УДК 628.394

Д.В. Кашарин, Тхай Тхи Ким Тъи

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, г. Новочеркасск

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ МОБИЛЬНЫХ ДАМБ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены условия применения мобильных дамб из композитных материалов при инженерной защите населенных пунктов и предприятий от затопления. В ходе численного моделирования и экспериментальных исследований физической модели водонаполняемой дамбы определены величины ее относительных деформаций в зависимости от свойств материала оболочки, ее параметров, условий контакта оболочки с основанием и действующих внутренних и внешних нагрузок. Получены эмпирические зависимости, позволяющие определить необходимые параметры водоподпорной оболочки для обеспечения ее устойчивости и надежности функционирования.

Ключевые слова: устойчивость дамбы, численная модель, мобильные дамбы, защита от затопления, композитные материалы.

В настоящее время в Российской Федерации построено нескольких десятков тысяч километров и планируется строительство более 2000 км грунтовых дамб обвалования, являющихся самыми распространенными и протяженными гидротехническими сооружениями. Изменение гидрологических режимов водотоков обуславливает превышение расчетных уровней и расходов в катастрофически многоводные периоды, что приводит к разрушению гребня непереливных дамб, просадке и разрушению, в особенности на участках неоднородных грунтов, что служит причиной снижения их эксплуатационной надежности и потери работоспособности. В связи с этим необходима их реконструкция, заключающаяся в повышении гребня и дополнительной отсыпке откосов дамб, что увеличивает нагрузку на их основание и требует дополнительных мероприятий по его усилению. Кроме того, при возникновении чрезвычайной ситуации, в том числе при наводнении в бассейне реки Амура в городах Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре, требуется в кратчайшие сроки осуществить повышение гребня дамб, организовать защиту от затопления населенных мест и предприятий, связанную с возведением временных сооружений по периметру.

В связи с этим актуальным является вопрос применения мобильных сооружений из композитных материалов, позволяющих обеспечивать ремонт существующих дамб обвалования, увеличение их высоты и локальную защиту зданий в периоды половодий и паводков [1].

Мобильные гидротехнические сооружения из композитных материалов – это конструкции, состоящие из замкнутых и незамкнутых (или их сочетаний) оболочек, выполняемых из высокопрочных композитных материалов (например, резино-тканевых, резино-кордовых и более современных поливинилхлоридных с основой из арамида и кевлара и т.п.), воспринимающих нагрузки при воздействии воды или грунта. В зависимости от протяженности напоянения дамбы, устанавливаемой без закрепления основания, при высоте 0,4 м и длине 5 м составляет 3 мин, а при ее высоте 3 м и длине 60 м – 180 мин, что особенно важно при их возведении в случае чрезвычайных ситуаций. Поэтому необходимо применение данных конструкций как при реконструкции существующих грунтовых конструкций, так и в качестве самостоятельных сооружений в случае чрезвычайных ситуаций [2–4].

Вопросами возведения водонаполняемых сооружений занимались отечественные и зарубежные ученые, такие как Б.И. Сергеев, Н.П. Розанов, О.Г. Затворницкий, Х. Шансон, Р. Плаут и др. Однако данные конструкции были предназначены для установки в русло водотока на железобетонный флютбет либо на подготовленное основание. Опыт возведения данных сооружений без крепления к основанию в нашей стране незначителен. В.А. Волосухиным и Б.Н. Малышевичем в Краснодарском крае проводились испытания данных конструкций, однако обеспечить их достаточную устойчивость без подсыпки и дополнительных креплений вантовыми системами не представилось возможными. В связи с этим необходимо обобщить и уточнить имеющиеся расчетные положения, усовершенствовать и создать новые технические решения водонаполняемых сооружений, обеспечивающие их устойчивость к сдвигу и опрокидыванию [1, 3–6].

Появление новых композитных материалов позволяет разработать усовершенствованные конструкции из замкнутых и незамкнутых (или их сочетаний) оболочек, позволяющих наиболее эффективно использовать их прочностные свойства и обеспечить мобильность, характеризующуюся степенью сборности (разборности), малыми габаритами в сложенном виде, хорошей транспортабельностью, возможностью возведения в кратчайшие сроки при отсутствии пригодного для тради-

ционного строительства местного материала и невозможности использования тяжелой строительной техники. К основным достоинствам таких сооружений относится многократное использование, высокая транспортабельность, малая стоимость, низкие трудозатраты и малое воздействие сооружений на окружающую среду.

Основным недостатком однооболочечных водонаполняемых дамб является малая устойчивость к опрокидыванию и сдвигу. Однако устойчивость такой оболочки незначительна, и требуется большая ширина дамбы при небольшом создаваемом напоре, также может наблюдаться эффект «скручивания» оболочки при ее значительной длине. В связи с этим в отечественной практике для мобильных дамб начали использовать «распластаный» профиль со значительным прилеганием оболочки к основанию (соотношение 1/5 высоты оболочки к ширине ее прилеганию) (рис. 1) [2].

Рассмотрим устойчивость водоподпорной оболочки на опрокидывание и сдвиг при глубине в верхнем бьефе, равной высоте оболочки $h_{в.б} = P_v$. Момент удерживающих $M_R = 0,25\rho gh_{в.б} B^2$ и опрокидывающих сил $M_{опр} = 0,17\rho gh_{в.б}^3$. Условие устойчивости на опрокидывание в зависимости от коэффициента надежности по степени ответственности сооружения, принимаемого $\gamma_n = 1,1$ для IV класса сооружений, определяется по следующей зависимости [7]:

$$M_R / M_{опр} > \gamma_n. \quad (1)$$

Исходя из условия (1) устойчивости сооружения соотношение ширины прилегания оболочки будет следующим:

$$B > 0,856h_{в.б}. \quad (2)$$

Условие устойчивости на сдвиг в рассматриваемом случае определяется как

$$R = f(G - W_{\phi}), \quad (3)$$

где f – коэффициент трения флутбета дамбы о основание; например, при трении резино-кордовой ткани по суглинку $f = 0,6$, а по песку – $f = 0,65$; G – вес водонаполняемой оболочки, $G = \rho g S l$; S – площадь поперечного сечения водонаполняемой оболочки, определяемого из

эластиков Эйлера, $S = f(B; h_{в.б})$; l – длина водоподпорной оболочки; $h_{в.б}$ – взвешивающая сила давления воды на поверхность водоподпорной оболочки; W_{ϕ} – сила фильтрационного давления $W_{\phi} = 0,5\rho g B l h_{в.б}$; ρ – плотность воды, кг/м³.

Рис. 1. Расчетная схема устойчивости двухкамерной водонаполняемой дамбы

Сдвигающая сила определяется по следующему выражению:

$$P = 0,5\rho g l h_{в.б}^2. \quad (4)$$

Тогда с учетом (3) и (4) условие устойчивости оболочки на сдвиг определится как

$$R / P = f\left(2S / h_{в.б}^2 - B / h_{в.б}\right) > \gamma_n. \quad (5)$$

Из выражения (5) ширина прилегания оболочки для сооружения IV класса составит:

$$B > 1,1h_{в.б} / f + 2S / h_{в.б}. \quad (6)$$

Сравнивая ширину прилегания оболочки по условиям (2) и (6), можно сделать вывод о более существенном влиянии сдвиговых усилий на ширину прилегания оболочки, чем опрокидывающих. Это подтверждено практикой эксплуатации данных конструкций, когда требовалось создание грунтовой насыпи со стороны безнапорной стороны дамбы.

Для повышения устойчивости мобильной дамбы необходимо увеличение ее сцепления с грунтом основания за счет шероховатости основания и анкерного крепления. В особенности такие мероприятия актуальны во время чрезвычайных ситуаций, когда подготовка осно-

вания по трассе установки мобильной дамбы обвалования не производится и нет возможности применения тяжелой строительной техники.

Для создания численной водоподпорной оболочки рассмотрим основные расчетные положения расчета ее параметров.

Расчет оболочек при соблюдении критериев безопасности изгибов и легкости образования складок ведется в соответствии с теорией мягких безмоментных оболочек, при котором зависимости, описывающие гидродинамические нагрузки и функции и отражающие форму поверхности оболочки, ее напряженно-деформированное состояние, взаимосвязаны неявно. Б.И. Сергеевым было предложено аппроксимировать нагрузку на мягкую оболочку системой линейных функций на расчетных участках, что позволяет приближенно определить ее форму. Тогда зависимость отношения давления на i -м участке p_i к нормальному погонному усилию N будет иметь следующий вид [3, 4]:

$$\frac{p_i}{N} = 2a_i z + b_i, \quad (7)$$

где a_i и b_i – коэффициенты нагрузки на i -м участке, определяются в зависимости от сочетания нагрузок и разности внутреннего и внешнего давления; z – ордината.

Поперечное очертание оболочки описывается эллипсами Эйлера, которые в системе координат $\xi O \eta$ записываются в виде функции от двух параметров ψ и k^2 [3]:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}; \quad \eta = E(\psi, k) - (1 - 0,5k^2) F(\psi, k), \quad (8)$$

где $\xi = \frac{z}{f}$; $\eta = \frac{x}{f}$; $\varphi = 2\psi$; f – расстояние наиболее удаленной точки упругой линии от свободной поверхности жидкости (плоскости гидростатического напора); $F(\psi, k)$ – нормальный эллиптический интеграл Лежандра 1-го рода (неполный); $E(\psi, k)$ – нормальный эллиптический интеграл Лежандра 2-го рода (неполный),

$$p_i(z) = N \sqrt{b^2 - 4a(C_i + \cos \varphi)}. \quad (9)$$

Расчет проводится для каждого i -го участка. Затем с учетом начальных условий определяют постоянные интегрирования C_i . По-

следующая постоянная интегрирования C_{i+1} определяется абсциссой точки предыдущего участка [3, 4].

Постоянная интегрирования для последующего участка определяется по зависимости

$$C_{i+1} = C_i \mp (a_i \pm a_{i+1})z^2 \pm (b_i \mp b_{i+1})z. \quad (10)$$

Определяем величину прилегания оболочки к основанию (рис. 1). Введем обозначения: W – ширина водонаполняемой оболочки, L – периметр оболочки, тогда относительное прилегание оболочки к основанию и ее ширину можно представить в виде

$$b = \frac{B}{L}, \quad (11)$$

$$w = \frac{W}{L}. \quad (12)$$

Величины относительной ширины прилегания к основанию b и ширины оболочки w определяются в работе Плаута и Сухермана [1] в зависимости от модуля эллиптического интеграла k , который определяется по следующей зависимости

$$k = \frac{2\sqrt{N}}{p_{\text{дн}}}, \quad (13)$$

где $p_{\text{дн}}$ – относительное давление оболочки дамбы на основание.

Тогда относительные длина (11) и прилегание оболочки (12) с учетом зависимости (13) определяются по формулам:

$$b = 1 - 2k\sqrt{N}K(k), \quad (14)$$

где $K(k)$ – полный нормальный эллиптический интеграл Лежандра 1-го рода;

$$w = b + 2 \left[E\left(\frac{\pi}{4}, k\right) - \left(1 - \frac{k^2}{2}\right) F\left(\frac{\pi}{4}, k\right) \right] p_{\text{дн}}. \quad (15)$$

С использованием зависимостей (7)–(15) были определены форма и начальные параметры оболочки. При моделировании учитывались параметры физической модели максимальной высотой $P_{\text{в}} = 105$ м и

периметром $L = 0,36$ м и воздействия на оболочку внутренним давлением до $p_{\text{вн}} = 1,2$ кПа и внешнем избыточным гидростатическим давлением $h_{\text{в.б}} = 0,02P_{\text{в}}$.

Материал оболочки – армированный полиэтилен имел следующие характеристики: удельный вес 800 кг/м^3 ; коэффициент Пуассона $0,45$; модуль Юнга – 1700 МПа .

В качестве модели водоподпорной оболочки использовался элемент с шестью степенями свободы *SHELL181 – 3D 4* в каждом узле которого задано: 3 осевых перемещения UX, UY, UZ и 3 поворота $ROTX, ROTY, ROTZ$ в узловой системе координат.

Для моделирования основания применялся элемент *SOLID185*. Так как оболочка незакрепленная, граничное условие осуществляется ограничением перемещений основания по всем направлениям. Контакт между оболочкой и основанием был задан с помощью *TARGET170* и *CONTA174*. Гидростатическое давление было задано с помощью *Functions*. Фльтрационное противодействие в данной численной модели не учитывалось. В результате численная модель водоподпорной оболочки в Ansys была представлена в виде, показанном на рис. 2.

Рис. 2. Численное моделирование водоподпорной оболочки в Ansys 14.5:
а – модель оболочки; б – нагрузки, действующие на оболочку

С использованием метода конечных элементов в Ansys 14.5 были определены формы и перемещение оболочки. На рис. 3 и в табл. 1 приведены результаты расчета оболочки периметром $L = 0,36$ м, с уровнем воды в верхнем бьефе $h_{\text{вб}} = 0,04$ м при изменении значения внутреннего давления в зависимости от безразмерной величины $p'_{\text{вн}} = p_{\text{вн}} / (\rho g L)$ (ρ – плотность воды, кг/м^3).

Рис. 3. Деформации водоподпорной оболочки
в при изменении давления внутри оболочки Ansys 14.5

Таблица 1

Зависимость абсолютного Δ и относительного перемещений ε
от внутреннего давления

$p_{вн}$, Па	$p'_{вн}$	B , м	$P_{в}$, м	Δ , м	$\varepsilon = \Delta/L$
2178,2	0,62	0,04	0,105	0,0076	0,0212
1103,6	0,31	0,055	0,096	0,0083	0,0230
903,3	0,26	0,058	0,091	0,0106	0,0349
760,8	0,22	0,061	0,089	0,0110	0,0309
512,5	0,15	0,067	0,083	0,0150	0,0417

Для оценки устойчивости и достоверности численного моделирования были проведены экспериментальные исследования водоподпорной оболочки в гидравлическом лотке шириной 0,1 м, длиной 0,85 м, высотой 30 см. Параметры и характеристики материала оболочки полностью совпадали с численной моделью, приведенной выше. Начальная форма оболочки задавалась аналогично численной модели. Для исключения фильтрации к краям оболочки приклеивался более тонкий полиэтилен, исключающий фильтрацию воды между оболочкой и стенками лотка. Давление внутри оболочки измерялось при помощи манометра, также изменялись уровни воды в верхнем бьефе, на границе контакта оболочки и основания изменялся коэффициент трения с использованием наждачной бумаги с разной зернистостью.

Лабораторная установка и физическая модель водоподпорной оболочки приведены на рис. 4.

Рис. 4. Экспериментальные исследования водоподпорной оболочки:
а – гидравлический лоток; б – физическая модель водоподпорной оболочки

Проведено сравнение результатов численного моделирования и экспериментальных исследований (рис. 5).

Рис. 5. Сравнение формы незакрепленной оболочки
по лабораторным экспериментам и численному моделированию

Максимальное отклонение по величине абсолютного перемещения Δ не превышает 12 %, что говорит о достаточной степени сходимости предложенной численной модели и возможности ее использования для моделирования деформаций и устойчивости натурной водоподпорной оболочки с высотой до 3 м.

В ходе проведения экспериментальных исследований на физической модели были определены условия перемещения (сдвига) оболочки и ее опрокидывания. График зависимости отношения глубины воды $h_{в.б}$ к высоте оболочки P_v от отношения ширины прилегания B/P_v к ее высоте оболочки приведены на рис. 6.

Также в ходе экспериментальных исследований определялось перемещение оболочки при фиксированной величине относительного давления $p'_{вн} = 0,313$, начальной величиной относительного прилега-

ния $b = 0,055$ м и высоте оболочки $P_b = 0,096$ при изменении уровня воды в верхнем бьефе. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Рис. 6. Оценка устойчивости оболочки в зависимости от соотношения глубины в верхнем бьефе к высоте оболочки и ширины прилегания оболочки к ее высоте

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований устойчивости водоподпорной оболочки

$h_{в.б.}$, м	$h_{в.б.}/L$	Δ	ϵ , м
0,020	0,056	0,0041	0,0113
0,025	0,083	0,0045	0,0125
0,040	0,111	0,0083	0,0230
0,050	0,139	0,0157	0,0437
0,055	0,153	0,0214	0,0595

По результатам экспериментальных исследований построен график зависимости относительных деформации при постоянном давлении для относительной глубины в верхнем бьефе $h_{в.б.}$ к периметру оболочки L .

При обработке экспериментальных данных получены следующие эмпирические зависимости для оценки перемещения оболочки, учитывающие следующие критерии:

– относительного перемещения от соотношения глубины в верхнем бьефе к периметру водоподпорной оболочки с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,999$ (рис. 7):

$$\varepsilon = 6,758 \left(\frac{h_{\text{в.б.}}}{L} \right)^2 - 0,920 \left(\frac{h_{\text{в.б.}}}{L} \right) + 0,042; \quad (16)$$

– относительного перемещения от соотношения ширины относительного прилегания к высоте оболочки с достоверности аппроксимации $R^2 = 0,85$:

$$\varepsilon = 0,0879 \left(\frac{b}{P_{\text{в}}} \right)^2 - 0,0552 \left(\frac{b}{P_{\text{в}}} \right) + 0,0292, \quad (17)$$

где соотношение $\frac{b}{P_{\text{в}}}$ определяется в зависимости от $p'_{\text{вн}}$ с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,990$:

$$\frac{b}{P_{\text{в}}} = 1,6716 p'^2_{\text{вн}} - 2,1682 p'_{\text{вн}} + 1,0828; \quad (18)$$

– относительного перемещения от коэффициента трения f дамбы по основанию с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,924$ (рис. 8)

$$\varepsilon = 0,0348 f^{-0,003}. \quad (19)$$

Рис. 7. Оценка устойчивости оболочки в зависимости от соотношения глубины в верхнем бьефе к периметру оболочки

В результате анализа основных расчетных положений было выявлено существенное влияние сил трения на устойчивость водоподпорной оболочки к сдвигу под действием гидростатического давления. Создана численная модель перемещения и деформации оболочек на

Рис. 8. Зависимость относительного перемещения от коэффициента трения между оболочкой и основанием

основе расчетных положений мягких безмоментных оболочек с применением программы Ansys 14.05, достоверность которой подтверждена экспериментальными исследованиями физической модели водоподпорной мобильной дамбы. В дальнейшем с учетом фильтрационного противодействия она может быть применена для расчета натурных конструкций мобильных дамб. Анализ экспериментальных данных позволил выявить основные факторы, влияющие на устойчивость дамбы, и получить эмпирические зависимости для оценки относительных перемещений оболочки в зависимости от ее параметров, внутреннего давления, глубины воды и трения между флутбетом и грунтом. В дальнейшем будут предложены усовершенствованные технические решения мобильной дамбы, позволяющие повысить надежность ее работы.

Библиографический список

1. Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тъи. Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 4. – С. 51–59.
2. Кашарин Д.В. Обоснование конструкций мобильных дамб для защиты зданий и сооружений от затопления // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVII науч.-метод. конф. (21 марта 2013 г.) / ВИ (ИТ) ВАМТО (ВИТУ). – СПб., 2013. – С. 32–38.
3. Кашарин Д.В. Защитные инженерные сооружения из композитных материалов в водохозяйственном строительстве: монография / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. – Новочеркасск, 2012. – 343 с.

4. Сергеев Б.И., Степанов П.М., Шумаков Б.Б. Мягкие конструкции – новый вид гидротехнических сооружений. – М.: Колос, 1971. – 88 с.

5. Волосухин В.А., Кузнецов В.А. Основы расчета тканевых сооружений мелиоративных систем: монография / НГМА. – Новочеркасск, 2001. – 266 с.

6. Кашарина Т.П. Мягкие гидросооружения на малых реках и каналах. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1997. – 56 с.

7. Кашарин Д.В. Оптимизация выбора и обоснование параметров мобильных сооружений инженерной защиты из композитных материалов на водосборе // Изв. Всерос. науч.-исслед. ин-та гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2010. – № 260. – С. 50–60.

References

1. Kasharin D.V., Tkhai Tkhi Kim T'i. Povyshenie ustoichivosti osnovanii mobil'nykh damb dlia inzhenernoi zashchity zdaniy ot zatopleniia [Increasing stability of flexible dam-foundations in engineering protection of buildings from flooding]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 51–59.

2. Kasharin D.V. Obosnovanie konstruktssii mobil'nykh damb dlia zashchity zdaniy i sooruzhenii ot zatopleniia [Substantiation of designs of flexible dams for protection of buildings and structures from flooding]. *Materialy XVII nauchno-metodicheskoi konferentsii VoЕННО-inghenernogo tekhnicheskogo universiteta (21 march 2013) "Defekty zdaniy i sooruzhenii. Usilenie stroitel'nykh konstruktssii"*. St.-Petersburg, 2013, pp. 32–38.

3. Kasharin D.V. Zashchitnye inzhenernye sooruzheniia iz kompozitnykh materialov v vodokhoziaistvennom stroitel'stve [Protective engineering constructions from composit materials in water economic building]. Novocherkassk: IuRG TU, 2012, 343 p.

4. Sergeev B.I., Stepanov P.M., Shumakov B.B. Miagkie konstruktssii – novyi vid gidrotekhnicheskikh sooruzhenii [Soft constructions as a new format of hydraulic engineering structures]. Moscow: Kolos, 1971, 88 p.

5. Volosukhin V.A., Kuznetsov V.A. Osnovy rascheta tkanevykh sooruzhenii me-liorativnykh sistem [Basis of calculation of fabric constructions of meliorative systems]. Novocherkassk: NGMA, 2001, 266 p.

6. Kasharina T.P. Miagkie gidrosooruzheniia na malykh rekakh i kanalakhs [Soft hydroconstructions on the small rivers and channels]. Moscow: Melioratsiia i vodnoe khoziaistvo, 1997, 56 p.

7. Kasharin D.V. Optimizatsiia vybora i obosnovanie parametrov mobil'nykh sooruzhenii inzhenernoi zashchity iz kompozitnykh materialov na vodosbore [Optimisation of a selection and substantiation of parameters of mobile constructions of engineering protection from composite materials on a reservoir]. *Izvestiia Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*, 2010, no. 260, pp. 50–60.

D.V. Kasharin, Thai Thi Kim Chi

**ANALYSIS OF NUMERICAL SIMULATION
AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF STABILITY
OF MOBILE DYKES OF COMPOSITE MATERIALS**

The conditions of using composite flexible dams in engineering protection populated areas and factories from flooding are examined. Explanations of working condition of flexible, water-inflated dams and their design models are given by using flexible shell-theory. In the course of numerical modeling, the values of relative displacement depending on the material behavior, their parameter, contact conditions between dam and foundation, internal and external forces are estimated by authors using program Ansys 14.5. Physical models of water-inflated dams were used in experimentation to test the stability conditions depending on their contacts with foundation and external forces.

Comparison of experimental data with the results from numerical modeling given sufficient convergence (difference between obtained relative displacements is under 2%).

Static analysis of experimental datum are taken and empirical dependence is received, that allow to define necessary parameter of dams for guaranteeing the stability and reliability functioning in emergency situation and execution repairing during a flood in water-producing areas and water bodies. In the course of analyzing, the effect of contact friction between surfaces and ground foundation on stability of water-inflated dams was found out. We offered new constructions of water-inflated dams, provided stability in their poor cohesion with ground, that allow to building dams without using any massive equipment in flooding areas.

Keywords: stability of dams, numerical model, flexible dams, protecting from flooding, composite materials.

Об авторах

Кашарин Денис Владимирович (Новочеркасск, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова (e-mail: denvk1@mail.ru)

Тхай Тхи Ким Тъи (Новочеркасск, Россия) – аспирант кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова (e-mail: thaikimchi.vn@gmail.com).

About the authors

Kasharin Denis Vladimirovich (Novocherkassk, Russia) – Ph.D. in Technical Sciences, Professor, Department of Water management, utility facilities and environmental protection, South-Russian State Polytechnic University (NPI) (e-mail: denvk1@mail.ru).

Thai Thi Kim Chi (Novocherkassk, Russia) – Postgraduate student, Department of Water management, utility facilities and environmental protection, South-Russian State Polytechnic University (NPI) (e-mail: thaikimchi.vn@gmail.com).

Получено 09.01.2014