

УДК 631.6.2.14.11

UDC 631.6.2.14.11

**ЛИНЕЙНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНТУРОВ  
УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ****LINEAR CONTOUR PARAMETERS HUMIDI-  
FIED AT DRIP IRRIGATION**

Обумахов Дмитрий Леонидович  
аспирант  
*Новочеркасская государственная мелиоративная  
академия, Новочеркасск, Россия*

Obumahov Dmitriy Leonidovich  
postgraduate  
*Novocherkassk State Meliorative Academy,  
Novocherkassk, Russia*

В статье рассматривается методика полевых и лабораторных исследований контуров увлажнения при капельном поливе, на основе которых были выведены зависимости определения геометрических параметров данных контуров. Таких, как глубина контура увлажнения и радиус. Описывается сопоставление расчётных результатов математических зависимостей с опытными и лабораторными данными. Материалы статьи рекомендуется использовать при проектировании капельного орошения садов, виноградников, огородов

The article considers technique of field and laboratory studies contours humidification under drip irrigation, from which they were derived depending determining of geometric parameters of these contours. Such as depth contour humidification and radius. Describes the comparison of calculated results with experimental mathematical equations and laboratory data. Materials recommended articles used in the design drip irrigation fruit and grapes gardens, vegetable gardens

Ключевые слова: КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ, КОНТУР УВЛАЖНЕНИЯ, ГЛУБИНА УВЛАЖНЕНИЯ, РАДИУС КОНТУРА, РАСХОД КАПЕЛЬНИЦЫ, ВРЕМЯ ВОДОПОДАЧИ, ВЛАЖНОСТЬ, НАИМЕНЬШАЯ ВЛАГОЁМКОСТЬ

Keywords: DRIP IRRIGATION, CONTOUR HUMIDIFICATION, DEEP HUMIDIFICATION, RADIUS CONTOUR, DRIPPER FLOW RATES, TIME WATER DELIVERY, MOISTURE, FIELD MOISTURE CAPACITY

При исследованиях контуров увлажнения, формирующихся в почвогрунтовой(ом) толще (пространстве) при капельном орошении, разными специалистами рассматриваются различные факторы влияния на их геометрические и «водораспределительные» характеристики. Среди таких факторов в известных публикациях упоминаются: регулируемые факторы, определяющие собственно капельный полив (расход или производительность капельницы –  $q_k$ , л/час), продолжительность водоподачи (полива) или «капания» –  $t_{g/n}$ , час), поливную норму – « $N_n$ », измеряемую в мм, м<sup>3</sup>/га, л/м<sup>2</sup>, л/растение); физико–механические и водно–физические характеристики почвогрунтов (плотность, пористость (скважность), наименьшая влагоёмкость –  $w_{HB}$ ), вид грунтов по гранулометрическому составу с данными по процентному содержанию в них глинистых частиц размером менее 0,01 мм) – « $V_{z/q}$ », начальная (дополивная) влажность почвы ( $\beta_n$ ), измеряемая по фактическому состоянию (в долях НВ или в % М.С.П.).

В связи с использованием в качестве фактора влияния поливной нормы отметим, что её величина определяется соотношением  $N_n = q_k \cdot t_{в/n}$ , то есть зависит от производительности (расхода) капельницы ( $q_k$ ) и продолжительности водоподачи ( $t_{в/n}$ ). При этом значения  $q_k$  и  $t_{в/n}$  могут изменяться в значительных диапазонах ( $q_k$  – в пределах от 1 л/час до 12 и даже 20 л/час, а  $t_{в/n}$  может изменяться от (1–2) часов до 12 и даже 24 часов). По этой причине одна и та же поливная норма может быть выдана капельницами разной производительности за разный временной период. Например, поливная норма в 50 литров на одну капельницу может быть выдана капельным микроводовыпуском расходом в 2 л/час за 25 часов, а с расходом в 10 литров – всего за 5 часов. При этом из-за временного фактора (продолжительности водоподачи –  $t_{в/n}$ ) к концу капельного полива можно зафиксировать разные линейные, площадные и объёмные размеры единичного контура увлажнения почвы. С учётом вышеуказанного предлагается в качестве отдельных факторов влияния на контур увлажнения рассматривать расход капельницы ( $q_k$ , л/час) и продолжительность полива водоподачи ( $t_{в/n}$ , час) в форме (« $q_k^{\alpha_1} \cdot t_{в/n}^{\alpha_2}$ »).

**Планирование экспериментов.** Основной измеряемой в опытах величиной является влажность почвы (почвогрунта) в подкапельном пространстве до полива, по окончании полива и в послеполивной период, в соответствии со значениями которой, в процессе аналитической (камеральной) обработки данных, определяются все геометрические параметры контура увлажнения и распределение уровней влажности (объёмов влаги) в его пределах.

Исследования по изучению геометрических и влажностных параметров контуров увлажнения проводились по четырём типам почв: песчаным, супесчаным, суглинистым и глинистым. Исследования контуров увлажнения проводились в натуральных и лабораторных условиях и их предваряли

исследования почв по определению их типа, на содержание в них глинистых частиц и по определению плотности, пористости и наименьшей влагоёмкости почвы.

Полевые исследования проводились на тяжёлосуглинистых чернозёмах земельного участка бывшей Персиановской ОМС НГМА, песчаных и супесчаных землях в ст. Вёшенской и глинистых почвах Цимлянского района. Средние значения физико–механических и водно–физических показателей почв приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные по основным характеристикам исследованных почв

Тип почв	Средние значения основных характеристик почв			
	плотность, г/см <sup>3</sup>	пористость, %	наименьшая влагоёмкость, % м.с.п.	содержание глинистых частиц, %
Песчаные	1,64	38	15	11
Супесчаные	1,56	37	22	18
Тяжёлосуглинистые	1,42	40	31	58
Глинистые	1,72	36	39	69

Лабораторные исследования параметров контуров увлажнения, формирующихся в почвогрунтовом пространстве при капельном поливе, проводились в специализированной лаборатории технологий полива кафедры мелиораций земель НГМА на экспериментальной установке по исследованию технологий и параметров капельного полива.

Экспериментальная установка представляет собой подключенный к водопроводной сети пластмассовый водовод, оборудованный регулируемые капельницами, монометром, вентилем, мерными сосудами, секундомером, ёмкостями для почвогрунтов и измерительной аппаратурой для замеров влажности почвогрунта. Рабочий фрагмент лабораторной установки и её конструктивно–технологическая схема приведены на рисунке 1.



1 – водовод; 2 – капельница; 3 – ёмкость для почвогрунта

Рисунок 1 – Вид рабочего фрагмента лабораторной установки

При проведении исследований контуров капельного увлажнения использовались регулируемые микроводовыпуски, позволяющие обеспечивать расход от 1 до 12 литров в час при напоре в капельном водоводе от 0,1 до 1 Па.

Для измерения влажности почвы в почвогрунтовой ёмкости использовались датчики измерения влажности почвы фирмы Decagon Devices, которые позволяют измерять объёмное содержание влаги в выборках объёмом – (0,3÷1) литра, с диапазоном измерений от 0 до 100 %, с погрешностью измерений, по сравнению с объёмно–весовым методом, до 3,4 процентов. Данные датчики влажности являются точечными, то есть могут снять показания в конкретной точке почвенной толщи. В лабораторной установке они устанавливались при заполнении ёмкости исследуемым грунтом, по сетке (10×10) см (общее количество их – 24 шт + 1 для замера влажности на поверхности).

**Методика обработки опытных данных.** Полученные в результате измерений значения влажности почвы в долях от веса сухой почвы представлялись в форме числовых матриц, примеры которых приведены на рисунке 2.

см	30	20	10	0	10	20	30
0	22,0	26,8	32,3	35,5	31,5	29,0	23,2
10	20,9	26,7	32,5	33,5	31,9	29,8	20,4
20	19,9	25,7	31,0	31,0	30,2	24,2	21,6
30	18,9	22,7	30,2	31,2	25,3	21,0	21,6
40	17,9	21,9	23,0	24,1	21,5	19,9	20,5
50	17,0	18,0	19,0	20,0	18,0	18,9	19,5
60	16,2	17,1	18,1	17,0	17,1	18,0	18,5

см	30	20	10	0	10	20	30
0	22,0	24,9	27,3	33,0	27,2	26,6	22,0
10	21,2	24,5	25,2	25,9	25,2	25,0	22,4
20	20,2	22,3	24,4	25,2	25,8	21,9	21,3
30	19,2	21,2	23,1	24,7	23,8	20,8	20,2
40	18,2	20,1	20,8	22,2	21,5	19,8	19,2
50	17,3	19,1	18,7	20,0	19,3	18,8	18,3
60	16,4	18,2	16,9	17,0	17,4	17,9	17,3

Рисунок 2 – Примеры матричного представления опытных данных по влажности почвы в процентах от веса сухой почвы

Данные по матрицам влажности почвенного пространства, измеренной в процентах от массы абсолютно сухой почвы (рисунок 2), с использованием, адаптированной к условиям опыта программы, представлялись в виде системы изолиний влажности. Примеры такого представления экспериментальных данных влажности почвы приведены на рисунке 3.

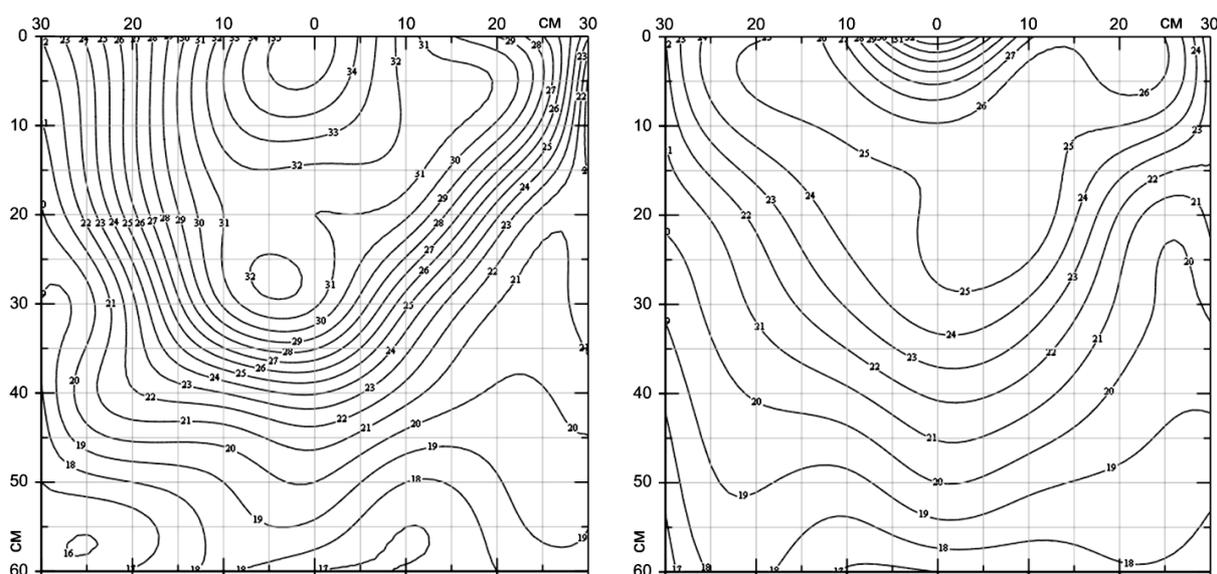


Рисунок 3 – Данные по распределению влажности почвы в подкапельном почвогрунтовым пространстве, представленные в виде изолиний влажности (изоплет) измеренной в процентах от массы сухой почвы

Приведенное на рисунке 3 представление точечного измерения влажности в подкапельном почвенном пространстве позволяет очертить внешнюю границу контура увлажнения по изоплете с заданным уровнем влажности. В качестве такой изоплеты принималась замеренная влажность почвы соответствующая её природному уровню. Таким образом, устанавливались границы увлажнения почвы при капельном поливе. На последующем этапе обработки материала строились изопьезы (изолинии влажности почвогрунтового массива в подкапельном пространстве, в долях от наименьшей влагоёмкости), примеры которых приведены на рисунке 4.

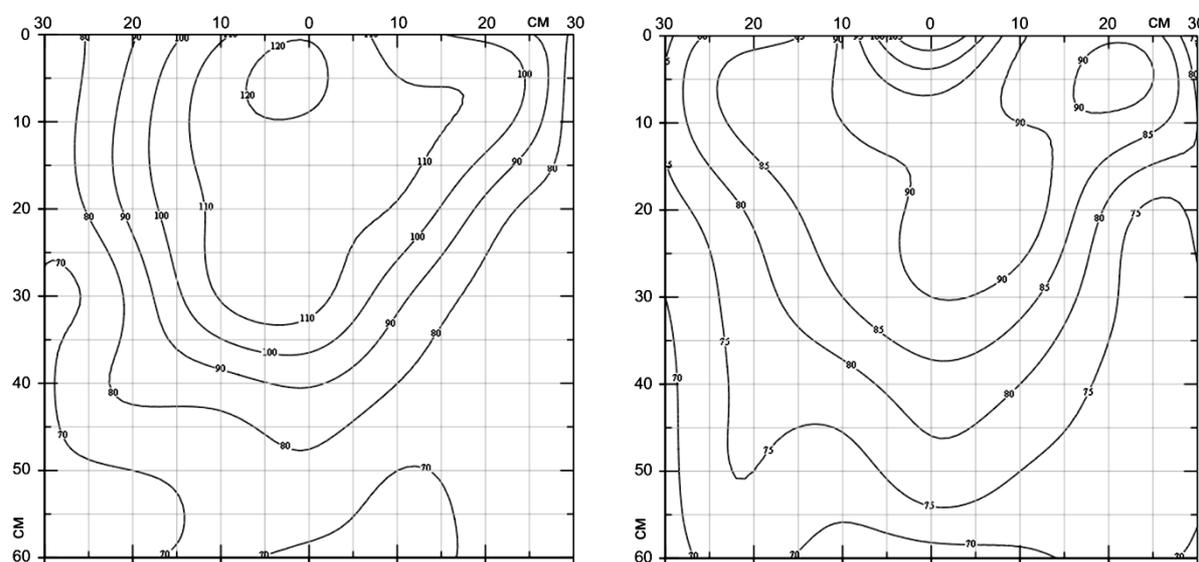


Рисунок 4 – Примеры построения изопьез

При построении изопьез использовалась, адаптированная к условиям эксперимента, программа, написанная на базе пакета Mathcad.

По матрицам значений влажности почвы в форме изоплет вычерчивались схемы профилей увлажнения с градацией уровня влажности от  $1,2 \beta_{НВ}$  до  $1,1 \beta_{НВ}$ ,  $1,0 \beta_{НВ}$  и до  $(0,8 \div 0,7) \beta_{НВ}$ . В качестве предельной граничной (ограничивающей контур) изоплеты принималась влажность соответствующая уровню законтурного пространства, то есть влажности  $\beta = \beta_n + 5\%$ . Примеры построения контуров увлажнения почвогрунта приведены на рисунке 5.

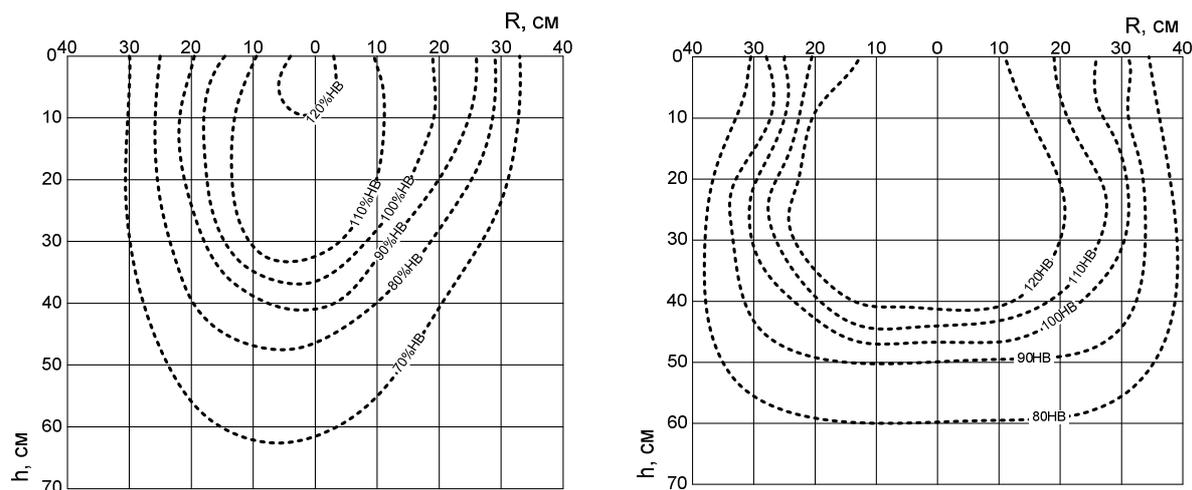


Рисунок 5 – Примеры построения контуров увлажнения при разных значениях влажности изоплет

На завершающем этапе камеральной обработки, анализа и синтеза первичных экспериментальных данных устанавливались функциональные связи между факторами влияния и искомыми определяемыми параметрами контуров увлажнения (глубины и радиуса) и устанавливались соответствующие им расчётные зависимости вида:  $h_{кон} = f(q_k; t_{в/n}; V_{з/ч}; \beta_{уз/n}; \beta_n)$  и  $r_{кон} = f(q_k; t_{в/n}; V_{з/ч}; \beta_{уз/n}; \beta_n)$ .

Пофакторный анализ опытных данных по многофункциональным связям вида  $h_{кон}$  и  $r_{кон} = f(t_{в/n}; q_k; V_{з/ч}; \beta_n$  и  $\beta_{уз/n})$  выполнен при отдельном рассмотрении каждого из факторов, тогда как все остальные факторы влияния оставались неизменными. Пример аппроксимации опытных данных глубины и радиуса контура увлажнения ( $h_{кон}$  и  $r_{кон}$ ) для вышеуказанных условий приведены на рисунках 6 и 7.

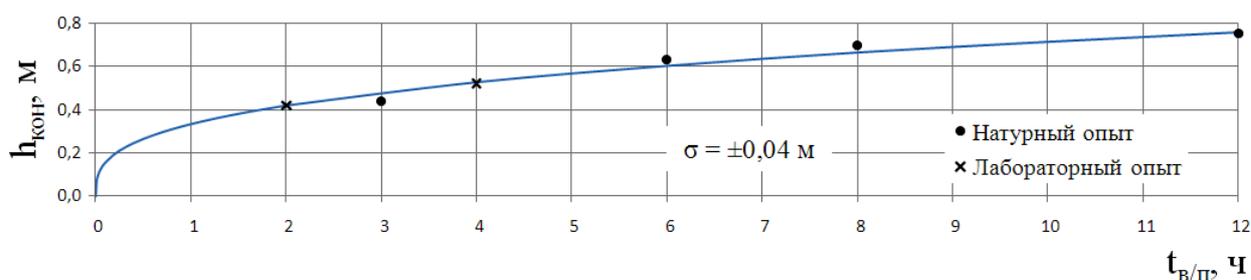


Рисунок 6 – График и опытные данные функциональной связи

$$h_{кон} = f(t_{в/n})$$

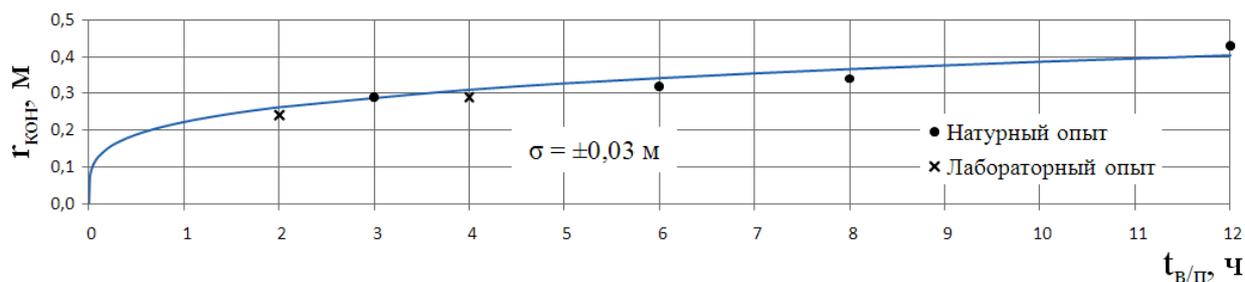


Рисунок 7 – График и опытные данные функциональной связи  $r_{кон} = f(t_{в/п})$

Оценка влияния производительности (расхода) капельницы на геометрические параметры контура увлажнения  $h_{кон}$  и  $r_{кон}$  осуществлена при постоянных значениях  $t_{в/п} = 3$  часа;  $V_{2/ч} = 55\%$ ;  $\beta_n = 0,7 \beta_{HB}$  и  $\beta_{уз/п} = 0,8 \beta_{HB}$ . Опытные данные и иллюстрирующие их функциональные связи  $h_{кон} = f_1(q_k)$  и  $r_{кон} = f_2(q_k)$  графики приведены на рисунках 8 и 9.

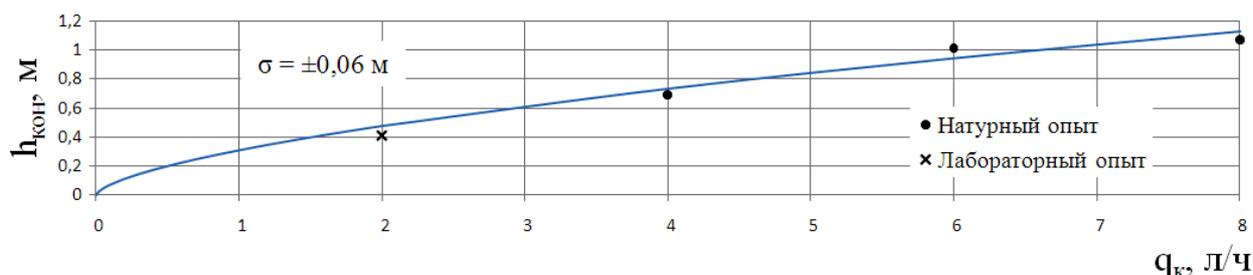


Рисунок 8 – Опытные данные и график функциональной связи  $h_{кон} = f(q_k)$

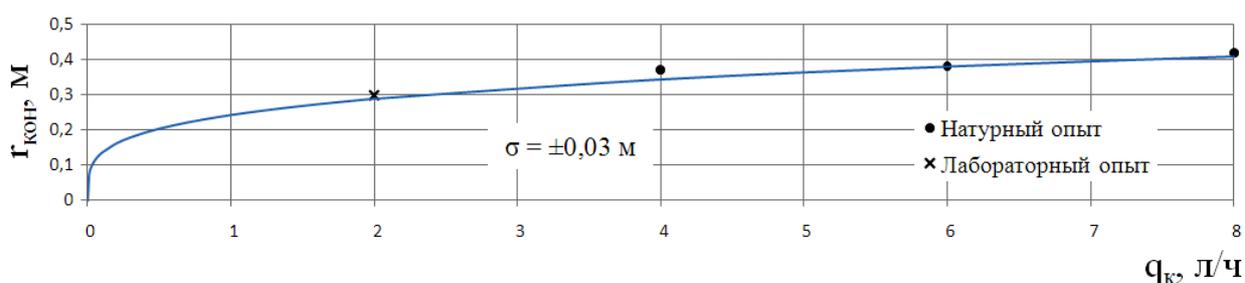


Рисунок 9 – Опытные данные и график функциональной связи  $r_{кон} = f(q_k)$

Влияние определяющей почву характеристики – процентного содержания в ней глинистых частиц ( $V_{2/ч, \%}$ ) оценивалось (исследовалось) при фиксированных значениях  $q_k = 4$  л/ч;  $t_{в/п} = 3$  часа;  $\beta_{уз/п} = 0,8 \beta_{HB}$  и  $\beta_n = 0,7 \beta_{HB}$ . Соответствующие данные опытов приведены на рисунках 10 и 11.

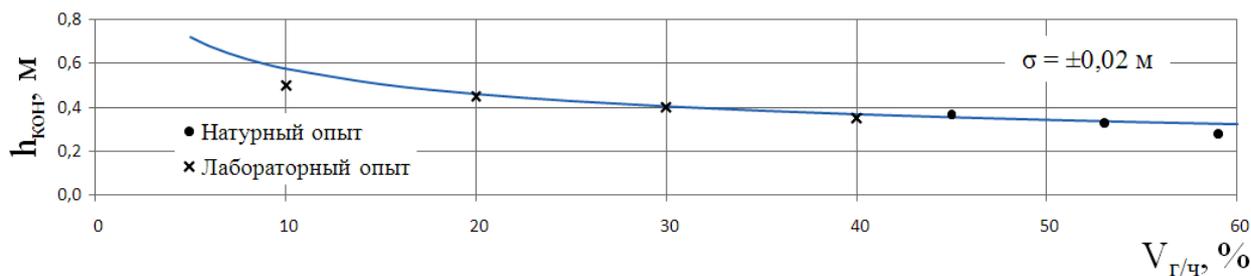


Рисунок 10 – Опытные данные и аппроксимирующая их зависимость

$$h_{конr} = f(V_{г/ч})$$

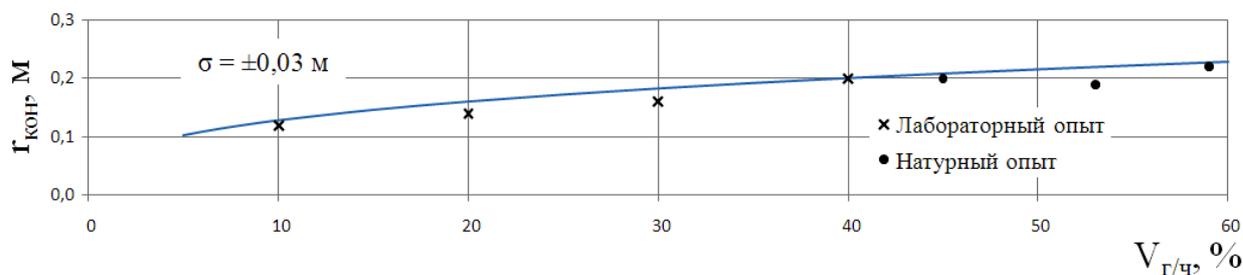


Рисунок 11 – Данные опытов по исследованию функциональной связи

$$r_{конr} = f(V_{г/ч})$$

Установленный вид функциональных связей между факторами влияния ( $q_k; t_{в/n}; V_{г/ч}; \beta_{уз/n}$  и  $\beta_n$ ) и основными геометрическими (линейными) параметрами контура увлажнения ( $h_{конr}$  и  $r_{конr}$ ) по всему банку экспериментальных данных позволили получить нижеприведенные пятифакторные математические модели, описывающие характер их взаимосвязи.

**Расчётные зависимости** по определению основных линейных параметров контуров увлажнения имеют вид:

$$h_{конr} = 0,651 \cdot q_k^{0,62} \cdot t_{в/n}^{0,33} \cdot V_{г/ч}^{0,32} \cdot \left(\frac{1}{\beta_{уз/n}}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{1,21 - \beta_{уз/n}}{\beta_{уз/n} - \beta_n}\right)^{0,1}; \quad (1)$$

$$r_{конr} = 0,039 \cdot q_k^{0,25} \cdot t_{в/n}^{0,24} \cdot V_{г/ч}^{0,32} \cdot \left(\frac{1}{\beta_{уз/n}}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{1,21 - \beta_{уз/n}}{\beta_{уз/n} - \beta_n}\right)^{0,09}. \quad (2)$$

где

$h_{конr}$  – глубина контура увлажнения в метрах;

$r_{конr}$  – максимальный радиус контура увлажнения в метрах;

$q_k$  – расход капельного микроводовыпуска в л/ч;

$t_{в/н}$  – продолжительность водоподачи в часах;

$V_{г/ч}$  – процентное содержание глинистых частиц в почве;

$\beta_{уз/н}$  – влажность изоплеты отнесённая к уровню влажности почвы

при НВ – ( $\beta_{уз/н} = 1,2; 1,1; 1,0; 0,9; 0,8; 0,7; 0,65$ )  $\beta_{НВ}$ ;

$\beta_{НВ}$  – влажность на уровне НВ, принимаемая равной 1,0;

$\beta_n$  (или  $\beta_{пр/н}$ ) – начальная (или предполивная) влажность почвы.

**Сопоставление расчёта и опытных данных.** Адекватность полученных математических моделей (1) и (2) по определению параметров контуров может быть подтверждена сопоставлением результатов расчёта с известными опытными данными. Примеры такого сопоставления рассмотрены ниже.

Результаты сопоставления расчётных значений радиуса контура увлажнения в почве при капельном поливе ( $r_{кон}$ ) по зависимости (2) с опытными данными Водяницкого В.И. и др. по [1] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные и результаты сопоставления опытных данных Водяницкого В.И. и др. [1] и расчётных значений радиуса контура увлажнения

Вид почвы	Условия проведения эксперимента и расчётов					Результаты измерений (опыта) и расчётов		
	$V_{г/ч}$ , %	$\beta_{уз/н}$	$\beta_n$	$q_k$ , л/ч	$t_{в/н}$ , ч	$r_{кон,оп}$ (м)	$r_{кон,рас.}$ (м)	отклонение, м
Тяжёло-песчаная глинистая почва	45	$0,9 \beta_{НВ}$	$0,85 \beta_{НВ}$	5	6	0,335	0,384	-0,049
				5	12	0,470	0,455	+0,015
		$0,9 \beta_{НВ}$	$0,85 \beta_{НВ}$	10	6	0,470	0,455	+0,015
				10	12	0,620	0,540	+0,080
		$0,9 \beta_{НВ}$	$0,85 \beta_{НВ}$	20	6	0,565	0,540	+0,025
Супесчаная почва	25	$0,7 \beta_{НВ}$	$0,675 \beta_{НВ}$	5	12	0,470	0,500	-0,030
				10	12	0,700	0,590	+0,110

Данные Шуравилина А.В. и др. [2] по глубине контура увлажнения («глубине промачивания») сопоставлены с расчётными значениями по

зависимости (1) при  $q_k = 1,5$  л/ч;  $V_{2/ч} = 30$  %;  $\beta_{из/н} = 0,75$  НВ;  $\beta_n = 0,70$  НВ. Результаты сопоставления приведены в таблице 3 и проиллюстрированы рисунком 12.

Таблица 3 – Данные сопоставления расчётных и опытных (по Шуравилину А.В. и др, 2013) значений глубин контура увлажнения

Вид определения глубины контура	Значения глубин контуров увлажнения («глубин промачивания») в метрах при разных значениях продолжительности водоподачи в часах					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Опытные значения	0,220	0,320	0,410	0,490	0,560	0,620
Расчётные значения	0,300	0,370	0,426	0,470	0,504	0,540

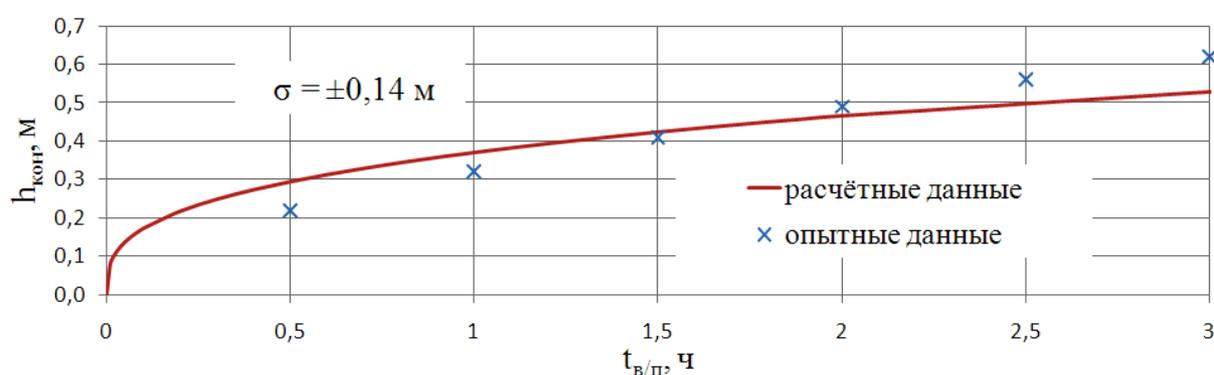


Рисунок 12 – Сопоставление опытных данных Шуравилина А.В. и др. по [2] с расчётом по зависимости (1)

Результаты сопоставления опытных данных Ясониди О.Е. [3] по исследованию контуров увлажнения и расчётных значений глубины и радиуса контура приведены на рисунках 13 и 14.

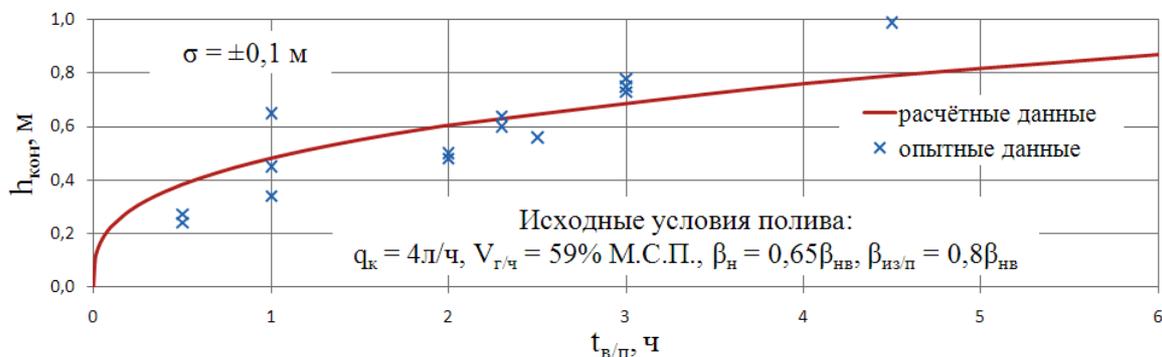


Рисунок 13 – Данные сопоставления опытных данных О.Е. Ясониди с расчётом по зависимости (1)

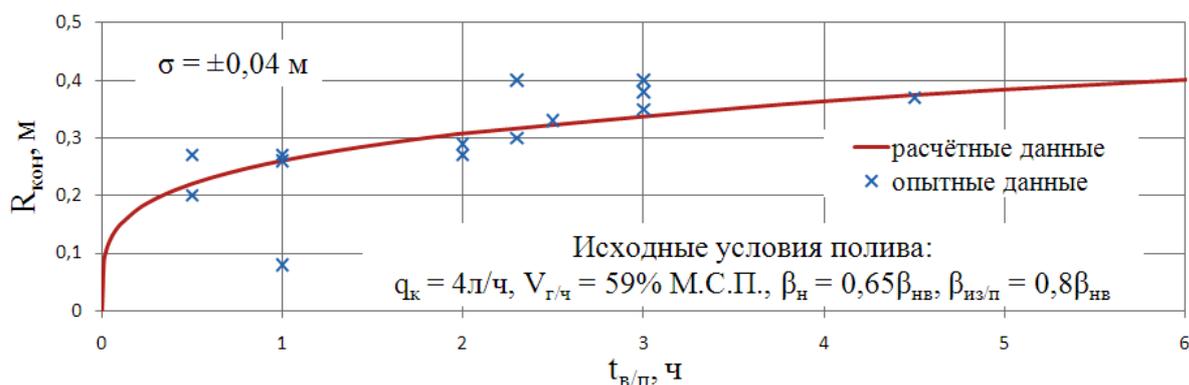


Рисунок 14 – Данные сопоставления опытных данных Ясониди О.Е. с расчётными значениями  $r_{кон}$  по зависимости (2)

Судя по приведенным на рисунках 13 и 14 данным, отклонения опытных и расчётных данных не превышают погрешности измерений, что позволяет судить о приемлемости зависимостей (1) и (2) при выполнении практических расчётов.

По результатам сопоставления данных и при других условиях проведения экспериментальных исследований позволяет отметить приемлемую для практики сходимость расчётных значений  $h_{кон}$  и  $r_{кон}$  с опытными данными О.Е. Ясониди при  $q_k = (2 \div 6)$  л/ч;  $t_{в/п} = (1 \div 6)$  часов;  $\beta_{из/п} = (0,7 \div 1,1) \beta_{HB}$  и  $V_{г/ч} = 59\%$  содержания физической глины в объёме почвенного образца.

### Литература

1. Новые способы орошения садов и виноградников / В.И. Водяницкий, П.В. Ключко, А.Д. Лянной [и др.]; под ред. В.И. Водяницкого. – Киев: Урожай, 1987. – 216 с.
2. Шуравилин А.В. Формирование контуров увлажнения при капельном орошении картофеля в супесчаных почвах с водоаккумулирующим слоем из природных материалов / А.В. Шуравилин, Т.М. Ахмед, Т.И. Сурикова // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 23–27.
3. Разработать и внедрить системы капельного орошения садов и виноградников Ростовской области (отчёт о НИР) / НИМИ; рук. О.Е. Ясониди. – Новочеркасск, 1987.
4. Голованов А.И., Кузнецов Е.В. Основы капельного орошения (теория и примеры расчётов) / А.И. Голованов, Е.В. Кузнецов – Краснодар, 1996. – 96 с.

**References**

1. Novye sposoby oroshenija sadov i vinogradnikov / V.I. Vodjanickij, P.V. Klochko, A.D. Ljannoj [i dr.]; pod red. V.I. Vodjanickogo. – Kiev: Urozhaj, 1987. – 216 s.
2. Shuravilin A.V. Formirovanie konturov uvlazhnenija pri kapel'nom oroshenii kartofelja v supeschanyh pochvah s vodoakkumulirujushhim sloem iz prirodnyh materialov / A.V. Shuravilin, T.M. Ahmed, T.I. Surikova // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 2. – S. 23–27.
3. Razrabotat' i vnedrit' sistemy kapel'nogo oroshenija sadov i vinogradnikov Rostovskoj oblasti (otchjot o NIR) / NIMI; ruk. O.E. Jasonidi. – Novocherkassk, 1987.
4. Golovanov A.I., Kuznecov E.V. Osnovy kapel'nogo oroshenija (teorija i primery raschjotov) / A.I. Golovanov, E.V. Kuznecov — Krasnodar, 1996. – 96 s.