3. **Mikhailova N.N.** Novye dannye o zemletryaseniyah v «asejsmicheskih» rajonah Kazahstana i karta sejsmicheskogo rajonirovaniya / Issledovaniya seismostojkosti sooruzhenij i konstruktsij. Trudy Kaz. NIISSA. Vyp. 20(30). – Alma-Ata: Kaz. NIISSA, 2001. – S. 80-88.

4. **Srinivas T., Chandrashekar K.S.S., Srinivasulu S.** Seepage control in embankments – a case study Akkampally balancing reservoir // International Dam Safety Conference. Bhubaneswar, Odisha. February 2019, Vol. 2, p. 557-560.

5. **Plunnecke C., Marcelino J.** Rehabilitation of the Massingir Embankment Dam: A Concept Based on Finite Element Seepage Analysis // Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering. Sept. 2016, Vol. 5, Issue 3, p. 147-153.

6. **Krutov D.A.** Remont drenazhnyh system gruntovyh plotin // Vestnik MGSU. – 2019. – T. 14. – Vyp. 7. – S. 901-911.

7. **Mathur C.S., Bikram P., Verma V.K., Vaibhav S.** Major structural measures for dam safety under DRIP from hydrological considerations // International Dam Safety Conference. Bhubaneswar, Odisha. February 2019, Vol. 2, p. 875-884.

The material was received at the editorial office
15.12.2019

Information about the author

Krutov Denis Anatoljevich, candidate of technical sciences, visiting professor, the Kazakhstan – German university; 050010, Almaty, ul. Pushkina, 111; e-mail: dkrutov@rambler.ru

УДК 502/504:626.82.691.11 DOI 10.34677/1997-6011/2020-1-88-93

В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, П.А. КОРНИЕНКО

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПО НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТКОСА

Мировой опыт строительства каналов показывает, что помимо вновь возводимых сооружений выполняются значительные объёмы работ по ремонту и восстановлению существующей сети. При этом не достаточно исследованы основные закономерности гидродинамического сдвигового течения плоскопараллельного слоя бетонной смеси, находящейся на плоской поверхности земляного склона, бетонная смесь укладываемая на откосы, рассматривается как однослойная жидкость, что не вполне адекватно отражает её реальную работу. Предлагается математическая модель стационарного сдвигового течения плоского слоя вязкой жидкости (бетонной смеси), стекающей вдоль откоса под действием сил тяжести по наклонной поверхности, что позволяет устанавливать гидродинамические параметры потока, вязкие напряжения, давление и скорость движения частиц вязкой жидкости. Уточнение расчетных моделей и их экспериментальная проверка позволят правильнее формулировать технические требования к способам и средствам механизации укладки бетона в монолитные крепления каналов.

Каналы, строительство, сооружения, восстановление гидротехнических сооружений, монолитные облицовки каналов, бетонные смеси, гидродинамика, откосы, расчетные модели, вязкость бетона, система дифференциальных уравнений, физические поля, кинематическая вязкость, сила тяжести, двумерный поток бетонной смеси.

Введение. Возведение каналов различного назначения является эффективным способом решения разнообразных водохозяйственных задач.

Протяженность каналов Российской Федерации составляет около 35 тыс. км. Ежегодно вводится в эксплуатацию около 1,5 тыс. км каналов и, не смотря на некоторый спад, наблюдается тенденция к наращиванию объемов строительства таких объектов. Помимо вновь возводимых сооружений выполняются значительные объёмы работ по ремонту и восстановлению существующей сети. При этом в большей степени применяются монолитные бетонные отделки, отличающиеся высокими технологическими и эксплуатационными показателями.

Технологические параметры в определенной степени зависят от правильной оценки параметров бетонной смеси, стекающей в процессе укладки по наклонным откосам канала.

В области определения гидродинамических параметров бетонной смеси имеются значительные резервы в части уточнения расчетных моделей.

В результате анализа известных расчетных схем установлено, что:

1) бетонная смесь, укладываемая на откосы, рассматривается как однослойная жидкость, что не вполне адекватно отражает её реальную работу;

2) при математическом описании процесса сползания недостаточно учитываются динамические процессы снижения скорости и повышения вязкости бетонной смеси во времени.

Можно предположить, что уточнение расчетных моделей и их экспериментальная проверкапозволят правильнее формулировать технические требования к способам и средствам механизации укладки бетона в монолитные крепления каналов.

Материалы и методы исследований. Исследуются основные закономерности гидродинамического сдвигового течения плоскопараллельного слоя бетонной смеси, находящейся на плоской поверхности земляного склона. Сдвиговой слой имеет постоянную толщину h и моделируется несжимаемой вязкой жидкостью Навье-Стокса.

Прикладная задача основана на учете различных физических полей и процессов, их взаимодействия и основных уравнений, устанавливающих взаимосвязь между физическими полями и параметрами рассматриваемой задачи. Формируются различные упрощенные (линейные) модельные представления, описывающие динамику взаимодействия реальных гидродинамических течений бетонных смесей вдоль наклонной плоской поверхности.

В декартовой прямоугольной системе координат XYZ (рис.) рассматривается плоскость $z = 0$ с наклоном под углом α к горизонту. Ось OX направлена вниз. По этой плоскости под действием силы тяжести стекает слой однородной бетонной смеси толщиной h $(0 < z < h)$, то есть принимается допущение, что свободная поверхность движущегося слоя бетонной смеси в процессе движения деформируется незначительно.

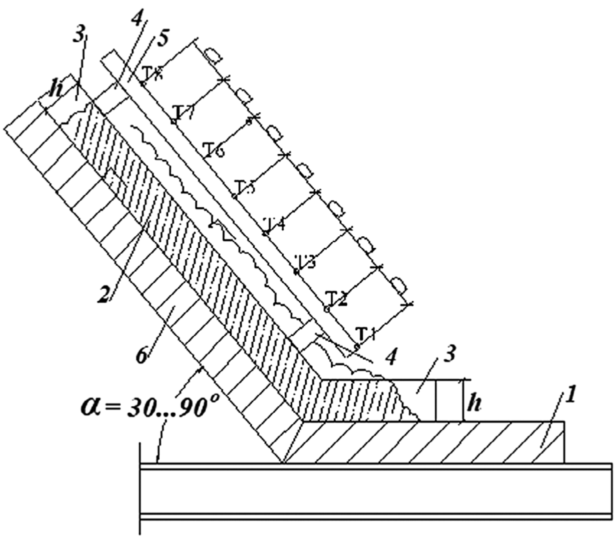

Рис. **Принципиальная схема опытного стенда:**
1 – днище стенда; 2 – откос стенда; 3 – борт стенда; 4 – опорные консоли стенда; 5 – рамка стенда; 6 – свежеуложенная бетонная смесь; h – толщина свежеуложенного бетона (облицовки); α – угол заложения откоса

Положение свободной поверхности предполагается заданным и совпадает с плоскостью. Поэтому уравнение $z = f(t, x)$, описывающее низовое положение поверхности слоя всегда имеет вид $z = h \; |x| < \infty$. Исходим из системы двух линейных дифференциальных уравнений механики сплошной деформируемой среды постоянной плотности

$\rho(\rho = \text{const})$, записанных в декартовых координатах XZ (плоская деформация):

$$\frac{\partial \sigma_{\delta}}{\partial_{\delta}} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} + \rho g \cdot \sin\alpha = \rho \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial_t},$$
$$0 \le \alpha \le 90^\circ \qquad (1)$$
$$0 \le z \le h$$
$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial_z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial_x} - \rho g \cdot \cos\alpha = \rho \cdot \frac{\partial \cdot \upsilon_z}{\partial_t},$$

здесь σ_{x1}, σ_z, $\tau_{x2} = \tau_{zx}$ – компоненты напряженного состояния; $\vec{\upsilon}(\upsilon_x,\ \upsilon_z)$ – вектор скоростей частиц движущейся смеси; ρ – плотность смеси; $\rho \cdot \frac{\partial \cdot \upsilon_z}{\partial_t}$; $\rho \cdot \frac{\partial \cdot \upsilon_x}{\partial_t}$ – силы инерции.

Результаты исследований. Уравнения движения (равновесия) сплошной среды (1), дополняются уравнением сохранения массы материала (уравнением неразрывности):

$$\alpha_i \upsilon\left(\rho\vec{\upsilon}\right) = 0. \qquad (2)$$

Если плотность ρ – постоянная величина, то уравнение (2) принимает другой вид:

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x} + \frac{\partial \upsilon_z}{\partial_z} = 0 \qquad (3)$$

Запишем линейные соотношения закона Стокса (аналог линейных соотношений закона Гука):

$$\sigma_x = -p + \eta \cdot \left(\frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x}\right) = -p + 2\eta \frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x};$$
$$\sigma_z = -p + \eta \cdot \left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial_z} + \frac{\partial \upsilon_z}{\partial_z}\right) = -p + 2\eta \frac{\partial \upsilon_z}{\partial_z}; \qquad (4)$$
$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = 0 + \eta \cdot \left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial_x} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial_z}\right),$$

здесь η – коэффициент динамической вязкости.

Введём коэффициент кинематической вязкости среды v, связанный с η линейной зависимостью $\rho' v = \eta$. Параметры ρ, v, η описывают свойства вязкой среды и в дальнейшем принимаются постоянными (или кусочно постоянными).

Значения частных производных $\frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x}$ и $\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z}$, входящих в первое уравнение системы (1) представляются как:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial_x} = -\frac{\partial_p}{\partial_x} + 2\eta \cdot \frac{\partial^2 \tau_x}{\partial_x^2}; \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} = \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial_x \partial_z} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial z^2}\right) \qquad (5)$$

Из уравнения (3) получаем:

$$\frac{\partial \upsilon_z}{\partial_z} = -\frac{\partial \upsilon_x}{\partial_x}; \quad \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial_x \partial_z} = -\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{x2}}. \qquad (6)$$

Тогда

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} =$$
$$= -\frac{\partial_p}{\partial_x} + 2\eta \cdot \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{x2}} + \eta \cdot \left(-\frac{\partial^2 \cdot \upsilon_x}{\partial_{x2}} + \frac{\partial^2 \cdot \upsilon_x}{\partial_{z2}}\right) =$$
$$= -\frac{\partial_p}{\partial_z} + \eta \cdot \left(2 \cdot \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{x2}} - \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{x2}} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{z2}}\right) =$$
$$= -\frac{\partial_p}{\partial_x} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{x2}} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial_{z2}}\right) \qquad (7)$$

Аналогично для суммы производных $\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x}$ и $\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}$ получаем выражение:

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial z^2}\right). \qquad (8)$$

Тогда линейная система определяющих уравненийзапишется так:

$$\begin{aligned} &-\frac{\partial p}{\partial x} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial z^2}\right) + \rho g \cdot \sin\alpha = \rho \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial t} \\ &-\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial z^2}\right) - \rho g \cdot \cos\alpha = \rho \cdot \frac{\partial \upsilon_z}{\partial t} \end{aligned} \qquad (9)$$

К этим уравнениям применяем условие несжимаемости (3). При записи вектора ускорения в левой части векторного равенства было использовано приближенное представление полного ускорения в форме:

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} + \left(\vec{\upsilon} \cdot \nabla\right) \cdot \upsilon \approx \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \qquad (10),$$

т.е. отброшена конвективная (переносная) часть полного ускорения.

Такое приближение справедливо при движении гравитационной волны на поверхности жидкости с большей кинематической вязкостью $v >> \omega\lambda^2$, где ω – частота колебаний, λ – длина гравитационной волны.

Тогда для случая плоской деформации:

$$-g_{red} \cdot p = -\vec{i} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} - \vec{k}\frac{\partial p}{\partial z}$$

$$\eta \nabla^2 \vec{i} = \vec{i} \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial z^2}\right) + \vec{k} \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial z^2}\right) \qquad (11)$$

здесь $\vec{i}$ и $\vec{k}$ – орты, направленные вдоль положительных направлений осей координат x и z соответственно.

Кроме того, справедливы следующие векторные представления:

$$\rho\overline{g} = \bar{i} \cdot \rho g \cdot \sin\alpha - \overline{k} \cdot \rho g \cdot \cos\alpha$$
$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}\left(x,z,t\right) = \vec{i} \cdot \upsilon_x\left(x,z,t\right) + \vec{k} \cdot \upsilon_z\left(x,z,t\right). \quad (12)$$
$$\rho\frac{\partial\vec{\upsilon}}{\partial t} = \vec{i} \cdot \rho \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial t} + \vec{k} \cdot \rho \cdot \frac{\partial \upsilon_z}{\partial t}$$

Вводя кинематическую вязкость ν по формуле $\upsilon = \frac{\eta}{\rho}$, учитывая $\vec{i}$ и $\vec{k}$, и приравнивая слагаемые при них, получаем систему определяющих уравнений:

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \upsilon \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial z^2}\right) + g \cdot \sin\alpha$$
$$\frac{\partial \upsilon_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \upsilon \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial z^2}\right) + g \cdot \cos\alpha \quad (13)$$

при $0 \le \alpha \le 90^\circ$

$$0 < \mathrm{z} < \mathrm{h}$$
$$|\mathrm{x}| < \infty.$$

Если наклонная плоскость совпадает с горизонтальной плоскостью ($\alpha = 0$), то $sin0 = 0$, $cos0 = 1$, система уравнений (13) описывает движение двумерного потока жидкости, находящейся на горизонтальной плоскости $z = 0$, $|x| < \infty$.

Если наклонная плоскость $\alpha = 90^\circ$, то уравнение (13) представляет линейную модель тяжелой вязкой жидкости, движущейся в поле силы тяжести в направлении положительной оси $x(x > 0)$.

Так как силы инерции $\rho \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}$ и $\rho \cdot \frac{\partial \upsilon_z}{\partial t}$, развивающиеся движущимися частицами потока в процессе его сдвигового движения, будут малы, то в дальнейшем ими можно пренебречь. Следовательно, уравнения (13) превращаются в систему уравнений без инерционного движения бетонной смеси:

$$\rho\upsilon \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial z^2}\right) + \rho g \cdot \sin\alpha = \frac{\partial ð}{\partial õ}$$
$$\rho\upsilon \cdot \left(\frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_z}{\partial z^2}\right) - \rho g \cdot \cos\alpha = \frac{\partial ð}{\partial z} \quad (14)$$
$$0 < \alpha < 90^\circ$$
$$0 < z < \mathrm{h}$$
$$|x| < \infty.$$

Если к этой системе уравнений добавить условие несжимаемости двумерного потока бетонной смеси:

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} = 0 \quad (15),$$

то начальные условия в этом случае будут отсутствовать.

Ограничиваясь только частной задачей сдвигового течения бетонной смеси вдоль наклонной плоскости x под действием сил собственного веса, задача содержит два геометрических параметра: протяженность потока L в направлении x, а в направлении z- его глубина h. Из постановки самой задачи следует, что $L >> h$. Поэтому вводится малый геометрический параметр ε:

$$\varepsilon = \frac{h}{L} << 1.$$

Используем два масштаба скорости: для продольной скорости сохранив её первоначальное значение, а для поперечной – равенство $\upsilon_z \approx \varepsilon \cdot \upsilon_x$, которое позволяет приближенно принимать $\upsilon_z = 0$.

Принимаем, что при проекции вектора скорости $\vec{\upsilon}$ на ось oz всегда обращается в тождественный ноль $\left(\upsilon_z = 0\right)$; проекция υ_x зависит только от поперечной координаты $z\left(\upsilon_x = f\left(z\right)\right)$. Давление же p зависит только от глубины.

Тогда система дифференциальных уравнений (14) значительно упрощается и принимает вид:

$$\eta \cdot \frac{d^2 \upsilon_x}{dz^2} + \rho g \cdot \sin\alpha = 0$$
$$0 - \rho g \cdot \cos\alpha = \frac{dp}{dz} \quad (16)$$

Проинтегрировав по z неоднородную систему линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами, получаем следующий вид общих уравнений:

$$\frac{\mathrm{d}\upsilon_x}{\mathrm{dz}} = -\frac{\rho g \cdot \sin\alpha}{\eta} \cdot z + c_1$$
$$\upsilon_x(z) = -\frac{\rho g \cdot \sin\alpha}{2\eta} \cdot z^2 + c_1 z + c_2 \quad (17)$$
$$p(z) = -\rho g \cdot \cos\alpha \cdot z + c_3$$
$$\upsilon_z = 0$$

Общие решения выражаются через три произвольных интегрирования c_1, c_2, c_3, последующие – через граничные условия на плоских поверхностях $z = 0$ и $z = h$, ограничивающий слой бетонной смеси постоянной глубины h $(0 < z < h)$.

Компоненты тензора вязких напряжений на внутренних площадках сползающей вниз массы бетонной смеси (4) устанавливаются как:

$$\sigma_x = -p + 2\eta \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} = -p$$

$$\sigma_z = -p + 2\eta \cdot \frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} = -p \qquad (18)$$

$$\tau_{zx} = \eta \cdot \left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} \right) = \eta \cdot \frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} = \eta \cdot \left(-\frac{\rho g \cdot \sin \alpha}{\eta} \cdot z + c_1 \right)$$

Выводы

Разработанная математическая модель стационарного сдвигового течения плоского слоя вязкой жидкости (бетонной смеси), стекающей вдоль откоса под действием сил тяжести по наклонной поверхности, позволяет устанавливать гидродинамические параметры потока, вязкие напряжения, давление и скорость движения частиц вязкой жидкости.

Библиографический список

1. **Борделяну Г.В.** Экспериментально-статистические исследования деформаций ползучести заводского бетона с построением математических моделей второго порядка для их вычисления и прогнозирования: автореферат дис… канд.техн. наук:– Кишинев: 1974. – 23 с.

2. **Васильев П.И.** Некоторые вопросы ползучести бетона: автореферат дис… д-ра-техн.наук. – Л.: 1963. – 29 с.

3. **Галустов К.З.** Развитие теории ползучести бетона и совершенствование методов расчета железобетонных конструкций: автореферат дис…д-ра техн.наук. – М.: 2008. – 47 с.

4. **Карапетян К.С.** Экспериментальное исследование ползучести бетона: автореферат дис…д-ра техн. наук. – Л.: 1967. – 34 с.

5. **Корниенко П.А., Прозоровский А.Г., Сабодаш П.Ф.** Об учёте массовых сил в расчётах плоско – параллельного слоя бетонной смеси на наклонном грунтовом массиве / Мат-лы научно-технич.конф. – М.: МГУП, 200. – С. 93-94.

6. **Стрелков Г.П.** Некоторые вопросы природы ползучести бетона: автореферат-дис…канд.техн. наук. – Харьков: 1968. – 16 с.

Материал поступил в редакцию 15.01.2020 г.

Сведения об авторах

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственное строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru

Корниенко Павел Александрович, старший преподаватель кафедры «Сельскохозяйственное строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; e-mail: kornienko.p.a@mail.ru

V.YA. ZHARNITSKIY, P.A. KORNIENKO

Federal state budgetary educational institution of higher education Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

SUBSTANTIATION OF THE LINEAR MATHEMATICAL MODEL OF SHEARING FLOW OF CONCRETE MIXTURE UNDER GRAVITY ON THE INCLINED SLOPE SURFACE

The world experience of canal construction shows that in addition to newly built installations, a high volume of repair work and renovation of existing facilities is carried out. At the same time main regularities of the hydrodynamic shearing flow of the plane-parallel layer of the concrete mixture on the flat surface of the earthen slope has been researched not enough. The concrete mixture put on slopes is considered as a single layer liquid which doesn't adequately reflect its real work. This paper offers a mathematical model of the stationary shearing flow of the flat layer of the viscous fluid (concrete mixture) flowing down the slope under the force of gravity along the inclined surface that would allow establishing hydrodynamic parameters of the flow, viscous stress, voltage, pressure and velocity of viscous fluid particles. A more precise specification of design models and their experimental verification *control would allow formulating more correctly technical requirements to the methods and means of concrete laying into monolithic fastenings of canals.*

Canal, construction, structures, restoration of hydraulic structures, monolithic canal lining, concrete mixtures, hydrodynamics, slopes, design models, concrete viscosity, differential equations system, physical fields, kinematic viscosity, force of gravity, two-dimensional concrete flow.

References

1. **Bordelyanu G.V.** Experimentalno-statisticheskie issledovaniya deformatsij polzuchesti zavodskogo betona s postroeniem matematicheskih modelej vtorogo poryadka dlya ih vychesleniya i prognozirovaniya: avtoreferat dis…cand. tehn. nauk:– Kishinev: 1974. –23 s.

2. **Vasiljev P.I.** Nekotorye voprosy polzuchesti betona: avtoreferat dis…d-ra tehn. nauk. – L.: 1963. – 29 s.

3. **Galustov K.Z.** Razvitie teorii polzuchesti betona i sovershenstvovanie metodov rascheta zhelezobetonnyh konstruktsij: avtoreferat dis…d-ra tehn. nauk. – M.: 2008. – 47 s.

4. **Karapetyan K.S.** Experimentalnoe issledovanie polzuchesti betona: avtoreferat dis…d-ra tehn. nauk. – L.: 1967. – 34 s.

5. **Kornienko P.A., Prozorovsky A.G., Sabodash P.F.** Ob uchete massovyh sil v raschetah plosko – parallelnogo sloya betonnoj smesi na naklonnom gruntovom massive. Mat-ly nauchno-tehnich. konf. – M.: MGUP, 200. – S. 93-94.

6. **Strelkov G.P.** Nekotorye voprosy prirody polzuchesti betona: avtoreferat dis…can. tehn. nauk. – Kharkov: 1968. – 16 s.

The material was received at the editorial office
15.01.2020

Information about the authors

Zharnitskiy Valerij Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor of the department «Agricultural building and expertise of real estate objects», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru

Kornienko Pavel Alexandrovich, senior lecturer of the department «Agricultural building and expertise of real estate objects», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44; e-mail: kornienko.p.a@mail.ru