

of various external loads. The program will allow automating the research of physical models of hydraulic structures, measuring, processing and analyzing the data obtained, determining the amplitude-frequency characteristics using spectral analysis and carrying out research planning. Control of the three-coordinate platform is carried out according to a special program made up in G-codes. Using G codes to control the platform is difficult. Therefore, the use of such a program will allow conducting experiments in an interactive form. The system is a specially developed software add-on for managing a three coordinate platform. The program language is in the C++ which allows you to implement platform management in the question-answer mode. The platform management is based on the Mach3 software package.

*Three-coordinate platform, physical modeling, hydraulics, IT technology, data collection and processing, spectral and statistical analysis.*

### References

1. Ofitsialny web-sait kompanii Newfangled Solutions [Elektronny resurs]
2. Ofitsialny web-sait kompanii AKTAKOM [Elektronny resurs] URL: <http://www.aktakom.ru/>
3. Web-sait CppStudio [Elektronny resurs] URL: <http://cppstudio.com/>
4. Ofitsialnaya dokumentatsiya Qt [Elektronny resurs] URL: <http://doc.qt.io/>

The material was received at the editorial office  
24.01.2020

### Information about the authors

**Fartukov Vasilij Alexandrovich**, candidate of technical sciences, associate professor

of the department of Hydrotechnical Structures, «Russian state agrarian University— MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, 12550, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)

**Zemlyannikova Marina Vladimirovna**, candidate of technical sciences, professor of the department «Hydrology, hydrogeology and regulation of flow», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, Moscow, 12550, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)

**Khanov Nartmir Vladimirovich**, doctor of technical sciences, head of the department of hydrotechnical structures; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, st. B. Academicheskaya, 44; e-mail: [vkhanov@yahoo.com](mailto:vkhanov@yahoo.com)

УДК 502/504:627.82.034.93

DOI 10.26897/1997-6011/2020-2-69-74

**В.Я. ЖАРНИЦКИЙ<sup>1</sup>, Е.В. АНДРЕЕВ<sup>1</sup>, С.В. КОВАЛЬ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», РУТ (МИИТ) г. Москва, Российская Федерация

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕМЕНТЫ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПРИ ВЗРЫВНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

*В связи с большим количеством бесхозных и находящихся в аварийном состоянии гидротехнических сооружений на территории Российской Федерации объективно возрастает угроза техногенного характера в потенциально затопляемых территориях. Актуальной задачей в этой связи становится совершенствование мероприятий по предупреждению и анализу риска аварий на сооружениях такого класса. В связи с отсутствием охранных мероприятий такие сооружения могут стать объектом интересов террористических групп, потому как не требует больших ресурсов по выводу их из строя или полному разрушению, а последствия от разрушения таких объектов будут катастрофическими. В результате бризантного, фугасного, осколочного воздействия взрыва или падения летательного аппарата могут быть разрушены или частично повреждены напорные элементы плотин.*

*Гидротехническое сооружение, разрушение гидротехнического сооружения, динамическое воздействие, протяжённые сооружения, оценка воздействия, прогнозирование воздействия, напорные элементы плотин*

**Введение.** В связи с участвовавшими случаями чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера как у нас в стране, так и за рубежом возникает необходимость совершенствования мероприятий не только по предупреждению, но и по оценке воздействия и прогнозированию последствий этих ЧС. Для объектов водохозяйственного назначения и, в частности, для грунтовых плотин этот вопрос является актуальным.

Повреждение и разрушение напорных гидротехнических сооружений при таких обстоятельствах может повлечь за собой подтопление и затопление обширных территорий, человеческие жертвы и значительный материальный ущерб. Серьезную опасность для конструкций и элементов объектов водохозяйственного назначения представляют чрезвычайные ситуации, связанные с взрывом, в том числе и при террористических актах. В результате бризантного, фугасного, осколочного воздействия взрыва или падения летательного аппарата могут быть разрушены или частично повреждены напорные элементы плотин, что, в итоге, будет приводить к материальным, экологическим и социальным последствиям [1, 2].

Задача расчёта динамических нагрузок при взрыве состоит в численном моделировании нестационарных газодинамических процессов в произвольной геометрической области.

Учитывая, что плотины являются протяженными по длине сооружениями с однообразным поперечным сечением, а действие взрыва – направленным, целесообразно рассчитывать плоские газодинамические нестационарные процессы в произвольных геометрических областях, границы и очертания которых легко описываются с помощью элементарных алгебраических функций [3].

**Материалы и методы исследований.** **Основные уравнения, начальные и граничные условия.** Математическая постановка задачи представляет собой систему гиперболических уравнений в частных производных, в векторном виде в декартовых координатах в Эйлеровой форме:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial y} = 0;$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \end{bmatrix}; a = \begin{bmatrix} \rho u \\ p + \rho u^2 \\ \rho uv \\ (e + p)u \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ p + \rho v^2 \\ (e + p)v \end{bmatrix},$$

где  $u, v$  – составляющая вектора скорости  $q$  ( $q^2 = u^2 + v^2$ );  $P = (\kappa - 1)rE$  – давление;  $r$  – плотность;  $e$  – полная энергия единицы объема;  $E = E(p, r)$  – внутренняя энергия единицы массы, заданная уравнением состояния:

$$E(p, \rho) = \frac{p - C_0^2 \cdot (\rho - \rho_0)}{(\kappa - 1) \cdot \rho},$$

здесь  $\kappa$  – показатель адиабаты;  $\rho_0, C_0$  – постоянные.

Давление через плотность и энтропию выражается уравнением:

$$p = \sigma(S) \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\kappa - \frac{\rho_0 \cdot C_0^2}{\kappa},$$

где  $\sigma(S) = e^{\frac{S}{C_v}}$  – энтропийная функция;  $S$  – энтропия;  $C_v$  – удельная теплоёмкость при объёме  $V = const$ .

Если  $\rho = \rho(x, t), u = u(x, t), \varepsilon = \varepsilon(x, t)$  – гладкие функции, являющиеся решением уравнений газовой динамики, то для любой подобласти  $\Omega$  с границей  $\Gamma$  из области определения решения имеют место равенства:

$$\iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} \right] dx dt = \oint_{\Gamma} \rho dx - \rho u dt = 0,$$

$$\iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial (p + \rho u^2)}{\partial x} \right] dx dt = \oint_{\Gamma} \rho u dx - (p + \rho u^2) dt = 0,$$

$$\iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial \rho \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right)}{\partial t} + \frac{\partial \left[ \rho u \cdot \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) + p u \right]}{\partial x} \right] dx dt =$$

$$= \oint_{\Gamma} \rho \cdot \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) dx - \left[ p u \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) + p u \right] dt = 0$$

Интегральные тождества:

$$\oint_{\Gamma} \rho dx - \rho u dt = 0,$$

$$\oint_{\Gamma} \rho u dx - (p + \rho u^2) dt = 0,$$

$$\oint_{\Gamma} \rho \cdot \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) dx - \left[ p u \left( \varepsilon + \frac{u^2}{2} \right) + p u \right] dt = 0$$

это математические выражения основных законов физики – законов сохранения массы, импульса и энергии, которые должны быть выполнены в любых функциях  $\rho = \rho(x, t), u = u(x, t), p = p(x, t), \varepsilon = \varepsilon(x, t)$ , описывающих реальные газовые течения [4].

**Алгоритм расчёта.** Для расчета течения газа в геометрически сложной области строится разностная схема на произвольной четырехугольной разностной сетке.

Рассматривается плоское течение невязкого газа в канале с образующими  $y = f_1(x), y = f_2(x), 0 \leq x \leq l$  (рис. 1).

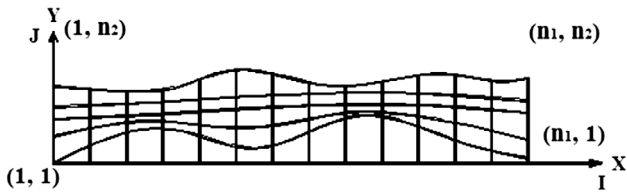


Рис. 1. Схема построения разностной сетки в пределах разбиения расчетной области

Область разбивается произвольной четырехугольной сеткой с узлами  $x_{ij}, y_{ij}, 1 \leq i \leq n_p, 1 \leq j \leq n_2$ . При нумерации узлы с индексами  $(i, 1)$  находятся на нижней границе канала, узлы с индексами  $(i, n_2)$  – на верхней; на входе в канал  $(1, j)$  задаются параметры течения газа, на выходе  $(n_p, j)$  – «мягкие» граничные условия:

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0; \frac{\partial v}{\partial n} = 0; \frac{\partial p}{\partial n} = 0; \frac{\partial \rho}{\partial n} = 0,$$

где  $\frac{\partial}{\partial n}$  – производная по нормали к границе  $(n_p, j)$ .

Эти граничные условия справедливы, если имеет место сверхзвуковое течение на входе и выходе из канала, на стенках канала  $(i, 1), (i, n_2)$  выполняется условие непроницаемости, кроме того, в зависимости от места направления воздействия, данные граничные условия могут меняться и сочетаться, но в комплексе они полностью описывают все существующие физические границы расчетной области [5].

Для расчета газодинамических течений на произвольной сетке для уравнений Эйлера применяется попеременно треугольная разностная схема.

Параметры течения газа определяют в центрах разностных ячеек расчетной схемы (рис. 2).

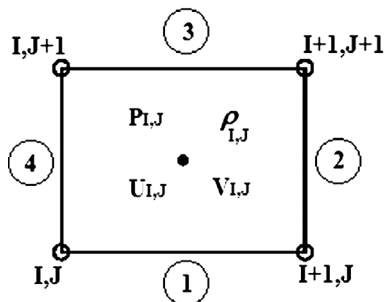


Рис. 2. Порядок определения параметров течения газа в ячейке при применении попеременно-треугольной разностной схемы

Для этого уравнения Эйлера записываются в виде интегральных законов сохранения для произвольной разностной ячейки в виде:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Delta G} \rho d\tau + \oint_{\Delta \Gamma} \rho V_n ds = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Delta G} \rho \bar{V} d\tau + \oint_{\Delta \Gamma} \rho \bar{V} V_n ds + \oint_{\Delta \Gamma} P \bar{n} ds = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Delta G} \rho E d\tau + \oint_{\Delta \Gamma} \rho I V_n ds = 0;$$

где  $\Delta G$  – площадь разностной ячейки;  $\Delta \Gamma$  – её граница;  $E = \frac{U^2 + V^2}{2} + \frac{1}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho}$  – полная удельная внутренняя энергия;  $I = E + \frac{P}{\rho}$  – полная удельная энтальпия.

Аппроксимация производной по времени разделенной разностью «назад», поток массы, количество движения и энтальпии рассчитываются на верхнем временном слое с учётом направления переноса газа:

$$\frac{\rho_{ij}^{n+1} - \rho_{ij}^n}{\Delta t} \Delta G_{ij} + \sum_{k=1}^4 \left( \rho_k^+ H_k^+ + \rho_k^- H_k^- \right)_{s_k}^{n+1} = 0;$$

$$\frac{\rho \bar{V}_{ij}^{\rightarrow n+1} - \rho \bar{V}_{ij}^{\rightarrow n}}{\Delta t} \Delta G_{ij} +$$

$$\sum_{k=1}^4 \left( (\rho \bar{V})_k^+ H_k^+ + (\rho \bar{V})_k^- H_k^- \right) \Delta_{s_k} + \sum_{k=1}^4 P_k^{n+1} \bar{N}_k \Delta_{s_k} = 0;$$

$$\frac{\rho E_{ij}^{n+1} - \rho E_{ij}^n}{\Delta t} \Delta G_{ij} + \sum_{k=1}^4 \left( (\rho I)_k^+ H_k^+ + (\rho I)_k^- H_k^- \right) \Delta_{s_k} = 0,$$

где  $\rho_k^+ H_k^+ = \rho_{ij}^{n+1} \frac{1}{2} \left( V_{N,k}^{n+1} + |V_{N,k}^{n+1}| \right),$

$$\rho_k^- H_k^- = \begin{pmatrix} \rho_{i,j-1}^{n+1} & \text{при } k=1 \\ \rho_{i+1,j}^{n+1} & \text{при } k=2 \\ \rho_{i,j+1}^{n+1} & \text{при } k=3 \\ \rho_{i-1,j}^{n+1} & \text{при } k=4 \end{pmatrix} \frac{1}{2} \left( V_{N,k}^{n+1} - |V_{N,k}^{n+1}| \right),$$

$$V_{N,k}^{n+1} = \frac{1}{2} \left( \bar{V}_{ij} \cdot \bar{N}_k \right)^{n+1} + \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} \bar{V}_{i,j-1} & \text{при } k=1 \\ \bar{V}_{i+1,j} & \text{при } k=2 \\ \bar{V}_{i,j+1} & \text{при } k=3 \\ \bar{V}_{i-1,j} & \text{при } k=4 \end{matrix} \right\} \cdot \bar{N}_{k-},$$

здесь  $\bar{N}_k$  – внешняя единичная нормаль к части «К» границы разностной ячейки «i, j».

Давление на границе ячейки:

$$P_k^{n+1} = \frac{1}{2}P_{IJ}^{n+1} + \frac{1}{2} \begin{cases} P_{i,j-1} & \text{при } k=1 \\ P_{i+1,j} & \text{при } k=2 \\ P_{i,j+1} & \text{при } k=3 \\ P_{i-1,j} & \text{при } k=4 \end{cases}^{n+1},$$

равняется среднему его значению между двумя соседними ячейками. При вычислении давления на стенки канала, а также на выходной границе оно считается равным давлению в рассматриваемой разностной ячейке.

Вводимые обозначения операторов:

$$Q_k^+ \rho_{ij}^{n+1} = \frac{1}{\Delta G_{ij}^+} \rho_k^+ H_k^+ \Delta s_k;$$

$$Q_k^- \rho_{ij}^{n+1} = \frac{1}{\Delta G_{ij}^-} \rho_k^- \dot{I}_k^- \Delta s_k;$$

$$S_k P_{ij}^{n+1} = P_k^{n+1} \Delta s_k \frac{1}{\Delta G_{ij}^+}.$$

Система разностных уравнений в операторной форме:

$$\left( E + \Delta t \sum_{k=1}^4 (Q_k^+ + Q_k^-) \right) \rho_{ij}^{n+1} = E \rho_{ij}^n;$$

$$\left( E + \Delta t \sum_{k=1}^4 (Q_k^+ + Q_k^-) \right) \rho V_{ij}^{n+1} + \Delta t \sum_{k=1}^4 S_k P_{ij}^{n+1} = E \rho V_{ij}^n;$$

$$E \rho E_k^{n+1} + \Delta t \sum_{k=1}^4 (Q_k^+ + Q_k^-) \rho I_{ij}^{n+1} = E \rho E_{ij}^n.$$

Разностная схема расщепления в виде последовательности разностных операторов с треугольной односторонней аппроксимацией пространственных производных имеет вид:

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} (Q_4^- + Q_2^+ + Q_1^- + Q_3^+) \right) \rho_{ij}^{n+\frac{1}{4}} = E \rho_{ij}^n;$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} (Q_2^- + Q_4^+ + Q_3^- + Q_1^+) \right) \rho_{ij}^{n+\frac{1}{2}} = E \rho_{ij}^{n+\frac{1}{4}};$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} (Q_4^- + Q_2^+ + Q_3^- + Q_1^+) \right) \rho_{ij}^{n+\frac{3}{4}} = E \rho_{ij}^{n+\frac{1}{2}};$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} (Q_2^- + Q_4^+ + Q_1^- + Q_3^+) \right) \rho_{ij}^{n+1} = E \rho_{ij}^{n+\frac{3}{4}};$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{++} \right) \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{1}{4}} + \frac{\Delta t}{4} \sum_{k=1}^4 S_k P_{ij}^{n+\frac{1}{4}} \vec{N}_k = E \rho \vec{V}_{ij}^n;$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{--} \right) \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{4} \sum_{k=1}^4 S_k P_{ij}^{n+\frac{1}{2}} \vec{N}_k = E \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{1}{4}};$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{+-} \right) \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{3}{4}} + \frac{\Delta t}{4} \sum_{k=1}^4 S_k P_{ij}^{n+\frac{3}{4}} \vec{N}_k = E \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{1}{2}};$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \right) \rho \vec{V}_{ij}^{n+1} + \frac{\Delta t}{4} \sum_{k=1}^4 S_k P_{ij}^{n+1} \vec{N}_k = E \rho \vec{V}_{ij}^{n+\frac{3}{4}};$$

$$E \rho E_{ij}^{n+\frac{1}{4}} + \frac{\Delta t}{2} Q^{++} \rho I_{ij}^{n+\frac{1}{4}} = E \rho E_{ij}^n;$$

$$E \rho E_{ij}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{2} Q^{--} \rho I_{ij}^{n+\frac{1}{2}} = E \rho E_{ij}^{n+\frac{1}{4}};$$

$$E \rho E_{ij}^{n+\frac{3}{4}} + \frac{\Delta t}{2} Q^{+-} \rho I_{ij}^{n+\frac{3}{4}} = E \rho E_{ij}^{n+\frac{1}{2}};$$

$$E \rho E_{ij}^{n+1} + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \rho I_{ij}^{n+1} = E \rho E_{ij}^{n+\frac{3}{4}};$$

где  $Q^{++} = Q_4^- + Q_2^+ + Q_1^- + Q_3^+;$

$$Q^{--} = Q_2^- + Q_4^+ + Q_3^- + Q_1^+;$$

$$Q^{+-} = Q_4^- + Q_2^+ + Q_3^- + Q_1^+;$$

$$Q^{-+} = Q_2^- + Q_4^+ + Q_1^- + Q_3^+.$$

Схема расщепления эквивалентна в системе разностных уравнений с точностью до членов  $O(\Delta t^2)$  имеет первый порядок точности.

Исключая дробные шаги в уравнении неразрывности:

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{+-} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \right) \rho_{ij}^{n+1} = E \rho_{ij}^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{--} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{++} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \right) \rho_{ij}^{n+1} = E \rho_{ij}^{n+\frac{1}{4}}$$

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{++} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{--} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{+-} \right) \times \\ \times \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \right) \rho_{ij}^{n+1} = E \rho_{ij}^n.$$

Факторизованный и исходный разностные операторы с точностью до членов  $O(\Delta t^2)$ :

$$\left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{++} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{--} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{+-} \right) \left( E + \frac{\Delta t}{2} Q^{-+} \right) = \\ = E + \frac{\Delta t}{2} (Q^{++} + Q^{--} + Q^{+-} + Q^{-+}) + \\ + \frac{\Delta t^2}{4} (Q^{++} Q^{--} + Q^{++} Q^{-+} + \dots) + O(\Delta t^3).$$

Определение неизвестных плотности  $\rho$ , компонента скорости  $u$  и  $v$ , давления  $P$  на каждом шаге сводится к решению системы четырех нелинейных уравнений, которые решаются методом Ньютона. Эти параметры рассчитываются последовательно, начиная с определенного угла разностной сетки. В первых разностных ячейках ( $1, j$ ) параметры считаются заданными, на твердых стенках канала ставятся условия непроницаемости:  $V_{N,k}^{n+1} = 0$  [6].

### Выводы

Выполненное теоретическое обоснование процессов ударного воздействия на конструкции и элементы грунтовых плотин при взрывных газодинамических процессах позволяет разработать вычислительную программу для выполнения расчёта плоских газодинамических течений в произвольных геометрических областях, для различных моделей сред и нагружений (мгновенной и реальной детонации), определения параметров и распределения давления, плотности и массовых скоростей в любой произвольной точке расчётной области во времени и пространстве.

### Библиографический список

1. Рыков Г.В., Скобеев А.М. Изменение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. – М.: Наука, 1978. – 168 с.
2. Хигер М.Ш., Николаев Н.В. Анализ моделей деформируемости торфяного грунта. // Реферативный научно-техн. сб. Серия «Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов № 12. – М.: ВНИИОЭНГ, 1977.

3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ. – 2013.

4. Fulecher. Der Bau des Kaiser – Wilhelm – Kanala Zeitschrift fur Bauwesen. 1897.

5. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой РФ, 2004. – 27 с.

6. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. – СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 589 с.

Материал поступил в редакцию 31.01.2020 г.

### Сведения об авторах

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

**Андреев Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru

**Коваль Сергей Всеволодович**, доктор технических наук, кафедра «Мосты и тоннели», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»; 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: lavrik2811@yandex.ru

V.Y. ZHARNITSKY<sup>1</sup>, E.V. ANDREEV<sup>1</sup>, S.V. KOVAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal state budgetary autonomous educational institution of higher education «Russian university of transport», RUT (MIIT), Moscow, Russian Federation

## THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE IMPACT ACTION ON THE STRUCTURES AND ELEMENTS OF SOIL DAMS UNDER EXLOSIVE GAS-DYNAMIC PROCESSES

*Due to the large number of ownerless hydraulic structures being in emergency conditions in the territory of the Russian Federation, the anthropogenic threat objectively increases in potentially flooded territories. The improvement of measures on prevention and analyzing risks of accidents at the structures of such a class becomes an urgent problem in this regard. Due to the absence of security measures, such facilities may become an object of interest of terrorist groups because they do not require many resources to deactivate or completely destroy them, and the consequences of such facilities destruction will be catastrophic. Pressure elements of dams may be destroyed or partially damaged as a result of high explosive, blasting, fragmentation effects of an aircraft explosion or fall.*

*Hydrotechnical structure, destruction of hydrotechnical structure, dynamic impact, extended structures, impact assessment, impact prediction, pressure elements of dams.*

### References

1. Rykov G.V., Skobeev A.M. *Izmenenie napryazhenij v gruntah pri kratkovremennyh nagruzkah.* – M.: Nauka, 1978. – 168 s.
2. Higer M.Sh., Nikolaev N.V. *Analiz modelej deformiruемости torfyanogo grunta.* // Referativny naučno-tehn. sb. Seriya «Transpor i hranenie nefi i nefteproduktov № 12. – M.: VNIIOENG, 1977.
3. GOST 25100-2011. *Gruntы. Klassifikatsiya.* – M.: Standartinform. – 2013.
4. Fulecher. *Der Bau des Kaiser – Wilhelm – Kanala Zeitschrift fur Bauwesen.* 1897.
5. SP 13-102-2003 *Pravila obsledovaniya nesushchih stroitelnyh konstruktsij zdaniy isooruzhenij.* – M.: Gosstroj RF, 2004. – 27 s.
6. Veksler A.B., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V. *Nadezhnost, sotsialnaya i ekologicheskaya bezopasnost: otsenka riska i prinyatie reshenij.* – SPb.: OAO «VNIIG im. B.E. Vedeneeva», 2002. – 589 s.

### Information about the authors

**Zharnitskiy Valerij Yakovlevich**, doctor of technical sciences, department «Bases and foundations, 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

**Andreev Evgenij Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Bases and foundations, building and expertise of real estate objects», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru

**Koval Sergej Vsevolodovich**, doctor of technical sciences, department «Bridges and tunnels», FSAEI HE «Russian university of transport»; 127994, GSP-4, Moscow, ul. Obraztsova, 9, str. 9; e-mail: lavrik2811@yandex.ru

The material was received at the editorial office  
31.01.2020

УДК 502/504:627.8:69.05

DOI 10.26897/1997-6011/2020-2-74-80

**В.И. ВОЛКОВ**

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

**С.О. КОБЫЗЕВ**

Общество с ограниченной ответственностью «Одеон-Сервис», г. Москва, Российская Федерация

## **ОБСЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ 655 ВОДОЕМОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 2016-2018 гг.**

*В статье приводятся результаты обследования гидротехнических сооружений 655 прудов Московской области, проведенных в 2016-2018 годах. При проведении обследований в условиях практического отсутствия проектной документации и служб эксплуатации устанавливались значимые параметры гидротехнических сооружений, оценивалось техническое состояние основных сооружений, а также устанавливался уровень безопасности как отдельных сооружений, так и гидроузлов в целом. В статье приводятся результаты сделанных обобщений по различным аспектам безопасности сооружений. Кроме того, приводятся сведения, касающиеся ущербов при прорыве напорного фронта и стоимости ремонтных работ.*

*Безопасность, гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, мониторинг, обобщение, обследование, техническое состояние, уровень безопасности*

**Введение.** В течение ряда лет Министерство экологии и природопользования

Московской области инициирует проведение работ по обследованию и мониторингу