

6. Posobie po gidravlicheskim raschetam malyh vodopropusknyh sooruzhenij. / red. G.Ya. Volchenkova. – M.: Transport, 1992. – 408 s.

7. **Zemlyannikova M.V., Fartukov V.A.** Dissipatsiya energii vodnogo potoka v nizhnem bjeфе. / Sb. materialov XXXIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye problem v sovremennoj nauke i puti ih resheniya». – M.: Evrazijskiy soyuz uchenyh (ESU), 2017. – S. 56-60.

8. **Landa P.S.** Avtokolebaniya v sistemah s konechnym chislom stepeney svobody. – M.: Knizhny dom «LIBROKOM», 2016. – 360 s.

9. Rukovodstvo po gidravlicheskim raschetam malyh iskusstvennyh sooruzhenij i rusel. – 3-e izd., pererab. i dop. utv. «GIPROTRANS-TEI» MPS: vved. v dejstvie s 01.01.1967. – M.: Transport, 1967.

10. **Rehbock T.** Bekämpfung der Sohlenauska lkung bei Weihredurch Zahnschweller, ZVDI, No. 44, 1925

11. **Stevens I.C.** “Engineering News Record” No. 23, 1925, p. 928

12. **Van der Pol B.** A theory of the amplitude of free and forced triode vibration // Radio review, 1920. No 1. p. 701-712.

The material was received at the editorial office
05.12.2018 g.

Information about the authors

Fartukov Vasilij Aleksandrovich, 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, d. 19; e-mail: vasfar@mail.ru

Zemlyannikova Marina Vladimirovna, candidate of technical sciences, professor of the Department hydrology, hedrogeology and flow regulation, Federal state budgetary educational institution of higher education “Russian state agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev”, Moscow, 12550, ul. Pryanishnikova, d. 19, e-mail: vasfar@mail.ru

УДК 502/504:69.035.4:539.31

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-100-105

И.Ж. АТАБИЕВ, У.И. АТАБИЕВ, А.Н. КЛЮЕВ, Т.В. НЕКРАСОВА

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

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗ-ПОД ВОДОБОЯ С ГЕОМЕМБРАНОЙ В ОСНОВАНИИ

Статья посвящена проблеме фильтрационных исследований. Проведен фильтрационный расчет и анализ противофильтрационной геомембраны подземного контура гидротехнических сооружений. Для определения коэффициентов сопротивления области фильтрации противофильтрационной геомембраны в основании подземного контура, преобразовано комформное отображение области коэффициента сопротивления (ζ), на комплексный потенциал фильтрации. Рассчитан коэффициент сопротивления. при использовании аналитической связи, расчетных схем противофильтрационного экрана, в основании с проницаемым креплением, с любой другой областью простейшего очертания с известными. Произведя простые преобразования, принимая последовательно, что $x \rightarrow (-\infty)$ и $x \rightarrow (+\infty)$, получим соответственно $\Psi_r \rightarrow \infty$ и $\Psi_r \rightarrow q_r$, исходя из этого максимальный градиент напора, найдём приравняв первую производную к нулю. Полученная зависимость имеет такую же структуру, что и известная формула Р.Р. Чугаева для выходного уступа и шпунта, полученная им на основании гидромеханического решения С.Н. Нумерова. При практических соотношениях $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$ коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% ниже, чем для уступа. Уменьшился напор в конце подземного контура, до $\delta \Delta h = 45\%$, при этом – выходные градиенты снижаются на $\delta(Y) = 41...53\%$.

Фильтрационный поток, шпунт, обтекание, завеса, геомембрана, горизонтальный экран, гидротехнические сооружения.

Введение. Использование синтетических полимерных материалов в качестве противофильтрационных элементов в гидротехническом строительстве началось еще в первой половине прошлого века. На начальном этапе использования данных материалов это были тонкие, толщиной 0,1-0,5 мм полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки. В ходе развития технологии производства, качества синтетики, началось изготовление и других материалов. В настоящее время полимерные материалы обладают рядом существенных преимуществ перед другими материалами. Они воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны для применения в гидротехническом строительстве. В настоящее время практически все эти листовые материалы и конструкции из них, предназначенные для устройства противофильтрационных элементов различных сооружений, называют «геомембраны». Подземный контур такого водобоя

формируется горизонтальным полимерным экраном, пригруженным слоем местного грунта, смыв которого предотвращается защитным креплением. Будем полагать, что в основании крепления дна нижнего бьефа располагается пластовый дренаж. Тогда область фильтрации при выходе потока будет иметь вид как на (рис 1а). Интеграл Кристоффеля-Шварца [1], отображающий область комплексного переменного $z = x + iy$ на каноническую полуплоскость $\zeta + in$ (рис. 1б), имеет вид [2]

$$z = A_1 \int_0^{\zeta} \frac{\zeta d\zeta}{(\zeta - 1)\sqrt{\zeta + \beta}} = \frac{T_2}{\pi} \left[\ln(1 - \zeta) + \beta \ln \left(1 + \frac{\zeta}{\beta} \right) \right] \quad (1)$$

Конформное отображение области \mathcal{E} на комплексный потенциал фильтрации (рис. 1в) осуществим следующим образом: $w_r = \phi_r + i\Psi_r$

$$w_r = A_2 \int_0^{\zeta} \frac{d\zeta}{(\zeta - 1)\sqrt{\zeta + \beta}} = 2q_r \frac{1}{\pi} \operatorname{arth} \sqrt{\frac{\zeta + \beta}{1 + \beta}} \quad (2)$$

Функция обратная (2)

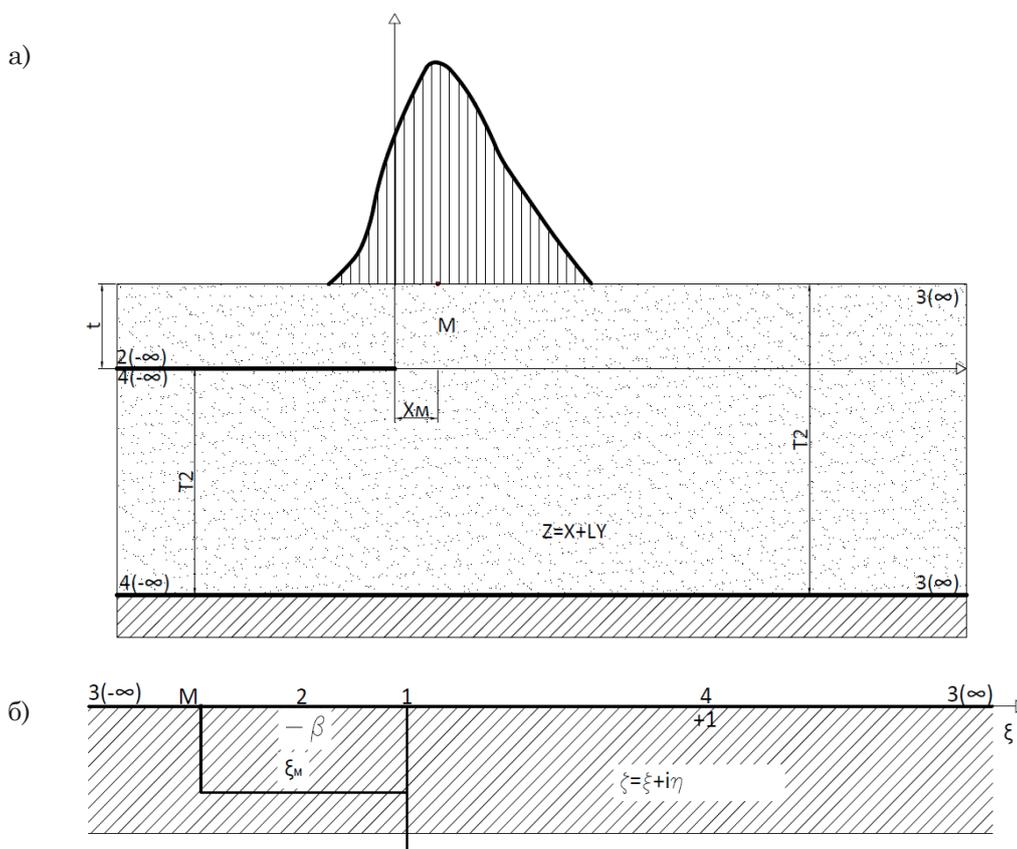


Рис. 1 (а, б). Схема к расчету противофильтрационного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением:

- а) Область фильтрации при выходе потока из подземного контура водобоя с полимерным экраном и пластовым дренажем;
- б) Область комплексного переменного $z = x + iy$ на каноническую полуплоскость $\zeta + in$

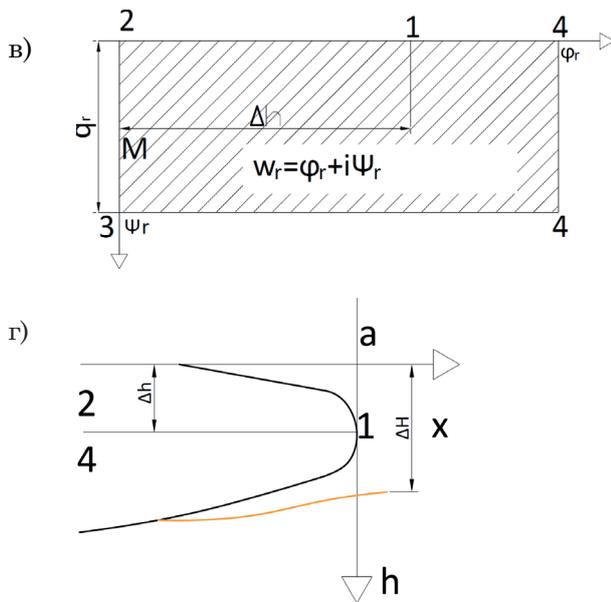


Рис. 1 (в, г). Схема к расчету противодиффузионного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением:

- в) Конформное отображение области z на комплексный потенциал фильтрации
- г) Параметр асимптоты Δh

$$\zeta = (1 + \beta)th^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} - \beta \quad (3)$$

$$\beta = \frac{t}{T_2}$$

$$z = \frac{T_2}{\pi} \left\{ \ln \left[(1 + \beta) \left(1 - th^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} \right) \right] + \beta \ln \left(\frac{1 + \beta}{\beta} tg^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} \right) \right\} \quad (4)$$

Материалы и методы исследований.

Составим из (4) уравнение напоров $x = X(h)$ при $z = x \leq 0$, $w_r = h \leq \Delta h$ и, определив параметр ее асимптоты Δh (рис. 1г) как в [2, 3], найдем из соотношения $\zeta = \Delta H / q_r$ формулу для коэффициента сопротивления выходного фрагмента.

$$(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{\pi} \left(\ln \frac{4T_1}{T_2} + \frac{t}{T_2} \ln \frac{T_1}{t} \right) \quad (5)$$

Комплексный градиент фильтрации определится после того как (4) продифференцируем по w_r

$$Y_x - iY_y = \frac{dw_r}{dz} = \left(\frac{dz}{dw_r} \right)^{-1} \quad (6)$$

Затем принимаем $Y_x = 0$, $w_r = i\Psi_r$, получим выходные градиенты по линии 2-3

$$Y_y = \frac{q_r}{T_1} \cdot \frac{\sin \frac{\pi i\Psi_r}{2q_r} \cos \frac{\pi i\Psi_r}{2q_r}}{1 - \frac{T_2}{T_1} \cos \frac{\pi i\Psi_r}{2q_r}} \quad (7)$$

$$q_r = \frac{\Delta h}{(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}}}$$

Пьезометрический напор на конце экрана в точке 1 определится из (2) при $w_r = \Delta h$; $\zeta = \zeta_1 = 0$.

$$(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}} = \Delta h = \frac{2}{\pi} q_r \operatorname{arth} \sqrt{1 - \frac{T_2}{T_1}} \quad (8)$$

Функция тока Ψ_r может быть определена из (4) при $z = x + it$, $w_r = i\Psi_r$.

$$\frac{x}{T_1} = \frac{1}{n} \left[\frac{T_2}{T_1} \ln \frac{1 + tg^2 \left(\frac{\pi\Psi_r}{2q_r} \right)}{T_2/T_1} + \frac{t}{T_1} \ln \frac{tg^2 \left(\frac{\pi\Psi_r}{2q_r} \right)}{t/T_1} \right] \quad (9)$$

Принимая последовательно в (9) $x \rightarrow (-\infty)$ и $x \rightarrow (+\infty)$, будем иметь $\Psi_r \rightarrow \infty$ и $\Psi_r \rightarrow q_r$. Тогда легко убедиться в точках нижнего бьефа 2 и 3 согласно (7) будем иметь $Y_y = 0$. Максимально выходной градиент найдем, если приравняем первую производную к (7) нулю.

$$\frac{\pi\Psi_r}{2q_r} = \frac{1}{4} \operatorname{acrsin} \sqrt{\frac{1 - T_2/T_1}{2 - T_2/T_1}} \quad (10)$$

Подставив (10) и (7), получим

$$(Y_{\text{ЭК}})_{\text{МАХ}} = \frac{h_{\text{ВЫХ}}}{T_1} \cdot \frac{1}{a(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}}} \quad (11)$$

$$a = 2 \sqrt{\frac{t}{T_1}}$$

Получаем в результате, что зависимость (11) имеет такую же структуру, что и известная формула Р.Р. Чугаева [4] для выходного уступа и шпунта, полученная им на основании гидромеханического решения С.Н. Нумерова [3]. Точку M выхода $(Y_{\text{ЭК}})_{\text{МАХ}}$ найдем из (8) с учетом (9)

$$x_M = \frac{T_2}{\pi} \ln \left(2 \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \quad (12)$$

По формулам (7), (9), заданных в параметрическом виде $\left(0 \leq \frac{\pi\Psi_r}{2q_r} \leq 1\right)$, построены графики выходных градиентов (рис. 2), имеющие куполообразное очертание.

Сопоставим фильтрационные характеристики (5), (8) и (11) исследованного выходного элемента с равновеликим по заглублению t в грунтовое основание уступом [3, 4]

$$(\zeta_{yc})_{\text{вых}} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{1}{1 - t/T_1} \ln \left(\frac{2}{t/T_1} - 1 \right) + \ln \left[\frac{1}{\left(1 - t/T_1\right)^2} - 1 \right] \right\} \quad (13)$$

$$h_{\text{вых}} = \Delta h = q_r \frac{2}{\pi} \operatorname{arth} \sqrt{\frac{t}{T_1}} \quad (14)$$

$$(Y_{yc})_{\text{max}} = \frac{h_{\text{вых}}}{T_1} \cdot \frac{1}{a(\zeta_{yc})_{\text{вых}}} \quad (15)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{\left(2 - t/T_1\right) t/T_1}}$$

Сравнение показывает (рис. 3), что при практических соотношениях $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$ коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% и менее ниже $\delta(\zeta) < 10\%$, чем для уступа. Это обуславливает уменьшение напоров в конце подземного контура до $\delta\Delta h = 45\%$, но особенно важно то, что выходные градиенты снижаются на $\delta(Y) = 41...53\%$.

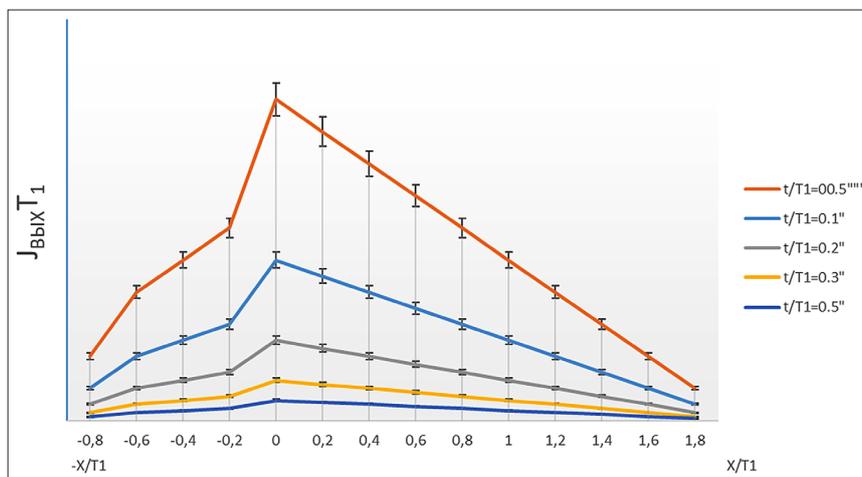


Рис. 2. График приведенных выходных градиентов

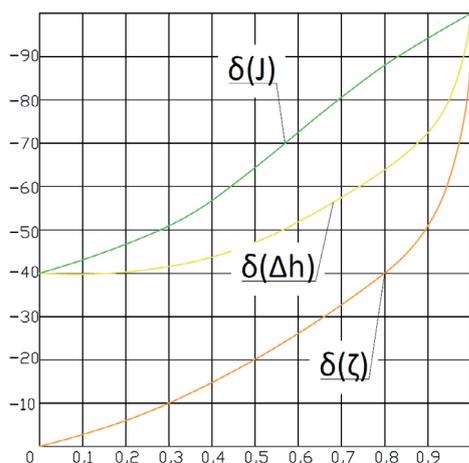


Рис. 3. График сопоставления фильтрационных характеристик противофильтрационного экрана и уступа

Выводы

1. Полученная зависимость имеет такую же структуру, что и формула Р.Р. Чугаева.

2. При практических соотношениях $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$ коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% ниже, чем для уступа.

3. Уменьшение напора в конце подземного контура до $\delta\Delta h = 45\%$, но особенно важным является то, что выходные градиенты снижаются на $\delta(Y) = 41...53\%$.

Библиографический список

1. Лаврентьев М.А., Шабат В.Б. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1973. – 736 с.
2. Бурдинский В.Н. Определение коэффициента сопротивления входного элемента пленочного понура. / Материалы научно-практической конференции Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии (Технические науки. Вып. 2). – Нальчик: КБГСА, 1996. – С. 225-228.

3. **Аравин В.Й., Нумеров С.Н.** Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. – М.: Гостехиздат, 1953. – 616 с.

4. **Чугаев Р.Р.** Подземный контур гидротехнических сооружений. – Л.: Энергия, 1974. – 237 с.

5. **Веригин Н.Н.** Фильтрация в основании плотин с наклонными завесами и шпунтами. // Гидротехническое строительство. – 1940. – № 2. – 131 с.

6. **Дегтярь Б.Г.** Гидротехнический расчет плотины с наклонным шпунтом при $T < \infty$. / Республиканский межведомственный научно-технический сб., вып. 18. Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1970. – 183 с.

7. **Фильчаков П.Ф.** Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями. т.2. – Киев: Изд. АНУССР, 1960. – 123 с.

8. **Лаврентьев М.А., Шабат В.Б.** Методы теории функции комплексного переменного. – М.: Наука, 1973. – 736 с.

Материал поступил в редакцию 21.01.2019 г.

Сведения об авторах

Атабиев Исхак Жафарович, кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнические сооружения, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая. 44; e-mail: atabiev-ig@mail.ru

Атабиев Умар Исхакович, аспирант кафедры гидротехнические сооружения, инженер; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a_omar@mail.ru

Клюев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерные конструкции; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Б. Академическая. 44; e-mail: fdo-mgyp@rambler.ru

Некрасова Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Б. Академическая. 44; e-mail: nektavi@mail.ru

I.ZH. ATABIEV, U.I. ATABIEV, A.N. KLYUEV, T.V. NEKRASOVA

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

FILTRATION STUDIES FROM UNDER THE APRON WITH A GEOMEMBRANE AT THE BASE

There is made a filtration calculation and analysis of anti-filtering geomembrane of the underground circuit of hydraulic structures. To determine resistance coefficients of the filtration area of the impervious geo-membrane at the base of the underground circuit the conformal mapping of the resistance coefficient area (ζ) was converted to the complex filtration potential of filtration. The coefficient of resistance is calculated using analytical connections, design diagrams of the impervious screen at the base with permeable mount with any other area of the simplest outline with known. Performing easy calculations, assuming consecutively $x \rightarrow (-\infty)$ and $x \rightarrow (+\infty)$ we receive $\Psi_r \rightarrow \infty$ and $\Psi_r \rightarrow q_r$, proceeding from this we will find the maximal pressure gradient by equating the first derivative to zero. The obtained dependence has the same structure as the known formula of R.R. Chugaev for the output ledge and sheet pile obtained by him on the basis of the hydro mechanical solution of S.N. Numerova. Under the practical ratio $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$ the coefficient of resistance at the output from under the horizontal screen will be by 10% lower than for the ledge. The pressure decreased at the end of the underground circuit up to $\delta\Delta h = 45\%$, herewith – the output gradients decrease by $\delta(Y) = 41...53\%$.

Filtration flow, sheet pile, flow, curtain, geo membrane, horizontal screen, hydraulic structures.

References

1. **Lavrentjev M. A., Shabat V.B.** Metody teorii funktsij kompleksnogo peremennogo. – М.: Nauka, 1973. – 736 с.

2. **Burdinsky V.N.** Opredelenie koeffitsienta soprotivleniya vhodnogo elementa ple-nochnogo ponura. / Mat-ly nauchno-praktich-eskoj konferentsii Kabardino-Balkarskoj gosudarstvennoj seljskohozyajstvennoj akademii

(Tehnicheskie nauki. Vyp. 2). – Nalchik: 1996. – S. 225-228.

3. **Aravin V.Y., Numerov S.N.** Teoriya dvizheniya zhidkostej i gazov v nedeformiruemoj poristoj srede. – М.: Gostehizdat, 1953. – 616 с.

4. **Chugaev R.R.** Podzemny kontur gidroteh-nicheskikh sooruzhenij. – L.: Energiya, 1974. – 237 с.

5. **Verigin N.N.** Filtratsiya v osnovanii plotin s naklonnymi zavesami i shpuntami. //

Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. 1940. № 2. 131 s.

6. **Degtyar B.G.** Hidrotehnicheskij raschet plotiny s naklonnymi shpuntom pri $T < \infty$. / Resp. Mezhved. Nauchno-tehn. Sb., vyp. 18). Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – Kiev: Urozhaj, 1970. – 183 s.

7. **Filjchakov P.F.** Teoriya filtratsii pod gidrotehnicheskimi sooruzheniyami. t.2. – Kiev: Izd AN USSR, 1960. – 123 s.

8. **Lavrentjev M.A., Shabat V.B.** Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo. – M: Naukaa, 1973. – 736 s.

The material was received at the editorial office
21.01.2019 g.

Information about the authors

Atabiev Iskhak Zhafarovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department hydraulic structures of the FSBEI HE RGAU-MAA named after

C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: atabiev-ig@mail.ru

Atabiev Umar Iskhakovich, engineer, graduate student of the department hydraulic structures» FSBEI HE RSAU-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: a_omar@mail.ru

Klyuev Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department engineering structures FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: a_omar@mail.ru

Nekrasova Tatyana Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department bases and foundations, Construction and Expertise of Real Estate Objects» FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: nektavi@mail.ru

УДК 502/504:622.2:550.34

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-105-109

А.А. КОМАРОВ, Е.В. БАЖИНА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ЭНЕРГОЕМКИМ ОБЪЕКТАМ

В статье приведен пример количественного определения состояния взрывоопасности городской застройки, расположенной на территории, прилегающей к энергоемкому и взрывоопасному объекту. Разработанная методология базируется на численном расчете распространения волн сжатия, формирующихся при аварийном взрыве на опасном объекте при наиболее неблагоприятном сценарии развития аварии. Математическая модель, описывающая взрывные нагрузки, действующие на ограждающие конструкции зданий при аварийном взрыве, основана на численном решении уравнений газовой динамики, а взрыв моделируется притоком продуктов взрывного горения в область предполагаемого места взрыва. Показано, что динамические параметры взрывных нагрузок в значительной степени зависят от объемно-планировочного решения городской застройки, расположенной вблизи опасного объекта. В статье приведены некоторые результаты расчетов, полученные для конкретного жилого комплекса города Москвы. Приведенные интегральные параметры максимальных взрывных нагрузок позволяют предметно говорить о потенциальной опасности для жилого комплекса взрывоопасного объекта – газораспределительного пункта (ГРП), который является неотъемлемой частью инфраструктуры города, вынос которого на более удаленные расстояния от жилого комплекса является достаточно проблематичной задачей в условиях плотной городской застройки. Предлагаемый метод расчета позволяет давать не только количественную оценку степени взрывоопасности объекта, но и количественно оценивать эффективность тех или иных инженерных мероприятий, направленных на снижение взрывных нагрузок, формирующихся при взрывах любой природы.

Взрывоопасность, городская застройка, волна сжатия, аварийный взрыв, параметр взрывной нагрузки, газораспределительный пункт, снижение взрывной нагрузки.