

УДК 631.674.6

А. С. Штанько, В. Н. Шкура, Ю. Ю. Глущенко, С. М. Васильев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

РАСЧЕТ ПЛАНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЕГО ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДИАМЕТРА

Целью исследования являлось установление функциональных связей и описывающих эти связи зависимостей между значениями приповерхностного и максимального диаметров контура капельного увлажнения. При оценке качества и определении параметров контуров капельного полива почвы устанавливаются максимальные диаметры контуров, характеризующие их основные плановые размеры. Для определения этих диаметров в натуральных условиях проводятся трудоемкие измерения влажности почвы в подкапельном пространстве с отбором и обработкой значительного количества почвенных проб. В процессе исследования была выдвинута рабочая гипотеза о том, что объем опытных и камеральных работ может быть значительно уменьшен при возможности установления максимального диаметра контура по величине его диаметра, определенного в приповерхностном (5-сантиметровом) слое увлажняемой почвы. Ожидаемый результат по выдвинутой рабочей гипотезе может быть достигнут при наличии функциональных связей и описывающих эти связи зависимостей между значениями приповерхностного и максимального диаметров контура. В результате проведенного исследования установлены экспериментальные зависимости, отражающие взаимосвязи между значением максимального диаметра контура капельного увлажнения почвенного пространства и приповерхностным его значением. Полученные зависимости оценены с позиций их точности и апробированы на материалах собственных исследований и данных измерений контуров, приведенных в работах специалистов в области капельного орошения. Полученные средние отклонения опытных значений от расчетных не превышают 8,1 %. Данное обстоятельство позволяет сделать заключение о приемлемом для практического применения совпадении результатов расчета по предложенным экспериментальным зависимостям с данными обработки контуров увлажнения, полученных рядом исследователей в различных почвенных условиях проведения капельных поливов.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения, почвенные параметры, приповерхностный диаметр контура, максимальный диаметр контура.

A. S. Shtanko, V. N. Shkura, Yu. Yu. Glushchenko, S. M. Vasilyev
Russian Research Scientific Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

CALCULATION OF PLAN PARAMETERS OF SOIL MOISTURE CONTOUR AT DRIP IRRIGATION BY ITS NEAR SURFACE DIAMETER VALUE

The aim of the study was to establish the functional relationships and dependencies describing these relationships between the values of the near-surface and maximum diameters of soil drip moistening contour. When assessing the quality and determining the drip irrigation contour parameters, the maximum contour diameters characterizing their main plan dimensions are determined. To determine these diameters under field conditions, labor-

consuming measurements of soil moisture in a sub-drip space with a considerable amount of soil samples selection and handling are carried out. In the process of research, a working hypothesis that the amount of experimental and cameral work can be significantly reduced at the opportunity to determine the maximum contour diameter in terms of diameter determined in the near-surface (5 cm) layer of moistened soil was put forward. The expected result on the proposed working hypothesis can be achieved in the presence of functional relationships and describing these relationships dependencies between the values of the contour near-surface and maximum diameters. As a result of the study, the experimental dependencies reflecting the relationships between the value of the maximum diameter of the soil drip moistening contour and its near-surface value were found. The obtained dependences are estimated based on their accuracy and tested on the materials of own investigations and data of contour measurements, given in the works of experts in the field of drip irrigation. The average deviations of the experimental values from the calculated ones do not exceed 8.1 %. This circumstance makes it possible to draw a conclusion about the coincidence of the calculated results by the proposed experimental dependences with the data on moisture contour processing obtained by a number of researchers under different soil conditions for drip irrigation.

Key words: drip irrigation, moisture contour, soil parameters, near-surface contour diameter, maximum contour diameter.

Введение. Одним из определяющих технологических параметров капельного орошения растений является контур капельного увлажнения, формирующийся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе. В процессе разработки способа и технологии капельного орошения почв исследованию форм и геометрических размеров локальных контуров увлажнения почвенного пространства уделялось должное внимание. В разной степени детальности и глубины исследованиям параметров локальных контуров капельного увлажнения почв посвящены работы И. И. Азаревой, А. Д. Ахмедова, В. В. Бородычёва, В. С. Бочарникова, С. М. Васильева, М. К. Гаджиева, Д. О. Завадского, Д. Л. Обумахова, А. С. Овчинникова, А. М. Олейника, В. И. Торбовского, М. Ю. Храброва, В. Н. Шкуры, А. С. Штанько, О. Е. Ясониди и других специалистов в области капельного орошения [1–18]. С учетом сложности и разнообразности почвенных, микроклиматических, фенологических и технологических условий капельного полива большая часть известных работ, заключений и обобщений базируется на материалах экспериментальных исследований контуров увлажнения, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве. Основной объем работ по определению параметров контуров

сводится к определению влажности почвы в пределах внутри- и законтурного пространства. При этом для получения искомым геометрических и влажностных параметров контура влажность почвы только по одному его (диаметральному) сечению определяется в 100–200 точках, а для двух и трех сечений контура осуществляется отбор проб почвы более чем в 500 точках подкапельного почвенного пространства. Процессы отбора проб (измерение влажности почвы) и их обработки, последующие построения контуров увлажнения почвы, а также их камеральная обработка требуют значительных трудозатрат и времени.

Для упрощения процесса определения (прогнозирования) плановых размеров контуров выдвигались и реализовывались различные предложения, одним из которых является предложение по расчету величин максимального диаметра контура по относительно легко и просто измеряемому значению диаметра контура в приповерхностном почвенном слое (на глубине 5 см от поверхности земли) – «поверхностному диаметру». Выдвинутая рабочая гипотеза может быть реализована при условии наличия функциональной связи между приповерхностным («поверхностным») диаметром контура $d_{\text{пов}}$ и максимальным диаметром $d_{\text{кон}}$ («диаметром контура»). Данная задача (по установлению указанной функциональной связи) может быть решена на основе данных опытных измерений контуров, формирующихся в различных почвенных условиях. Выполненные для решения этой задачи измерения предусматривали определение влажности почвы в увлажняемом подкапельном пространстве по трем сечениям контуров (по рисунку 1, а) и последующее установление по их очертаниям значений $d_{\text{пов}}$ и $d_{\text{кон}}$ в соответствии с рисунками 1, б и 1, в.

В качестве почвенных характеристик, определяющих почвенные условия проведения опытных измерений контуров, рассмотрены содержание в почве физической глины $W_{\text{г/ч}}$, % от массы сухой почв (% МСП), наименьшая влагоемкость $W_{\text{НВ}}$, % МСП, и средняя скорость впитывания

воды почвой за первый час залива $\bar{V}_{\text{вп/1 час}}$, мм/мин. При обработке опытных матриц влажности почвы в подкапельном пространстве по каждому замеренному сечению контуров увлажнения устанавливались значения $d_{\text{пов}}$ и $d_{\text{кон}}$ и их соотношения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$. Почвенные характеристики и значения вышеуказанных соотношений по контурам капельного увлажнения почвы и замеренным створам (сечениям) приведены в таблице 1.

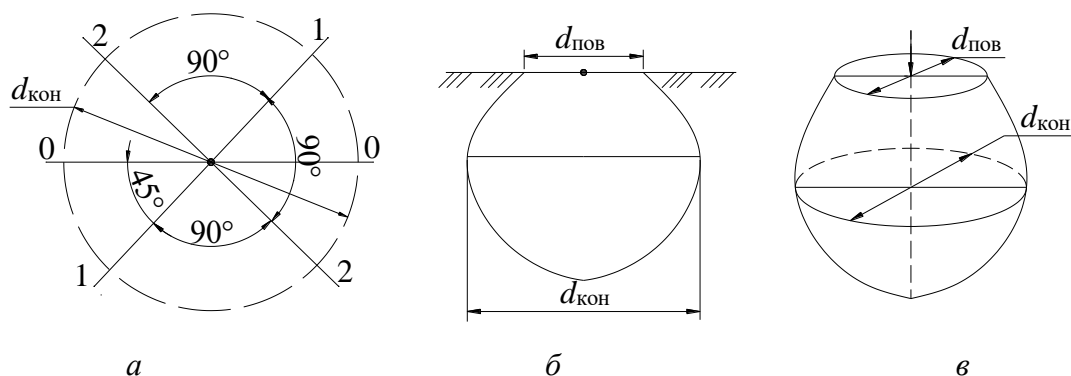


Рисунок 1 – Схемы контуров капельного увлажнения:
***a* – план контура; *б* – разрез (сечение) контура вертикальной плоскостью; *в* – аксонометрическое представление контура;**
0–0, 1–1, 2–2 – сечения (створы), в которых производятся измерения влажности почвы в подкапельном пространстве

Таблица 1 – Почвенные характеристики контуров и исходные опытные данные по их относительным параметрам

Параметр	Значение параметра									
Почвенные характеристики										
$W_{\text{г/ч}}$, % МСП	6,7	15,9	20,8	27,4	36,1	42,8	50,4	57,1	63,7	74,6
$W_{\text{нв}}$, % МСП	8,1	14,2	16,9	20,0	23,6	25,9	27,6	29,2	30,4	32,2
$\bar{V}_{\text{вп/1 час}}$, мм/мин	2,95	2,12	1,60	1,51	1,10	0,95	0,81	0,76	0,68	0,51
Значения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ по створам										
Створы «0–0»	0,92	1,21	1,30	1,32	1,26	1,40	1,79	1,77	2,16	2,08
Створы «1–1»	1,20	1,03	1,26	1,15	1,47	1,69	1,62	1,69	1,77	2,49
Створы «2–2»	1,12	1,24	1,07	1,22	1,44	1,62	1,48	1,88	1,80	2,36
Осредненные (средние) значения $(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ по контурам										
$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31

Судя по данным таблицы 1, опытные значения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$, измеренные по разным сечениям (створам) (0–0, 1–1 и 2–2) (рисунок 1), значительно отличаются от средних значений по каждому контуру. Отметим, что в реальной

практике измерений локальных контуров увлажнения по каждому отдельному контуру рассматривается только одно сечение (обычно вдоль ряда). Известны примеры измерений контуров по полуконтурам, по двум взаимно перпендикулярным створам (вдоль и поперек ряда). Известны примеры исследования двух, трех и четырех повторностей формирования локальных контуров на одном локальном капельно орошаемом участке. В зависимости от принятой схемы опытных измерений при анализе параметров контуров использовались данные единичного измерения (по одному створу – сечению) и данные осреднений по двум створам или по двум, трем и четырем повторностям локальных контуров. В связи с этим отметим, что анализ погрешностей измерений основных характеризующих контур параметров при разных значениях полуконтурных («радиусных») и полноконтурных («подиаметровых») измерений чаще всего не проводился. В результате оставалась неопределенной ошибка измерений и остается неразрешенным вопрос о необходимом количестве створов (сечений) по одному контуру или количестве измеряемых контуров (в пределах одного локального участка с предположительно однородными почвенными, рельефными и другими условиями их формирования). На частичное разрешение этих задач направлен нижеописанный анализ опытных данных, приведенных в таблице 1.

Принимая среднее значение соотношения $(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ за соответствующее «истинному», провели расчеты относительных отклонений опытных значений этого параметра по створам от среднего (таблица 2).

Таблица 2 – Данные по оценке точности опытного определения значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$

Параметр	Значение параметра										Отклонение
1	2										3
Значения относительных отклонений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$											
по створам в контурах от среднего значения											
Створ «0–0»	+14,8	+4,3	-7,4	-7,3	+9,4	+10,8	-9,8	+0,6	-13,1	+10,0	9,5
Створ «1–1»	-11,1	+11,2	-4,1	+6,5	-5,8	-7,6	+0,6	+7,5	+7,3	-7,8	7,0
Створ «2–2»	-7,3	-6,9	-11,6	+0,8	-3,6	-3,2	+9,2	-5,6	+5,8	-2,2	5,3

Продолжение таблицы 2

1	2										3
Значения относительных отклонений средних по двум створам величин $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ по контурам от среднего значения											
По створам «0–0» и «1–1»	+1,8	+3,4	-5,8	-0,8	+2,2	+1,9	-4,9	+2,8	-2,6	+1,3	2,8
По створам «0–0» и «2–2»	+5,6	-6,0	+2,5	-3,2	+2,9	+4,4	-0,6	-2,8	-3,7	+3,9	3,6
По створам «1–1» и «2–2»	-7,4	+2,6	+3,3	+4,1	-5,0	-5,1	+4,9	-0,6	+6,8	-5,2	4,5

Судя по данным таблицы 2, осредненное отклонение значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$, определенных по одному из сечений контура, от средних по опыту (среднеопытных значений по трем сечениям) составляет $\Delta_{\text{ср}} = \pm 7,3\%$ с варьированием в пределах 5,3–9,5 %. В связи с этим отметим, что ошибка практикуемых измерений параметров контуров по полу-контурам (т. е. в пределах их радиусов) реально превышает величину в 7,3 %. Это соответствует данным, приведенным в работе А. С. Штанько, Ю. Ю. Глущенко, О. В. Воронова [17]. Измерение параметров контуров по двум створам приводит к снижению отклонений от среднего до $\Delta_{\text{ср}} = \pm 3,6\%$ (с варьированием их значений от 2,8 до 4,5 %). Таким образом, ошибка измерений исследуемого соотношения зависит от количества измеряемых полуосей в контуре, что проиллюстрировано рисунком 2.

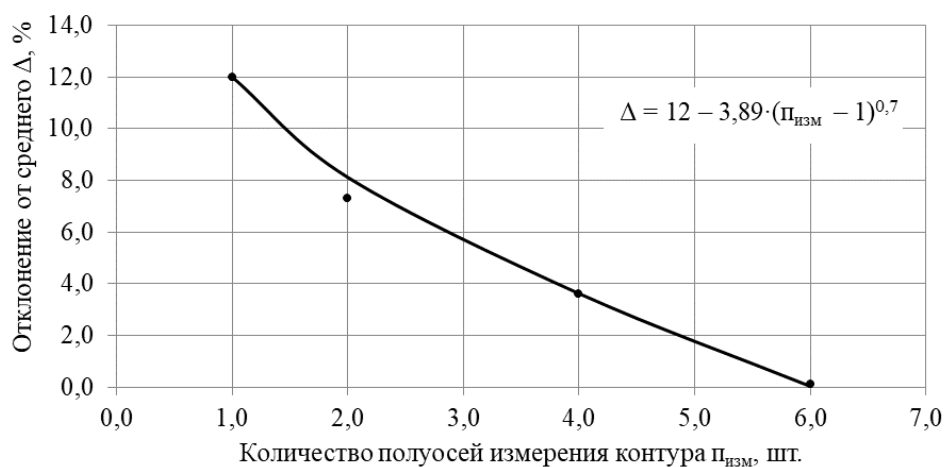


Рисунок 2 – График функциональной связи между ошибкой измерения параметров контуров увлажнения Δ и количеством измеряемых полуосей контуров $n_{\text{изм}}$ ($\Delta = f(n_{\text{изм}})$)

Приведенная на рисунке 2 функциональная связь между процентным отклонением измеренных значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ от среднего значения (определенного по шести замеренным полусечениям) и количеством измеряемых полуосей позволяет принять количество необходимых полуосей измерений в зависимости от принятого значения отклонения исследуемого параметра от «истинного». Результаты исследования средних значений отклонений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ от «истинного» (рисунок 2) позволяют использовать полученные экспериментальные данные, приведенные в таблице 1, в последующем анализе.

Результаты и обсуждение. При анализе опытных данных устанавливалось наличие функциональных связей между значениями $d_{\text{кон}}$ и $d_{\text{пов}}$ в виде: $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f_1(W_{\text{г/ч}})$; $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f_2(W_{\text{НВ}})$ и $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f_3(\bar{V}_{\text{вп/1час}})$.

В результате регрессионно-корреляционного анализа экспериментальных данных установлено наличие функциональной связи между максимальным и приповерхностным диаметрами контуров и получены описывающие их экспериментальные зависимости в нижеприведенном виде:

$$\left(\frac{d_{\text{кон}}}{d_{\text{пов}}} \right)_{W_{\text{г/ч}}} = \frac{1,05}{1,00 - 0,0068 \cdot W_{\text{г/ч}}}, \quad (1)$$

$$\left(\frac{d_{\text{кон}}}{d_{\text{пов}}} \right)_{W_{\text{НВ}}} = \frac{0,95}{1,00 - (0,001 \cdot W_{\text{НВ}}^{1,84} + 0,002 \cdot W_{\text{НВ}}^{0,45})}, \quad (2)$$

$$\left(\frac{d_{\text{кон}}}{d_{\text{пов}}} \right)_{\bar{V}_{\text{вп/1час}}} = \frac{1,00}{0,50 \cdot \bar{V}_{\text{вп/1час}}^{0,4} + 0,10 \cdot \bar{V}_{\text{вп/1час}}^{0,2} + 0,06 \cdot \bar{V}_{\text{вп/1час}}^{0,05}}, \quad (3)$$

где $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$, $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$ и $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{вп/1час}}}$ – соотношения максимального и приповерхностного диаметров контуров увлажнения, определенные по почвенным параметрам $W_{\text{г/ч}}$, $W_{\text{НВ}}$ и $\bar{V}_{\text{вп/1час}}$ соответственно.

Характер полученных зависимостей и их соответствие опытным данным проиллюстрированы рисунками 3–5.

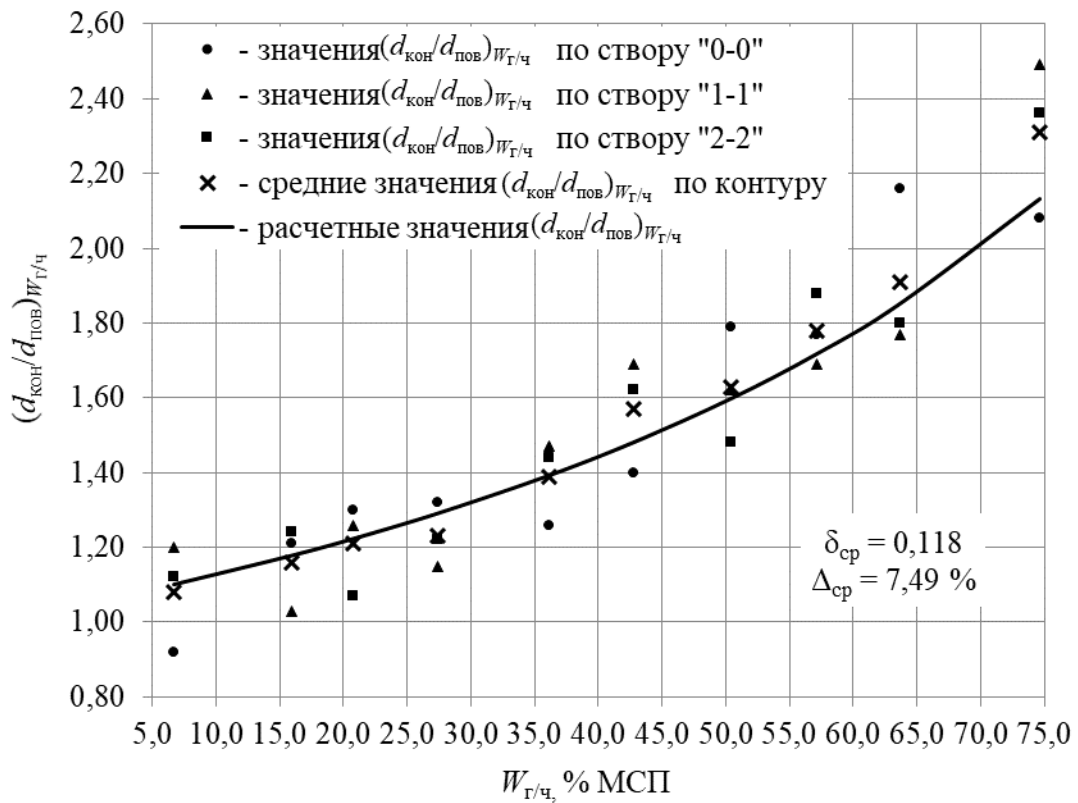


Рисунок 3 – График зависимости (1) $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f(W_{г/ч})$ и опытные данные

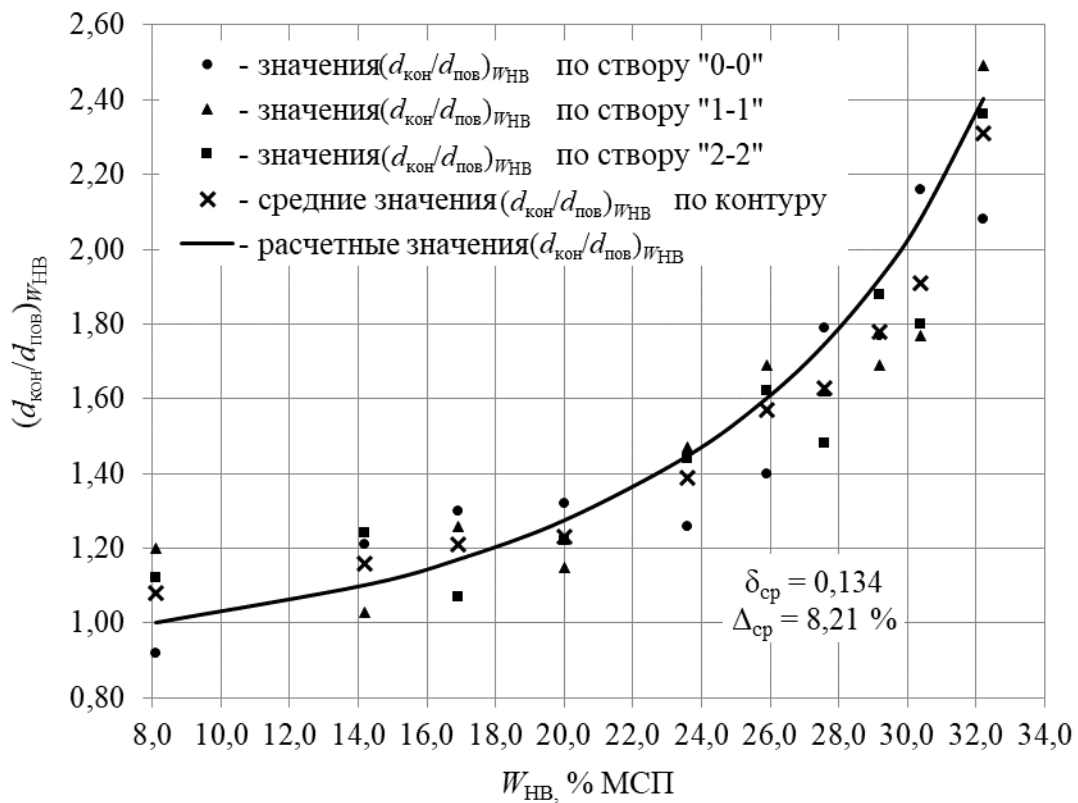


Рисунок 4 – Графическое представление опытных данных и зависимости (2) $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f(W_{нв})$

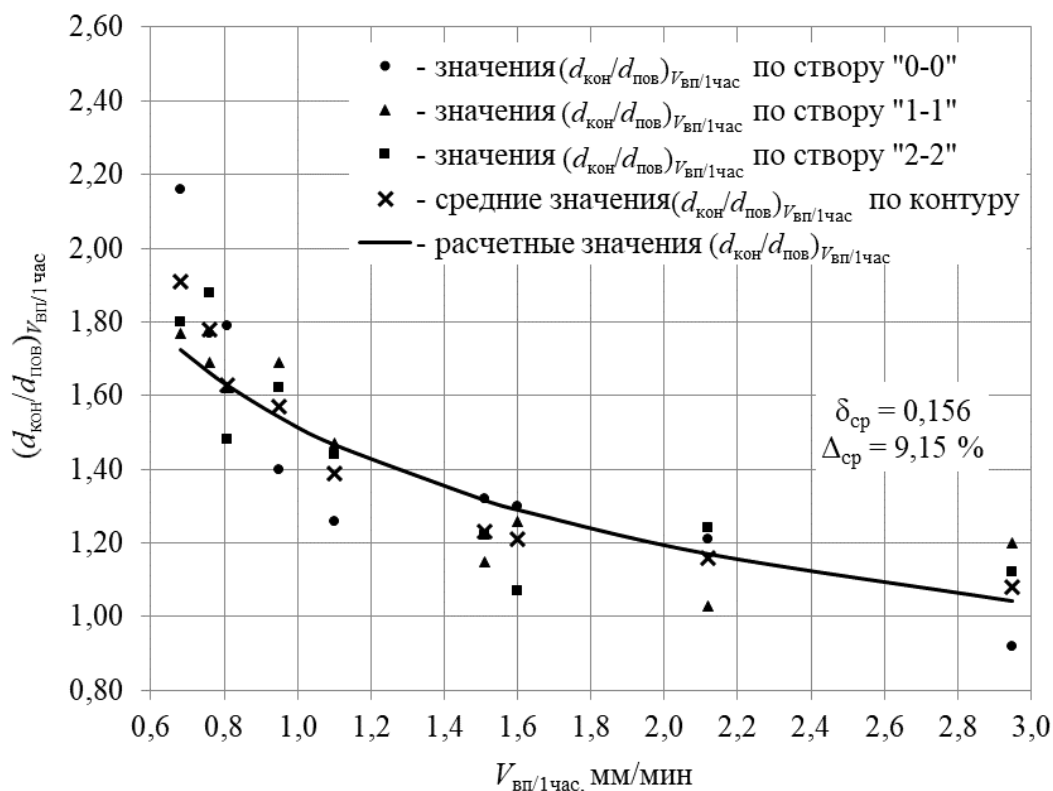


Рисунок 5 – Опытные данные и график зависимости (3)

$$d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}} = f(\bar{V}_{\text{вп/1 час}})$$

Приведенные на рисунках 3–5 опытные данные аппроксимированы зависимостями (1)–(3) со средними квадратическими отклонениями, составляющими в среднем $\delta = 0,136$, и средним отклонением $\Delta_{\text{ср}} = 8,28 \%$ с вариациями от 0,25 до 19,74 %. Несколько меньшие отклонения имеют место при сопоставлении расчетных значений $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$, $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$ и $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{вп/1 час}}}$ со средними их значениями по контурам $\overline{(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}}$, измеренными по трем сечениям (шести полуконтурам). Данные сопоставления вышеприведенных среднеопытных (по контурам) значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ с расчетными их значениями приведены в таблице 3.

В соответствии с данными таблицы 3 осредненное значение полученных по разным почвенным показателям и соответствующим им расчетным зависимостям отклонений расчетных величин $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ от опытных составляет $\Delta = \pm 4,6 \%$ с вариациями средних отклонений (по отдельным контурам и экспериментальным зависимостям) от 3,2 до 5,6 %.

Таблица 3 – Результаты сопоставления значений $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$, $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$ и $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{ви/1час}}}$ со среднеопытными значениями $(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ по контурам

Параметр	Значение параметра									
	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$	1,10	1,18	1,22	1,29	1,40	1,48	1,60	1,71	1,85	2,13
Отклонения, %	-1,8	-1,7	-0,8	-4,9	-0,7	+5,7	+1,8	+3,9	+3,1	+7,8
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$	1,01	1,10	1,17	1,21	1,44	1,61	1,75	1,92	2,08	2,40
Отклонения, %	+6,5	+5,2	+3,3	+1,5	-3,6	-2,6	-7,4	-7,9	-8,9	-3,9
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{ви/1час}}}$	1,04	1,17	1,30	1,32	1,46	1,54	1,63	1,66	1,81	1,90
Отклонения, %	+3,7	+0,9	-7,4	-7,3	-5,0	+1,9	±0,0	+6,7	+5,2	+7,8

Повысить надежность расчета (прогнозирования) и точность определения соотношений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ представляется возможным при использовании средних расчетных значений этого параметра, определенных по двум и трем почвенным характеристикам (т. е. рассчитанных как среднее по двум или трем вышеприведенным экспериментальным зависимостям) с помощью нижеприведенных соотношений:

$$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}+W_{\text{НВ}}} = 0,5 \cdot \left[(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}} + (d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}} \right], \quad (4)$$

$$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}+\bar{V}_{\text{ви/1час}}} = 0,5 \cdot \left[(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}} + (d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{ви/1час}}} \right], \quad (5)$$

$$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}+\bar{V}_{\text{ви/1час}}} = 0,5 \cdot \left[(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}} + (d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{ви/1час}}} \right], \quad (6)$$

$$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}+W_{\text{НВ}}+\bar{V}_{\text{ви/1час}}} = 0,333 \cdot \left[(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}} + (d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}} + (d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{ви/1час}}} \right]. \quad (7)$$

Результаты расчетов по вышеприведенным зависимостям (4)–(6) и данные сопоставления полученных по ним расчетных значений со среднеопытными значениями соотношения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ приведены в таблице 4.

В соответствии с данными таблицы 4 средние значения отклонений расчетных величин $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$, полученных по двум почвенным параметрам (зависимостям (4)–(6)), от среднеопытных значений $(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ составили: по $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}, W_{\text{НВ}}}$ – $\Delta = 4,2 \%$ (с вариациями от 0,7 до 15,2 %);

по $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}, \bar{V}_{\text{вп/1 час}}} - \Delta = 4,3 \%$ (с вариациями от 0,9 до 12,6 %) и по $(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}, \bar{V}_{\text{вп/1 час}}} - \Delta = 3,75 \%$ (с вариациями от 0,0 до 8,5 %). Осредненное значение отклонения расчетных (по двум почвенным характеристикам) значений соотношения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ от среднеопытных их величин составило $\Delta = \pm 4,1 \%$, что вполне приемлемо для практических расчетов.

Таблица 4 – Результаты сопоставления среднеопытных значений

$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ с расчетными значениями $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ по зависимостям (4)–(6)

Параметр	Значение параметра									
	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}, W_{\text{НВ}}}$	1,06	1,14	1,23	1,27	1,40	1,47	1,57	1,64	1,78	1,96
Отклонения, %	-1,7	-1,7	-1,6	-3,2	-0,7	+0,6	+3,7	+6,7	+6,8	+15,2
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}, \bar{V}_{\text{вп/1 час}}}$	1,07	1,18	1,26	1,31	1,43	1,51	1,61	1,68	1,83	2,02
Отклонения, %	+0,9	-1,7	-3,3	-6,5	-2,9	-3,8	+1,2	+5,6	+4,2	+12,6
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}, \bar{V}_{\text{вп/1 час}}}$	1,02	1,13	1,24	1,27	1,45	1,57	1,76	1,79	1,95	2,15
Отклонения, %	+5,6	+2,6	-2,5	-3,2	-4,3	$\pm 0,0$	-8,0	-0,7	-2,1	+8,5

Для повышения надежности и точности прогнозирования значений $d_{\text{кон}}$ по измеренной величине поверхностного диаметра рекомендуется использовать зависимость (7), предусматривающую учет трех принятых в исследовании почвенных параметров ($W_{\text{г/ч}}$, $W_{\text{НВ}}$ и $\bar{V}_{\text{вп/1 час}}$). Результаты расчета по этой зависимости и сопоставления данных расчета со среднеопытными значениями $(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты сопоставления расчетных значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$

по зависимости (7) со среднеопытными значениями

$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$

Параметр	Значение параметра									
	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(\overline{d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	1,08	1,16	1,21	1,23	1,39	1,57	1,63	1,78	1,91	2,31
$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}, W_{\text{НВ}}, \bar{V}_{\text{вп/1 час}}}$	1,05	1,15	1,23	1,27	1,43	1,54	1,66	1,76	1,91	2,14
Отклонения, %	+2,8	+0,9	-1,6	-3,2	-2,9	+1,9	-1,8	+1,1	$\pm 0,0$	+7,4

В соответствии с данными таблицы 5 осредненное отклонение расчетных значений соотношений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ от опытных составило $\Delta = \pm 2,4 \%$,

(с вариациями от 0,0 до 7,4 %), что соответствует высокому уровню точности.

Апробация зависимостей проведена сопоставлением полученных по ним расчетных значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ со значениями этого соотношения, которые были установлены в результате камеральной обработки контуров капельного увлажнения, полученных другими специалистами (И. И. Азаревой, В. С. Бочарниковым, М. К. Гаджиевым, Д. О. Завадским, Д. Л. Обумаховым, А. С. Овчинниковым, А. М. Олейником, В. И. Торбовским, О. Е. Ясониди) и опубликованных в открытой печати. Данные по почвенным условиям проведения экспериментальных измерений контуров капельного увлажнения почвы, полученные другими исследователями, опытные и расчетные значения $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$, установленные по одному, двум или трем параметрам, приведены в таблице 6.

Приведенные в таблице 6 данные проиллюстрированы рисунком 6.

Таблица 6 – Результаты сопоставления расчетных и опытных значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$ (по материалам специалистов-«капельщиков»)

Источник информации	Почвенная характеристика			$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	Расчетное значение $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$				Отклонение, %
	$W_{\text{г/ч}}$	$W_{\text{НВ}}$	$V_{\text{вп/1час}}$		по $W_{\text{г/ч}}$	по $W_{\text{НВ}}$	по $V_{\text{вп/1час}}$	среднее	
[8]	46,3	22,5	2,6	1,24	1,53	1,39	1,09	1,34	-8,1
[9]	67,5	26,7	0,7	2,05	1,94	1,67	2,00	1,87	+8,8
[6, 11]	48,6	25,3	–	1,58	1,57	1,56	–	1,56	+0,9
[10, 16]	14,8	16,2	2,8	1,19	1,17	1,15	1,06	1,13	+5,0
[18]	37,5	23,0	–	1,34	1,41	1,41	–	1,41	-5,2
[13]	47,5	25,0	–	1,52	1,55	1,53	–	1,54	-1,3
[10, 16]	30,0	19,2	2,0	1,30	1,26	1,38	1,19	1,28	+1,5
[14]	65,0	28,0	–	1,92	1,88	1,76	–	1,83	+4,7
[1–3]	–	28,6	–	1,85	–	1,85	–	1,85	0,0

По данным, приведенным в таблице 6 и на рисунке 6, можно сделать заключение о приемлемом для практического применения совпадении результатов расчета по предложенным экспериментальным зависимостям с данными обработки контуров увлажнения, полученных рядом исследователей в различных почвенных условиях проведения капельных поливов.

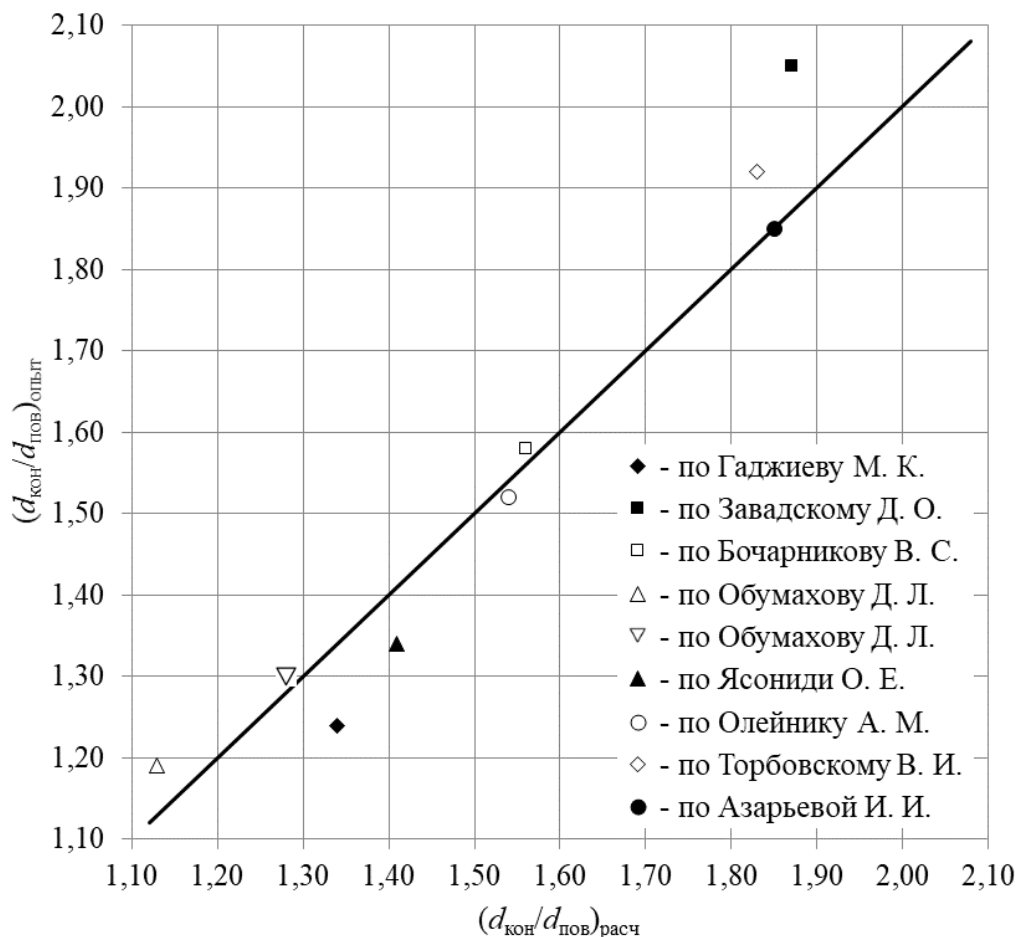


Рисунок 6 – Данные сопоставления расчетных значений $(d_{кон}/d_{пов})_{расч}$ с опытными значениями $(d_{кон}/d_{пов})_{опыт}$ по контурам, полученным разными специалистами

Выводы

1 Определение значений диаметров контуров капельного увлажнения почвы для различных природных и технологических условий полива является необходимым условием качественного проектирования и эффективной эксплуатации капельных оросительных систем. Применяемые способы его определения трудоемки и времязатратны. В ряде случаев значения $d_{кон}$ могут быть спрогнозированы и определены расчетом по легко устанавливаемым значениям диаметров контуров в приповерхностном («поверхностном») слое почвы при наличии функциональной связи между этими параметрами и экспериментальных зависимостей, ее описывающей. Установление указанных связей и соответствующих им экспериментальных зависимостей и было определено целью научного исследования.

2 В результате проведенного исследования для различных почвенных условий капельного орошения установлено наличие функциональных связей между такими параметрами контуров увлажнения, как максимальный (внутрипочвенный) диаметр контура и диаметр контура в приповерхностном (поверхностном) почвенном слое. Полученные экспериментальные зависимости оценены с позиций их точности и апробированы на материалах собственных исследований и данных измерений контуров, приведенных в работах специалистов в области капельного орошения.

3 В результате сопоставления значений $d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}}$, рассчитанных по предложенным зависимостям, со значениями этого соотношения, которые были получены в результате анализа контуров капельного орошения, установленных другими авторами, выявлено, что отклонения расчетных от опытных значений составляют от 0,0 до 8,1 %. Данное обстоятельство позволяет сделать заключение о приемлемом для практического применения совпадении результатов расчета по предложенным экспериментальным зависимостям с данными обработки контуров увлажнения, полученных рядом исследователей в различных почвенных условиях проведения капельных поливов.

4 Использование установленных зависимостей для различных почвенных условий позволяет определять (прогнозировать) плановые размеры локальных контуров капельного увлажнения почв и более чем в три раза уменьшать объемы измерительных и камеральных работ при прогнозировании величины максимального диаметра контуров увлажнения, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе.

Список использованных источников

1 Азарьева, И. И. Совершенствование технологии капельного орошения томатов на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Азарьева Инесса Ильясфовна. – Волгоград, 2010. – 23 с.

2 Овчинников, А. С. Особенности распространения влаги в контуре увлажнения при капельном орошении / А. С. Овчинников, И. И. Азарьева // Плодородие. – 2010. – № 2. – С. 29–30.

3 Овчинников, А. С. Водный режим почвы и геометрические параметры контура увлажнения при возделывании посевных томатов / А. С. Овчинников, И. И. Азарьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 1. – С. 24–27.

4 Ахмедов, А. Д. Контурные увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.

5 Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В. В. Бородычев. – Волгоград: Инлайт, 2010. – 241 с.

6 Бочарников, В. С. Научно-экспериментальное обоснование повышения эффективности технологических средств локального орошения в овощеводстве открытого и закрытого грунта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Бочарников Виктор Сергеевич. – Волгоград, 2016. – 39 с.

7 Васильев, С. М. Расчет диаметра контура капельного увлажнения по поверхностному его значению [Электронный ресурс] / С. М. Васильев, А. А. Куприянов // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель юга России: Всерос. науч.-практ. интернет-конф., г. Новочеркасск, 3 окт. – 30 нояб. 2017 г. / НИМИ ДГАУ. – 9 с. – Режим доступа: <http://87.117.2.46:8070/konf/melioracia/index.php>.

8 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1984. – 24 с.

9 Завадский, Д. О. Капельное орошение молодого яблоневого сада и виноградников в условиях центральной зоны Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Завадский Дмитрий Олегович. – Новочеркасск, 1991. – 28 с.

10 Обумахов, Д. Л. Расчетный метод определения геометрических параметров корневой системы яблони для обоснования способов полива / Д. Л. Обумахов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 1(13). – С. 109–119. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec232-field6.pdf.

11 Овчинников, А. С. Методика расчета и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков // Природообустройство. – 2012. – № 5. – С. 16–19.

12 Ovchinnikov, A. S. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse / A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, M. P. Meshcheryakov // Environmental Engineering. – 2012. – № 4. – P. 29.

13 Олейник, А. М. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении / А. М. Олейник, М. К. Гаджиев // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

14 Торбовский, В. И. Режим и техника капельного орошения малины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Торбовский Василий Иванович. – Новочеркасск, 1992. – 24 с.

15 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

16 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

17 Штанько, А. С. Оценка точности аппроксимации положения изоплет локальных контуров увлажнения при капельном поливе / А. С. Штанько, Ю. Ю. Глущенко, О. В. Воронов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электрон-

ный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 69–86. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf.

18 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

References

1 Azar'eva I.I., 2010. *Sovershenstvovanie tekhnologii kapel'nogo orosheniya tomatov na svetlo-kashtanovykh pochvakh Nizhnego Povolzh'ya. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Technological development of drip irrigation of tomatoes on light-chestnut soils of the Lower Volga region. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Volgograd, 23 p. (In Russian).

2 Ovchinnikov A.S., Azar'eva I.I., 2010. *Osobennosti rasprostraneniya vlagi v konture uvlazhneniya pri kapel'nom orosheni* [Peculiarities of the moisture dispersal in moisture contour under drip irrigation]. *Plodorodie* [Fertility], no. 2, pp. 29-30. (In Russian).

3 Ovchinnikov A.S., 2010. *Vodnyy rezhim pochvy i geometricheskie parametry kontura uvlazhneniya pri vzdelyvanii posevnykh tomatov* [The water regime of the soil and the geometric parameters of moisture contour by the cultivation of sowing tomatoes]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 1, pp. 24-27. (In Russian).

4 Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Soil moisture contours during drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 3, pp. 183-188. (In Russian).

5 Borodychev V.V., 2010. *Sovremennye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* [Modern technologies of drip irrigation of vegetable crops]. Volgograd, Inlayt Publ., 241 p. (In Russian).

6 Bocharnikov V.S., 2016. *Nauchno-eksperimental'noe obosnovanie povysheniya effektivnosti tekhnologicheskikh sredstv lokal'nogo orosheniya v ovoshchevodstve otkrytogo i zakrytogo grunta. Avtoreferat diss. kand. techn. nauk* [Scientific-experimental substantiation of increasing the efficiency of technological means of local irrigation in vegetable growing of open and closed ground. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Volgograd, 39 p. (In Russian).

7 Vasil'ev S.M., Kupriyanov A.A., 2017. *Raschet diametra kontura kapel'nogo uvlazhneniya po poverkhnostnomu ego znacheniyu* [Calculation of the moisture contour diameter under drip irrigation by its surface value]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Puti povysheniya effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti melioratsiy zemel' yuga Rossii: Vseros. nauchno-prakticheskoy internet-konf., g. NovoCherkassk, 3 okt. – 30 noyab. 2017* [Irrigation and Water Management. Ways of Increasing the Efficiency and Environmental Safety of Land Reclamation in Southern Russia: All-Russian Scientific-Practical Internet Conference, NovoCherkassk, 3 October – 30 Nov. 2017]. NIMI DGAU. 9 p., available: <http://87.117.2.46:8070/konf/melioracia/index.php>. (In Russian).

8 Gadzhiev M.K., 1984. *Osobennosti kapel'nogo orosheniya vinogradnikov v usloviyakh Dagestanskoj ASSR. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Peculiarities of drip irrigation of vineyards under the conditions of the Dagestan ASSR. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. NovoCherkassk, 24 p. (In Russian).

9 Zavadskiy D.O., 1991. *Kapel'noe oroshenie molodogo yablonevogo sada i vinogradnikov v usloviyakh tsentral'noy zony Krasnodarskogo kraja. Avtoreferat diss. kand. techn. nauk* [The drip irrigation of the young apple orchard and grapes in the central zone of Krasnodar Territory. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. NovoCherkassk, 28 p. (In Russian).

10 Obukhakhov D.L., 2014. *Raschetnyy metod opredeleniya geometricheskikh parametrov kornevoy sistemy yabloni dlya obosnovaniya sposobov poliva* [A calculation method for determining the geometric parameters of the apple root system to substantiate irrigation

methods]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII Problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(13), pp. 109-119, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec232-field6.pdf. (In Russian).

11 Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. *Metodika rascheta i obosnovanie parametrov kontura uvlazhneniya v usloviyakh otkrytogo i zakrytogo grunta* [The calculation method and substantiation of the contour of moistening parameters under the conditions of the open and closed ground]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 16-19. (In Russian).

12 Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M.P., 2012. *Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse* [Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse]. [Environmental Engineering], no. 4, 29 p. (In Russian).

13 Oleinik A.M., Gadzhiev M.K., 1984. *Kharakter formirovaniya konturov uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [The nature of soil moisture contours formation under drip irrigation]. *Rezhimy orosheniya i vodopotreblenie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na Severnom Kavkaze: sb. nauch. tr.* [Irrigation Regimes and Water Consumption of Crops in the North Caucasus: Proceed.]. YuzhNIIGiM, Novocherkassk, pp. 129-133. (In Russian).

14 Torbovskiy V.I., 1992. *Rezhim i tekhnika kapel'nogo orosheniya maliny. Avtoreferat diss. kand. techn. nauk* [The regime and technique of drip irrigation of raspberries. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Novocherkassk, 24 p. (In Russian).

15 Khrabrov M. Yu., 1999. *Raschet rasprostraneniya vlagi v pochve pri kapel'nom oroshenii* [Calculation of moisture dispersal in the soil under drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 34-35. (In Russian).

16 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapel'noe oroshenie yablo-ni: monografiya* [Drip irrigation of apple trees: monograph]. Novocherkassk, Lick Publ., 310 p. (In Russian).

17 Shtan'ko A.S., Glushchenko Yu.Yu., Voronov O.V., 2017. *Otsenka tochnosti ap-proksimatsii polozeniya izoplet lokal'nykh konturov uvlazhneniya pri kapel'nom polive* [Estimation of the accuracy of the approximation of the isopleths position of local moisture contours under drip irrigation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(26), pp. 69-86, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf. (In Russian).

18 Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie: monografiya* [Drip irrigation: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy. Novocherkassk, Lick Publ., 322 p. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шкура Виктор Николаевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: начальник отдела рыбоводных мелиораций и аквакультур

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shkura Viktor Nikolaevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Head of Department

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Глущенко Юлия Юрьевна

Должность: инженер-исследователь

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Glushchenko Yulia Yuryevna

Position: Research Engineer

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Васильев Сергей Михайлович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: заместитель директора по науке

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Sergey Mikhaylovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Deputy Director of Science

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru