, 2000. – С. 93-94.

7. **Грозав В.И., Кулиев К.А.** Интенсификация бетонирования монолитных облицовок каналов // Материалы научно-технической конференции. – М.: МГУП, 2001. – 85 с.

8. **Вайнберг А.И.** Решение динамических задач оползневой сдвига // Гидротехническое строительство. – 2002. – Вып. 5. – С. 24-28.

9. **Жарницкий В.Я., Корниенко П.А.** Экспериментальные исследования безвибрационного метода укладки бетонной смеси облицовках каналов // Природобустройство. – 2021. – № 3. – С. 88-94.

10. **Жарницкий В.Я., Корниенко П.А.** Обоснование линейной математической модели сдвигового течения бетонной смеси под действием силы тяжести по наклонной поверхности откоса // Природобустройство. – 2020. – № 1. – С. 88-93.

Критерии авторства

Жарницкий В.Я., Смирнов А.П., Андреев Е.В. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 28.12.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.04.2022 г.

Принята к публикации 25.04.2022 г.

5. **Galustov K.Z.** Dvuhkomponentnaya teoriya. Razvitie i utocnenie teorii polzuchesti betona, avroref. dis. doktora tehn. nauk. – М.: 1980. – 35 s.

6. **Kornienko P.A., Prozorovskiy A.G., Sabodash P.F.** Ob uchete massovyh sil v raschetah plosko – parallelnogo sloya betonnoj smesi na naklonnom gruntovom massivе. Mat-ly nauchno–tehn. konf. – М.: MGUP, 2000. – S. 93-94.

7. **Grozav V.I., Kuliev K.A.** Intensifikatsiya betonirovaniya monolitnyh oblitsovok kanalov: Mat-ly nauchno–tehn. konf. – М.: MGUP, 2001. – 85 s.

8. **Vainberg A.I.** Reshenie dinamicheskikh zadach opolzneвого sдвига // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2002. – Vyp. 5. – S. 24-28.

9. **Zharnitskiy V.Ya., Kornienko P.A.** Experimentalnye issledovaniya bezvibratsionnogo metoda ukladki betonnoj smesi v oblitsovках kanalov / Prirodobustrojstvo. – 2021. – № 3. – S. 88-94.

10. **Zharnitskiy V.Ya., Kornienko P.A.** Obosnovanie linejnoj matematicheskoj modeli sdvigovogo techeniya betonnoj smesi pod dejstviem sily tyazhesti po naklonnoj poverhnosti otkosa / Prirodobustrojstvo. – 2020. – № 1. – S. 88-93.

Criteria of Authorship

Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P., Andreev E.V. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Zharnitskiy V.Ya., Smirnov A.P., Andreev E.V. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 28.12.2021

Approved after reviewing 18.04.2022

Accepted for publication 25.04.2022