

ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОМ НАКЛОННОМ ОСНОВАНИИ

Я.И. ХИТРОВ, А.Е. КАЧАЕВ, С.С. ТУРАПИН

Ключевые слова: наклонное основание, фильтрация, сатурация, кривая депрессии, грунтовая плотина, водонасыщение, гидротехническое сооружение.

Keywords: inclined foundation, filtration, saturation, depression curve, earth dam, water saturation, hydraulic structure.

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежной эксплуатации грунтовых плотин IV класса опасности в условиях меняющегося уровня грунтовых вод, сейсмических и климатических нагрузок, а также выполнения требований Водной стратегии России до 2035 г. Объектом исследования является зонированная грунтовая плотина с железобетонным ядром, расположенная на водонасыщенном наклонном основании в Куменском районе Кировской области. В модель включены физико-механические свойства грунтов, полученные из полевых изысканий. Для анализа использованы численное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе *Midas GTS NX* и аналитические расчеты, выполненные по методикам Г.Н. Каменского и Н.Н. Павловского. Результаты показали удовлетворительное согласование численных и аналитических кривых депрессии (разница $\leq 0,06$ м), при этом в нижнем бьефе наблюдается смещение кривой депрессии в зону наклонного основания, указывающее на недостаточную гидроизоляцию ядра и необходимость его усиления. Анализ изополей сатурации выявил зоны потенциальной неустойчивости на переходах слоев грунта. Ядро гидротехнического сооружения защищает низовой откос от избыточного водонасыщения, но его конструкцию следует усовершенствовать (шпунтование, дренажная призма) для повышения коэффициента прочности и устойчивости откоса. Полученные результаты исследования могут быть применены при проектировании, реконструкции или капитальном ремонте грунтовых плотин.

Abstract. The relevance of the study is due to the need to ensure reliable operation of class IV hazard earth dams under conditions of changing groundwater levels, seismic and climatic loads, as well as compliance with the requirements of the Water Strategy of Russia until 2035. The object of the study is a zoned earth dam with a reinforced concrete core located on a water-saturated inclined foundation in the Kumensky district of the Kirov region. The model includes physical and mechanical properties of soils obtained from field surveys. For the analysis, numerical modeling by the finite element method in the *MidasGTSNX* software package and analytical calculations performed according to the methods of G.N. The results showed satisfactory agreement between the numerical and analytical depression curves (the difference is ≤ 0.06 m), while in the downstream pool there is a shift in the depression

curve to the inclined foundation zone, indicating insufficient waterproofing of the core and the need for its strengthening. The analysis of saturation isofields revealed potential instability zones at the transitions of soil layers. The core of the hydraulic structure protects the downstream slope from excess water saturation, but its design should be improved (grooving, drainage prism) to increase the strength factor and stability of the slope. The obtained research results can be used in the design, reconstruction or major repairs of earth dams.

Введение. Конструктивные исполнения грунтовых плотин IV класса опасности требуют тщательного проектирования и анализа при их эксплуатации, так как они подвержены различным внешним воздействиям, включая меняющийся уровень грунтовых вод, сейсмическую активность, атмосферные осадки и иные динамические нагрузки (от автомобильного или иного транспорта) [1]. Поддержание таких объектов гидротехнического назначения в рабочем состоянии является важнейшей задачей водной стратегии России на период до 2035 г. [2].

В последние десятилетия численное моделирование стало основным инструментом для анализа поведения гидротехнических сооружений (ГТС) подобного рода с большим сроком эксплуатации (25 лет и более). Численные модели объектов гидротехнического назначения в мелиорации позволяет инженерам прогнозировать их работоспособность во времени, тем самым обеспечивать их дальнейшую безопасность на всем жизненном цикле [3].

Применение метода конечных элементов (МКЭ) [4] позволяет проводить детализированный анализ различных показателей устойчивости и прочности грунтовой плотины, что является критически важным для предотвращения аварий и разрушений гидротехнических сооружений [5].

В составе государственных и частных мелиоративных систем находятся различные по конструкции и назначению грунтовые плотины. Они обеспечивают безопасное использование водных ресурсов в водохранилищах для мелиорации и рыборазведения [6].

Актуальность настоящего исследования заключается в проверке адекватности результатов численного моделирования фильтрации эксплуатируемой более 25 лет грунтовой плотины с ядром на наклонном водопроницаемом основании для выявления

возможных в дальнейшем прогрессирующих обрушений ее откосов, а также получения информации об их реальном состоянии на момент проведения работ по реконструкции или капитальному ремонту.

Цель исследования заключается в проведении сравнительного анализа результатов численного моделирования и аналитических расчетов фильтрации зонированной грунтовой плотины с ядром, расположенной на водопроницаемом (водонасыщенном) наклонном основании. Основные задачи исследования включают:

- оценку фильтрационной способности конструкции (по положению кривой депрессии) при различных уровнях воды в водохранилище, как численно, так и аналитически;
- численное определение сатурации в теле плотины при различном уровне воды в водохранилище.

Методы и объект исследования. Объектом исследования является грунтовая плотина с непроницаемым (железобетонным) ядром на водопроницаемом (водонасыщенном) основании, входящая в состав мелиоративной системы, расположенной в Куменском районе Кировской области. Расчетная модель гидротехнического сооружения в конечных элементах представлена на рис. 1. Для достижения поставленных целей использовались методы численного моделирования с применением программного обеспечения Midas GTS NX, которые в последую-

щем верифицировались с аналитическими решениями задачи фильтрации по известным методиками ее расчета.

Для создания модели плотины использованы данные о геометрии, свойствах грунта и условиях эксплуатации. Модель состоит из различных слоев грунта с различными физико-механическими свойствами (таблица), которые взяты из геолого-геодезических изысканий перед началом реконструкции объекта исследования.

В модели заданы граничные условия, такие как уровень грунтовых вод, нагрузки от воды без учета сейсмичности района моделирования [7]. Эти параметры выбраны на основе данных из аналитических расчетов по этому объекту и практики анализа аналогичных сооружений. Моделирование проводилось для нескольких сценариев при динамических нагрузках, возникающих в результате изме-

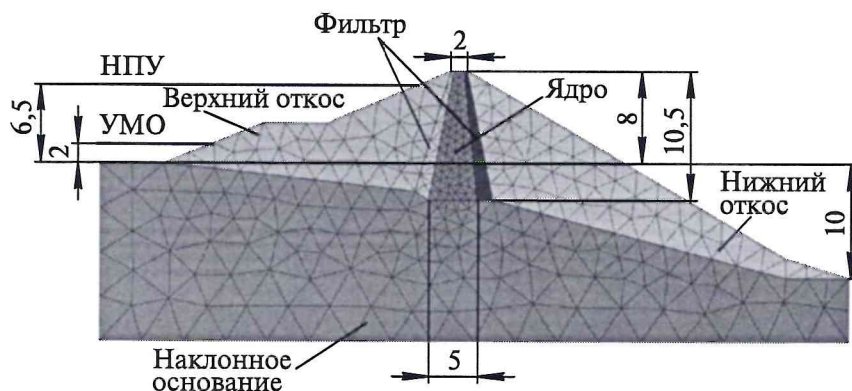


Рис. 1. Расчетная модель гидротехнического сооружения без подтопления нижнего бьефа в конечных элементах

Физико-механические свойства грунтов исследуемой плотины

Параметр	Величина			
	Наклонное основание	Откосы	Ядро	Фильтр
Удельный вес грунта при естественной влажности, кН/м ³	17	16	22	18
Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м ³	21	20	25	22
Начальный коэффициент пористости	0,5	0,5	0,5	0,5
Эффективный модуль Юнга, кН/м ²	50·10 ³	20·10 ³	1,5·10 ³	50·10 ³
Коэффициент Пуассона	0,3	0,33	0,35	0,3
Модуль сдвига, кН/м ²	19,23·10 ³	7519	555.600	19,23·10 ³
Касательный одометрический модуль деформации, кН/м ²	6,73·10 ³	29,63·10 ³	2407	6,73·10 ³
Параметр референсного давления, кН/м ²	1	5	5	1
Угол внутреннего трения, рад	35	31	0	35
Угол дилатансии, рад	5	1	0	5
Скорость прохождения поперечных волн, м/с	105,3	67,9	18,46	106,2
Скорость прохождения продольных волн, м/с	197,1	134,8	38,42	198,2
Коэффициент фильтрации по оси X	0,01	1	0,1·10 ⁻³	0,01
Коэффициент фильтрации по оси Y	0,01	1	0,1·10 ⁻³	0,01
Глубинный параметр неравномерности распределения дилатансии, м	10·10 ³	10·10 ³	10·10 ³	10·10 ³
Удельный параметр неравномерности распределения дилатансии, 1/м	5,33·10 ⁻⁶	0,13·10 ⁻³	0,18·10 ⁻³	5,72·10 ⁻⁵
Реологический модуль	1000·10 ¹²	1000·10 ¹²	1000·10 ¹²	1000·10 ¹²

нения уровня воды в водохранилище: при полном водохранилище; при уровне воды в водохранилище на отметке мертвого уровня и устоявшемся уровне воды на отметке 2,5 м (такая отметка водного уровня берется с учетом максимально возможных атмосферных осадков в период проведения работ по капитальному ремонту или реконструкции для данной местности). Временной промежуток изменения уровня воды в водохранилище относится к измерениям через 0, 24, 48, 72, 96 и 120 ч. При реконструкции необходимо спускать водохранилище до уровня мертвого объема (УМО), соответственно, нормальный подпорный уровень воды (НПУ) является началом отсчета и отметка 2,5 м – устоявшийся уровень воды (см. рис. 1).

После проведения расчетов проанализировано положение кривой депрессии в теле плотины и сатурация ее тела. Особое внимание уделялось зонам перехода между различными слоями грунта, так как именно здесь могут возникать в дальнейшем численных и аналитических расчетах в реальном объекте потенциальные зоны неустойчивости.

Верификация положения кривой депрессии, полученной в результате численного моделирования в исследуемой плотине, проводилась в со-

ответствии с методикой, изложенной в работе [8, с. 376] при наклонном водоупоре по приближенной формуле Г.Н. Каменского [9, с. 265] и методу Н.Н. Павловского [9, с. 266].

Основная часть. На рис. 2 показаны изополя степени насыщения для начальной стадии при установившемся режиме фильтрации и последующем снижении уровня воды. Максимальное значение, равное 1, наблюдается в красной зоне. Следовательно, в этой зоне устанавливается стационарная фильтрация для всех материалов, из которых выполнена плотина.

Обратим внимание на ядро плотины. Часть ядра плотины находится в зоне сатурации с показателем, равным 1. Это говорит о том, что конструкция ядра недостаточно изолирует нижний откос от избыточного влагонасыщения, следовательно, такая ситуация может привести к обрушению нижнего откоса, о чем свидетельствует синяя зона, расположенная на всей площади нижнего откоса.

Помимо прочего граница сатурации между максимально водонасыщенным наклонным основанием и нижним откосом устанавливает возможную зону обрушения откоса. Аналогичная ситуация может вызвать обрушение откоса в верхней

части верхнего откоса при устоявшемся уровне воды на отметке 2,5 м (рис. 2д, е), так как здесь образуются круглоцилиндрические поверхности, определяющие переход водонасыщенной зоны плотины (участок красного цвета) к неводонасыщенной (участок сине-зеленого цвета).

Кривые депрессии по телу плотины для различных стадий наполнения водохранилища показаны на рис. 3.

Характерной особенностью всех полученных линий кривых депрессий для различных уровней воды в водохранилище является то, что ниспадающая часть всех кривых находится в правой зоне ядра плотины (ближе к нижнему откосу), что также говорит о том, конструкция ядра (в том

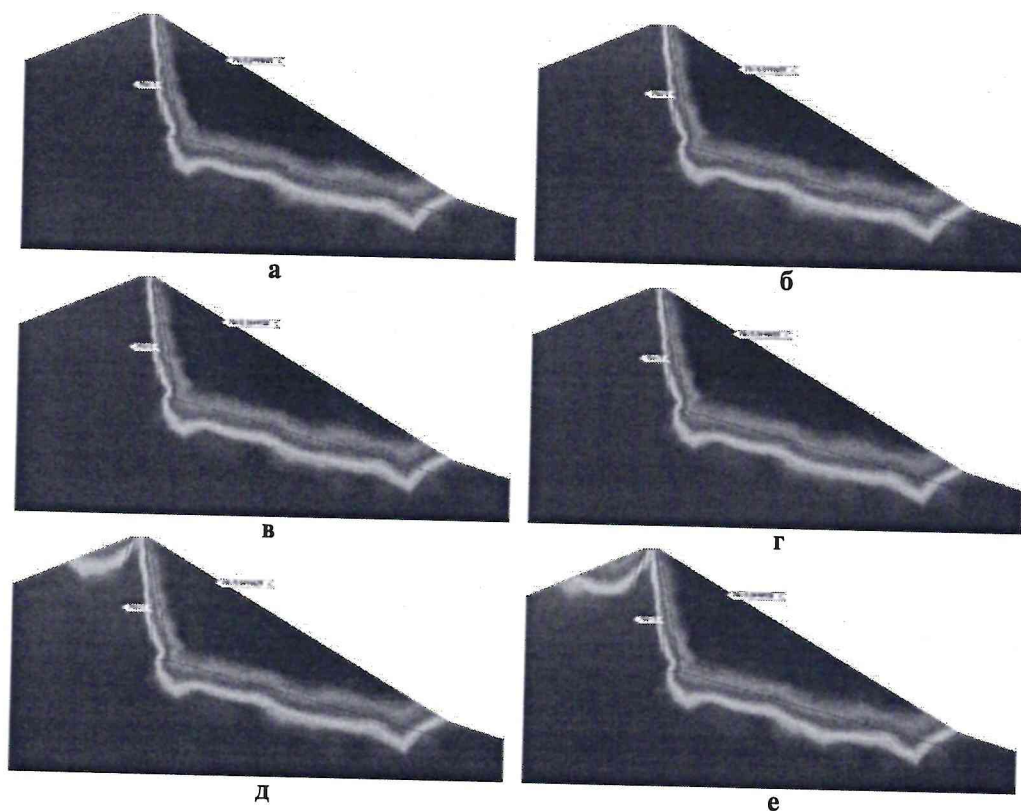


Рис. 2. Изополя сатурации (водонасыщения) в зонированной грунтовой плотине: а – полное водохранилище (0 ч); б – снижение уровня воды (24 ч); в – снижение уровня воды (48 ч); г – снижение уровня воды (72 ч); д – снижение уровня воды (96 ч – УМО); е – снижение уровня воды (120 ч) – устоявшийся уровень воды на отметке 2,5 м)

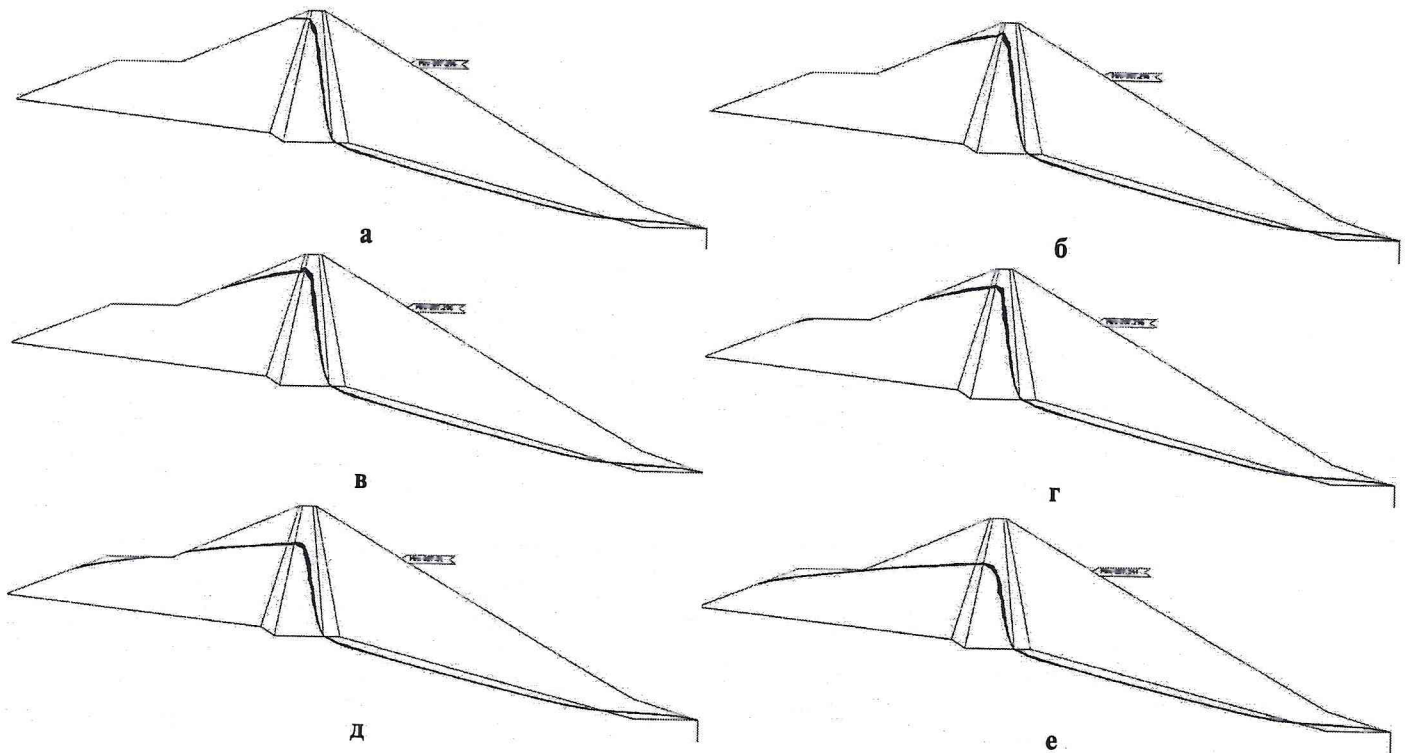


Рис. 3. Кривая депрессии в исследуемой грунтовой плотине:
 а – полное водохранилище (0 ч); б – снижение уровня воды (24 ч); в – снижение уровня воды (48 ч);
 г – снижение уровня воды (72 ч); д – снижение уровня воды (96 ч – УМО);
 е – снижение уровня воды (120 ч) – устоявшийся уровень воды на отметке 2,5 м)

числе и материал ядра) плотины при капитальном ремонте или реконструкции объекта должна быть усовершенствована и больше гидроизолирована, в том числе за счет шпунтования основания ядра. Характер кривой депрессии, располагаемой под границей наклонного основания и нижнего откоса, совпадает с границей водонасыщения (сатурации), что говорит о необходимости изменения конструкции нижнего откоса и переустройства всего нижнего бьефа объекта. В нижней части нижнего откоса для данного исследуемого объекта необходимо предусмотреть дренажную призму, чтобы окончание кривой депрессии под нижним бьефом плотины находилось под границей наклонного основания и нижнего откоса [10].

Анализ численных данных с обязательной верификацией полученных результатов по параметрам фильтрации и сатурации объектов гидротехнического назначения в настоящее время является неотъемлемой частью реализации внедрения технологий BIM на всех треках строительной отрасли [11].

Результаты и их обсуждение. Проведем верификацию положения кривой депрессии по исследуемой плотине при максимальном уровне воды в водохранилище согласно методике изложенной в работах [8, с. 376; 9, с. 265; 9, с. 266]. Получим графический результат – на рис. 4 показано сравнение положения кривой депрессии в исследуемой

плотине при полном водохранилище с положением кривой депрессии, полученной в результате аналитического расчета. Максимальное расхождение положения кривой депрессии наблюдается в нижнем бьефе плотины и составляет по вертикальной оси 0,17 м (результаты аналитического расчета показывают, что кривая депрессии на этом участке находится в зоне наклонного основания, а не в зоне низового откоса, как это показано на результатах численного моделирования на рис. 4). На остальных участках сравнения кривых депрессии расхождение между ними по вертикальной оси не превышает 0,06 м. Кривые депрессии, полученные численными методами и аналитическим расчетом, практически совпадают (расхождение их по вертикальной коор-

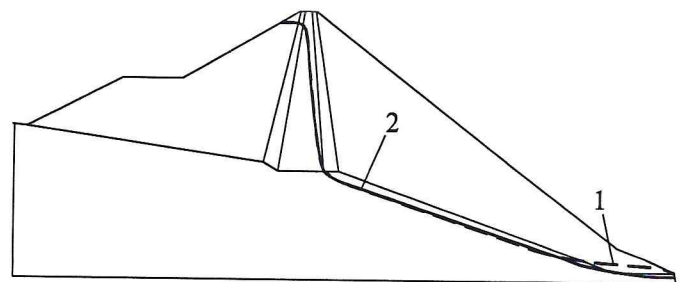


Рис. 4. Верификация положения кривой депрессии в теле исследуемой плотины:
 1 – численный расчет; 2 – аналитический расчет

динате не превышает 0,01 м) на участке верхового откоса, ядра и нисходящего наклонного основания плотины. Считаем данные результаты по верификации положения кривой депрессии весьма удовлетворительными и достаточно точными.

Подтвержденное положение кривой депрессии также говорит о том, что необходимо укреплять нижний бьеф плотины в месте ее сопряжения с наклонным основанием, как об этом сказано при анализе рис. 3.

Таким образом, в процессе численного моделирования объекта гидротехнического назначения получены не только числовые значения рассматриваемых в исследовании параметров, но и сделаны выводы о необходимых проектно-изыскательских работах по совершенствованию конструкции плотины с целью повышения ее надежности и безопасности при дальнейшей эксплуатации.

Выводы. Проведена оценка фильтрационной способности конструкции грунтовой плотины с ядром на наклонном водопроницаемом основании при различных уровнях воды в водохранилище по полученным кривым депрессии в ходе численного моделирования объекта. Установлено, что ядро плотины защищает нижний откос от избыточного водонасыщения и обрушения, однако положение кривой депрессии целесообразно сместить в сторону верхового откоса для повышения коэффициента прочности и устойчивости низового откоса плотины.

Результаты верификации параметров фильтрации и сатурации исследуемой плотины считаем удовлетворительными. Полученные данные при численном моделировании объекта могут быть использованы при проектных работах в рамках реконструкции или капитального ремонта объекта. Полученные в результате численного моделирования параметры плотины позволяют сделать вывод о необходимых проектных решениях, повышающих надежность и безопасность гидротехнического сооружения с большим сроком эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонович О.С., Снежко В.Л., Козлов Д.В. Периодичность ремонта низконапорных грунтовых плотин для сохранения их уровня безопасности // *Природообустройство*. 2020. № 1. С. 59–64.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. М., 2025. URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/novaya-vodnaya-strategiya-do-2035.pdf>
3. Качаев А.Е., Турапин С.С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // *Наука и мир*. 2024. № 3. С. 1–5.
4. Гайджуров П.П., Аль-Хадж М.А., Аль-Джабоби С.Ф. Метод конечных элементов в строительстве // *Colloquium-Journal*. 2019. № 27–1(51). С. 23–27.

5. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // *Наука и мир*. 2024. № 3. С. 6–10.

6. Шкура В.Н., Шевченко А.В. Комплекс рыбоводных гидротехнических сооружений для рыбохозяйственной мелиорации эвтрофных водохранилищ // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2022. № 5. С. 95–106.

7. Безопасная эксплуатация гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, В.В. Каштанов, В.В. Савушкин, С.А. Гжибовский, В.В. Абрамов. Коломна: ИП Лавренов А.В., 2018. 228 с.

8. Гидротехнические сооружения (речные): учебник для высших учебных заведений / Л.Н., Рассказов В.Г. Орехов, Н.А. Анискин, В.В. Малаханов, А.С. Бестужева, М.П. Сайнов, П.В. Солдатов, В.В. Толстиков. Ч. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. 584 с.

9. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: ИНФРА-М, 2022. 601 с.

10. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-264–2012. Введ. 28.05.12. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. 114 с.

11. Сидоренко Д.А., Качаев А.Е. BIM-технологии в строительстве: что будет дальше? // *Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвященной 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана много-разовой транспортной космической системы «Буран», Рязань, 12–14 апреля 2023 г.* / Под ред. А.Н. Паршина. Рязань: Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 2023. С. 490–492.

REFERENCES

1. Simonovich O.S., Snezhko V.L., Kozlov D.V. Frequency of repair of low-head earth dams to maintain their safety level // *Nature management*. 2020. No. 1. Pp. 59–64.
2. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2035 [Electronic resource]. M., 2025. URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/novaya-vodnaya-strategiya-do-2035.pdf>
3. Kachaev A.E., Turapin S.S. Justification of the need to develop comprehensive calculation models of earth dams of reclamation systems // *Science and the World*. 2024. No. 3. Pp. 1–5.
4. Gaydzhurov P.P., Al-Haj M. A., Al-Jabobi S.F. Finite element method in construction // *Colloquium-Journal*. 2019. No. 27–1 (51). Pp. 23–27.
5. Kachaev A.E., Turapin S.S. Features of the reconstruction of earthen dams of land reclamation systems // *Science and the World*. 2024. No. 3. Pp. 6–10.
6. Shkura V.N., Shevchenko A.V. Complex of fish-breeding hydraulic structures for fishery reclamation of eutrophic reservoirs // *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2022. No. 5. Pp. 95–106.
7. Olgarenko G.V., Turapin S.S., Kashtanov V.V., Savushkin V.V., Gzhibovsky S.A., Abramov V.V. Safe operation of hydraulic structures of the melioration complex. Kolomna: IP Lavrenov A.V., 2018. 228 p.
8. Rasskazov L.N., Orekhov V.G., Aniskina N.A., Malakhanov V.V., Bestuzheva A.S., Sainov M.P., Soldatov P.V., Tolstikov V.V. Hydraulic structures (river): Textbook for higher educational institutions. Part 1. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2011. 584 p.
9. Nesterov M.V. Hydraulic structures: textbook. 2nd ed., corrected, and add. Moscow: INFRA-M, 2022. 601 p.
10. Foundations and bases of buildings and structures. Foundations under vibrodynamic influences. Design rules: ТКП 45-5.01-264–2012. Introduced 28.05.12. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. 114 p.

11. Sidorenko D.A., Kachaev A.E. BIM technologies in construction: what will happen next? // New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XXI International scientific and technical conference dedicated to the 35th anniversary of the flight of the orbital rocket plane of the reusable transport space system «Buran», Ryazan, April 12–14, 2023 / Edited by A.N. Parshin. Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Polytechnic University», 2023. Pp. 490–492.

Хитров Яков Ильич, студент 4-го курса Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»; **Качаев Александр Евгеньевич**, науч. сотрудник отдела сельхозводоснабжения, doctor_cement@mail.ru; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора, вед. науч. сотрудник, pgraduga@yandex.ru (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 631.67 (476)

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-13-19

ОПЫТ ОРОШЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.И. ЖЕЛЯЗКО, С.В. НАБЗДОРОВ

Ключевые слова: сахарная свекла, водный режим, дождевание, режим орошения, поливная норма, оросительная норма, суммарное водопотребление, урожайность.

Keywords: sugar beet, water regime, sprinkling, irrigation regime, irrigation norm, irrigation norm, total water consumption, yield.

Аннотация. В статье представлены результаты трехлетних полевых исследований по изучению влияния орошения на урожайность и качество сахарной свеклы. При орошении сахарной свеклы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах максимальная урожайность наблюдалась на варианте с нижней границей регулирования влажности 70% НВ в слое 0...40 см.

Исследованиями установлено, что орошение повышает водопотребление сахарной свеклы. На фоне естественного увлажнения из слоя почвы 0...40 см водопотребление за период вегетации в среднем за 3 года составило 3379 м³/га, при предполивной влажности 60% НВ – 3521 м³/га, при предполивной влажности 70% НВ – 3535 м³/га и при предполивной влажности 80% НВ – 3594 м³/га.

Сахаристость корнеплодов по вариантам опыта практически не различалась, разница составила менее 1%. Наибольший сбор очищенного сахара получен в варианте орошения с нижней границей регулирования влажности почвы 70% НВ и при дозах удобрений в пределах $N_{90-120}P_{70-100}K_{150-260}$. При увеличении дозы удобрений до $N_{150}P_{110}K_{300}$ не наблюдалось роста сбора очищенного сахара. В целом можно сделать вывод, что орошение дает существенную прибавку урожая, не снижая содержания сахара в корнеплодах.

Abstract. The article presents the results of three-year field studies on the effect of irrigation on the yield and quality of sugar beet. When irrigating sugar beet on sod-podzolic light loamy soils, the maximum yield was observed in the variant with the lower limit of moisture regulation of 70% НВ in the 0–40 cm layer.

The studies have found that irrigation increases the water consumption of sugar beet. Against the background of natural moisture from the 0–40 cm soil layer, water consumption during the growing season on average for 3 years amounted to 3379 м³/ha, with a pre-irrigation moisture of 60% НВ – 3521 м³/ha, with

a pre-irrigation moisture of 70% НВ – 3535 м³/ha and with a pre-irrigation moisture of 80% НВ – 3594 м³/ha.

The sugar content of root crops in the experimental variants was practically the same, the difference was less than 1%. The highest yield of refined sugar was obtained in the irrigation variant with the lower limit of soil moisture regulation of 70% НВ and with fertilizer doses within the range of $N_{90-120}P_{70-100}K_{150-260}$. With an increase in the fertilizer dose to $N_{150}P_{110}K_{300}$ no increase in the yield of refined sugar was observed. In general, it can be concluded that irrigation provides a significant increase in yield without reducing the sugar content in root crops.

Введение. Сахарная свекла является одной из государственно значимых продовольственных культур, используемых для производства сахара, что в настоящее время является одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Республики Беларусь. Территория Республики Беларусь отличается неравномерным распределением атмосферных осадков в весенне-летне-осенние месяцы, а в последние годы возросло количество засух и увеличилась их продолжительность. В то же время анализ научно-исследовательских материалов и практического опыта возделывания сахарной свеклы указывает на недостаточную изученность влияния влагообеспеченности культуры на ее урожайность в условиях Беларуси.

Анализ результатов исследований, выполненных в Беларуси и в других странах, который показывают, что недостаток влаги в период появления всходов и интенсивного роста культуры вызывает снижение водопотребления и урожайности сахарной свеклы. Рассмотрены научные публикации, освещающие вопросы повышения эффективности возделывания сахарной свеклы в разных условиях, в том числе схожих по почвенно-климатическим условиям с Беларусью.

В работах российских ученых М.П. Багрова [1], А.О. Лымарь [2], И.П. Кружилина [3], Н.Н. Дубенка [4], Ю.А. Мажайского, А.С. Мушинского,