

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

УДК 631.62



ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДПОЧВЕННОГО ПОЛИВА

А.С. Лебедев^{1✉}, А.Е. Хаджиди¹, Т.Ю. Хаширова²¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия² Кабардино-Балкарский государственный университет; г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Аннотация. Цель исследований – изучить эффективность подпочвенного полива на моделях наклонных склонов с использованием имитатора горизонтальных скважин. Для оценки влияния различных параметров полива была разработана модель наклонного склона для экспериментов, исследованы различные режимы полива с использованием имитатора горизонтальных скважин. Измерение показателей эффективности угла наклона и уровня увлажненности почвы осуществлялось в лабораторных условиях, эксперименты проводились с использованием имитатора горизонтальных скважин; для анализа процессов увлажнения использовался метод математического моделирования, для обработки экспериментальных данных – статистические методы. Работа основана на анализе методов и способах полива на наклонных поверхностях почвогрунта. Для рассмотрения процесса подпочвенного полива были смоделированы наклонные склоны пескогрунта на лабораторной установке авторской конструкции, реализованные на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского ГАУ. На опытной лабораторной установке был проведен многофакторный эксперимент по изучению технической возможности качественного полива сельскохозяйственных культур, выращиваемых на наклонных склонах, при помощи имитаторов горизонтальных скважин, эквидистантно расположенных вниз по склону. Полученные в ходе лабораторного эксперимента данные были обработаны, на основании их анализа построены графики зависимостей расстояний проникновения воды от ее объемов при углах наклона к плоскости от 10 до 30 град. На основании анализа результатов проведенных экспериментов впервые получен график, отображающий траекторию движения оросительной воды при моделировании подпочвенного полива при помощи имитатора горизонтальной скважины, продемонстрировавший движение основного потока воды, представляющего собой траекторию ниспадающей кривой, берущей свое начало непосредственно от имитатора горизонтальной скважины и заканчивающейся у нижней его границы.

Ключевые слова: подпочвенный полив, наклонный склон, имитатор горизонтальных скважин, П-образная трубка, видеоэндоскоп

Формат цитирования: Лебедев А.С., Хаджиди А.Е., Хаширова Т.Ю. Имитационное моделирование процесса подпочвенного полива // Природообустройство. 2025. № 4. С. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

Original article

SIMULATION MODELING OF THE SUBSURFACE IRRIGATION PROCESS

A.S. Lebedev^{1✉}, A.E. Khadzhidi¹, T.Yu. Khashirova²¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 350044, Krasnodar, Kalinin str., 13, Russia² Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Chernyshevsky str., 173, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Abstract. Objective: to study the efficiency of subsurface irrigation on inclined slope models using a horizontal well simulator. To assess the influence of various irrigation parameters, an inclined slope model was developed for experiments, and various irrigation modes were investigated using a horizontal well simulator. **Materials and methods.** Measurement of the efficiency indicators of the slope angle and the soil moisture level were carried out in laboratory conditions, experiments using a horizontal

well simulator; the method of mathematical modeling was used to analyze the moisture processes; statistical methods were used to process the experimental data. This work is based on the analysis of methods and ways of irrigation on inclined surfaces of soil ground. To consider the process of subsurface irrigation, inclined slopes of sand soil were modeled on a laboratory installation of the author's design, implemented at the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply of the Kuban State Agrarian University. A multifactorial experiment was conducted on a pilot laboratory setup to study the technical feasibility of implementing high-quality irrigation of agricultural crops grown on inclined slopes using horizontal well simulators, equidistantly located down the slope. **Results.** The data obtained during the laboratory experiment were processed, and based on their analyses, graphs were constructed showing the dependences of water penetration distances on its volumes at angles of inclination to the plane from 10 to 30 degrees. **Conclusion.** Based on the analysis of the results of the experiments, a graph was obtained for the first time, displaying the trajectory of movement of irrigation water during the modeling of subsurface irrigation using a horizontal well simulator, demonstrating the movement of the main water flow, representing the trajectory of a descending curve, originating directly from the horizontal well simulator and ending at its lower boundary.

Keywords: subsurface irrigation, inclined slope, horizontal well simulator, U-shaped tube, video endoscope

Format of citation: Lebedev A.S., Khadzhidi A.E., Khashirova T.Yu. Simulation modeling of the subsurface irrigation process // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 4. P. 6-13. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-6-13>

Введение. Выращивание сельскохозяйственных структур сопряжено с рисками. В частности, урожайность в засушливые годы определяется своевременностью и достаточностью объемов воды для полива, доставляемой на поля. Если первое (своевременность полива) решается в основном организационно-логистическими методами, то с выполнением второго условия (обеспеченность необходимыми объемами поливной воды) зачастую возникают проблемы, связанные как с физическим ее дефицитом, в том числе и ввиду изменений климатических условий, так и со сложностью доставки воды на сельскохозяйственные угодья, расположенные на достаточно больших расстояниях от источников водоснабжения [1-5]. Это приобретает особо важное значение для условий выращивания сельскохозяйственной продукции на наклонных склонах, процент использования которых в сельском хозяйстве в Южном Федеральном округе достаточно велик [6, 7].

Цель исследований: изучение эффективности подпочвенного полива на моделях наклонных склонов с использованием имитатора горизонтальных скважин.

Материалы и методы исследований. Следует отметить, что организация подачи и распределения поливной воды на вершине склона представляет собой сложную техническую задачу: помимо этого, необходимо разработать комплекс мероприятий для ее удержания и равномерного распределения по всей площади склона.

В настоящее время имеется значительное количество исследований, посвященных

изучению и разработке технологий полива на наклонных поверхностях. В этом отношении следует отметить работы И.В. Шорина, Р.М. Якубова, В.В. Терлеева, Н.И. Зайковой, Н.Н. Дубенка и др. Однако проблема остается актуальной и требует дальнейшего изучения и решения [8-12].

Для решения задачи разработки технологии подпочвенного полива сельскохозяйственных структур, выращиваемых на наклонных склонах, а также с целью выявления и учета возможно большего числа влияющих на этот процесс факторов был спроектирован многофакторный лабораторный эксперимент по изучению различных вариантов применения этой технологии на лабораторной установке авторской конструкции и реализации. Многофакторный эксперимент состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 1.

В ходе исследовательской работы были определены основные факторы, оказывающие влияние на технологический процесс подпочвенного полива, а именно: угол наклона α_i ($i = 1, \dots, n$); коэффициенты проницаемости K_i ($i = 1, \dots, n$); глубина заложения скважины h_i ($i = 1, \dots, n$), см; объем воды V_i ($i = 1, \dots, n$), мл; расстояние проникновения жидкости l_i , см; измеренная влажность внутри исследуемого типа породы ϕ_i ($i = 1, \dots, n$), %; замер времени для определения показателя влажности внутри почвогрунта t_i ($i = 1, \dots, n$), мин; значения функционала, получаемые в результате проведения эксперимента (табл. 1), для $n = 3$.

Лабораторный эксперимент был подготовлен и проведен в трехкратной повторности на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного

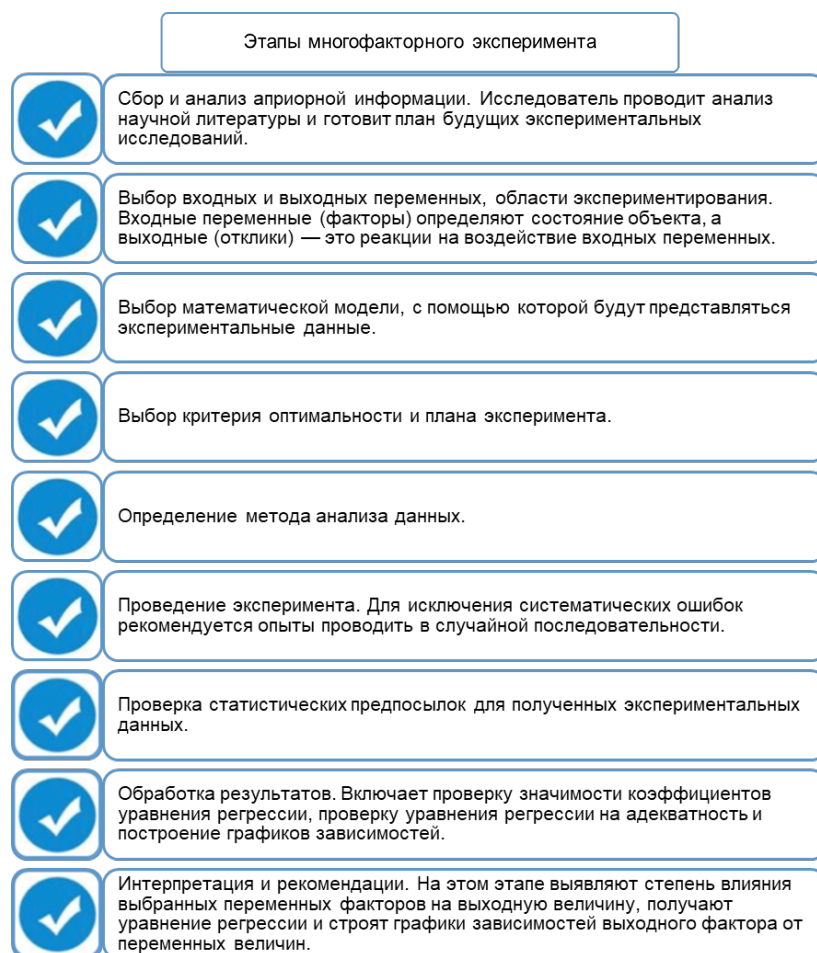


Рис. 1. Этапы многофакторного эксперимента

Fig. 1. Stages of a multifactorial experiment

водоснабжения Кубанского ГАУ на экспериментальной установке в масштабе 1 : 100. В процессе подготовки эксперимента в лабораторных условиях были выполнены работы по изготовлению действующей модели склона, позволяющей изменять значения углов его наклона к горизонту. Кроме того, на самом склоне были расположены на разных глубинах имитаторы горизонтальных скважин, что дало возможность моделировать различные варианты подпочвенного полива согласно приведенной в таблице 1 методике.

Экспериментальная установка длиной 3000 см была разделена на 3 части для возможности установки различных углов наклона (рис. 2).

Каждая часть модели была отделена от другой водонепроницаемыми пластинами из ПВХ-материала. Смоделированный угол наклона к плоскости был выполнен из ПВХ-пластин, имеющих подпоры по всей длине расположения внутри каждой модели. Сверху наклонной пластины был засыпан пескогрунт высотой 10 см. Далее внутри пескогрунта была

Таблица 1. План проведения многофакторного лабораторного эксперимента

Table 1. Plan for conducting a multifactorial laboratory experiment

Угол наклона <i>Angle of inclination</i>	Тип породы <i>Type of species</i>		K ₁ (пескогрунт) <i>K₁(sand soil)</i>		
			<i>h₁</i>	<i>h₂</i>	<i>h₃</i>
α_1			<i>V₁</i>	<i>V₂</i>	<i>V₃</i>
			<i>l₁</i>	<i>l₂</i>	<i>l₃</i>
			<i>t₁</i>	<i>t₂</i>	<i>t₃</i>
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h₁</i>	<i>h₂</i>	<i>h₃</i>
α_2			<i>V₁</i>	<i>V₂</i>	<i>V₃</i>
			<i>l₁</i>	<i>l₂</i>	<i>l₃</i>
			<i>t₁</i>	<i>t₂</i>	<i>t₃</i>
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h₁</i>	<i>h₂</i>	<i>h₃</i>
α_3			<i>V₁</i>	<i>V₂</i>	<i>V₃</i>
			<i>l₁</i>	<i>l₂</i>	<i>l₃</i>
			<i>t₁</i>	<i>t₂</i>	<i>t₃</i>
			ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
			<i>h₁</i>	<i>h₂</i>	<i>h₃</i>

заложена П-образная трубка на глубину 2 см, состоящая из двух вертикальных и одной горизонтальной перфорированной трубки, причем на горизонтальной трубке размещена перфорация на стороне в 45 град. Расстояние заложения П-образной трубки устанавливалось в соответствии с техническими требованиями и недопущением гидроразрыва и вытекания бурового раствора на поверхность пескогрунта. Для определения движения жидкости внутри пескогрунта на расстоянии 5 см от П-образной трубки была заложена внутрь наблюдательная скважина на всю глубину пескогрунта. Для удобства мониторинга движения жидкости внутри пескогрунта на наблюдательной скважине был сделан ряд рисок, длина между которыми составляет 1 см.

После размещения вышеуказанного оборудования в лабораторной установке приступили к опыту, который осуществляли с имеющегося мерного бака, заполненного водой до 1000 мл. После открытия поворотного крана вода из мерного бака начала поступать в одну вертикальную трубку системы П-образной трубки.

Измерение влажности пескогрунта осуществлялось при помощи тарированного зондового датчика, погрешность которого не превышала $3 \div 5\%$. Движение жидкости в слое пескогрунта исследовалось при помощи видеоэндоскопа, установленного в наблюдательной скважине. Измерение времени проведения каждого эксперимента осуществлялось при помощи секундомера. Время секундомера было синхронизировано с сервером точного времени NTP-сервер MSK-IX.

Результаты и их обсуждение. По описанной выше методике и в соответствии с алгоритмом эксперимента были проведены эксперименты в лабораторных условиях с заложением П-образной трубки на глубину 2 см, 4 см и 6 см, результаты которых представлены в таблице 2.

Алгоритм проведения многофакторного эксперимента [13].

Шаг 1. Выбор факторов и функции. На основании экспериментальных исследований выбор факторов, от которых зависит результирующая величина Y .

Шаг 2. Создание обобщенной формулы зависимости:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – факторы, оказывающие влияние на величину Y .

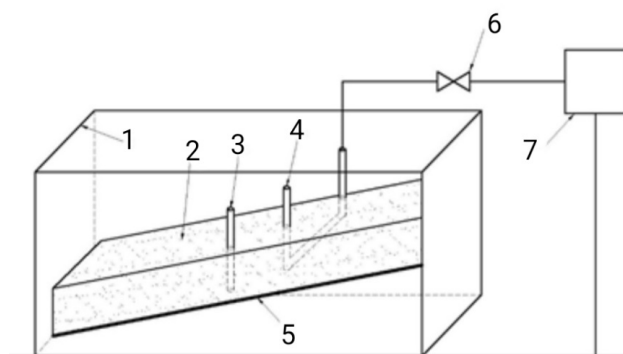


Рис. 2. Экспериментальная лабораторная установка:

- 1 – водонепроницаемая ПВХ-пластина;
- 2 – пескогрунт; 3 – наблюдательная скважина;
- 4 – П-образная трубка;
- 5 – ПВХ-пластина для создания уклона;
- 6 – кран; 7 – мерная емкость

Fig. 2. Experimental laboratory setup

- 1 – waterproof PVC plate; 2 – sand and soil;
- 3 – observation well; 4 – U-shaped tube;
- 5 – PVC plate for creating a slope; 6 – tap;
- 7 – measuring container

Шаг 3. Проверка всех факторов на значимость по методике отсеивающего эксперимента, чтобы их осталось не более 3.

Шаг 4. Определение границ изменения факторов. Значению, соответствующему нижней границе, присваивается -1 , верхней границе $+1$, среднему значению 0 . Затем нужно определить соответствующие этим факторам значения.

Шаг 5. Формирование таблицы проведения многофакторного эксперимента.

Шаг 6. Вычисление коэффициентов регрессии по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot x_i)}{n}, \quad (2)$$

где n – число опытов ($n = 15$ в трехфакторном эксперименте b_i , в четырехфакторном $n = 25$); y_i – значение функции; x_i – значение фактора.

Шаг 7. Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента. Построение таблицы результатов проверки коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

Шаг 8. Исключение из уравнения регрессии членов с незначимыми коэффициентами.

Шаг 9. Построение уравнения регрессии в кодированном виде. В общем виде для трехфакторного эксперимента уравнение имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Таблица 2. Результаты экспериментов

Table 2. Experimental results

Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 2 см <i>The depth of the U-shaped tube is 2 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	5,3	4,5	5,5
	400		5,7	5	
	600		7,5	6	
20	200		4,4	5,3	4,5
	400		6,2	6,7	
	600		8,8	9	
30	200		4,8	5	5
	400		7	6,2	
	600		9	7,3	
Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 4 см <i>The depth of the U-shaped tube is 4 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	7	3,7	6, 5
	400		13,2	6	
	600		14,1	7,5	
20	200		7,5	4,5	7,5
	400		12,9	6,4	
	600		14,1	7,5	
30	200		5,3	4,3	6,5
	400		9	5	
	600		11,5	6,6	
Угол наклона, град <i>Angle of inclination, degrees</i>	Объем жидкости, мл <i>Volume of liquid, ml</i>	Расстояние нахождения наблюдательной скважины от П-образной трубки, см <i>Distance of the observation well from the U-shaped tube, cm</i>	Глубина заложения П-образной трубки 6 см <i>The depth of the U-shaped tube is 6 cm</i>		
			Влажность, % <i>Humidity, %</i>	Расстояние прохождения жидкости, см <i>Liquid passage distance, cm</i>	Глубина проникновения воды в наблюдательную скважину, см <i>Depth of water penetration into the observation well, cm</i>
10	200	5 см	9,5	4,5	7
	400		13,7	6,5	
	600		15,3	6,5	
20	200		9,4	4	8
	400		10,4	4,5	
	600		13,7	6,3	
30	200		7,1	4,6	7, 5
	600		12,8	7,5	

Шаг 10. Проверка адекватности модели. Вычисление дисперсии адекватности $S_{ад}^2$ и значение критерия Фишера (F-критерия):

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f}; \quad (3)$$

$$f = N - p, \quad F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad (4)$$

где $\hat{y}_i$ – значение отклика, рассчитанное по построенному уравнению регрессии; f – число степеней свободы, связанное с дисперсией адекватности; p – число оцениваемых коэффициентов регрессии.

В соответствии с найденными числами степеней свободы f и $N (n-1)$ и вычисленным значением F-критерия проводится сравнение с табличным значением: если значение F-критерия не превышает табличного значения, то гипотеза об адекватности модели подтверждается.

Шаг 11. Преобразование уравнения регрессии. Для раскодирования следует использовать соотношение:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{J_j}, \quad (5)$$

где $\tilde{x}_i$ – исходное значение фактора; $\tilde{x}_{i0}$ – исходное значение уровня варьирования фактора; J_j – интервал варьирования факторов.

Шаг 12. Построение поверхностей отклика.

Шаг 13. Построение сечений поверхностей отклика.

На основании данных, приведенных в таблице 2, и в соответствии с алгоритмом проведения многофакторного эксперимента было построено уравнение зависимости расстояния проникновения воды от ее объемов при углах наклона к плоскости 10-30 град.:

$$Y = 4,57 - 0,0838x_1 + 0,0007x_2 + 0,0164x_1x_2 - 0,0009x_1x_2 + 2,2431E - 5x_2x_2. \quad (6)$$

По окончании экспериментов была выполнена оценка полученных метрик.

– Среднеквадратическая ошибка MSE:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (7)$$

где y_i – истинное значение; $\hat{y}_i$ – предсказанное значение; n – количество точек данных.

Чем ближе MSE к нулю, тем лучше модель.

– Средняя абсолютная ошибка MAE:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|. \quad (8)$$

Чем меньше MAE , тем точнее модель.

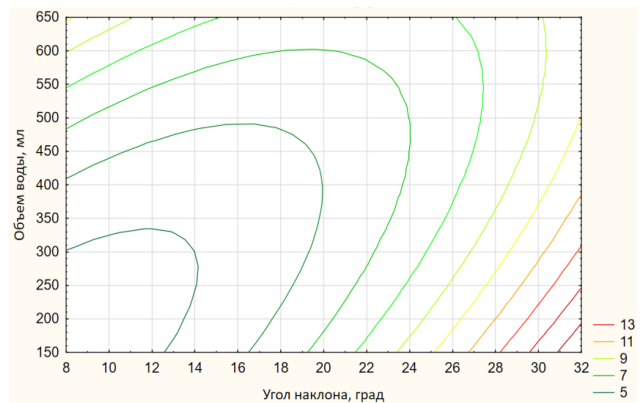
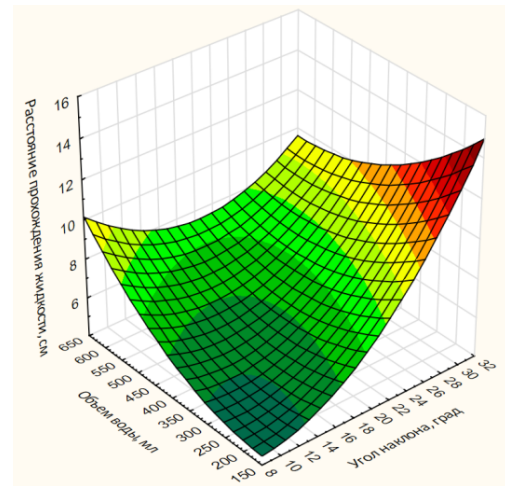


Рис. 3. Поверхности отклика и сечения поверхностей отклика, построенные для уравнения (1)

Fig. 3. Response surfaces and response surfaces sections built for equation (1)

Таблица 3. Значения метрик

Table 3. Metric values

№	Метрика / Metrics	Оценка / Evaluation
1	Среднеквадратическая ошибка MSE Mean square error MSE	0,1284
2	Средняя абсолютная ошибка MAE Mean absolute error MAE	0,3062
3	Коэффициент детерминации R ² Coefficient of determination R ²	0,9265

– Коэффициент детерминации R²:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (9)$$

где $\bar{y}$ – среднее значений истинных значений.

Значение R² характеризуется следующими условиями:

Выводы

1. На основании анализа результатов проведенных экспериментов впервые получен график, отображающий траекторию движения поливочной воды при моделировании подпочвенного полива при помощи имитатора горизонтальной скважины.

2. Полученные результаты показали, что основной поток поливочной воды в процессе своего движения имеет траекторию ниспадающей кривой, берущей свое начало непосредственно от имитатора горизонтальной скважины, далее проходящей под некоторым углом весь рассматриваемый участок

наклонного склона и заканчивающейся у нижней его границы.

3. В результате исследований установлено, что увеличение угла наклона, объема жидкости и глубины заложения П-образной трубки приводит к удлинению расстояния проникновения жидкости вдоль склона. Наибольшее расстояние проникновения воды вдоль склона для грунтов с легким механическим составом по результатам исследования происходит при сочетании максимальных значений факторов (угол наклона – 30°, объем жидкости – 600 мл, глубина трубки – 6 см), а наименьшее значение – при угле наклона 10°, объеме жидкости 200 мл, глубине трубки 2 см.

Список использованных источников

1. Храбров М.Ю. Совершенствование системы капельно-инъекционного орошения для полива овощных культур / М.Ю. Храбров, А.В. Майер // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 283-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-32.
2. Дубенок Н.Н. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Н.Н. Дубенок, Д.А. Болотин, А.А. Новиков, А.Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 83-90.
3. Штанько А.С. Геометрия корневых систем яблоневых растений, произрастающих на орошаемых склоновых землях / А.С. Штанько, Я.Е. Удовидченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 87-104.
4. Хаджиди А.Е. К вопросу повышения водообеспеченности Верхне-кубанской оросительной системы Краснодарского края / А.Е. Хаджиди, А.Е. Новиков, И. Буханиф // Природообустройство. 2024. № 1. С. 6-11. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-6-11. EDN: BWOEJU
5. Садридинов С. Развитие орошаемого земледелия на основе применения капельного орошения как новая инновационная технология / С. Садридинов, Я.Э. Пулатов // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. 2017. № 2/2. С. 86-90.
6. Шорина И.В., Макарычев С.В. Водный режим чернозема на верхней части склона в условиях алтайского приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11 (217). С. 67-71. EDN: OKECDQ
7. Якубов Р.М. Данные по изучению антропогенных воздействий на Самур-Апшеронский канал и Джейранбатанское водохранилище // Бюллетень науки и практики. 2020. № 7. С. 93-101.
8. Терлеев В.В. и др. Гистерезис водоудерживающей способности почвы: сравнение моделей на примере пылеватого суглинка // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3. С. 152-167. EDN: WHOXVS
9. Зайкова Н.И., Макарычев С.В. влагоудержания в профиле чернозема при возделывании столовой свёклы в условиях правобережья реки Оби // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 47-53.

References

1. Khrabrov M.Yu. Improvement of the drip-injection irrigation system for watering vegetable crops / M.Yu. Khrabrov A.V. Mayer // Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2024. No. 1(73). P. 283-289. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-32.
2. Dubenok N.N. Efficiency of water resources use in irrigated land / N.N. Dubenok, D.A. Bolotin, A.A. Novikov, A.G. Bolotin // Izvestiya Nizh-nevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. 2018. No. 3(51). P. 83-90.
3. Shtanko A.S. Geometry of root systems of apple plants growing on irrigated sloping lands / A.S. Shtanko Ya.E. Udovidchenko // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. No. 1(37). P. 87-104.
4. Khadjidi A.E. On the issue of increasing the water availability of the Verkhne-Kuban irrigation system of the Krasnodar Territory / A.E. Khadjidi, A.E. Novikov, I. Bukhanif // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 1. P. 6-11. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-1-6-11. EDN: BWOEJU
5. Sadridinov S. Development of irrigated agriculture based on the use of drip irrigation as a new innovative technology / S. Sadridinov Ya.E. Pulatov // Bulletin of the Tajik National Uni6. Shorina I.V., Makarychev S.V. The water regime of chernozem on the upper part of the slope in the conditions of the Altai region // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022.No. 11 (217). P. 67-71.
6. Shorina I.V., Makarychev S.V. The water regime of chernozem on the upper part of the slope in the conditions of the Altai region // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022.No. 11 (217). P. 67-71. EDN: OKECDQ
7. Yakubov R.M. Data on the study of anthropogenic impacts on the Samur-Absheron Canal and the Jeyranbatan reservoir // Bulletin of Science and Practice. 2020. No. 7. P. 93-101.
8. Terleev V.V. et al. Hysteresis of soil water retention capacity: comparison of models using the example of powdery loam // Tauride Bulletin of Agrarian Science. – 2020. No. 3. P. 152-167. EDN: WHOXVS
9. Zaikova N.I., Makarychev S.V. moisture content in the profile of chernozem during table beet cultivation on the right bank of the Ob River // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No. 3 (197). P. 47-53.

10. Дубенок Н.Н. и др. Суммарное водопотребление зерновых культур на склоновых землях Центрального района РФ и зональные биоклиматические коэффициенты // Овощи России. 2020. № 6. С. 120-125. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

11. Ламердонов З.Г. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров и варианты их практического применения / З.Г. Ламердонов, И.А. Жирикova, Т.Ю. Хаширова // Природообустройство. 2024. № 2. С. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-63-68. environment.timacad.ru

Об авторах

Александр Сергеевич Лебедев, аспирант кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения; Author ID: 1236940, ORCID: 0009-0009-8801-5066; lebedev_alex96@mail.ru

Анна Евгеньевна Хаджиди, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения; Author ID: 509767, ORCID: 0000-0002-1375-9548; dtn-khanna@yandex.ru

Татьяна Юрьевна Хаширова, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности института электроники, робототехники и искусственного интеллекта; Author ID: 466062, ORCID: 0000-0002-4584-4376; khashirova@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Лебедев А.С., Хаджиди А.Е., Хаширова Т.Ю. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 14.04.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 22.08.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 22.08.2025

10. Dubenok N.N. et al. Total water consumption of grain crops in the sloping lands of the Central region of the Russian Federation and zonal bioclimatic coefficients // Vegetables of Russia. 2020. No. 6. P. 120-125. . <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

11. Lamerdonov Z.G. Experimental studies of combined anchors and their practical application options / Z.G. Lamerdonov, I.A. Zhirikova, T.Y. Khashirova // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-63-68. environment.timacad.ru

About the authors

Alexander S. Lebedev, postgraduate student of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Author ID: 1236940, ORCID ID: 0009-0009-8801-5066; lebedev_alex96@mail.ru

Anna E. Khadzhide, DSs (Tech), Associate Professor, Head of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply; Author ID: 509767, ORCID: 0000-0002-1375-9548; dtn-khanna@yandex.ru

Tatjana Yu. Khashirova, DSs (Tech), Associate Professor, Head of the Department of computer technologies and information security of the Institute of Electronics, Robotics and Artificial Intelligence, Author ID: 466062, ORCID: 0000-0002-4584-4376; khashirova@mail.ru

Lebedev A.S., Khadzhide A.E., Khashirova T.Yu. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Lebedev A.S., Khadzhide A.E., Khashirova T.Yu. have copyright on the article and are responsible for plagiarism