

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67.004.94

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-91-114

Апробация информационной модели уровня режима распределительного оросительного канала

Леся Михайловна Болдырева¹, Вячеслав Константинович Печников²,
Роман Сергеевич Шеламов³

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

¹lesenka27@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0869-9859>

²pechnikov05@gmail.com

³romanselamov19@gmail.com

Аннотация. **Цель:** обоснование эффективности применения информационной модели уровня режима оросительного канала для оптимизации подаваемой поливной нормы. **Материалы и методы.** Объектом исследования являлся распределительный оросительный канал с системой точечных узлов водоотбора в Славянском районе Краснодарского края, предназначенный для подачи воды в рисовые модули. **Результаты.** Разработана информационная модель для определения оптимального уровня режима оросительного канала с учетом необходимой поливной нормы риса. Получена координированная кривая водной поверхности оросительного канала, указывающая на необходимость понижения уровня режима на 0,017 м на исследуемом участке длиной 406 м. Построены графики продольного профиля уровня режима в оросительном канале, уклон которого составил $i_b = 0,00005482$, а также диаграмма расчетных уровней воды в канале с отметками головного створа (2,235 мБС): узел 4 = 2,100 мБС; узел 3 = 2,076 мБС; узел 2 = 2,045 мБС; узел 1 = 1,983 мБС. **Выводы.** Изучение отечественного и мирового опыта показывает, что одной из основных проблем при поливе риса является установление оптимального уровня режима оросительного канала с учетом подаваемых объемов воды. Для решения данной проблемы была разработана информационная модель с целью повышения эффективности выбора оптимального уровня режима оросительного канала Кубанской рисовой оросительной системы (РОС) с учетом необходимой поливной нормы в соответствии с фазой вегетационного периода риса. Информационная модель прошла апробацию в эксплуатационных условиях РОС «Кубанская», по результатам которой были разработаны мероприятия для оптимизации выбора уровня режима оросительного канала, что подтверждает эффективность применения модели с использованием IT-технологий.

Ключевые слова: мелиорация, распределительный канал, водопользование, рисовые оросительные системы, информационная модель, чековые и каналные регуляторы уровня, бьеф

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20003.

Для цитирования: Болдырева Л. М., Печников В. К., Шеламов Р. С. Апробация информационной модели уровня режима распределительного оросительного канала // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 91–114. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-91-114>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Evaluation of the information model of the level regime of the distribution irrigation canal

Lesya M. Boldyreva¹, Vyacheslav K. Pechnikov², Roman S. Shelamov³

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

¹lesenka27@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0869-9859>

²pechnikov05@gmail.com

³romanshelamov19@gmail.com

Abstract. Purpose: to substantiate the efficiency of using the information model of the irrigation canal level regime to optimize the supplied irrigation rate. **Materials and methods.** The object of the study was a distribution irrigation canal with a system of point water intake nodes in Slavyansky district of the Krasnodar Territory, designed to supply water to rice modules. **Results.** An information model to determine the optimal level regime of the irrigation canal taking into account the required rice irrigation rate, was developed. A coordinated graph of the irrigation canal water surface indicating the need to lower the level regime by 0.017 m on the studied section with a length of 406 m, was obtained. Graphs of the longitudinal profile of the water level in the irrigation canal, the slope of which was $i_b = 0.00005482$, were constructed, as well as the diagram of the calculated level regime in the canal with head section marks (2.235 mBS): node 4 = 2.100 mBS; node 3 = 2.076 mBS; node 2 = 2.045 mBS; node 1 = 1.983 mBS. **Conclusions.** The study of domestic and world experience shows that one of the main problems in rice irrigation is the establishment of the optimal water level regime of the irrigation canal, taking into account the supplied water volumes. To solve this problem, an information model to improve the efficiency of choosing the optimal level regime of the irrigation canal of the Kuban rice irrigation system (ROS) taking into account the required irrigation rate in accordance with the phase of the rice vegetation period was developed. The information model was tested in the operating conditions of the ROS “Kuban”, on results of which the measures to optimize the choice of the level regime of the irrigation canal, which confirms the efficiency of the model using IT technologies, were developed.

Keywords: reclamation, distribution canal, water use, rice irrigation systems, information model, check and channel level regulators, pool

Funding: the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation No. 24-26-20003.

For citation: Boldyreva L. M., Pechnikov V. K., Shelamov R. S. Evaluation of the information model of the level regime of the distribution irrigation canal. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(3):91–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-91-114>.

Введение. Разработка мероприятий по повышению эффективности производства сельскохозяйственной продукции в настоящее время является важной составляющей развития агропромышленного комплекса нашей страны. Научные исследования, проводимые российскими и зарубежными учеными, выявили новые приемы работы с активным применением цифро-

вых и компьютерных технологий, что позволяет адаптировать их к производственным условиям конкретного хозяйства с целью повышения эффективности управления различными системами и объектами при выполнении сельскохозяйственных работ [1–7].

Рассмотрение и оценка альтернативных решений, а также изучение отечественного и мирового опыта позволили сделать следующие выводы. Основной проблемой множества научных работ является:

- отсутствие целостного взгляда на проблему установления оптимального уровня режима распределительного канала с учетом необходимой поливной нормы;

- отсутствие установленных требуемых геометрических и высотных параметров распределительного канала с учетом формирования достаточных гидравлических перепадов для полива возделываемой культуры риса.

В основном предлагаемые решения опираются на наборы критериев, в которых могут быть недостаточно полно учтены те или иные факторы, определяющие эффективность возделывания сельскохозяйственных культур.

Решение комплексных задач наиболее эффективно с использованием информационных моделей. Распределительные каналы ирригационных систем являются искусственными водотоками внутрихозяйственного уровня, доставляющими воду непосредственно на поливные участки и распределяющими ее в каналы последнего порядка с установившимся неравномерным режимом движения потока. Расход по длине изменяется между узлами водоотборов в оросительные каналы. Уровненный режим и режим потока в распределительных каналах определяются на основе локальных эксплуатационных условий: высотные отметки орошаемых полей, площади орошаемых участков и другие факторы.

Материалы и методы. В качестве объекта практической реализации информационной модели выбран распределительный канал мелиоративной

системы с системой точечных узлов водоотбора в Славянском районе Краснодарского края, юго-восточнее п. Целинный. Местность преимущественно плоская, с небольшими холмами и пологими склонами. Вблизи протекает р. Протока, воды которой активно используются для орошения сельскохозяйственных угодий и создания модулей рисовых оросительных систем.

Для обоснования выбора оптимального уровня режима распределительного канала с учетом подаваемой поливной нормы в соответствии с фазой вегетационного периода риса использованы аналитические методы изучения планово-высотных характеристик поливного участка, методы гидравлического расчета открытых потоков при неравномерном установившемся движении воды. Расчеты производились с применением математических формул, цифровых технологий, электронных таблиц и макросов VisualBasic. Автоматизация каналов и реализация выполнена с использованием графического приложения САПР NanoCAD.

Результаты и обсуждение. Для эффективного решения сформулированных задач был выбран модуль рисовой системы, который состоит из 32 чеков. Чеки – это искусственные водоемы с размерами, близкими к 200×300 м, и глубиной наполнения 5–30 см.

Оптимальными условиями затопления считаются такие значения, при которых чеки модуля имеют одинаковую отметку дна и верхнего уровня воды, что способствует облегчению затоплений и регулировки показаний. Другим эффективным мероприятием может являться создание так называемой «системы сообщающихся сосудов», предполагающей добавление воды во все чеки одновременно из одного источника (канала), уровень в котором незначительно выше общей отметки поверхности воды в чеках. Но, как показала реализация таких мер на практике, отметки поверхностей чеков значительно разнятся. В зависимости от принятого режима орошения уровень воды в чеках в течение сезона может достигать 20–25 см. По результатам ис-

следований выявлено, что обычно глубину затопления снижают до 15–20 см. При наполнении чека более 30 см рис вымокает, изреживается и погибает.

Таким образом, регулирование уровней воды в чеках – трудоемкий и ответственный процесс. Это связано с тем, что при выращивании риса не допускается колебаний уровня воды. Так, если режимом орошения задано 15 см слоя затопления, то величина отклонения должна поддерживаться в диапазоне 15 ± 2 см. Несоблюдение этих условий в дальнейшем отразится на сохранении высокой урожайности риса [5].

Преимуществом автоматизированной оросительной сети внутрихозяйственного звена рисовой оросительной системы является то, что при изменении режима работы сокращаются сроки перенастройки. Своевременная и точная подача требуемой поливной нормы в любую заданную точку поля севооборота выполняется путем формирования в распределительном канале соответствующих командных отметок воды. На эксплуатируемой автоматизированной оросительной системе заданный режим водораспределения (уровенный режим каналов всех порядков) одновременно устанавливается оператором (поливальщиком) и поддерживается гидроавтоматами путем контроля отметок поверхности воды в голове (при необходимости – в регулируемых створах) распределителя модуля¹ [6–8].

Использование геоинформационной системы SAS.Planet позволило выполнить первичную обработку и исследование плановых параметров ирригационного участка рисовой оросительной системы (экспорт из SAS.Planet). Таким образом, в программе автоматизированного проектирования и черчения NanoCAD выполнен топоплан модуля оросительной системы в масштабе 1:1000 в виде схематизации участка ирригационной системы. Схема и план модуля РОС «Кубанская» с отметками поверхностей рисовых чеков и номерами карт оросительных участков (рисунки 1а, 1б).

¹Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко [и др.]. Изд. 4-е., переработ. и доп. М.: Энергия, 1972. 312 с.



a – план модуля РОС (экспорт из SAS.Planet); *b* – схема модуля РОС
a – ROS module plan (export from SAS.Planet); *b* – ROS module diagram

Рисунок 1 – Схема и план модуля РОС «Кубанская» с отметками поверхностей рисовых чеков и номерами карт оросительных участков
Figure 1 – Diagram and plan of the “Kubanskaya” ROS module with rice paddy surface marks and irrigation plot map numbers

На основании выполненной операции масштабирования и построения в САПР NanoCAD масштабного плана участка исследований получены численные значения параметров элементов ирригационной системы:

- площади рисовых чеков;
- площади поливных участков;
- расстояния от головного створа.

На основании картометрического исследования модуля РОС «Кубанская» были рассчитаны значения площадей рисовых чеков и поливных участков (таблица 1).

Качество регулирования водного режима орошаемого участка, в частности, скорость затопления, определяется точностью регулирования расходно-уровенного режима распределителя модуля. Режим характеризуется исполнением расчетных командных отметок в распределителе по створам примыкания оросителей и в голове распределителя, что подразумевает

наличие превышений уровней старшего канала (распределителя) над младшим (оросителем) и младшего (оросителя) над рисовым чеком [9].

Таблица 1 – Сводная таблица характеристик конструктивных элементов модуля

Table 1 – Summary table of the module structural elements characteristics

Распределитель R 13-1-1		Ороситель				Площадь чеков, га				Карта №
Узел №	Расстояние от голов- ного створа, м	Левая часть модуля		Правая часть модуля		Левая часть модуля		Правая часть модуля		
		№	Обслуживаемая площадь, га	№	Обслуживаемая площадь, га	Чек 2	Чек 1	Чек 1	Чек 2	
4	179	О-1	19,06			4,23	4,65			77
						4,81	5,37			79
				О-2	19,74			4,65	4,37	78
								5,43	5,29	80
3	587	О-3	18,90			4,65	4,73			81
						4,70	4,82			83
				О-4	19,12			4,79	4,86	82
								4,78	4,69	84
2	976	О-5	19,41			4,66	4,80			85
						4,82	5,13			87
				О-6	19,29			4,91	4,67	86
								5,02	4,69	88
1	1382	О-7	18,79			4,71	4,77			89
						4,64	4,67			91
				О-8	18,59			4,94	4,84	90
								4,43	4,38	92

Для эффективного водораспределения в пределах поливного участка следует установить командующий (наиболее высокий) чек в пределах поливного участка оросителя. Однако у всех чеков разные отметки плоскости земли. Наиболее высокая отметка поверхности из четырех подкомандных чеков будет отметкой поверхности высокого чека, а сам чек – высоким чеком поливного участка. Уровень воды в командном чеке принимаем исходным расчетным уровнем в системе уровней «чек – ороситель – распределитель».

Установлено, что при назначении рабочих отметок уровня звена каж-

дый картовый ороситель должен обеспечивать залив самого высокого из чеков карты [5]:

- при первоначальном затоплении (максимальный расход оросителей) – слоем 0,10–0,15 м;
- при поддержании слоя затопления (минимальный расход оросителей) – слоем до 0,25 м;
- потери напора на водовыпусках из картвых оросителей в чеки при расчетах принимаются 0,05–0,15 м;
- при затоплении отдельного чека(ов) карты до максимальной глубины необходимо увеличить уровень воды старшего канала с ограничением глубины 0,15 м (в современных условиях при оптимальной планировке чеков рисосеющие хозяйства допускают затопление самого высокого чека на глубину 0,10 м).

Принципиальная возможность для автоматизации водораспределения этого уровня внутрихозяйственной сети обеспечена в процессе проектирования рисовых систем. При проектировании оросительной сети каналов должна быть предусмотрена возможность для автоматизации водораспределения. Для этого внутрихозяйственную оросительную сеть проектируют с перепадами горизонтов: 15–20 см на водовыпусках с пропускной способностью до 1 м³/с, 15 см на перегораживающих сооружениях с расходом до 1 м³/с, 20–25 см для всех регулирующих сооружений с расходом выше 1 м³/с.

Таким образом, при расчетах уровня режима перепад в узле «чек – ороситель» принят не менее 15 см, в узле «ороситель – распределитель» – не менее 15 см и в узле «распределитель» модуля – не менее 20 см.

С учетом вышеизложенных положений рассчитаны отметки уровней в оросительных каналах, на основе которых установлены требуемые узловые отметки в распределительном канале модуля. В дальнейших расчетах принята большая отметка в распределителе из диктуемых левым/правым оросителем в узле (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Отметки поверхностей высоких чеков поливных участков
Table 2 – Surface marks of high checks of irrigated plots

Узел №	Поливной участок		Отметки высокого чека, м	
	Левый (№ карты)	Правый (№ карты)	Левый ороситель	Правый ороситель
4	77, 79	78, 80	1,5	1,6
3	81, 83	82, 84	1,3	1,5
2	85, 87	86, 88	1,5	1,4
1	89, 91	90, 92	1,2	1,3

Таблица 3 – Отметки поверхностей воды в оросителях, распределителе в период затопления при перепаде чек – ороситель $Z_{ч-о} = 0,2$ м, ороситель – распределитель $Z_{о-р} = 0,2$ м, при уровне затопления чека $h_z = 0,1$ м

Table 3 – Water surface marks in sprinklers, distributors during the flooding period with a drop between the check – sprinkler $Z_{ch-o} = 0.2$ m, sprinkler – distributor $Z_{o-r} = 0.2$ m, with a flooding level of the check $h_z = 0.1$ m

Узел №	Канал-ороситель		Отметка уровня в оросителе		Отметка уровня в распределителе
	Левый (№ карты)	Правый (№ карты)	Левый (затопление/ поддержание)	Правый (затопление/ поддержание)	Диктуемая правым/левым оросителем
4	О-1	О-2	1,8	1,9	2,0/2,1
3	О-3	О-4	1,6	1,8	1,8/2,0
2	О-5	О-6	1,8	1,7	2,0/1,9
1	О-7	О-8	1,5	1,6	1,7/1,8

На основе обмеров конструктивных элементов распределительного канала на рассматриваемом модуле установлены следующие технические характеристики распределителя относительно параметров узлов водовыделов (таблица 4) [10, 11].

Таблица 4 – Узловые характеристики распределителя модуля
Table 4 – Nodal characteristics of the module distributor

Распределитель модуля	Узел №	Ширина по дну, м	Коэффициент откосов	Отметка дна, мБС	Отметка низкого вала, мБС
R 13-1-1	Головной створ	3,79	1,57	1,35	2,75
	4	3,54	1,68	1,2	2,6
	3	3,38	1,73	1,0	2,5
	2	3,20	1,98	1,1	2,5
	1	2,90	1,61	0,9	2,3

Продольные и поперечные профили построены с использованием данных электронных таблиц и САПР NanoCAD. Для связи электронных таблиц и векторных графических редакторов использованы макросы, которые обеспечивают конвертацию и трансфер данных для построения графиков поверхностей в редакторе. Таким образом, процесс ручного вычерчивания продольного профиля заменяется на автоматическое построение (рисунок 2). Результатом выполнения программного алгоритма макроса является профиль с подстрочником, выстраиваемый в графическом редакторе NanoCAD (рисунок 3).

Полученный продольный профиль обеспечит возможность анализа эксплуатационного состояния конструктивных элементов канала на предмет обеспечения оптимальной пропускной способности и расчетных высотных отметок водной поверхности. Следующим этапом работы является расчет узловых расходов распределителя модуля системы «Кубанская» для периода первоначального затопления. Значения требуемого расхода подачи определены исходя из требуемого времени затопления и объема наполнения модуля системы.

Для ускорения затопления, что является важным фактором для рисосеющих хозяйств, время первоначального затопления стараются сократить. В этом случае увеличивают гидромодуль затопления. Результаты научных исследований показали, что увеличение гидромодуля затопления положительно сказывается на урожайности риса и способствует уменьшению объема воды. При этом важно отметить, что засоренность посевов будет снижена на 50 %.

Для увеличения гидромодуля затопления площадь модуля системы «Кубанская» делят на части (участки) и затапливают по очереди. При таком подходе реализуется двухтактная или трехтактная схема затопления. Важно, что распределитель модуля работает в форсированном режиме, а гидромодули на участках, заливаемых по такту затопления, значительно возрастают. Конструктивно стандартные водовыпуски из оросителя в чек диаметром 300 мм обеспечивают подачу 50, 75, 95, 110, 120 л/с при перепаде уровней на сооружении соответственно 10, 20, 30, 40, 50 см рассчитаны и представлены в таблице 5 [11–13].

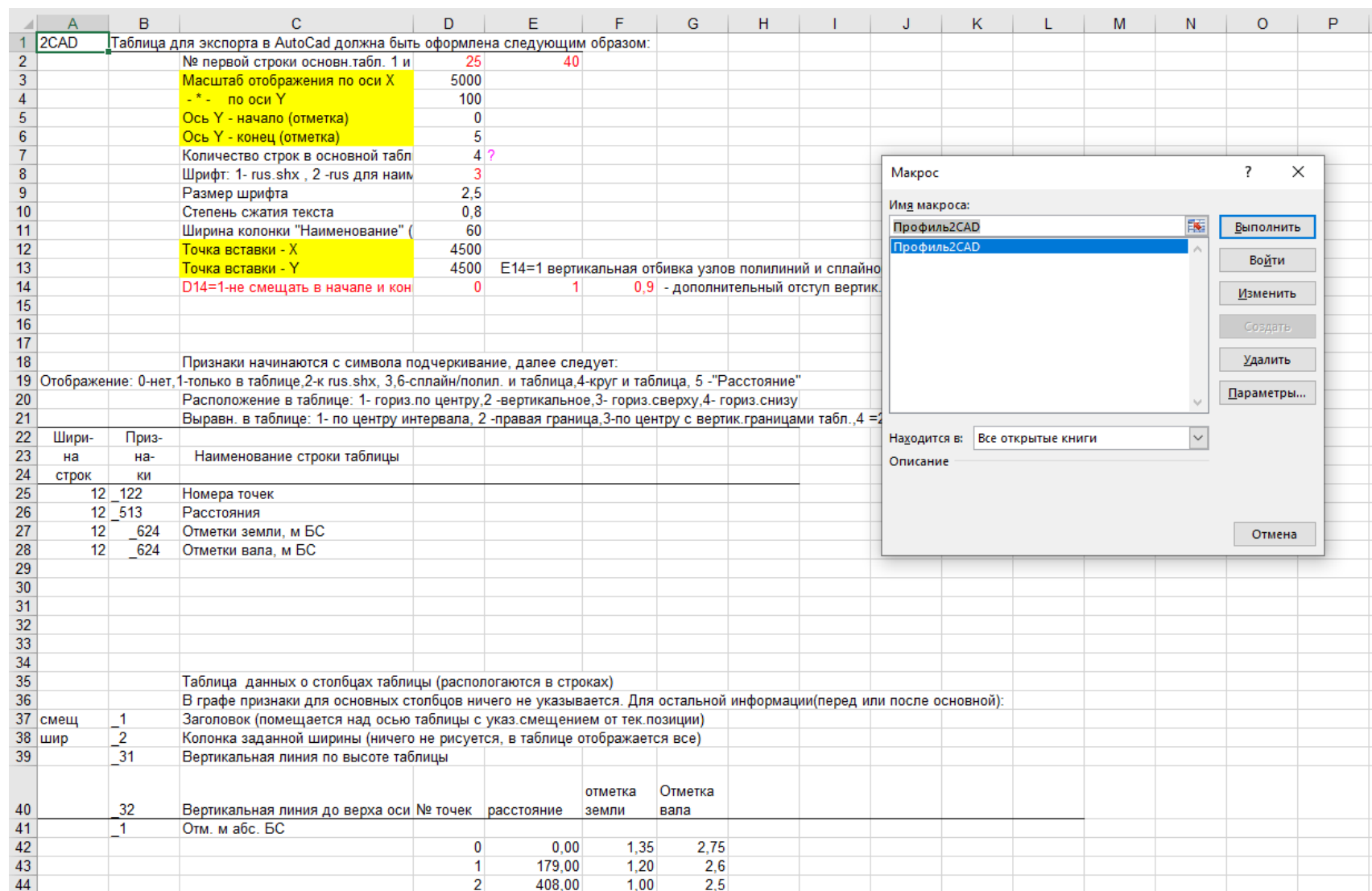


Рисунок 2 – Рабочее окно. Начало работы макроса на исполнение

Figure 2 – Working window. Start of macro execution

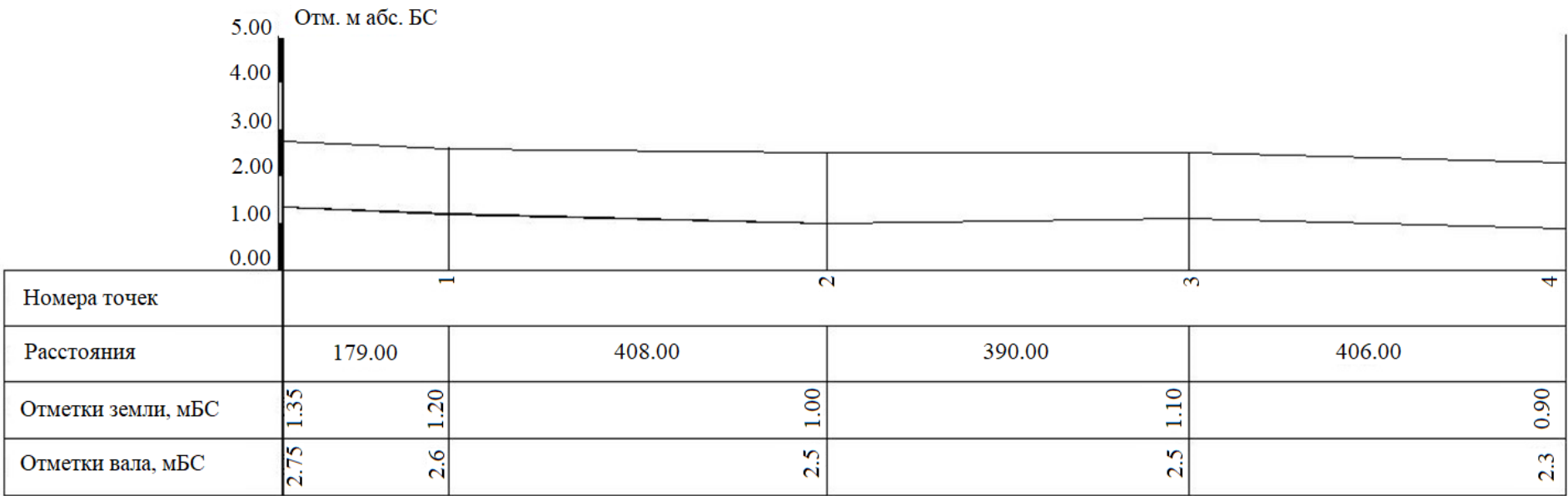


Рисунок 3 – Профиль распределителя R 13-1-1
Figure 3 – Distributor profile R 13-1-1

**Таблица 5 – Пропускная способность чековых водовыпусков
при различных действующих перепадах**

**Table 5 – Capacity of check water outlets at various operating
pressure drops**

Шифр соору- жений	Пропускная способность (Q, л/с) при разности уровней в бьефах (Z, см)															
	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150
ВОЧГ П-3-7,5- 10	50	75	90	110	120	120	120	120	–	–	–	–	–	–	–	–
ВОЧГ П-3-15- 10	–	–	–	–	–	–	–	120	120	120	120	120	120	120	120	120
ВОЧГ П-3-15- 30	50	75	95	110	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
ВОЧГ П-3-15- 70	50	75	95	110	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

В период поддержания уровня поливные нормы орошения риса значительно ниже. В зависимости от типов грунта, локального участка расположения рисовых чеков гидромодуль орошения варьируется и его необходимо устанавливать на основе проектных материалов локального участка рисовой системы или специально проводимых расчетов и наблюдений [7].

Однако для эффективного построения информационной модели неравномерного движения потока в канале должна быть решена задача с большей степенью детализации [8, 10]. При этом перепады «ороситель – чек» для оставшихся трех чеков двух смежных карт, обслуживаемых оросителем, будут больше, чем перепад на самом высоком чеке этих карт.

Было установлено значение гидромодуля для каждого чека поливного участка с учетом ранее рассмотренного значения перепада «ороситель – чек» на самом высоком чеке. Далее для каждого из чеков поливного участка определено собственное значение гидромодуля с учетом потенциально подаваемого в чек расхода. Расход оросителя установлен с учетом средневесового значения гидромодуля поливного участка рассматриваемого оро-

сителя. Результат расчетов расходов оросительных каналов модуля сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет расходов оросителей в режиме первоначального затопления

Table 6 – Calculation of sprinkler flow rates in the initial flooding mode

Ороситель №	Левая часть модуля			Правая часть модуля		
	Гидромодуль средне- взвешенный $q_{ср. взв.}$, л/с·га	Площадь поливного участка, га	Расход оросителя, $м^3/с$	Гидромодуль средне- взвешенный $q_{ср. взв.}$, л/с·га	Площадь поливного участка, га	Расход оросителя, $м^3/с$
О-1-2	22,31	19,06	0,425	21,53	19,74	0,425
О-3-4	21,70	18,90	0,410	21,45	19,12	0,410
О-5-6	22,40	19,41	0,435	22,03	19,29	0,425
О-7-8	21,75	18,79	0,409	22,06	18,59	0,410

Головной расход распределителя модуля равен сумме узловых расходов оросителей модуля $3,349 м^3/с$.

Кривая поверхности потока сформирована в результате расчета с использованием расчетных зависимостей для режима неравномерного установившегося движения потока воды в открытых руслах. Расход потока по длине канала переменный, значения расхода варьируются в узлах водоотбора. Расчет кривой поверхности потока был выполнен последовательно сверху-вниз от устьевоего до головного створа (узлы водоотбора). Отметка поверхности воды установлена на основе ранее выполненных расчетов отметок в распределителе по условию затопления рисовых чеков [6]. Расчет расходов оросителей выполняется с использованием информационной модели канала, построенной в системе электронных таблиц MSExcel. Формирование блока входных данных при построении информационной модели неравномерного движения потока выполнено в форме электронных таблиц по методу В. И. Чарномского [9]. Эксплуатируемые русла каналов, как пра-

вило, являются непризматическими, т. е. размеры поперечных сечений в начале и конце участков каналов отличаются.

В электронных таблицах по результатам расчета сформировано три блока входных данных:

- общие данные для участка (расход, уклон, коэффициент шероховатости);
- входные данные для начального створа (h – глубина, b – ширина, m – коэффициент заложения откосов);
- входные данные для второго граничного створа первого расчетного участка (b, m).

С целью получения наиболее достоверных результатов расчетов задано точное положение граничных створов расчетных участков с известными в этих створах точными значениями b_i, m_i . При этом d_h является изменяемым (подбираемым) значением, обеспечивающим совпадение текущей (рассчитываемой подбором) длины расчетного участка l_i с его установленным значением. Причем d_h назначается относительно отметки начального створа, но глубина в расчетном створе (конечном створе расчетного участка) определяется с учетом изменения отметки дна, обусловленной в свою очередь величиной уклона дна. Длины основных расчетных участков удобно назначать по 100 м, согласно общепринятой длине пикета (ПК). Длины сокращенных участков (вблизи конечных створов рассчитываемых каналов) принимаются исходя из их фактической длины.

Расходы в канале при переходе от участка к участку суммируются с учетом таблицы 6. Так, расход в узле 1 составляет 0,819 м³/с, в узле 2 – 1,679, в узле 3 – 2,499, в узле 4 – 3,349 соответственно.

Информационная модель расчета кривой водной поверхности распределительного оросительного канала в электронных таблицах выглядит следующим образом (рисунок 4).

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1														
2		Неравномерное движение потока												
3					приращение на 1 м									
4		Расход потока на участке канала Q, м3/с			0,8190									
5		Длина участка канала (l) l, м			406,00									
6		Уклон дна на участке канала i			0,0005									
7		Коэффициент шероховатости n			0,0200									
8		Отметка дна в створе 0-0			0,9000				Отметка дна в створе 1		0,9500			
9		Отметка пьези воды в створе 0-0			1,8000									
10		Ширина по дну в створе 0-0			2,9000									
11		Ширина по дну в створе 1-1			3,2000	0,000738916								
12		m в створе 0-0			1,6100									
13		m в створе 1-1			1,9800	0,00091133								
14														
15		Расчетные параметры в граничных створах												
16		расчетных участков												
17					Проектное						Проектное			
18					расстояние м/у						расстояние м/у			
19		Створ 0, исходные параметры				створами l ₂			100		Створ 1, исходные параметры			
20		Отметка пьези потока, мБС			1,8000						Отметка пьези потока, мБС			1,8034
21		Глубина потока h, м			0,9000	Приращение dh			0,00335		Глубина потока h, м			0,8534
22		Ширина по дну, b, м			2,9000						Ширина по дну, b, м			2,9739
23		Коэффициент откоса m			1,6100						Коэффициент откоса m			1,7011
24		Коэффициент шероховатости n			0,0200						Коэффициент шероховатости n			0,0200
25		Уклон дна канала i			0,0005		0,0005				Уклон дна канала i			0,0005
26		Створ 0, расчетные параметры									Створ 0, расчетные параметры			
27														
28		Площадь сечения, м2			3,9141						Площадь сечения, м2			3,7765
29		Смоченный периметр, м			6,3115						Смоченный периметр, м			6,3417
30		Гидравлический радиус, м			0,6202						Гидравлический радиус, м			0,5955
31		Коэффициент Шези			46,1728						Коэффициент Шези			45,8618
32		Скорость потока воды, м/с			0,2092						Скорость потока воды, м/с			0,2169
33		Уклон трения i _т			0,000033	Средний i _т			3,53318E-05		Уклон трения i _т			0,000038
34		Энергия в створе			0,9025	Контроль					Энергия в створе			0,8560
35						Расстояние м/у			100,0023735		Расстояние м/у			100,00424560430800
36						створами l ₁ , м					створами l ₁ , м			
37						Сумма l _м			100,0023735		Сумма l _м			200,00661912294500
38														
39														
40														
41														

Рисунок 4 – Фрагмент информационной модели неравномерного движения потока в канале с учетом переменных параметров геометрии поперечного профиля русла и изменения отметки дна (фрагменты)

Figure 4 – Fragment of the information model of uneven flow movement in canal taking into account the variable parameters of the channel cross-section geometry and the bottom level changes (fragments)

Результаты расчета, выполненные с учетом детализации параметров поперечных сечений и уклона дна русла, позволяют констатировать достаточное суммарное падение отметок на рассчитываемом участке канала (длиной 406 м), которое равно 0,017 м. При этом уклон водной поверхности составил $i_b = 0,00005482$.

Таким образом, расчет кривой водной поверхности на отдельном участке канала можно считать завершенным. Положения кривой водной поверхности по длине канала позволили установить расчетные отметки поверхности воды в узлах водовыделов при значении головного створа распределителя (2,235 мБС):

- узел 4 = 2,100 мБС;
- узел 3 = 2,076 мБС;
- узел 2 = 2,045 мБС;
- узел 1 = 1,983 мБС.

В основу гидравлического расчета положен метод решения задач по установившемуся неравномерному движению жидкости в непрямоугольных руслах по методу конечных разностей В. И. Чарномского. Расчет предполагает, что чековые водовыпускные сооружения системы оборудованы регуляторами уровня воды. Определение горизонтов воды выполнено для автоматизированных оросительных каналов при условии регулирования по нижнему бьефу. Цифровые значения входных данных формируют на основе ранее выполненных расчетов (таблицы 1–4).

Результатом расчета кривой водной поверхности в распределительном оросительном канале модуля РОС является диаграмма (рисунки 5, 6). На диаграмме отмечены: расчетная кривая свободной поверхности; поверхность дна канала; расчетные отметки уровней в голове, в устье канала-распределителя и в створах примыкания каналов-оросителей.

Распределитель

Исходные данные
n - коэфф. шероховатости 0.02

Prop1 0

Рабочая отметка в узле 1 1.8

Ширина полевой дороги 0

Prop2 0

Ширина полевой дороги 0

Prop3 0

Ширина полевой дороги 0

Prop4 0

Начать расчет

Инструкции и условные обозначения

Q1л 0.409 2.9 b0 m0 dno0 0.9 0.410 Q1п i1 0,000492611 L1 406 dno1 1.1 dno2 1.1 0.425 2.0 Q2п i2 -0,00025641 L2 390 dno3 1.0 dno4 1.0 0.410 2.0 Q3п i3 0,000490196 L3 408 dno5 1.2 dno6 1.2 0.425 2.0 Q4п i4 0,000837988 L4 179 dno7 1.35 QHead 3,349 2,1747 Расчетная отметка в голове

Рабочая отметка в узле 2

Рабочая отметка в узле 3

Рабочая отметка в узле 4

Авторы

Рисунок 5 – Основное окно интерфейса и результат расчета (рабочая форма)

Figure 5 – Main interface window and calculation result (working form)

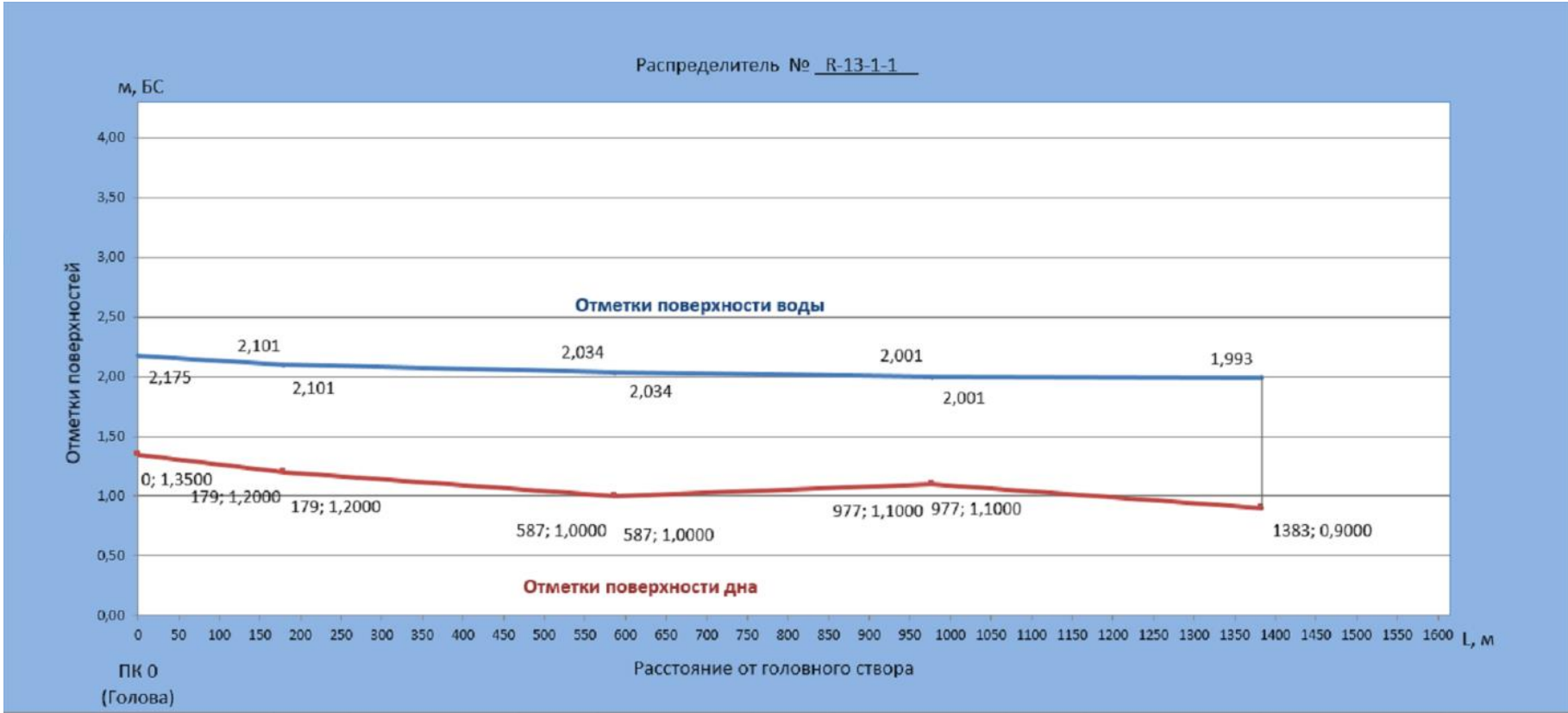


Рисунок 6 – Диаграмма расчетных уровней воды в оросительном канале модуля РОС «Кубанская»

Figure 6 – Diagram of calculated water levels in the irrigation canal of the “Kubanskaya” module ROS

Разработанная информационная модель прошла апробацию в эксплуатационных условиях РОС «Кубанская», по результатам которой были разработаны мероприятия для оптимизации выбора уровненного режима, а именно: если расчетные отметки уровня воды в канале выше отметок поверхности земляных валов каналов-оросителей, то по согласованию с эксплуатационной службой рисовой системы валы каналов-оросителей «поднимают» или в нижнем бьефе водовыпусков в каналы-оросители устанавливают канальные регуляторы уровня.

Выводы

1 Изучение отечественного и мирового опыта позволили сделать выводы о том, что одной из основных проблем является установление оптимального уровненного режима оросительного канала с учетом подаваемых объемов воды при поливе риса.

2 Для решения данной проблемы была разработана информационная модель с целью повышения эффективности выбора оптимального уровненного режима распределительного канала РОС «Кубанская» с учетом необходимой поливной нормы в соответствии с фазой вегетационного периода риса.

3 В результате компьютерного моделирования получена координированная кривая водной поверхности оросительного канала РОС «Кубанская», указывающая на необходимость понижения уровненного режима на 0,017 м на исследуемом участке длиной 406 м.

4 Разработанная информационная модель позволила осуществить построение графиков продольного профиля уровненного режима в оросительном канале, уклон которой составил $i_b = 0,00005482$, а также построить диаграмму расчетных уровней воды в канале с отметками: головного створа (2,235 мБС): узел 4 = 2,100 мБС; узел 3 = 2,076 мБС; узел 2 = 2,045 мБС; узел 1 = 1,983 мБС.

5 Разработанная информационная модель прошла апробацию в экс-

плуатационных условиях РОС «Кубанская», по результатам которой были разработаны мероприятия для оптимизации выбора уровня режима оросительного канала, что подтверждает эффективность применения модели с использованием IT-технологий.

Список источников

1. Long-Term Stochasticity Combines With Short-Term Variability in Assembly Processes to Underlie Rice Paddy Sustainability / W. Liu, J. Zhang, X. Lin, Y. Feng, E. B. Graham, L. Zhong, S. Li // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. Article number: 873. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00873. EDN: MWUGTR.
2. Methane emissions from rice paddies globally: A quantitative statistical review of controlling variables and modelling of emission factors / M. Nikolaisen, T. Cornulier, J. Hillier, P. Smith, F. Albanito, D. Nayak // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 409. Article number: 137245. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137245. EDN: VIOOMY.
3. Improved gross primary production estimation in rice fields through integrated multi-scale methodologies / B. Lee, H. Kwon, P. Zhao, J. Tenhunen // *Plant-Environment Interactions*. 2023. Vol. 4, no. 3. P. 163–174. DOI: 10.1002/pei3.10109. EDN: VJWKHG.
4. Fine classification of rice paddy using multitemporal compact polarimetric SAR C band data based on machine learning methods / X. Guo, Ju. Yin, K. Li, J. Yang, H. Zou, F. Yang // *Frontiers of Earth Science*. 2023. Online First. DOI: 10.1007/s11707-022-1011-4. EDN: HNCWYA.
5. Островский Н. В. Инновационные технические средства для экономии водных ресурсов при возделывании риса // *Природообустройство*. 2015. № 1. С. 72–77. EDN: UFEPFF.
6. Эффективные решения по автоматизации локализованных ирригационных систем / Н. В. Островский, В. В. Ванжа, Ю. Н. Самойлюков, М. А. Бандурин, Е. В. Дегтярева // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 11. С. 102–107. DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp102-107. EDN: XSKENO.
7. Схаплок И. А., Островский Н. В. Исследование развития методов орошения // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам 77-й науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2021 г., г. Краснодар, 1 марта 2022 г. В 3 ч. Ч. 1 / отв. за вып. А. Г. Кошаев. Краснодар: КубГАУ, 2022. С. 615–618. EDN: WERUCW.*
8. Развитие безгербицидного рисоводства на основе режима постоянного затопления и автоматизации полива риса / А. С. Овчинников, Н. В. Островский, В. О. Шишкин, А. А. Пахомов, В. В. Островский // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 3(59). С. 14–25. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-01. EDN: JUSOZS.
9. Попов В. А., Островский Н. В. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем / монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 189 с.
10. Чичкин Д. В., Е. И. Хатхоху В. И. Совершенствование методов точной планировки рисовых чеков // *Вавиловские чтения – 2023: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 136-летию со дня рождения акад. Н. И. Вавилова, г. Саратов, 23–25 нояб. 2023 г. Саратов: Сарат. гос. ун-т генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, 2023. С. 643–648. EDN: DNMFMI.*
11. Анализ и векторы развития отрасли рисоводства / Н. Н. Малышева, С. В. Кизинек, А. Е. Хаджиди, Е. В. Кузнецов // *Мелиорация и гидротехника*. 2023. Т. 13, № 4. С. 1–25. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-1-25. EDN: NYDIUK.

12. Харитонов Е. М., Гончарова Ю. К., Зеленский Г. Л. Перспективы органического земледелия в отечественном рисоводстве и импортозамещения длиннозерных сортов риса // Биологические основы защиты растений: сб. науч. тр. по материалам Жу-ченк. чтений VII / Федер. науч. центр биол. защиты растений. Краснодар: Изд-во «Эдви», 2022. С. 248–253. EDN: QVGKIR.

13. Рекомендации по водопотреблению риса и сопутствующих культур в рисо-вых севооборотах юга России / Р. С. Масный, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. До-кучаева, Р. Е. Юркова, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинек, Т. С. Пономаренко. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. 61 с. EDN: GFBPXV.

References

1. Liu W., Zhang J., Lin X., Feng Y., Graham E.B., Zhong L., Li S. 2020. Long-Term Stochasticity Combines With Short-Term Variability in Assembly Processes to Underlie Rice Paddy Sustainability. *Frontiers in Microbiology*, vol. 11, article number: 873, DOI: 10.3389/fmicb.2020.00873, EDN: MWUGTR.

2. Nikolaisen M., Cornulier T., Hillier J., Smith P., Albanito F., Nayak D., 2023. Me-thane emissions from rice paddies globally: A quantitative statistical review of controlling, variables and modelling of emission factors. *Journal of Cleaner Production*, vol. 409, article number: 137245, DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137245, EDN: VIOOMY.

3. Lee B., Kwon H., Zhao P., Tenhunen J., 2023. Improved gross primary production estimation in rice fields through integrated multi-scale methodologies. *Plant-Environment Interactions*, vol. 4, no. 3, pp. 163-174, DOI: 10.1002/pei3.10109, EDN: VJWKHG.

4. Guo X., Yin Ju., Li K., Yang J., Zou H., Yang F., 2023. Fine classification of rice paddy using multitemporal compact polarimetric SAR C band data based on machine learning methods. *Frontiers of Earth Science*, online first, DOI: 10.1007/s11707-022-1011-4, EDN: HHCWYA.

5. Ostrovsky N.V., 2015. *Innovatsionnye tekhnicheskie sredstva dlya ekonomii vod-nykh resursov pri vozdeleyvanii risa* [Innovative technical means for saving water resources in rice cultivation]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 72-77, EDN: UFEPFF. (In Russian).

6. Ostrovsky N.V., Vanzha V.V., Samoilukov Yu.N., Bandurin M.A., Degtyareva E.V., 2021. *Effektivnye resheniya po avtomatizatsii lokalizovannykh irrigatsionnykh sistem* [Effective solutions for automation of localized irrigation systems]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 11, pp. 102-107, DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp102-107, EDN: XSKENO. (In Russian).

7. Skhaplok I.A., Ostrovsky N.V., 2022. *Issledovanie razvitiya metodov orosheniya* [Study of the development of irrigation methods]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlen-nogo kompleksa: sb. st. po materialam 77-y nauch.-prakt. konf. studentov po itogam NIR za 2021 g. V 3 ch. Ch. 1* [Scientific Support of the Agro-Industrial Complex: Proceed. of the 77th Scientific and Practical Students' Conference on the Results of Research for 2021. In 3 parts. Part 1]. Krasnodar, KubSAU, pp. 615-618, EDN: WERUCW. (In Russian).

8. Ovchinnikov A.S., Ostrovsky N.V., Shishkin V.O., Pakhomov A.A., Ostrovsky V.V., 2020. *Razvitie bezgerbitsidnogo risovodstva na osnove rezhima postoyannogo zatopleniya i avtomatizatsii poliva risa* [Development of herbicide-free rice cultivation based on permanent flooding regime and automation of rice irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniver-sitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(59), pp. 14-25, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-01, EDN: JUSOZS. (In Russian).

9. Popov V.A., Ostrovsky N.V., 2013. *Agroklimatologiya i gidravlika risovykh ekosistem: monografiya* [Agroclimatology and Hydraulics of Rice Ecosystems: monograph]. Krasnodar, KubSAU, 189 p. (In Russian).

10. Chichkin D.V., Khatkhokhu E.I., 2023. *Sovershenstvovanie metodov tochnoy planirovki risovykh chekov* [Improving methods for precise planning of rice flows]. *Vavilovskie chteniya – 2023: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 136-letiyu so dnya rozhdeniya akad. N. I. Vavilova* [Vavilov Readings – 2023: Proceed. of International Scientific and Practical Conf., Dedicated to the 136th Anniversary of the Birth of Academician N. I. Vavilov]. Saratov, Vavilov University of Genetics, Biotechnology and Engineering, pp. 643-648, EDN: DNMFMI. (In Russian).

11. Malysheva N.N., Kizinek S.V., Khadzhide A.E., Kuznetsov E.V., 2023. *Analiz i vektory razvitiya otrasli risovodstva* [Analysis and development vectors of rice industry]. *Melioratsiya i gidrotehnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 4, pp. 1-25, DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-1-25, EDN: NYDIUK. (In Russian).

12. Kharitonov E.M., Goncharova Yu. K., Zelensky G.L., 2022. *Perspektivy organicheskogo zemledeliya v otechestvennom risovodstve i importozameshcheniya dlinnozernnykh sortov risa* [Prospects for organic farming in domestic rice production and import substitution of long-grain rice varieties]. *Biologicheskie osnovy zashchity rasteniy: sb. nauch. tr. po materialam Zhuchenk. chteniy VII* [Biological Foundations of Plant Protection: Proceed. of Zhuchenko's Readings VII]. Federal Scientific Center for Biological Plant Protection. Krasnodar, Edvi Pub., pp. 248-253, EDN: QVGKIR. (In Russian).

13. Masny R.S., Vasiliev S.M., Balakai G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Yakuba S.N., Malysheva N.N., Kizinek S.V., Ponomarenko T.S., 2021. *Rekomendatsii po vodopotrebleniyu risa i soputstvuyushchikh kul'tur v risovykh sevooborotakh yuga Rossii* [Recommendations for Water Consumption of Rice and Related Crops in Rice Crop Rotations in the south of Russia]. Novocherkassk, RosNIIPM, 61 p., EDN: GFBPXB. (In Russian).

Информация об авторах

Л. М. Болдырева – доцент кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, кандидат технических наук, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), bl_lesya@mail.ru, lesenka27@mail.ru, AuthorID: 176848, ORCID: 0009-0002-0869-9859;

В. К. Печников – студент 2-го курса кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), pechnikov05@gmail.com;

Р. С. Шеламов – студент 2-го курса кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), romanselamov19@gmail.com.

Information about the authors

L. M. Boldyreva – Associate Professor, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Candidate of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), bl_lesya@mail.ru, lesenka27@mail.ru, AuthorID: 176848, ORCID: 0009-0002-0869-9859;

V. K. Pechnikov – 2nd-year Student, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), pechnikov05@gmail.com;

R. S. Shelamov – 2nd-year Student, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilina (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, st. Kalinin, 13), romanselamov19@gmail.com.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 21.04.2025; одобрена после рецензирования 23.07.2025;
принята к публикации 29.09.2025.*

*The article was submitted 21.04.2025; approved after reviewing 23.07.2025; accepted for
publication 29.09.2025.*