

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА В ТРАНЗИТНОМ РУСЛЕ КОВШЕВОГО ВОДОЗАБОРА****Е.Д.Хецуриани^{1,2}, М.Ю. Косиченко¹**¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

В настоящее время ковш заносится песком, загрязняется плавающим сором, водоприёмные оголовки забиваются шугой и водорослями. Для выбора оптимального решения защитных мероприятий разработан программный комплекс, который предусматривает выполнение следующих задач: предотвратить попадание из русла р. Казым в ковш водозабора наносов, шуги и сора, обеспечить бесперебойную работу водоприёмных оголовков в условиях интенсивного цветения акватории ковша и защиту молоди рыб от гибели в водоприёмных оголовках. Предлагается комплекс сооружений и устройств, который позволит предупредить попадание наносов, шуги, плавающего сора в водоприёмный ковш, а также защитит молодь рыб от гибели в водоприёмных оголовках водозабора и обеспечить эффективную промывку водоприёмных отверстий от сине-зелёных водорослей. Предлагаемый комплекс сооружений обеспечивает высокий эколого-экономический эффект. Построение компьютерной модели в водоприёмнике при водозаборе для водоснабжения города Белоярский осуществлялось методом конечных элементов на персональном компьютере в программном продукте Femlab с использованием уравнения Лапласа.

Ключевые слова: водозаборный технологический комплекс, природно-техническая система, компьютерная гидродинамическая модель, течения потока, ковшевой водозабор, программный продукт.

SOFTWARE COMPUTER HYDRODYNAMIC FLOW MODEL FLOW IN THE TRANSIT CHANNEL OF THE BUCKET INTAKE**E.D. Khetsuriani^{1,2}, M.Yu. Kosichenko¹**¹South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, Russia²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Currently, the bucket is filled with sand, polluted with floating litter, and the water intake heads are clogged with sludge and algae. To select the optimal solution for protective measures, a software package has been developed that provides for the following tasks: to prevent sediment, sludge and litter from entering the water intake bucket from the R, Kazym riverbed, to ensure the smooth operation of water intake heads in the conditions of intensive blooming of the bucket water area and to protect young fish from death in water intake heads. A complex of structures and devices is proposed that will prevent the ingress of sediment, sludge, floating litter into the water intake bucket, as well as protect young fish from death in the water intake heads of the water intake and ensure effective flushing of water intake holes from blue-green algae. The proposed complex of structures provides a high ecological and economic effect. The construction of a computer model in the water intake at the water intake for the water supply of the city of Beloyarsky was carried out by the finite element method on a personal computer in the Femlab software product using the Laplace equation.

Keywords: water intake technological complex, natural-technical system, computer hydrodynamic model, flow flows, bucket water intake, software product.

Компьютерная модель распределения глубин. Для построения компьютерной модели использовалась съёмка глубин водоприёмника при гидрометеорологических изысканиях. Уровень воды на момент съёмки 15,30 м.

Построение компьютерной модели распределения глубин в водоприёмнике при водозаборе для водоснабжения города Белоярский осуществлялось методом конечных элементов на персональном компьютере в программном продукте Femlab. Последовательность компьютерного моделирования включает следующие этапы.

1. Сначала задавался режим моделирования для уравнения Лапласа на плоскости:

$$\Delta h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где h – глубина водного потока; x – абсцисса; y – ордината; Δ – оператор «лапласиан».

2. Потом строилась геометрия расчётной области, представленная на рис. 1 и включающая 337 опорных точек, 12 поперечных профилей, а также продольный средний профиль.

3. Далее задавались граничные условия Дирихле, изображённые на рис. 1:

– во входном сечении потока 1–1
 $h = h_{1-1}(x, y);$

– в выходном сечении потока 11–11
 $h = h_{11-11}(x, y);$

– в промежуточном сечении потока 3–3
 $h = h_{3-3}(x, y);$

– в промежуточном сечении потока 6–6
 $h = h_{6-6}(x, y);$

– в промежуточном сечении потока 8–8
 $h = h_{8-8}(x, y);$

– в промежуточном сечении потока 9'–9'
 $h = h_{9'-9'}(x, y);$

– в продольном среднем профиле потока 1'–11'
 $h = h_{1'-11'}(x, y);$

– на остальных внешних границах (у берегов и на перемычке между островами) $h = 0$, где $h_{1-1}(x, y)$, $h_{11-11}(x, y)$, $h_{3-3}(x, y)$, $h_{6-6}(x, y)$, $h_{8-8}(x, y)$, $h_{9'-9'}(x, y)$, $h_{1'-11'}(x, y)$ – распределение глубин в сечениях 1–1, 11–11, 3–3, 6–6, 8–8, 9'–9', 1'–11'.

На остальных внутренних границах (в промежуточных сечениях 2–2, 4–4, 5–5, 7–7, 9–9, 10–

10) задаются граничные условия равенства нормальных производных искомой функции $\frac{\partial h^+}{\partial n} = \frac{\partial h^-}{\partial n}$, где $\frac{\partial h^+}{\partial n}$, $\frac{\partial h^-}{\partial n}$ – производные распределения глубин по нормали (со стороны входного потока и выходного потока соответственно).

4. Строилась сетка конечных элементов, представленная на рис. 2. Было построено 9598 конечных элементов, представляющих треугольники на плоскости.

5. Произведён расчёт распределения глубин в расчётной области методом конечных элементов. Расчёт занял 0,812 секунды и включал 19655 степеней свободы (или узлов расчётной области).

6. Выполнены настройки вывода результатов, после чего были получены результаты моделирования распределения глубин в расчётной области. Цветовое распределение глубин представлено на рис. 3. Линии равных глубин представлены на рис. 4. Трёхмерное распределение глубин представлено на рис. 1 и 2 (соответственно с переднего ракурса и заднего ракурса).

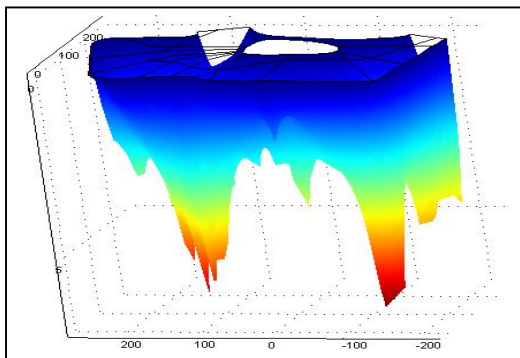


Рис. 1. Трёхмерная глубина потока (с переднего ракурса) в расчётной области компьютерной модели распределения глубин воды

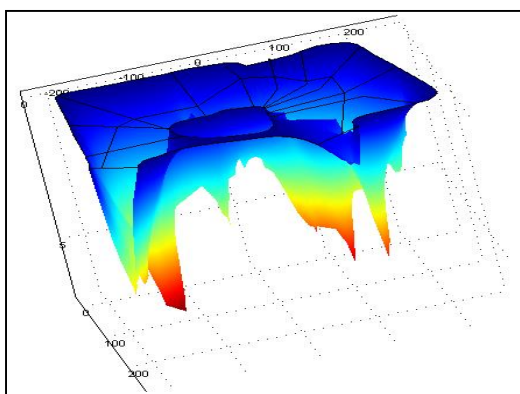


Рис. 2. Трёхмерная глубина потока (с заднего ракурса) в расчётной области компьютерной модели распределения глубин воды

7. Модель была сохранена в файле на диске, а графическое представление исходных данных и результатов было перенесено в текстовый документ в виде точечных рисунков.

Компьютерная модель распределения уровня воды. Для построения компьютерной модели учитывалось то, что уровень во входном и выходном сечениях отличается на 1 см. Уровень воды во входном сечении принимался равным 15,31 м, а в выходном сечении принимался равным 15,30 м.

Построение компьютерной модели распределения уровней воды в водоприёмнике при водозаборе для водоснабжения города Белоярский осуществлялось методом конечных элементов на персональном компьютере в программном продукте Femlab. Последовательность компьютерного моделирования включает следующие этапы.

1. Сначала задавался режим моделирования для уравнения Лапласа на плоскости:

$$\Delta z = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

где z – уровень воды; x – абсцисса; y – ордината; Δ – оператор «лапласиан».

2. Потом строилась геометрия расчётной области, включающая 181 опорную точку, а также 12 поперечных профилей.

3. Далее задавались граничные условия:

- условия Дирихле во входном сечении потока 1–1 $z = 15,31$ м;
- условия Дирихле в выходном сечении потока 11–11 $z = 15,30$ м;
- условия Дирихле в сечении водозабора; $z = 15,305$ м;
- нулевые условия Неймана на остальных внешних границах (y берегов и на перемычке между островами):

$$\frac{\partial z}{\partial n} = 0, \quad (3)$$

где $\frac{\partial z}{\partial n}$ – нормальная производная уровня воды

(скорость потока). Нулевые условия Неймана означают, что скорость потока на этих границах равна нулю.

На остальных внутренних границах (в промежуточных сечениях 2–2, 3–3, 4–4, 5–5, 6–6, 7–7, 8–8, 9–9, 9' – 9', 10–10) задаются граничные условия равенства нормальных производных искомой функции $\frac{\partial z^+}{\partial n} = \frac{\partial z^-}{\partial n}$, где $\frac{\partial z^+}{\partial n}$, $\frac{\partial z^-}{\partial n}$ – нормальные производные уровня воды (со стороны входного потока и выходного потока соответственно).

4. Строилась сетка конечных элементов, представленная на рис. 6. Было построено 6189 конечных элементов, представляющих треугольники на плоскости.

5. Произведён расчёт распределения глубин в расчётной области методом конечных элементов. Расчёт занял 0,25 секунды и включал 12824 степеней свободы (или узлов расчётной области).

6. Выполнены настройки вывода результатов, после чего были получены результаты моделирования распределения уровней воды в расчётной области. Цветовое распределение уровней воды представлено на рис. 7. Линии равных уровней воды представлены на рис. А.8.

Для определения расчётного уровня водоприёмника (затона) согласно СП 31.13330.2012 [10], п.8.79, табл. 7 для II категории водозабора используется минимальный уровень воды обеспеченностью $P=95\%$ по данным изысканий $Z_{P=95\%} = 14,55$ м, а обеспеченность среднемесячных расходов воды согласно [10], п.6.7, табл. 4 $P=90\%$ для II категории системы водоснабжения, для чего используется минимальный уровень воды в водоприёмнике $Z_{P=90\%} = 14,69$ м, представлены на рис. 4.

На основании анализа средних скоростей на вертикалях во всех сечениях модели, на эпюрах скоростей, представленных на рис. 4, 5, при $z_1=14,55$ м, из представленных на рис. А. 17-21, можно сделать вывод, что средние скорости на вертикали 1-1 соответственно не превышают 0,105 м/с, а средние скорости в живом сечении не превышают значений 0,057 м/с. Ещё меньше получаются значения скоростей на промежуточных вертикалях в сечениях 2-2, 3-3, 4-4 и 5-5, где максимальные скорости не превышают соответственно 0,059; 0,039; 0,177; 0,058 м/с. Такие малые скорости течения в акватории водоприёмника обуславливают благоприятные условия для развития водорослей в летний период, особенно на участках с малой интенсивностью водообмена и на мелководных участках с глубиной менее 1,5–2,0 м. В связи с этим предусматривается устройство так называемого

«транзитного русла» по линии наибольших глубин в поперечных сечениях путём углубления мелководных участков с глубиной более 2,0–3,0 м и шириной русла 35,0 м, что позволит увеличить средние скорости на вертикалях в 2,5–3,0 раза и создаст благоприятные условия для водообмена и освежения водных масс, как в транзитном русле, так и на прилегающих участках.

При этом особое значение отводится входному сечению 1-1, которое является «узким местом» во всей системе обеспечения водой водоприёмника. Так, при минимальном уровне воды $z_1=14,55$ м глубины в сечении 1-1 не превышают 0,2–0,5 м при средней глубине $h_{cp}=0,23$ м. По этой причине расход во входном сечении Q_1 резко падает с $6,24\text{ м}^3/\text{с}$ при $z_1=15,30$ м до $0,51\text{ м}^3/\text{с}$ при $z_1=14,55$ м, т.е. происходит снижение более, чем в 12 раз.

Углубление русла во входном сечении 1-1 в среднем на 1,3–1,5 м позволит увеличить его расход до $10,2\text{ м}^3/\text{с}$ или в 10 раз при повышении средних скоростей на вертикалях в 2,0–2,5 раза. Такое увеличение расхода во входном сечении приведёт к повышению средних скоростей и в других сечениях 2-2, 3-3 и др. Отсюда пропуск повышенного расхода по транзитному руслу после расчистки ряда мелководных участков создаст лучшие условия для предупреждения развития водорослей.

Другим важным мероприятием является создание в голове транзитного русла земляного отстойника путём его заглубления до 5,0 м и длиной согласно расчёта до 32,0 м, что обеспечит задержание донных наносов и части взвешенных наносов фракциями более 0,20–0,50 мм.

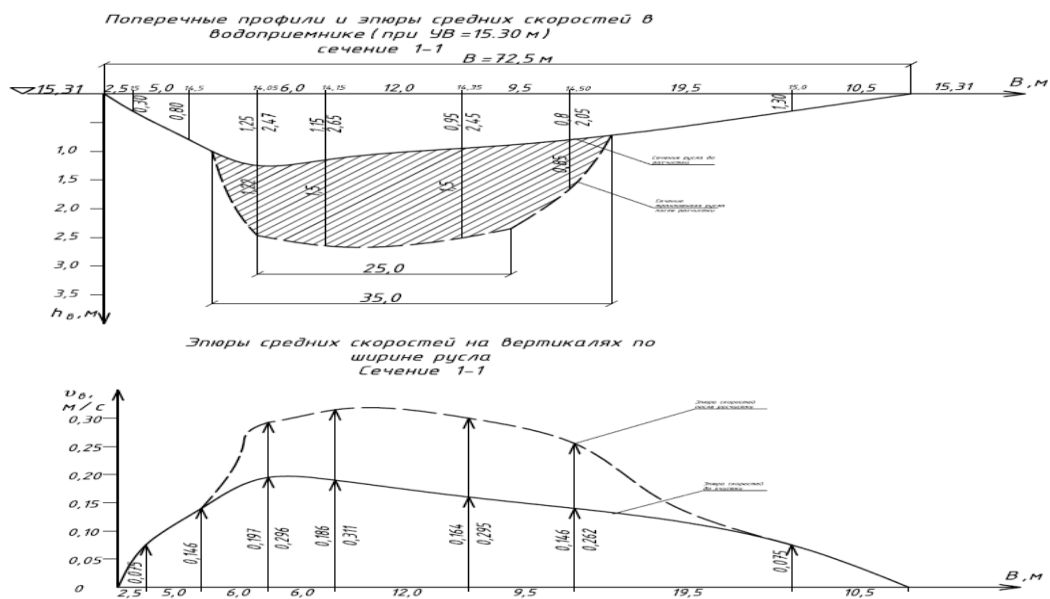


Рис. 3. Поперечный профиль и эпюра средних скоростей на вертикалях в сечении 1-1, при уровне воды 15,30 м

Поперечные профили и эюры средних скоростей в водоприемнике (при $УВ_{90\%} = 14.69$ м) сечение 1-1

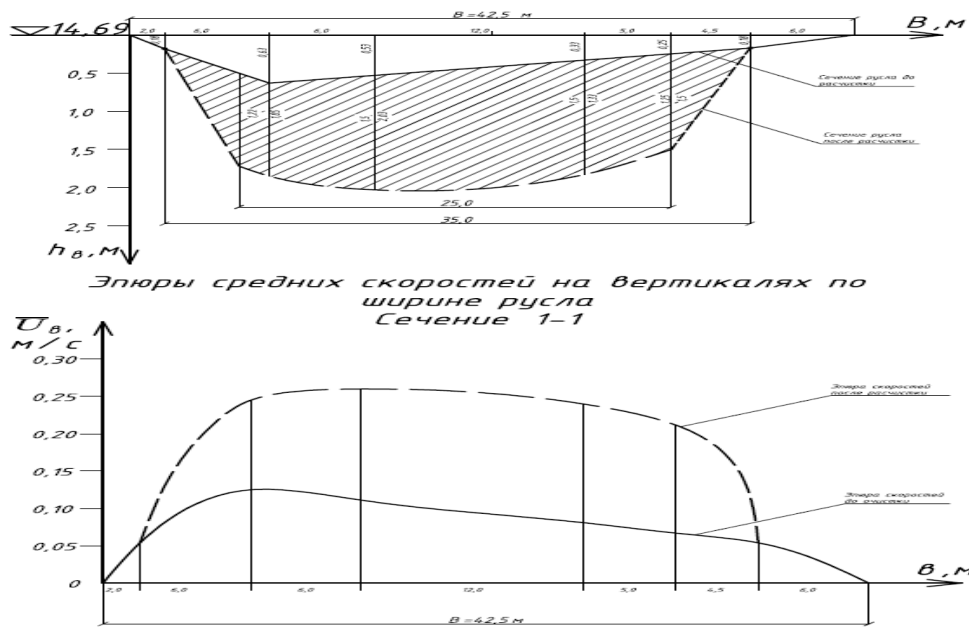


Рис. 4. Поперечный профиль и эюра средних скоростей на вертикалях в сечении 1-1, при уровне воды 14,69 м

Поперечный профиль (при $УВ_{95\%} = 14.55$ м) сечение 1-1

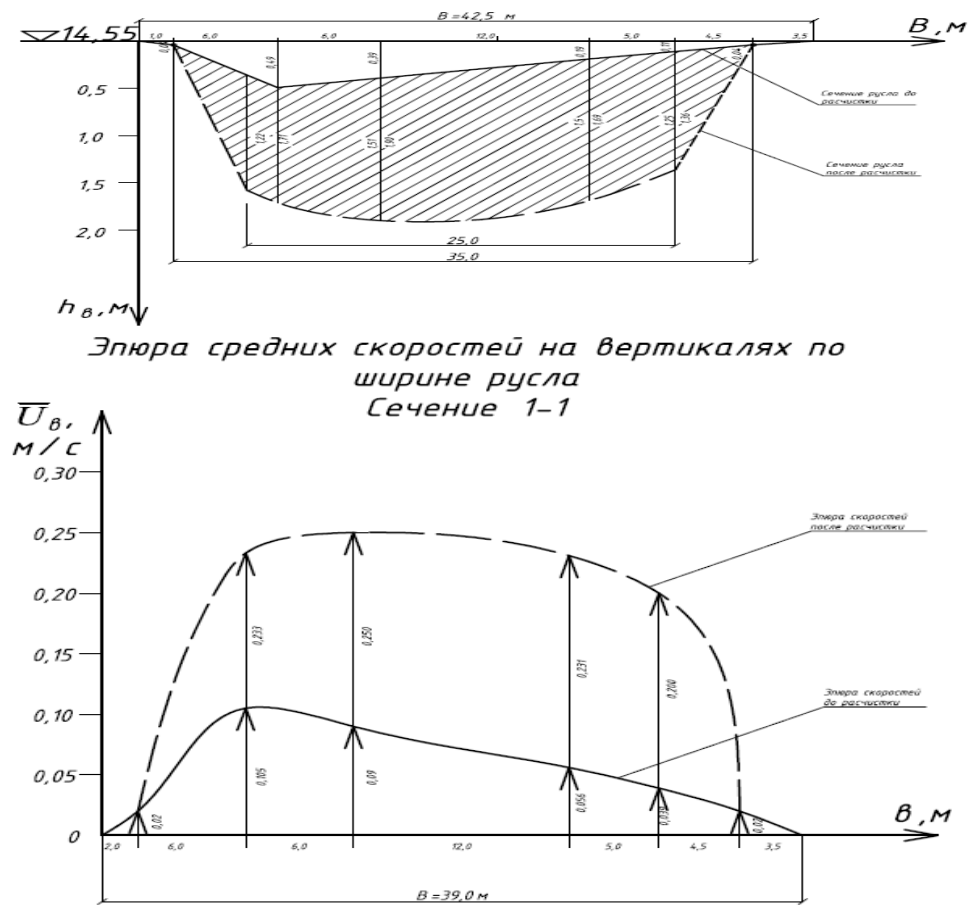


Рис. 5. Поперечные профили и эюры средних скоростей на вертикалях в сечении 1-1, при уровне воды 14,55 м

Выводы

1. Для построения компьютерной модели распределения глубин, использовалась съёмка водоприёмника при гидрометеорологических изысканиях. Уровень воды на момент съёмки 15,30 м.

2. Для распределения уровней воды, учитывалось то, что уровень во входном и выходном сечениях отличается на 1 см. Уровень воды во входном сечении принимался равным 15,31 м, а в выходном сечении принимался равным 15,30 м.

3. Построение компьютерной модели в водоприёмнике при водозаборе для водоснабжения города Белоярский осуществлялось методом ко-

нечных элементов на персональном компьютере в программном продукте Femlab с использованием уравнения Лапласа.

4. Неравномерное распределение средних скоростей на вертикалях как по ширине, так и по длине русла объясняется значительным расширением водоприёмника в промежуточных сечениях 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 по отношению к входному 1-1 и выходному сечениям.

5. Углубление русла во входном сечении 1-1 в среднем на 1,3-1,5 м позволит увеличить его расход до 10,2 м³/с или в 10 раз при повышении средних скоростей на вертикалях в 2,0-2,5 раза.

Список литературы

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями № 1, 2). 2013.
2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.2012.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-7).2003. – Вып. 7.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.2012.
5. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Госстрой России, – М. – 2004.
6. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. – Гидрометеоздат. – Л. – 1984.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Гидрометеоздат, – Л. – 1973.
8. ВСН 163-83. Учёт деформации речных русел и берегов водоёмов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопровод). – Гидрометеоздат, – Л. – 1985.
9. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – 1999.
10. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.20-84* (с Изменениями № 1, 2, 3). 2013
11. Рабков Е.К. Проектирование и расчёт оросительных каналов в земляном русле. – М. – УДН. – 252 с.
12. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины. М.: Высшая школа, – 1978. – 352 с.
13. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Издательство НЦ ЭНАС. – М., – 2004.
14. Курганов А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения. – СПб., – АСВ. – 1998.
15. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. 2012.
16. Белов В.А., Мордвинцевым М.М. Гидротехнические сооружения и строительная механика. – Новочеркасск. – 2015. – 9-25 с.
17. Образовский А.С. и др. Водозаборные сооружения из поверхностных источников. М.:Стройиздат, – 1976.
18. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие. – М.:Издательство АСВ, – 2004.
23. Курганов А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения: Учеб.пособие / Изд-во «АСВ», СПбГАСУ. – М., СПб., – 1998.
24. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М., Лушкин И.А. Водозаборно-очистные сооружения и устройства. – М.:Изд-во АСВ, – 2008. Бондаренко В.Л., Блясов А.И., Хецуриани Е.Д., монография Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем. – Новочеркасск, – 2019.
25. Бондаренко В.Л., Скибин Г.М., Азаров В.Н., Семенова Е.А., Приваленко В.В. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем: Монография Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 419 с.

© Е.Д.Хецуриани, М.Ю. Косиченко

Ссылка для цитирования:

Е.Д. Хецуриани, М.Ю. Косиченко. Программный комплекс компьютерной гидродинамической модели течения потока в транзитном русле ковшевого водозабора // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 4 (34). С. 98–102.