

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626.3

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-299-317

Исследование полных напряжений в теле водовода прямоугольного поперечного сечения, расположенного на глинистом основании

**Владимир Георгиевич Дегтярев¹, Ольга Георгиевна Дегтярева²,
Александр Николаевич Секисов³**

^{1,2,3}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация

¹cst2007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1993-6736>

²marxotgeo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9312-9222>

³alnikkss@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4810-3741>

Аннотация. **Цель:** исследование полных напряжений в теле водовода прямоугольного поперечного сечения TOTAL S-YY и S-XX при анализе влияния высоты грунта над водоводом и нагрузки от оси автомобиля на водовод. При этом факторы влияния изменялись в диапазоне: высота грунта над водоводом от 0,5 до 1,2 м, нагрузка от оси автомобиля на водовод от 5 до 40 т. **Материалы и методы.** Исследование сложной системы выполнено в два этапа. На первом этапе численным методом на базе программы Midas GTX NX, которая способна учитывать комплексно совместную работу конструктива водовода, расположенного в грунте, рассчитывались напряжения в нем. Далее полученный массив цифр, отражающий физику происходящих процессов при влиянии на функцию отклика, за которую приняты полные напряжения факторов возмущения и взяты высота грунта над водоводом и нагрузка на водовод от автомобиля, был подвергнут цифровому анализу. **Результаты.** Полные напряжения в водоводе при постоянной высоте грунта над ним характеризуются очень активной линейной связью с усилием на грунт как для горизонтальных, так и для вертикальных напряжений. Горизонтальные напряжения S-XX в диапазоне изменения аргумента от 5 до 40 т обеспечивают изменение функции отклика на 28,82 %. При этом вертикальные S-YY напряжения в водоводе при постоянной высоте грунта над ним практически так же линейно активны и обеспечивают изменение функции отклика на 24,79 %. **Выводы:** с увеличением нагрузки от автомобиля на грунт над водоводом напряжения в последнем имеют минимальные значения, которые наступают при большей высоте насыпи.

Ключевые слова: полные напряжения, конструкции водоводов, численный эксперимент, высота грунта, функция отклика, глинистое основание

Для цитирования: Дегтярев В. Г., Дегтярева О. Г., Секисов А. Н. Исследование полных напряжений в теле водовода прямоугольного поперечного сечения, расположенного на глинистом основании // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 299–317. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-299-317>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Investigation of total stresses in rectangular section conduit body located on a clay base



Vladimir G. Degtyarev¹, Olga G. Degtyareva², Alexander N. Sekisov³

^{1,2,3}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar,
Russian Federation

¹cst2007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1993-6736>

²marxotgeo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9312-9222>

³alnikkss@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4810-3741>

Abstract. Purpose: to study the total stresses in the rectangular section conduit body TOTAL S-YY and S-XX while analyzing the influence of the soil height above the conduit and the load from the vehicle axle on the conduit. At the same time, the influence factors varied in the range: the soil height above the conduit from 0.5 to 1.2 m, the load from the axle of the car on the conduit from 5 to 40 t. **Materials and methods.** The study of a complex system was carried out in two stages. At the first stage, using a numerical method based on the Midas GTX NX program, which is able to take into account the complex joint work of the conduit structure located in the ground, the stresses in it were calculated. Further, the resulting array of numbers, reflecting the physics of the processes occurring when the response function is influenced, for which the total stresses of the perturbation factors are taken and the height of the soil above the conduit and the load on the conduit from the car, was subjected to digital analysis. **Results.** The total stresses in the conduit at a constant soil height above it are characterized by a very active linear relationship with the force on the soil for both horizontal and vertical stresses. Horizontal stresses S-XX in the range of argument change from 5 to 40 t provide a change in the response function by 28.82 %. At the same time, the vertical S-YY stresses in the conduit at a constant height of the soil above it are almost as linearly active and provide a change in the response function by 24.79 %. **Conclusions:** with an increase in the load from the car on the ground above the conduit, the stresses in the latter have minimal values, which occur at a greater embankment height of the.

Keywords: total stresses, conduit structures, numerical experiment, soil height, response function, clay base

For citation: Degtyarev V. G., Degtyareva O. G., Sekisov A. N. Investigation of total stresses in rectangular section conduit body located on a clay base. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):299–317. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-299-317>.

Введение. В свете импортозамещения дефицит энергетических и водных ресурсов все настойчивее проникает во все сферы хозяйственной деятельности человека [1–3]. В сельскохозяйственном производстве противодействие дефициту выражается не только в бережном отношении к ресурсам, но и в необходимости поиска новых технологий, обеспечивающих ресурсосбережение при уменьшении трудозатрат и влияния человеческого фактора [4, 5]. В современных условиях подобный постулат невозможно реализовать без создания автоматизированных систем водораспределения и полива, что в свою очередь должно базироваться на рациональном использовании водных ресурсов при реализации самого ороше-

ния [6–8]. Настало время освоения дополнительных сельскохозяйственных площадей, устройства новых оросительных систем, хотя и существующие системы часто требуют полного или частичного восстановления. Одним из элементов оросительной системы являются водоводы различного сечения, транспортирующие оросительную воду.

Одна из основных задач совершенствования конструкций оросительных систем и способов управления водозабором и водораспределением – оснащение оросительных систем средствами автоматизации, в т. ч. гидравлическими совершенными технологиями орошения [9, 10]. Однако достичь всего этого будет можно, если водопропускные сооружения, в большом количестве присутствующие на оросительных системах, будут устойчивы и надежны в эксплуатации [11–13].

Совершенствование оросительных систем в каждом конкретном случае, в конструктивно-технологических решениях по устройствам позволит повысить надежность водораспределения и водоучета, обеспечив возможность сокращения непроизводительных эксплуатационных потерь воды и, как следствие, ограниченных ресурсов воды [14, 15].

В настоящее время в практике проектирования наблюдается недостаточно углубленный учет ряда факторов, существенно влияющих на конструктивную и эксплуатационную надежность водопропускных сооружений [16, 17]. Одним из основных факторов являются полные напряжения TOTAL S-YU и S-XX (кН/м²) [18, 19].

Целью работы являются исследования полных напряжений в теле водовода прямоугольного поперечного сечения TOTAL S-YU и S-XX при анализе влияния высоты грунта над водоводом и нагрузки от оси автомобиля на водовод. При этом факторы влияния изменялись в диапазоне: высота грунта над водоводом от 0,5 до 1,2 м, нагрузка от оси автомобиля на водовод от 5 до 40 т.

На рисунке 1 представлен гидротехнический узел, водовыпуск пря-

моугольного поперечного сечения с внутрихозяйственной дорогой над водоводом и средством автоматизации в виде затвора-автомата гидравлического действия [20, 21].



Рисунок 1 – Водовыпуск прямоугольного поперечного сечения с внутрихозяйственной дорогой над водоводом (автор фото В. Г. Дегтярев)

Figure 1 – Rectangular cross-section outlet with an intrafarm road above the conduit (photo by V. G. Degtyarev)

Материалы и методы. Изучение описанной сложной системы осуществляется в два этапа [22]. На первом этапе численным методом, на базе программы Midas GTX NX, способной комплексно определять совместную работу конструктива водовода, расположенного в грунте, определялись напряжения в нем [23, 24]. Таким образом, был набран массив цифр, соответствующий различным ситуационным моментам при комбинаторике факторов, принятых к исследованию, и определены полные напряжения в теле водовода прямоугольного поперечного сечения [25, 26]. Потом массив цифр, представляющий физику процессов при воздействии на функцию отклика, за которую приняты полные напряжения факторов возмущения и взяты высота грунта над водоводом и нагрузка на водовод от автомобиля, был математически проанализирован цифровым образом. При цифровом анализе использовалась программа wxMaxima, способная обработать зна-

чительные массивы цифр, полученные в результате численного эксперимента по расчету напряженно-деформированного состояния конструкций в зависимости от выбранных к исследованию факторов. Алгоритм решения задачи цифрового анализа по определению степени влияния выбранных к исследованию факторов на функцию отклика включал следующие моменты: 1) формирование массивов цифр по экспериментальным данным для напряжений TOTAL S-YY и S-XX (кН/м²) и перевод их в матричное состояние; 2) обработка экспериментальных данных и получение коэффициентов в регрессионном уравнении; 3) проверка значимости коэффициентов в регрессионном уравнении и адекватности полученной математической модели, представленной полиномом второй степени; 4) построение поверхности отклика по полученной математической модели и линий равных уровней по ней; 5) упрощение математической модели посредством вывода одного из аргументов на постоянный уровень и строительство графика влияния на функцию отклика одного из аргументов при постоянстве другого; б) комплексный графоаналитический анализ полученных результатов.

Результаты и обсуждение. Реализуя представленную программу исследований в ПО Midas GTX NX, осуществили численный эксперимент для анализа напряженно-деформированного состояния водовода в зависимости от высоты грунта над ним. Фрагмент результата для высоты грунта над водоводом 1,2 м и нагрузки от оси автомобиля, изменяющейся от 5 до 40 т, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Напряженно-деформированное состояние водовода
Table 1 – Stress-strain state of the conduit

Номер опыта	Нагрузка от оси автомобиля, т	Полное напряжение, кН/м ²	
		TOTAL S-YY	TOTAL S-XX
1	2	3	4
1	5	-220,65	-102,38
2	10	-218,98	-101,86
3	15	-224,86	-105,13
4	20	-230,75	-108,40
5	25	-237,70	-112,27

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4
6	30	-249,77	-118,67
7	35	-248,61	-118,34
8	40	-254,64	-121,70

На рисунке 2 представлен визуализированный вид расчета в программе Midas GTX NX при цветовом кодировании напряженно-деформированного состояния водовода в зависимости от постоянной высоты грунта над ним 1,2 м и нагрузки от автомобиля 10 т для TOTAL S-XX, кН/м².

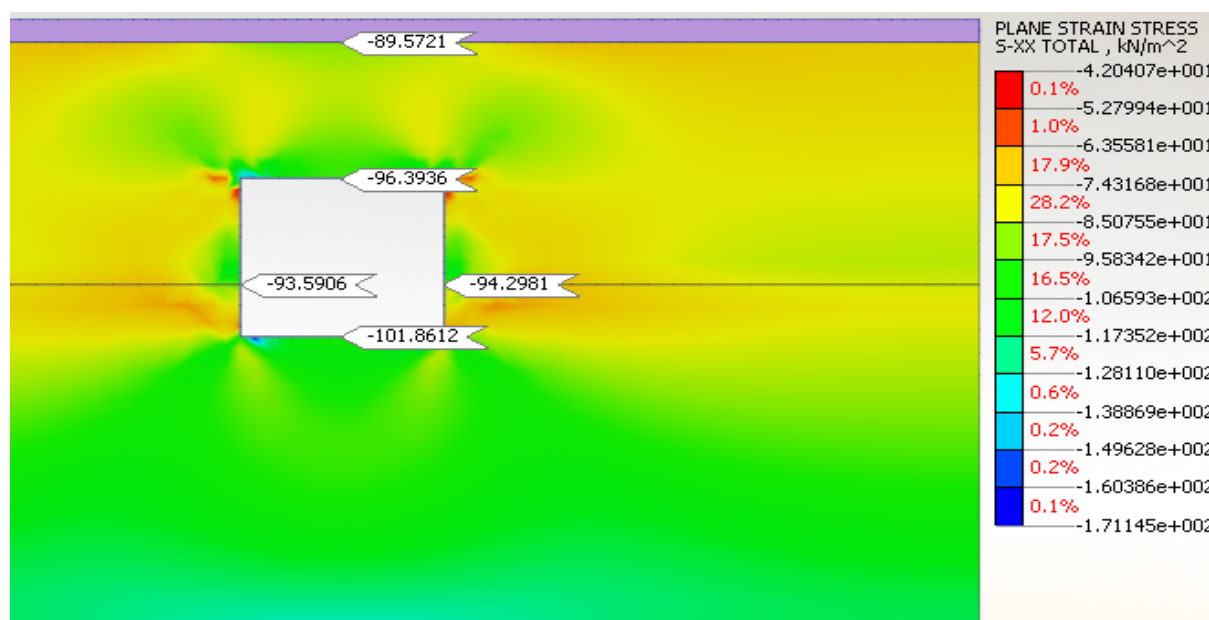


Рисунок 2 – Визуализированный вид расчета для TOTAL S-XX, кН/м²
Figure 2 – Visualized type of calculation for TOTAL S-XX, kN/m²

На рисунке 3 также представлен визуализированный вид расчета при цветовом кодировании напряженно-деформированного состояния водовода при тех же параметрах эксперимента, но для TOTAL S-YY, кН/м².

Реализуя ранее представленный алгоритм, рассмотрим последовательно вначале массив цифр по экспериментальным данным для напряжения TOTAL S-XX, который формируется нижеследующим файлом:

M:matrix ([0.5, 5, -96.74], [0.5, 10, -100.87], [0.5, 15, -104.24], [0.5, 20, -110.31], [0.5, 25, -110.67], [0.5, 30, -115.24], [0.5, 35, -121.66],

[0.5, 40, -122.69], [0.6, 5, -96.47], [0.6, 10, -100.24], [0.6, 15, -103.21],
 [0.6, 20, -107.03], [0.6, 25, -114.47]).

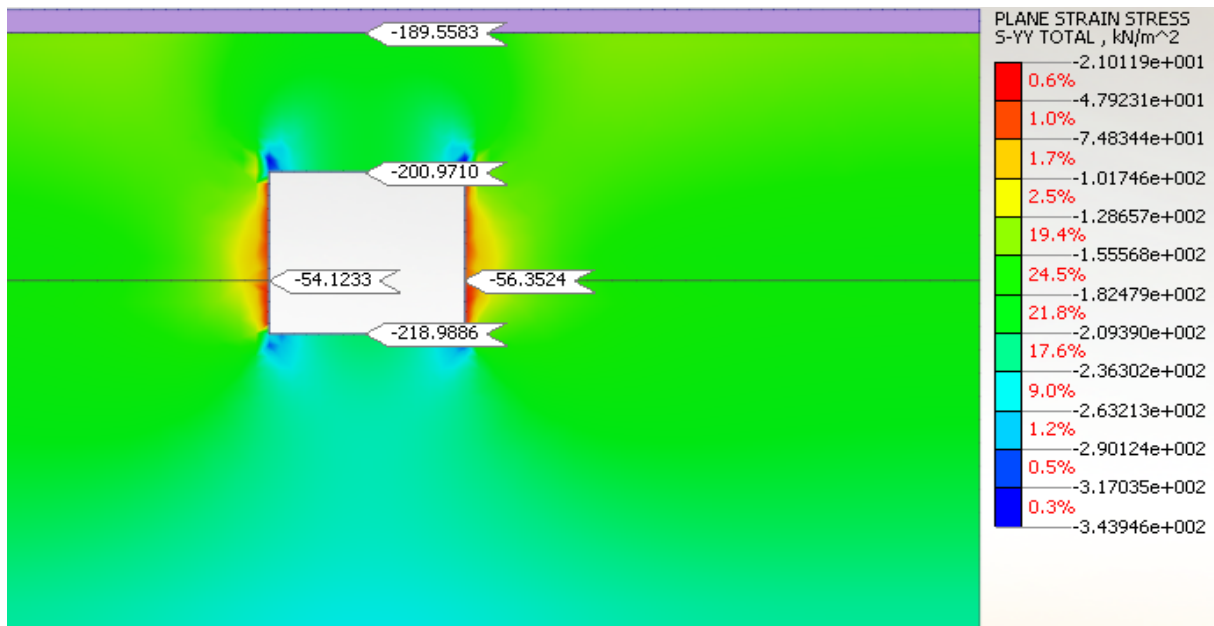


Рисунок 3 – Визуализированный вид расчета для TOTAL S-YY, кН/м²
Figure 3 – Visualized type of calculation for TOTAL S-YY, kN/m²

Массив цифр по экспериментальным данным для напряжения TOTAL S-YY сформирован нижеследующим файлом:

M:matrix ([0.5, 5, -208.38], [0.5, 10, -216.28], [0.5, 15, -222.36],
 [0.5, 20, -234.63], [0.5, 25, -233.93], [0.5, 30, -242.12], [0.5, 35, -255.43],
 [0.5, 40, -255.54], [0.6, 5, -208.65], [0.6, 10, -215.43], [0.6, 15, -220.74],
 [0.6, 20, -227.62], [0.6, 25, -242.14], [0.6, 30, -240.41]).

Опустив рассмотрение типовых операций с массивом цифр, перейдем к представлению самих математических моделей процессов.

Для напряжения TOTAL S-XX математическая модель имеет следующий вид:

$$Z(x, y) = -96,3409 + 13,6041x - 0,8856y + 0,1693xy - 10,8713x^2 + 1,4613 \cdot 10^{-4}y^2.$$

Математическая модель для напряжения TOTAL S-YY:

$$Z(x, y) = -204,9534 + 19,3032x - 1,7169y + 0,3834xy - 18,5737x^2 + 0,0015y^2.$$

По полученным математическим моделям построены поверхности функций отклика, представленные на рисунке 4.

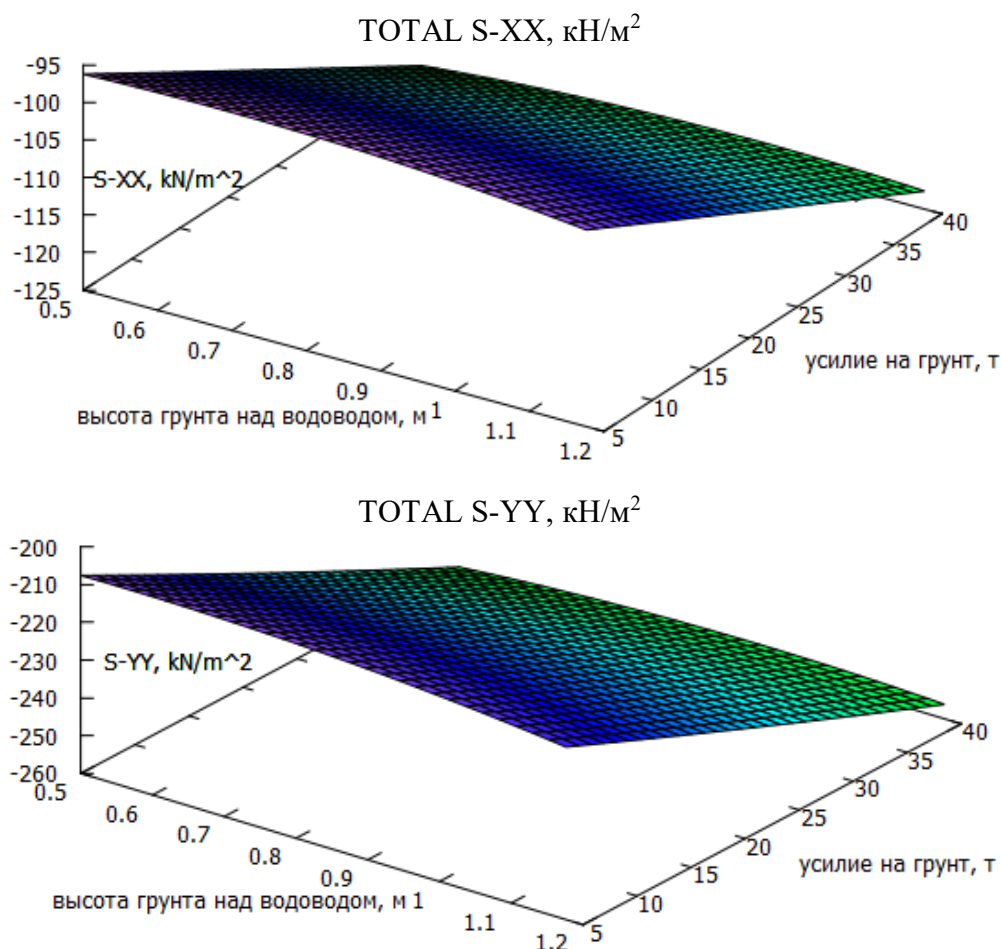


Рисунок 4 – Поверхности функций отклика для напряжений TOTAL S-XX и S-YY (полные напряжения)
Figure 4 – Response function surfaces for voltages TOTAL S-XX and S-YY (total stresses)

Для качественного анализа полученных математических моделей и поверхностей отклика выполним построение линий равных уровней по представленным на рисунке 4 поверхностям. Решение данного вопроса основано на использовании файла `contour_plot` в программе `wxMaxima` и представлено на рисунке 5.

Анализ линий равных уровней показывает, что изменение горизонтальных напряжений S-XX в водоводе прямоугольного поперечного сечения от принятых к исследованию факторов находится в пределах 100–120 кН/м²,

в то время как вертикальные напряжения S_{YY} изменяются в пределах 210–255 кН/м², это более чем в 2 раза больше по соответствующим сравниваемым аргументам.

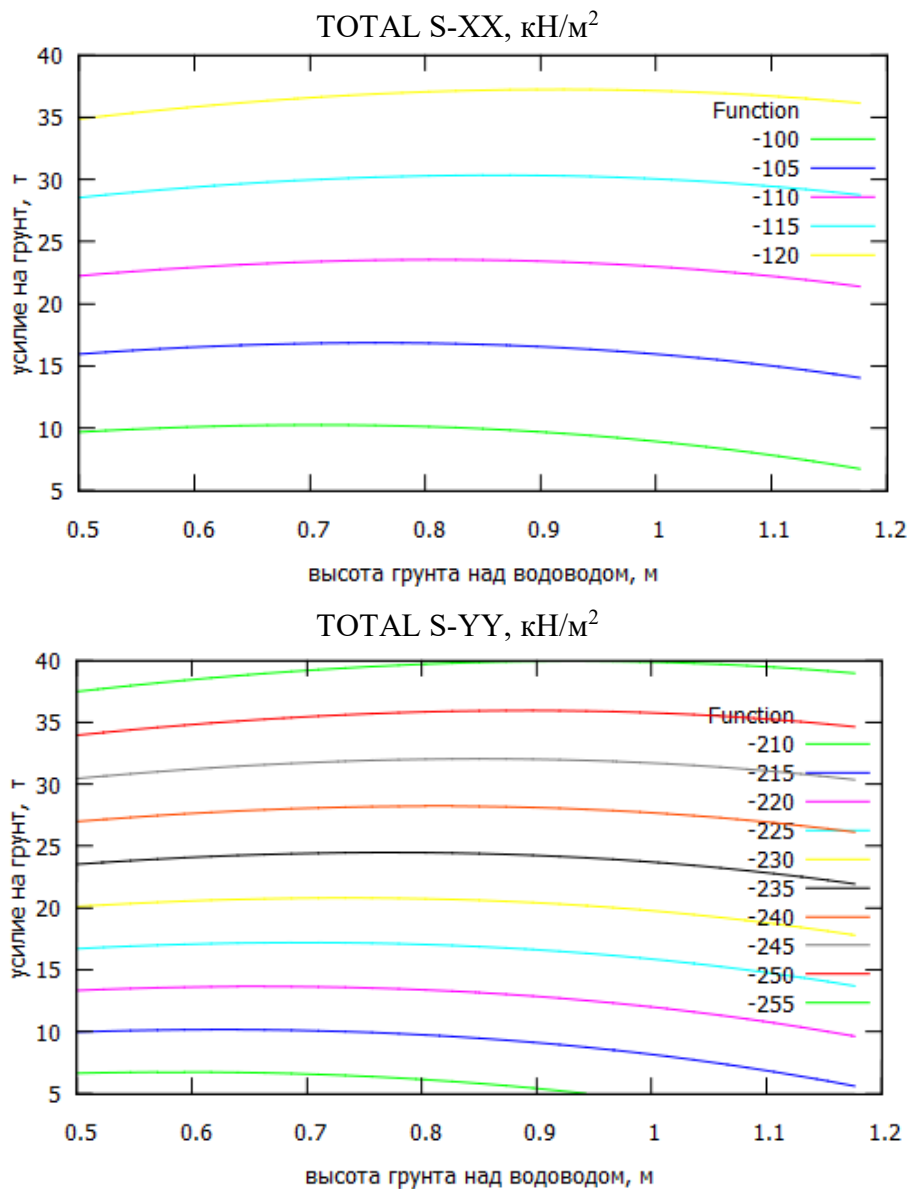


Рисунок 5 – Линии равных уровней по поверхностям полных напряжений

Figure 5 – Lines of equal levels on full stress surfaces

Для определения качества влияния самих факторов на полные напряжения в водоводе воспользуемся следующим алгоритмом: выводим один из факторов на постоянный уровень, пересчитываем математическую модель на новое состояние и по последним уравнениям строим новые гра-

фики, анализ которых однозначно позволяет ответить на поставленные вопросы. С целью упрощения реализации алгоритма в той же программе воспользуемся файлом plot2d для уже преобразованных уравнений. Результаты расчетов представлены на рисунке 6 при постоянной высоте грунта над водоводом 0,5; 0,85 и 1,2 м.

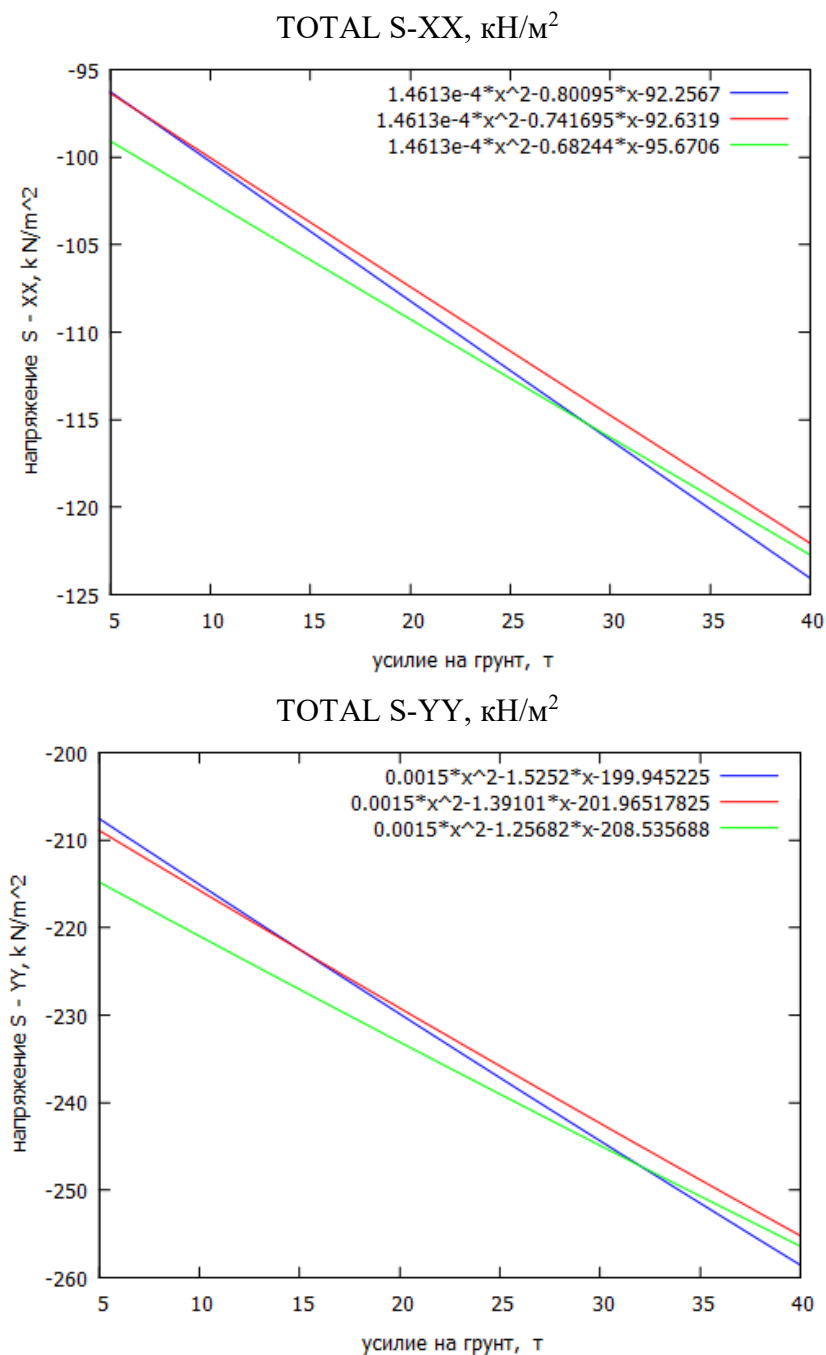


Рисунок 6 – Полные напряжения в водоводе при постоянной высоте грунта над ним

Figure 6 – Total stresses in the conduit at a constant soil height above it

Анализ представленного на рисунке 6 материала по горизонтальным напряжениям S-XX в водоводе позволяет констатировать, что при постоянной высоте грунта над ним 0,5 и 0,85 м и усилие на грунт 5 т напряжения совпадают и равны 96,39 кН/м², при том же усилии на грунт, но высоте насыпи 1,2 м напряжение составит 99,19 кН/м². При увеличении усилия на грунт до 40 т наименьшее напряжение будет при высоте грунта 0,85 м и составит 122,11 кН/м², тогда как наибольшее напряжение будет при высоте грунта 0,5 м и составит 124,16 кН/м². Также на рисунке 6 представлен материал по вертикальным напряжениям S-YY.

По вертикальным напряжениям S-YY в водоводе при постоянной высоте грунта над ним имеем следующее состояние: при минимальной нагрузке 5 т имеем наименьшее напряжение, составляющее 207,45 кН/м², при наименьшей высоте грунта над водоводом 0,5 м; в этой же ситуации по усилию на грунт наибольшее напряжение составит 214,71 кН/м² при наибольшей высоте грунта над водоводом 1,2 м. При максимальном расчетном усилии на грунт от автомобиля 40 т наименьшее напряжение в водоводе будет при высоте грунта над ним, равной 0,85 м, что составляет 255,34 кН/м². Наибольшее напряжение в рассматриваемой ситуации составит 258,88 кН/м² при высоте грунта над водоводом, равной 0,5 м.

Аналитическое и графическое изменение горизонтальных S-XX и вертикальных S-YY напряжений в водоводе при постоянном усилии от автомобиля 5; 20,25 и 40 т представлено на рисунке 7. Алгоритм получения представленной на рисунке 7 информации аналогичен по действиям рассмотрению этих же вопросов, но при постоянной высоте грунта над ним 0,5; 0,85 и 1,2 м.

Таким образом, анализ представленного материала по горизонтальным напряжениям S-XX в водоводе позволяет констатировать, что при постоянном усилии от автомобиля 5 т имеем напряжение, равное 96,17 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 99,11 кН/м², это отра-

жает спокойное воздействие фактора влияния на функцию отклика. В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 95,89 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 0,66 м.

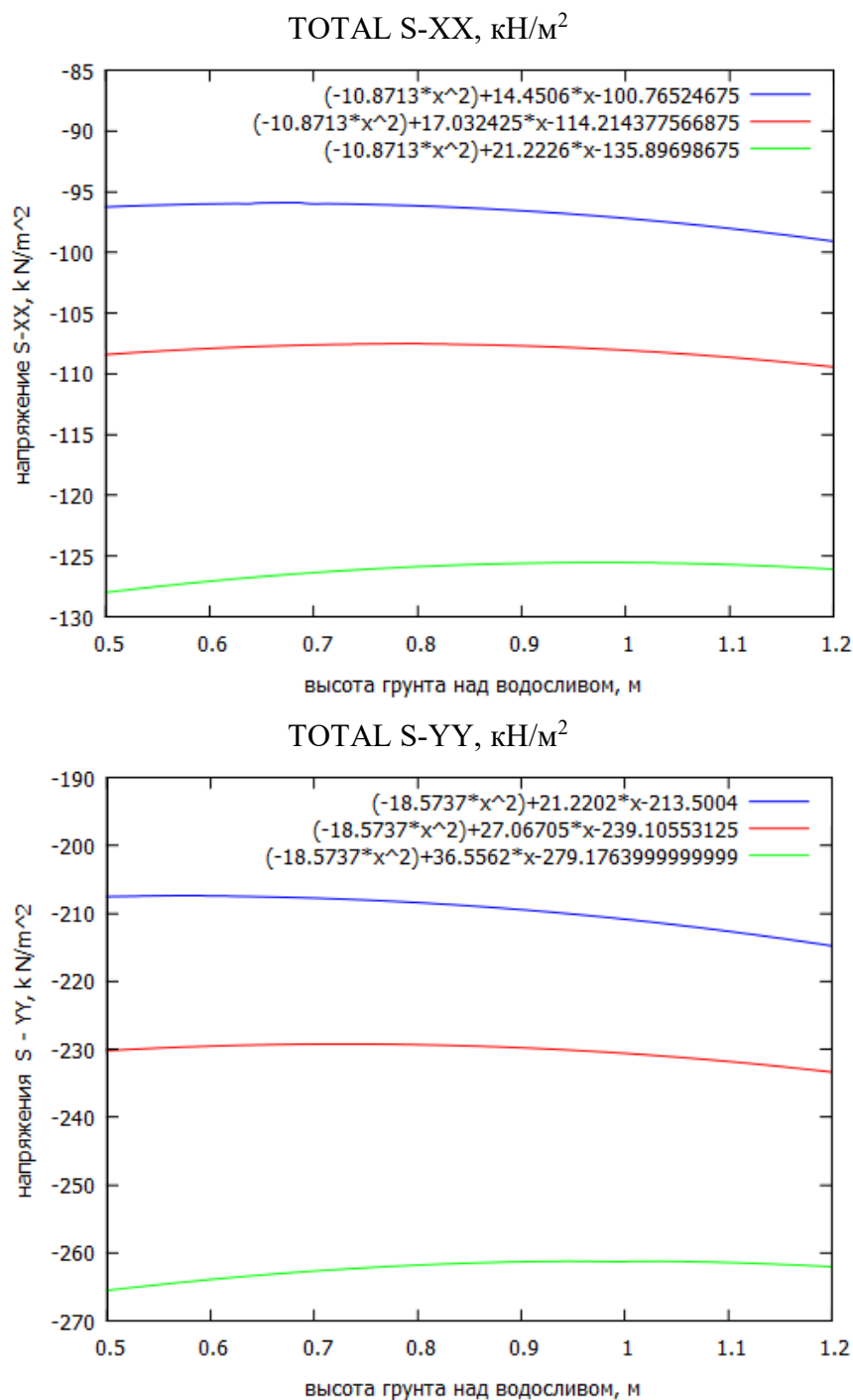


Рисунок 7 – Полные напряжения в водоводе при постоянном усилии от автомобиля

Figure 7 – Total stresses in the conduit with constant load from the car

При постоянном усилии от автомобиля 20,25 т имеем напряжение, равное 108,48 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 109,45 кН/м². В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 107,49 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 0,77 м.

При постоянном усилии от автомобиля 40 т имеем напряжение, равное 128,04 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 126,09 кН/м². В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 125,53 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 1,04 м.

По вертикальным напряжениям S-YY в водоводе при постоянном усилии от автомобиля 5 т имеем напряжение, равное 207,63 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 214,84 кН/м², что отражает спокойное воздействие фактора влияния на функцию отклика. В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 207,38 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 0,57 м.

При постоянном усилии от автомобиля 20,25 т имеем напряжение, равное 230,24 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 233,47 кН/м². В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 229,24 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 0,73 м.

При постоянном усилии от автомобиля 40 т имеем напряжение, равное 265,78 кН/м² при высоте грунта 0,5 м, а при высоте грунта 1,2 м – 262,05 кН/м². В свою очередь на рассматриваемом участке имеется минимальное значение функции напряжения, равное 261,3 кН/м², которое отмечается при высоте грунта 1,06 м.

Выводы. При постоянной высоте грунта над водоводом полные напряжения в нем описываются очень активным линейным влиянием с усилием на грунт как для горизонтальных, так и для вертикальных

напряжений. Горизонтальные напряжения S_{-XX} в диапазоне изменения аргумента от 5 до 40 т позволяют изменить функцию отклика на 28,82 %. Вертикальные S_{-YY} напряжения же в водоводе при наличии постоянной высоты грунта над ним, по сути, также линейно активны и влияют на изменение функции отклика на 24,79 %. Данный факт позволяет рекомендовать увеличение высоты грунта при повышении категории дороги. Такая рекомендация закономерна, но влечет за собой дополнительные экономические затраты.

В результате дальнейшего исследования было установлено, что полные напряжения в водоводе, как S_{-XX} , так и S_{-YY} , при постоянном усилии от автомобиля 5; 20,25 и 40 т незначительно реагируют на исследуемый аргумент, высоту грунта над водоводом, при этом имеется значительное сходство анализируемых процессов. Так, при усилении от автомобиля 5 т функция отклика изменилась со значения $96,31 \text{ кН/м}^2$ до $99,15 \text{ кН/м}^2$; при усилении от автомобиля 20,25 т функция отклика изменилась со значения $108,41 \text{ кН/м}^2$ до $109,52 \text{ кН/м}^2$; при усилении от автомобиля 40 т функция отклика изменилась со значения $128,16 \text{ кН/м}^2$ до $126,2 \text{ кН/м}^2$. В свою очередь функция отклика в исследуемом диапазоне имеет экстремум по минимуму: при усилении на грунт 5 т минимальное значение функции $95,93 \text{ кН/м}^2$, которое наступает при высоте грунта 0,68 м; при усилении на грунт 20,25 т минимальное значение функции $107,54 \text{ кН/м}^2$ наступает при высоте грунта 0,81 м; при усилении на грунт 40 т минимальное значение функции $125,49 \text{ кН/м}^2$ наступает при высоте грунта 0,98 м.

С повышением над водоводом нагрузки от автомобиля на грунт напряжения имеют минимальные значения, которые появляются при большей высоте насыпи. Установленный факт позволяет рекомендовать при проектировании водоводов в каждом конкретном случае оптимизацию параметров с экономической точки зрения и выбор высоты насыпи грунта для различных видов усилия на грунт от автомобиля.

Список источников

1. Васильев С. М. Водосберегающие технологии орошения и рациональное использование водных ресурсов в АПК России // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2020. Т. 2. С. 6–11. DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.46.89.002.
2. Моторная Л. В., Хаджиди А. Е. Рациональное водопользование и экологическая безопасность оросительных систем // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 2(386). С. 161–164. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_2_161.
3. Коженко Н. В., Сафронова Т. И., Дегтярев Г. В. Теоретическая модель процесса снижения цены намечаемых мероприятий по водообеспеченности рисового чека // Успехи современного естествознания. 2019. № 3. С. 19–24.
4. Olgarenko V. I., Khashirova T. Y., Kozhenko N. V. Assessment of the damage impact to particular water structures on their performance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913, № 2. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022054.
5. Degtyarev G. V., Bakhtamyan N. A. The water structures' operability analysis, taking into account damage and certain negative factors // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913, № 2. 022053. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022053.
6. Resource-saving technologies and some proposals for the creation of automated reclamation systems / Z. G. Lamerdonov, T. Yu. Khashirova, S. A. Zhaboev, A. A. Shogenov, K. Z. Lamerdonov // Ecology and Industry of Russia. 2021. Vol. 25(7). P. 8–12.
7. Пат. 2559680 Российская Федерация, МПК G 05 D 7/01, F 16 K 7/17. Стабилизатор расхода воды / Коженко Н. В., Дегтярев Г. В.; заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. № 2014113064/06; заявл. 03.04.14; опубл. 10.08.15, Бюл. № 22. 7 с.
8. Пат. 2726888 Российская Федерация, МПК E 02 B 3/16. Шов-водовыпуск деформационный / Дегтярев В. Г., Дегтярева О. Г., Коженко Н. В., Дегтярев Г. В.; заявитель Куб. гос. аграр. ун-т им. И. Т. Трубилина. № 2019123224; заявл. 19.07.19; опубл. 16.07.20, Бюл. № 20. 6 с.
9. Дегтярев Г. В., Коженко Н. В. Исследование расходных характеристик регулирующего органа ленточного регулятора расхода воды методом планирования эксперимента // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 46. С. 212–218.
10. Информационные технологии и математическое моделирование при проектировании берегозащитных сооружений / Т. Ю. Хаширова, З. Г. Ламердонов, С. А. Жабоев, М. А. Еналдиева, М. М. Тхабисимова, К. З. Ламердонов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 9. С. 13–17. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-9-13-17.
11. Дегтярева О. Г., Васильев С. М. Численное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния основания плотины сезонного регулирования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 92–110. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1198> (дата обращения: 01.02.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-92-110.
12. Дегтярева О. Г. Математический анализ контрфорсной плотины при термических воздействиях как части системы регулирования стока атмосферных осадков // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 62. С. 165–171.
13. Моделирование и расчет железобетонных конструкций здания в программном комплексе STARK ES: учебник / Г. В. Дегтярев, В. Г. Дегтярев, О. Г. Дегтярева, Н. В. Коженко, Д. А. Дацьо; под общ. ред. Г. В. Дегтярева. Краснодар: КубГАУ, 2018. 188 с.

14. Degtyarev G. V., Dats'о D. A. The seasonal regulation basin dam basis deformation forecast // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, № 2. 022013. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022013.

15. Numerical modeling of condition of the bridge structure based on the results of national surveys / G. V. Degtyarev, G. S. Molotkov, A. N. Sekisov, D. A. Datsjo // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7, № 2.13, spec. iss. 13. P. 226–230. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11866>.

16. Абдразаков Ф. К., Дегтярев В. Г., Дегтярев Г. В. Цифровое моделирование и анализ перемещения основания гидромелиоративной плотины в перспективной технологии формирования ресурсов воды // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 82–87. DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp82-87.

17. Абдразаков Ф. К., Панкова Т. А., Щербаков В. А. Факторы, влияющие на эксплуатационное состояние гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2016. № 10. С. 56–61.

18. Khashirova T. Y., Olgarenko I. V., Kozhenko N. V. The influence analysis of the structures and applied software systems' soil foundations design models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913, № 2. 022050. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022050.

19. Degtyarev G. V., Abdrazakov F. K., Lavrov N. P. Assessment of the hydraulic structures' technical condition by means of the amplitude-frequency characteristics' analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913, № 2. 022056. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022056.

20. Абдразаков Ф. К., Дегтярев В. Г., Коженко Н. В. Анализ основания мелиоративной плотины при работе в напорно-переменном режиме // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 82–86. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp82-86>.

21. Бандурин М. А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 1(09). С. 68–79. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=625> (дата обращения: 01.02.2023).

22. Development of a decision support system at the stages of pre-design studies and design of irrigation systems based on IDEF0 functional modelling methodology / S. Vasilyev, V. Slabunov, O. Voevodin, A. Slabunova // Irrigation and Drainage. 2020. Vol. 69, № 4. P. 546–558. DOI: 10.1002/ird.2434.

23. Сайда С. К. Прочность изгибаемых железобетонных сечений без предварительного напряжения // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 11. С. 37–38.

24. Дегтярев Г. В., Аль Хаджаль А. С. Исследование цифровыми технологиями поперечной силы в железобетонной балке покрытия, усиленной швеллером // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. 2022. № 8(92). С. 207–218. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n8y2022/7843 (дата обращения: 01.02.2023).

25. Численное моделирование состояния мостового переезда на внутрихозяйственном звене мелиоративной системы / Г. В. Дегтярев, Т. И. Сафронова, Р. Б. Гольдман, О. Г. Дегтярева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 2(34). С. 85–103. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=972> (дата обращения: 01.02.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-85-103.

26. Дегтярева О. Г., Васильев С. М. Применение котлованов глубокого заложения при использовании стока осадков для орошения в горно-предгорной зоне // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 3. С. 78–94. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1215> (дата обращения: 01.02.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-78-94.

References

1. Vasiliev S.M., 2020. *Vodosberegayushchie tekhnologii orosheniya i ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov v APK Rossii* [Water-saving irrigation technologies and rational use of water resources in the agro-industrial complex of Russia]. *Sovremennye problemy razvitiya melioratsii i puti ikh resheniya (Kostyakovskie chteniya): materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current Problems of Land Reclamation Development and Ways to Solve Them (Kostyakov Readings): Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, vol. 2, pp. 6-11, DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.46.89.002. (In Russian).
2. Motornaya L.V., Khadzhibi A.E., 2022. *Ratsional'noe vodopol'zovanie i ekologicheskaya bezopasnost' orositel'nykh sistem* [Rational water use and environmental protection safety of irrigation systems]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 2(386), pp. 161-164, DOI: 10.55186/25876740_2022_65_2_161. (In Russian).
3. Kozhenko N.V., Safronova T.I., Degtyarev G.V., 2019. *Teoreticheskaya model' protsessa snizheniya tseny namechaemykh meropriyatiy po vodoobespechennosti risovogo cheka* [Theoretical model of cost decline process of the planned measures on providing rice field with water]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], no. 3, pp. 19-24. (In Russian).
4. Olgarenko V.I., Khashirova T.Y., Kozhenko N.V., 2020. Assessment of the damage impact to particular water structures on their performance. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 913, no. 2, 022054, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022054.
5. Degtyarev G.V., Bakhtamyan N.A., 2020. The water structures' operability analysis, taking into account damage and certain negative factors. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 913, no. 2, 022053, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022053.
6. Lamerdonov Z.G., Khashirova T.Yu., Zhaboev S.A., Shogenov A.A., Lamerdonov K.Z., 2021. Resource-saving technologies and some proposals for the creation of automated reclamation systems. *Ecology and Industry of Russia*, vol. 25(7), pp. 8-12.
7. Kozhenko N.V., Degtyarev G.V., 2015. *Stabilizator raskhoda vody* [Water Flow Stabilizer]. Patent RF, no. 2559680. (In Russian).
8. Degtyarev V.G., Degtyareva O.G., Kozhenko N.V., Degtyarev G.V., 2020. *Shovvodovypusk deformatsionnyy* [Expansion Seam-Water Outlet]. Patent RF, no. 2726888. (In Russian).
9. Degtyarev G.V., Kozhenko N.V., 2014. *Issledovanie raskhodnykh kharakteristik reguliruyushchego organa lentochnogo regulatora raskhoda vody metodom planirovaniya eksperimenta* [Study of the flow characteristics of the regulator of a tape water flow regulator by the method of experiment planning]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], no. 46, pp. 212-218. (In Russian).
10. Khashirova T.Yu., Lamerdonov Z.G., Zhaboev S.A., Enaldieva M.A., Tkhabisimova M.M., Lamerdonov K.Z., 2019. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie pri proektirovanii beregozashchitnykh sooruzheniy* [Information technologies and mathematical modeling in solving environmental problems in the design of shore protection structures]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], vol. 23, no. 9, pp. 13-17, DOI: 10.18412/1816-0395-2019-9-13-17. (In Russian).
11. Degtyareva O.G., Vasiliev S.M., 2021. [Computer modelling and stress-strain analyses of the seasonal storage dam foundation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 92-110, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1198> [accessed 01.02.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-92-110. (In Russian).

12. Degtyareva O.G., 2016. *Matematicheskiy analiz kontrforsnoy plotiny pri termicheskikh vozdeystviyakh kak chasti sistemy regulirovaniya stoka atmosferykh osadkov* [Mathematical analysis of the buttress dam under thermal impacts as part of the precipitation flow regulation system]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], no. 62, pp. 165-171. (In Russian).

13. Degtyarev G.V., Degtyarev V.G., Degtyareva O.G., Kozhenko N.V., Dats'о D.A., 2018. *Modelirovanie i raschet zhelezobetonnykh konstruksii zdaniya v programnom komplekse STARK ES* [Modeling and Calculation of Reinforced Concrete Structures of a Building in the STARK ES Software Package: textbook]. Krasnodar, KubGAU, 188 p. (In Russian).

14. Degtyarev G.V., Dats'о D.A., 2019. The seasonal regulation basin dam basis deformation forecast. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 698, no. 2, 022013, DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022013.

15. Degtyarev G.V., Molotkov G.S., Sekisov A.N., Datsjo D.A., 2018. Numerical modeling of condition of the bridge structure based on the results of national surveys. International Journal of Engineering and Technology (UAE), vol. 7, no. 2.13, spec. iss. 13, pp. 226-230, <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.13.11866>.

16. Abdrazakov F.K., Degtyarev V.G., Degtyarev G.V., 2022. *Tsifrovoe modelirovanie i analiz peremeshcheniya osnovaniya gidromeliorativnoy plotiny v perspektivnoy tekhnologii formirovaniya resursov vody* [Digital modeling and analysis of the movement of the foundation of a hydro-reclamation dam in a promising technology for the formation of water resources]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], no. 6, pp. 82-87, DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp82-87. (In Russian).

17. Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Shcherbakov V.A., 2016. *Faktory, vliyayushchie na ekspluatatsionnoe sostoyanie gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Factors affecting the operational condition of hydraulic structures]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], no. 10, pp. 56-61. (In Russian).

18. Khashirova T.Y., Olgarenko I.V., Kozhenko N.V., 2020. The influence analysis of the structures and applied software systems' soil foundations design models. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 913, no. 2, 022050, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022050.

19. Degtyarev G.V., Abdrazakov F.K., Lavrov N.P., 2020. Assessment of the hydraulic structures' technical condition by means of the amplitude-frequency characteristics' analysis. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 913, no. 2, 022056, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022056.

20. Abdrazakov F.K., Degtyarev V.G., Kozhenko N.V., 2021. *Analiz osnovaniya meliorativnoy plotiny pri rabote v naporno-peremennom rezhime* [Analysis of the base of a reclamation dam when operating in a pressure variable mode]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 8, pp. 82-86, <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp82-86>. (In Russian).

21. Bandurin M.A., 2013. [Improving the methods of carrying out operational monitoring and determining residual life of water conveyance structures]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(09), pp. 68-79, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=625> [accessed 01.02.2023]. (In Russian).

22. Vasiliev S., Slabunov V., Voevodin O., Slabunova A., 2020. Development of a decision support system at the stages of pre-design studies and design of irrigation systems based on IDEF0 functional modelling methodology. Irrigation and Drainage, vol. 69, no. 4, pp. 546-558, DOI: 10.1002/ird.2434.

23. Saida S.K., 2012. *Prochnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh secheniy bez predvaritel'nogo napryazheniya* [Strength of bent reinforced concrete sections without prestress]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education], no. 11, pp. 37-38. (In Russian).

24. Degtyarev G.V., Al Khadzhal A.S., 2022. [Investigation by digital technologies of the transverse force in a reinforced concrete roof beam reinforced with a channel]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, no. 8(92), pp. 207-218, available: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7843 [accessed 01.02.2023]. (In Russian).

25. Degtyarev G.V., Safronova T.I., Goldman R.B., Degtyareva O.G., 2019. [Computational modeling of bridge crossing state in intrafarm of reclamation system]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(34), pp. 85-103, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=972> [accessed 01.02.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-85-103. (In Russian).

26. Degtyareva O.G., Vasiliev S.M., 2021. [The use of deep-laid pits when using precipitation runoff for irrigation in the mountain piedmont zone]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 3, pp. 78-94, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1215> [accessed 01.02.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-78-94. (In Russian).

Информация об авторах

В. Г. Дегтярев – доцент, кандидат технических наук;

О. Г. Дегтярева – доцент, доктор технических наук, доцент;

А. Н. Секисов – доцент, кандидат экономических наук, доцент.

Information about the authors

V. G. Degtyarev – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;

O. G. Degtyareva – Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

A. N. Sekisov – Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.12.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2023; принята к публикации 25.04.2023.

The article was submitted 23.12.2022; approved after reviewing 20.04.2023; accepted for publication 25.04.2023.