МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 627.8.06, 626.87, 627.8.07

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-78-94

Применение котлованов глубокого заложения при использовании стока осадков для орошения в горно-предгорной зоне

Ольга Георгиевна Дегтярева¹, Сергей Михайлович Васильев²

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, mail@kubsau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9312-9222>

²Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4039-8976>

Аннотация. Цель: изучение влияния нелинейного перемещения грунта в котловане глубокого заложения при проектировании надземного водохранилища для орошения в составе системы регулирования стока осадков в горно-предгорной зоне при условии соблюдения технического регламента о безопасности сооружения и последующей безопасной эксплуатации. **Материалы и методы:** устройство котлована глубокого заложения в сложных геологических условиях проектирования в горно-предгорной зоне ответственного в плане безопасности гидротехнического сооружения, а именно системы регулирования стока осадков для орошения сельскохозяйственных угодий, подвигло нас на более детальное исследование мероприятий по предотвращению выпора грунта. При анализе моделировались два условия, а именно устройство котлована глубокого заложения для надземного водохранилища в горно-предгорной зоне для орошения без применения мероприятий по предотвращению выпора грунта и с соответствующими мероприятиями. **Результаты и обсуждения:** при анализе результатов расчета выпора грунта без проведения дополнительных мероприятий констатируем, что выпор грунта оказывает негативное влияние на водохранилище и в данном случае не обеспечивается безопасность гидротехнического сооружения. В качестве альтернативного варианта рассмотрено использование ограждения стен котлована шпунтом Ларсена модели VL606a. В результате численного моделирования с применением программного продукта MIDAS, позволившего учесть все факторы, необходимые при решении подобных задач, установлено, что показатели входят в доверительную зону и в результате данное сооружение будет отвечать всем требованиям безопасности. **Выводы:** при устройстве котлована глубокого заложения без дополнительных мероприятий выпор грунта составляет 52,5 см, а при устройстве дополнительных мероприятий в виде шпунтового ограждения – 1,97 см, что необходимо учитывать при проектировании надземного водохранилища для орошения в составе системы регулирования стока осадков в горно-предгорной зоне.

Ключевые слова: орошение, водохранилище, пресная вода, гидротехнические сооружения, шпунтовое ограждение, математическое моделирование, нелинейное перемещение грунта

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

The use of deep-laid pits when using precipitation runoff for irrigation in the mountain-piedmont zone

Olga G. Degtyareva¹, Sergey M. Vasilyev²

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, mail@kubsau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9312-9222>

²Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4039-8976>

Abstract. Purpose: to study the effect of nonlinear soil movement in a deep-laid pit when designing an above-ground reservoir for irrigation as part of a system for regulating the precipitation runoff in the mountain-piedmont zone, subject to the technical regulations on the structure safety and subsequent safe operation. **Materials and methods:** the construction of a deep-laid pit in difficult geological design conditions in the mountain-piedmont zone of a hydraulic structure, which is responsible in terms of safety, namely, a system for regulating the rainfall runoff for irrigating agricultural land, prompted us to a more detailed study of measures to prevent soil uplift. In the analysis two conditions were modeled, namely, the construction of a deep-laid pit for an above-ground reservoir in the mountain-piedmont zone for irrigation without measures to prevent soil uplift and with appropriate measures. **Results and discussion:** when analyzing the results of soil uplift calculation without taking additional measures, it is stated that the soil uplift has a negative impact on the reservoir and in this case the hydraulic structure safety is not ensured. As an alternative option, the use of pit sheathing with a Larsen sheet pile model VL606a is considered. As a result of numerical modeling using the MIDAS software product, which made it possible to take into account all the factors necessary for solving such problems, it was found that the indicators are included in the confidence zone and, as a result, this structure will meet all safety requirements. **Conclusions:** when constructing a deep-laid pit without additional measures, the soil uplift is 52.5 cm, and when arranging additional measures in the form of a sheet pile – 1.97 cm, which must be taken into account when designing an above ground reservoir for irrigation as part of a system for regulating the precipitation runoff in a mountain-piedmont zone.

Keywords: irrigation, reservoir, fresh water, hydraulic structures, sheet pile, mathematical modeling, nonlinear soil movement

Введение. Вода, пригодная для людей, составляет всего лишь 1 % от всего количества воды на Земле. В этом и состоит проблема, что большая часть воды из этого 1 % уходит на выращивание еды. И как только мы начинаем уменьшать количество потребляемой воды, тут же уменьшится количество пищи. Это и есть большой кризис. В Организации Объединенных Наций считают, что в ближайшем будущем 40 % населения Земли действительно окажутся в условиях водного стресса. Вода в создании растительной и животной пищи является бесценным исходным сырьем. Нарастающий дефицит пресной воды создает дополнительные трудности для сельского хозяйства [1].

Растущая потребность в продовольствии привела к усилению конкуренции за воду между водопользователями. Дефицит воды особенно остро

ощущается в летние засушливые месяцы, когда особенно нужна вода для вегетационного периода. В то же самое время в некоторых регионах России в осенний, зимний и весенний периоды имеется избыточный, неиспользуемый сток [2].

Нами сделан упор на технологию и систему управления стоком осадков для решения глобальной проблемы – получения практических, обоснованных результатов в области орошения сельскохозяйственных угодий [3].

Исследования показывают, что на практике, имея современные строительные материалы, с помощью разработанных нами способов и устройств для регулирования стока атмосферных осадков можно полностью удовлетворить потребность в воде заинтересованных водопользователей.

В настоящее время исследован широкий спектр вопросов о системах регулирования стока атмосферных осадков для горно-предгорной зоны и изучены различные варианты аккумуляции пресной воды. Проведены исследования от компьютерного моделирования до анализа практического опыта [4–7]. Многие научные разработки имеют непосредственное практическое применение [8].

Правильное управление водными ресурсами приведет к обеспечению продовольствием, благосостоянию населения и бережному отношению к окружающей среде.

Вместе с тем еще имеются некоторые нерешенные вопросы. Для устройства аккумулирующих водохранилищ при сборе поверхностных вод необходима разработка котлованов глубокого заложения. Их устройство, особенно в сложных инженерно-геологических условиях, всегда сопровождается большими трудностями. Рассмотрим возможность учета нижеследующих факторов как наиболее информативных для принятия квалифицированных решений с использованием программного комплекса MIDAS GTX NX:

- стадийность производства работ при разработке котлована;

- физико-механические свойства инженерно-геологических элементов (ИГЭ);

- нелинейное поведение ИГЭ [9, 10].

Учет данных факторов обеспечивает информацией проектировщиков и строителей для безопасного проведения строительно-монтажных работ по устройству систем регулирования стока осадков (СРСО) в горно-предгорной зоне.

Практика производства подобных строительных работ однозначно указывает, что основным аспектом, на который необходимо обращать внимание, является выпор грунта при его разработке [11]. Данное явление оказывает дополнительное и весьма существенное влияние на ограждающие элементы котлована, обеспечивающие устойчивость стенок, а также на конструктивные элементы распора [12].

Материалы и методы. При проведении численного анализа задачи были замоделированы по конкретному объекту, при этом необходимо было рассмотреть две ситуации производства работ [13]:

- устройство котлована глубокого заложения для надземного водохранилища СРСО в горно-предгорной зоне для орошения без применения мероприятий по предотвращению выпора грунта;

- устройство котлована глубокого заложения для надземного водохранилища СРСО в горно-предгорной зоне для орошения с разработкой мероприятий по предотвращению выпора грунта [14].

Данные об ИГЭ взяты из технического отчета для реального объекта СРСО в горно-предгорной зоне, используемой для орошения виноградников, расположенной в с. Дивноморском, а на рисунке 1 представлен инженерно-геологический разрез.

При проектировании и расчете котлована потребовалось установить все нагрузки, действующие на котлован. В процессе производства работ на котлован действует нагрузка 25 кН/м^2 от машин и механизмов.

Для водохранилища, расположенного выше дневной поверхности, СРСО для орошения необходимо устройство котлована. Устройство котлована анализировалось по этапам, при этом на первом этапе осуществлялся расчет, не принимающий во внимание внешние моменты; на втором этапе учитывался такой элемент, как устройство шпунтового ограждения; на третьем этапе – анализ всего массива с учетом полного изъятия земли [15].

Принципиальное решение по разработке котлована для водохранилища, расположенного выше дневной поверхности, для СРСО приведено на рисунке 2 [16].

Рисунок 2 – Принципиальное решение устройства котлована

Проектная модель котлована глубокого заложения для надземного водохранилища СРСО в горно-предгорной зоне для орошения визуализирована на рисунке 3 (ИГЭ представлены сверху вниз). Модель запроектирована для анализа в MIDAS GTX NX.

- ИГЭ-1. Суглинок твердый с примесью органических веществ.
Нормативное значение модуля общей деформации $E_o = 8,7$ МПа, удельного сцепления $C = 30$ кПа, угла внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$.
- ИГЭ-2. Глина мягкопластичная с примесью органических веществ.
Нормативное значение модуля общей деформации $E_o = 2$ МПа, удельного сцепления $C = 18$ кПа, угла внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$.
- ИГЭ-3. Суглинок мягкопластичный с примесью органических веществ.
Нормативное значение модуля общей деформации $E_o = 6$ МПа, удельного сцепления $C = 24$ кПа, угла внутреннего трения $\varphi = 14^\circ$.
- ИГЭ-4. Песок мелкий, насыщенный водой, средней плотности.
Нормативное значение модуля общей деформации $E_o = 27$ МПа, угла внутреннего трения $\varphi = 33^\circ$. По данным динамического зондирования, вероятность разжижения песков невелика (пески средней плотности с развитым сцеплением).
- ИГЭ-5. Песок средней крупности, насыщенный водой, плотный.
Нормативное значение модуля общей деформации $E_o = 39$ МПа, угла внутреннего трения $\varphi = 37^\circ$. По данным динамического зондирования, разжижение песков практически невозможно (пески средней плотности или плотные с хорошо развитым сцеплением)

**Рисунок 3 – Проектная модель котлована
для систем регулирования стока осадков**

Фактические данные по расчету котлована без применения мероприятий по предотвращению выпора грунта рассмотрены ниже.

Фактические перемещения, установленные без внимания внешних моментов (первый этап проектирования котлована), визуализированы

на рисунке 4. В результате анализа определено и законстатировано максимальное перемещение на первом этапе 0,905 см.

Рисунок 4 – Фактические перемещения (первый этап)

Фактические перемещения, установленные при устройстве шпунтового ограждения (второй этап проектирования котлована), визуализированы на рисунке 5. В результате анализа определено и законстатировано максимальное перемещение на втором этапе 1,07 см. Максимальное фактическое перемещение с учетом полного изъятия земли (третий этап) 3,12 см, данный этап не визуализирован.

Рисунок 5 – Фактические перемещения (второй этап)

Результаты расчета перемещений при полной выемке грунта из котлована при устройстве водохранилища выше дневной поверхности без использования стабилизирующих установок визуализированы на рисунке 6, при этом констатируем максимальное перемещение 52,5 см. Такое перемещение недопустимо даже при использовании современных гидроизоляционных материалов. Любой проран в гидроизоляционном материале приведет к нарушению герметичности конструкции, большой объем саккумулированной воды причинит непоправимый вред конструкциям водохранилища, а также оросительным системам и населенным пунктам в случае размещения водохранилища над ними.

Рисунок 6 – Результаты расчета перемещений без использования стабилизирующих установок

Результаты и обсуждение. Нарастающее максимальное напряжение при консолидации потребовало разработки технического решения, предотвращающего влияние нелинейного поведения грунта. В качестве стабилизирующего устройства было предложено использовать ограждение стен котлована из шпунта Ларсена модели VL60ба.

Проанализируем в шпунте, используемом для предотвращения выпора грунта в котловане, изгибающие моменты, визуализированные на рисунке 7. Установлен максимальный изгибающий момент в шпунте, равный

107,75 кН·м, именно такое давление необходимо погасить для предотвращения выпирания грунта.

Рисунок 7 – Визуализация изгибающих моментов в шпунте

Эпюры для анализа результатов расчета изгибающих моментов в балках при разработке котлована для хранилища воды, расположенного выше дневной поверхности, СРСО представлены на рисунке 8. Максимальный изгибающий момент в балках составляет 0,4356 кН·м.

Рисунок 8 – Результаты расчета изгибающих моментов в балках

Проанализируем результаты расчета котлована с применением мероприятий по предотвращению выпора грунта [17]. Результаты расчета перемещений на первом этапе представлены на рисунке 9.

Рисунок 9 – Визуализация перемещений на первом этапе при использовании мероприятий, предотвращающих выпор грунта

Анализируя визуализацию перемещений, определяем максимальное перемещение на первом этапе, равное 0,905 см.

Результаты расчета перемещений при устройстве котлована на втором этапе визуализированы на рисунке 10. В данном случае максимальное перемещение составило 1,069 см.

Рисунок 10 – Результаты расчета перемещений на втором этапе

Результаты расчета перемещений при устройстве котлована на третьем этапе визуализированы на рисунке 11, при этом максимальное перемещение 2,12 см.

Рисунок 11 – Результаты расчета перемещений на третьем этапе

Установлено наибольшее перемещение на четвертом этапе, которое равно 1,97 см. Данный показатель был определен в результате визуализации перемещений (рисунок 12). Таким образом, обеспечены минимально возможные перемещения, способствующие сохранению гидроизоляционного покрытия и обеспечивающие безопасность ответственного гидротехнического сооружения.

Рисунок 12 – Результаты расчета перемещений на четвертом этапе

Для всеобъемлющего анализа также необходимо было проанализировать изгибающие моменты, которые могут возникнуть в шпунтовом ограждении котлована. Эпюры изгибающих моментов визуализированы на рисунке 13. Максимальный изгибающий момент в шпунте составляет 68,66 кН·м при устройстве ряда из шпунтового ограждения.

Рисунок 13 – Эпюры изгибающих моментов в шпунте, используемом для ограждения при устройстве котлована

По результатам анализа также установлено, что максимальный изгибающий момент в балках составит 0,4356 кН·м, а максимальный изгибающий момент в бетоне составит –40,22 кН·м.

Выводы. Доказана целесообразность проектирования и строительства СРСО в горно-предгорной зоне для устройства надземного водохранилища для орошения [18]. На основании проведенных расчетов и анализа геометрических интерпретаций, полученных с применением программного комплекса MIDAS GTX NX, необходимо констатировать по рассматриваемому объекту следующее:

- при расчете котлована глубокого заложения для надземного водохранилища СРСО для орошения в горно-предгорной зоне без дополнительных мероприятий выпор грунта составляет 52,5 см;

- при расчете котлована глубокого заложения для надземного водохранилища СРСО для орошения в горно-предгорной зоне с дополнительными мероприятиями выпор грунта составляет 1,97 см.

При этом максимальный изгибающий момент в шпунте, используемом для укрепления стенок котлована, составляет:

- для котлована глубокого заложения без дополнительных мероприятий 107,75 кН·м;

- для котлована глубокого заложения с дополнительными мероприятиями 68,66 кН·м.

Таким образом, при проектировании надземного водохранилища СРСО для орошения в горно-предгорной зоне необходимо предусматривать дополнительные мероприятия, в частности устройство шпунтового ограждения при строительстве котлована глубокого заложения. При несоблюдении данных условий не обеспечивается выполнение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и сооружение не допускается к эксплуатации.

Список источников

1. Degtyarev G., Takhumova O. Designing an additional freshwater source infrastructure to ensure the environmental sustainability of coastal areas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions. 2019. 395. 012001. DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012001.
2. 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.
3. 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.: Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2020. С. 6–11.
4. Constructive-technological decisions in regulating the flow of atmospheric precipitation / O. G. Degtyareva, G. V. Degtyarev, N. P. Lavrov, D. U. Aliev // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). С. 32–48. DOI: 10.18720/MCE.82.4.
5. Дегтярев Г. В., Дегтярев В. Г., Табаев И. А. Математическое моделирование ослабленных вертикальных несущих конструкций здания при усилении самоупроченным бетоном // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 192–198.

6. 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): Materials science conference*. 2018. 7 (2.13, Special issue 13). P. 226–230. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.13.11866.

7. 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.

8. Degtyarev G. V., Belokur K. A., Sokolova I. V. Modeling of the building by numerical methods at assessment of the technical condition of structures // *IOP Conference Series: Materials science forum*. 2018. 931 MSF. P. 141–147. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.141>.

9. Khashirova T. Yu., 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 (CATPID-2020)*. 2020. Vol. 913. 022050. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022050.

10. Degtyarev V. G., Degtyarev G. V. Possibilities of a dynamic survey method for hydraulic structures // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 913(2). 022057. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022057.

11. Olgarenko V. I., Khashirova T. Yu., Kozhenko N. V. Assessment of the damage impact to particular water structures on their performance // *IOP Conference Series: Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development*. 2020. 913. 022054. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022054.

12. Degtyarev G. V., Dats'o D. A. The seasonal regulation basin dam basis deformation forecast // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 698(2). 022013. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022013.

13. Дегтярев Г. В., Дацьо Д. А. Особенности расчета плиты покрытия как несущего основания // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 62. С. 157–165.

14. Дегтярев Г. В., Аль Х. А. Учет нелинейных свойств грунтов основания при использовании современных геотехнических программных комплексов // *Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов: материалы III Междунар. конф.* Краснодар: Куб. гос. аграр. ун-т им. И. Т. Трубилина, 2019. С. 42.

15. Дегтярева О. Г., Дегтярев В. Г., Найденов С. Ю. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений с учетом работы конструкций за пределом упругости // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2019. № 1(33). С. 92–108. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=989> (дата обращения: 29.03.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-92-108.

16. The foundation pit deep site ground state design modelling / G. V. Degtyarev, D. A. Datsjo, D. A. Vysokovsky, M. S. Turko // *IOP Conference Series: Materials science forum*. 2018. 931 MSF. P. 396–401. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.396>.

17. 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. 913(2). 022056. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022056.

18. 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. 913(2). 022053. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022053.

References

1. Degtyarev G., Takhumova O., 2019. Designing an additional freshwater source infrastructure to ensure the environmental sustainability of coastal areas. *IOP Conference Se-*

ries: Earth and Environmental Science: International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions, 395, 012001, DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012001.

2. Vasilyev 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.

3. 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, All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, pp. 6-11. (In Russian).

4. Degtyareva O.G., Degtyarev G.V., Lavrov N.P., Aliev D.U., 2018. Constructive-technological decisions in regulating the flow of atmospheric precipitation. *Engineering Journal*, no. 6(82), pp. 32-48, DOI: 10.18720/MCE.82.4.

5. Degtyarev G.V., Degtyarev V.G., Tabaev I.A., 2015. *Matematicheskoe modelirovanie oslablennykh vertikal'nykh nesushchikh konstruktiv zdaniya pri usilenii samonapryagaemym betonom* [Mathematical modeling of weakened vertical supporting structures of a building when reinforced with self-tensioned concrete]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], no. 52, pp. 192-198. (In Russian).

6. Degtyarev G.V., Molotkov G.S., Sekisov A.N., Datsjo D.A., 2018. Numerical modeling of the condition of the bridge structure based on the results of national surveys. *International Journal of Engineering and Technology (UAE): Proc. of Scientific Conference*, no. 7 (2.13, special issue 13), pp. 226-230, DOI: 10.14419/ijet.v7i2.13.11866.

7. Degtyarev G.V., Degtyarev V.G., Degtyareva O.G., Kozhenko N.V., Datsio D.A., 2018. *Modelirovanie i raschet zhelezobetonnykh konstruktiv zdaniya v programmnom komplekse STARK ES: uchebnik* [Modeling and calculation of reinforced concrete structures of a building in the STARK ES software package: textbook]. Krasnodar, KubGAU, 188 p. (In Russian).

8. Degtyarev G.V., Belokur K.A., Sokolova I.V., 2018. Modeling of the building by numerical methods at assessment of the technical condition of structures. *IOP Conference Series: Proc. Science Forum*, 931 MSF, pp. 141-147, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.141>.

9. Khashirova T.Yu., Olgarenko I.V., Kozhenko N.V., 2020. The influence analysis of the structures and applied software systems' soil foundations design models. *IOP Conference Series: Proc. Science and Engineering (CATPID-2020)*, vol. 913, 022050, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022050.

10. Degtyarev V.G., Degtyarev G.V., 2020. Possibilities of a dynamic survey method for hydraulic structures. *IOP Conference Series: Proc. Science and Engineering*, 913(2), 022057, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022057.

11. Olgarenko V.I., Khashirova T.Yu., Kozhenko N.V., 2020. Assessment of the damage impact to particular water structures on their performance. *IOP Conference Series: Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development*, 913, 022054, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022054.

12. Degtyarev G.V., Dats'o D.A., 2020. The seasonal regulation basin dam basis deformation forecast. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698(2), 022013, DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022013.

13. Degtyarev G.V., Datsio D.A., 2016. *Osobennosti rascheta plity pokrytiya kak nesushchego osnovaniya* [Calculation of plate as a supporting base]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], no. 62, pp. 157-165. (In Russian).

14. Degtyarev G.V., Al' Kh.A., 2019. *Uchet nelineynykh svoystv gruntov osnovaniya pri ispol'zovanii sovremennykh geotekhnicheskikh programmnykh kompleksov* [Recording of nonlinear properties of foundation soils using modern geotechnical software systems]. *Institutsional'nye preobrazovaniya APK Rossii v usloviyakh global'nykh vyzovov: materialy III Mezhdunar. konf.* [Institutional Transformations of the Russian Agro-Industrial Complex in the Context of Global Challenges: Proc. of the III International Conference]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, p. 42. (In Russian).

15. Degtyareva O.G., Degtyarev V.G., Naydenov S.Yu., 2019. [Seismic stability of hydraulic structures taking into account the work of structures beyond the elasticity]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 92-108, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=989> [accessed 29.03.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-92-108. (In Russian).

16. Degtyarev G.V., Datsjo D.A., Vysokovsky D.A., Turko M.S., 2018. The foundation pit deep site ground state design modeling. IOP Conference Series: Proc. Scientific Forum, 931 MSF, pp. 396-401, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.396>.

17. 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: Proc. Science and Engineering, 913(2), 022056, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022056.

18. Degtyarev G.V., Bakhtamyan N.A., 2020. The water structures' operability analysis, taking into account damage and certain negative factors. IOP Conference Series: Proc. Science and Engineering, 913(2), 022053, DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022053.

Информация об авторах

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

С. М. Васильев – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

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

S. M. Vasilyev – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.03.2021; одобрена после рецензирования 26.05.2021; принята к публикации 04.06.2021.

The article was submitted 15.03.2021; approved after reviewing 26.05.2021; accepted for publication 04.06.2021.