

УДК 631.674.6

Ю. Ю. Глущенко, А. С. Штанько, В. Н. Шкура

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА КОНТУРА КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ

Цель исследования состоит в установлении наличия функциональной связи и описывающих ее экспериментальных зависимостей между значениями поверхностного и среднего диаметров контуров увлажнения почвенного пространства, формирующихся при капельном поливе. Достижение поставленной цели позволит предложить экспресс-метод определения (прогнозирования) величины средних диаметров контуров капельного увлажнения по известным значениям поверхностных диаметров при минимальных затратах труда и времени. В результате исследования получены экспериментальные зависимости, которые описывают соотношение среднего и поверхностного диаметров контуров увлажнения, формирующихся в различных почвенных условиях. Статистическая оценка экспериментального материала и данных сопоставления расчетных и опытных значений указанного соотношения диаметров контуров влажности почвы показала приемлемость установленных зависимостей для практического использования. Предложенный по результатам исследования экспресс-метод прогнозирования размера среднего диаметра контура влажности позволяет более чем в три раза уменьшить трудоемкость процесса его определения (по поверхностному) без снижения точности установления его значения.

Ключевые слова: капельный полив, контур увлажнения, контур влажности, размер контура, почвенные параметры, поверхностный диаметр контура, средний диаметр контура.

Yu. Yu. Glushchenko, A. S. Shtanko, V. N. Shkura

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

EXPRESS METHOD OF DETERMINING THE AVERAGE SOIL MOISTURE CONTOUR DIAMETER AT DRIP IRRIGATION

The aim of the study is to find out the functional connection and the experimental dependences describing it, between the values of the surface diameter and the average moisture contours diameters of the soil space formed during drip irrigation. Achieving this goal will make it possible to propose the express method for determining (predicting) the average drip moistening contours diameters according to the known values of surface diameters with minimal labor costs and time consumption. As a result of the study, experimental dependences describing the ratio of the average and surface moisture contours diameters formed under different soil conditions were obtained. A statistical assessment of the experimental material and data comparing the calculated and experimental values of the given ratio of soil moisture contour diameters showed the acceptability of found dependencies for practical use. The express method of predicting the size of the average moisture contour diameter suggested by the results of the study allows to reduce the complexity of the process of its determining (along the surface) without reducing the accuracy of establishing its value more than three times.

Key words: drip irrigation, moisture contour, humidity contour, contour size, soil parameters, surface contour diameter, average contour diameter.

Введение. При проектировании и эксплуатации систем капельного орошения в качестве определяющего измерителя рассматривается контур влажности (увлажнения) почвы, формирующийся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе. Одним из определяемых и используемых в расчетах геометрических параметров контура является его средний диаметр, величина которого используется при расчете поливных норм. В реальной практике величина среднего по глубине контура диаметра определяется по данным многочисленных измерений влажности почвы в подкапельной зоне ее увлажнения и построенному (по этим данным) вертикальному профилю контура (его сечению вертикальной плоскостью, проходящей через ось капания). Процесс проведения измерений влажности почвы в зоне увлажнения и последующей их обработки требует значительных затрат труда и времени, тогда как оценка качества полива, определение постполивной влажности почвы, принятие решений о проведении очередных поливов и определение поливных норм требуют определенной оперативности.

Необходимость определения объемов увлажняемых при капельном поливе почвенных пространств и использования при их расчетах средних диаметров контуров отмечена в работах О. Е. Ясониди, М. К. Гаджиева, О. Н. Карпенко, В. И. Торбовского, В. Н. Шкуры, А. С. Штанько и других исследователей [1–6]. Судя по приведенным в указанных публикациях данным, средние диаметры контуров их авторами определились по трудозатратным методикам (деление профиля контура на несколько сечений по его глубине или определение площади вертикального сечения контура с последующим вычислением среднего диаметра). В связи с этим и указанным выше обстоятельством поиск способов оперативного и малозатратного определения значений средних диаметров контуров капельного увлажнения почвы является актуальным.

В процессе поиска приемлемого способа определения среднего диаметра контура с малыми затратами времени и труда была выдвинута рабочая гипотеза о возможности расчетного определения величины $d_{\text{ср}}$ по измеренному значению поверхностного диаметра контура $d_{\text{пов}}$. При разработке гипотезы было очевидно, что реалистичность ее реализации определяется наличием функциональной связи и описывающих ее экспериментальных зависимостей между значениями рассматриваемых диаметров $d_{\text{ср}}$ и $d_{\text{пов}}$, это и было определено основной целью аналитического исследования.

Материалы и методы. Для исследования было выбрано 10 типичных контуров капельного увлажнения различных типов почв. В качестве определяющего параметра было выбрано соотношение $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$, а в качестве факторов влияния – почвенные параметры: $W_{\text{г/ч}}$ – содержание в почве глинистых частиц, определяемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП), $W_{\text{нв}}$ – наименьшая влагоемкость почвы в пределах увлажняемого слоя (% МСП) и $(\bar{V}_{\text{вп}})_{\text{час}}$ – средняя скорость впитывания воды почвой за первый час наблюдений (залива), мм/мин (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по значениям почвенных параметров

Параметр	Значение параметра									
$W_{\text{г/ч}}$, % 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
$(\bar{V}_{\text{вп}})_{\text{час}}$, мм/мин	2,95	2,12	1,60	1,51	1,10	0,95	0,81	0,76	0,68	0,51

Соотношения $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ определялись по сечениям 1, 2 и 3 одного контура увлажнения, по которым, в свою очередь, устанавливались их средние значения $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$.

На предварительной стадии исследования была сделана оценка качества исход-

ных опытных данных, в процессе которой определялись отклонения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ по каждой повторности измерений от среднего значения этого соотношения по контуру, определенного по трем сечениям $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$, и среднего значения по двум повторностям от $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ (таблица 2).

Таблица 2 – Опытные значения по повторностям (сечениям 1, 2 и 3) измерений параметров контура $d_{\text{ср}}$ и $d_{\text{пов}}$ и их соотношения $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$

Параметр	Значение параметра										Среднее
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_1$	0,82	0,94	0,94	0,99	0,98	1,07	1,36	1,14	1,28	1,30	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_2$	0,67	0,90	0,78	1,01	1,12	1,13	1,12	1,32	1,38	1,36	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_3$	0,61	0,83	0,98	0,94	0,99	1,07	1,18	1,38	1,24	1,39	-
$(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35	-
$\Delta_{1(\text{к среднем})}, \%$	-17,1	-5,6	-4,4	-1,0	4,9	1,8	-11,5	10,9	1,5	3,7	6,3
$\Delta_{2(\text{к среднем})}, \%$	4,3	-1,1	13,3	-3,1	-8,7	-3,7	8,2	-3,1	-6,2	-0,7	5,2
$\Delta_{3(\text{к среднем})}, \%$	12,9	6,7	-8,9	4,1	3,9	1,8	3,3	-7,8	4,6	-3,0	5,7
$(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,2}$	0,75	0,92	0,86	1,00	1,05	1,10	1,24	1,23	1,33	1,33	-
$\Delta_{1,2(\text{к среднем})}, \%$	-6,43	-3,37	4,44	-2,04	-1,94	-0,92	-1,64	3,91	-2,31	1,48	2,8
$(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,3}$	0,72	0,89	0,96	0,97	0,99	1,07	1,27	1,26	1,26	1,35	-
$\Delta_{1,3(\text{к среднем})}, \%$	-2,1	0,6	-6,7	1,5	4,4	1,8	-4,1	1,6	3,1	0,4	2,6
$(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{2,3}$	0,64	0,87	0,88	0,98	1,06	1,10	1,15	1,35	1,31	1,38	-
$\Delta_{2,3(\text{к среднем})}, \%$	8,6	2,8	2,2	0,5	-2,4	-0,9	5,7	-5,5	-0,8	-1,9	3,1
Примечание – $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_i$ – соотношение $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ по сечению 1, 2 или 3; $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$ – среднее значение этого соотношения по контуру, определенное по трем сечениям; $\Delta_{1(\text{к среднем})}$ – отклонение $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_i$ от $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$; $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,2}$ – среднее значение этого соотношения по сечениям 1 и 2; $\Delta_{1,2(\text{к среднем})}$ – отклонение $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,2}$ от $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$; $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,3}$ – среднее значение этого соотношения по сечениям 1 и 3; $\Delta_{1,3(\text{к среднем})}$ – отклонение $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{1,3}$ от $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$; $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{2,3}$ – среднее значение этого соотношения по сечениям 2 и 3; $\Delta_{2,3(\text{к среднем})}$ – отклонение $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{2,3}$ от $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$.											

Судя по данным таблицы 2, значения $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$, соответствующие разным сечениям контура, существенно отличаются как между собой, так и от средних значений $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$. В среднем по сечению 1 отклонения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ от среднего значения этого соотношения составляют $\overline{\Delta}_1 = 6,3 \%$ (с вариациями от 1,0 до 17,1 %), по второму сечению $\overline{\Delta}_2 = 5,2 \%$ (с вариациями от 0,7 до 13,3 %), по сечению 3 среднее отклонение $\overline{\Delta}_3$ составило 5,7 % (с вариациями значений от 1,8 до 12,9 %). Осредненное отклонение значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$, определенных по одному сечению, от средней величины

по контуру в целом составляет $\bar{\Delta}_{\text{кон}} = 5,73 \%$, что вполне приемлемо для практического исследования. Вместе с тем наличие фактов отклонений по отдельным контурам, значительно превышающих $12,0 \%$, побуждает рассмотреть и проанализировать точность определения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ не по одному, а по двум замерным сечениям. При рассмотрении двух сечений величина $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ определяется как средняя по двум ее значениям. Выполненные расчеты (таблица 2) показали снижение как средних, так и осредненного отклонения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ от средних их величин с $(\bar{\Delta}_{\text{кон}})_{1\text{сеч}} = 5,73 \%$ до $(\bar{\Delta}_{\text{кон}})_{2\text{сеч}} = 2,83 \%$. При этом максимальные значения отклонений по отдельным контурам снизились с $17,1$ до $8,6 \%$. Указанные обстоятельства приводят к выводу о необходимости и достаточном проведении замеров контуров по двум («полнодиаметральным») сечениям, а не по одному, как это чаще всего реализуется на практике.

Проведенная оценка точности измерений контуров и определения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ свидетельствует об их приемлемости для последующего анализа и обобщений.

На последующем этапе исследования с использованием технологии дисперсионно-корреляционного анализа устанавливалось наличие функциональных связей $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}} = f_1(W_{\text{г/ч}})$; $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}} = f_2(W_{\text{НВ}})$ и $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}} = f_3((\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}})$, описывающих их экспериментальных зависимостей и оценивалась их приемлемость для ведения практических расчетов по определению значений $d_{\text{ср}}$ по значению $d_{\text{пов}}$.

Результаты и обсуждение. В процессе обработки опытных данных получены экспериментальные зависимости для определения значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$:

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}} = 0,72 \cdot 2,718^{0,01 \cdot W_{\text{г/ч}}}, \quad (1)$$

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}} = 0,63 \cdot 2,718^{0,023 \cdot W_{\text{НВ}}}, \quad (2)$$

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}} = 1,64/2,718^{0,35 \cdot (\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}, \quad (3)$$

где $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$, $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$ и $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}$ – значения соотношения $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ по почвенным параметрам $W_{\text{г/ч}}$, $W_{\text{НВ}}$ и $(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}$ соответственно.

Виды зависимостей (1), (2) и (3) проиллюстрированы рисунками 1, 2 и 3.

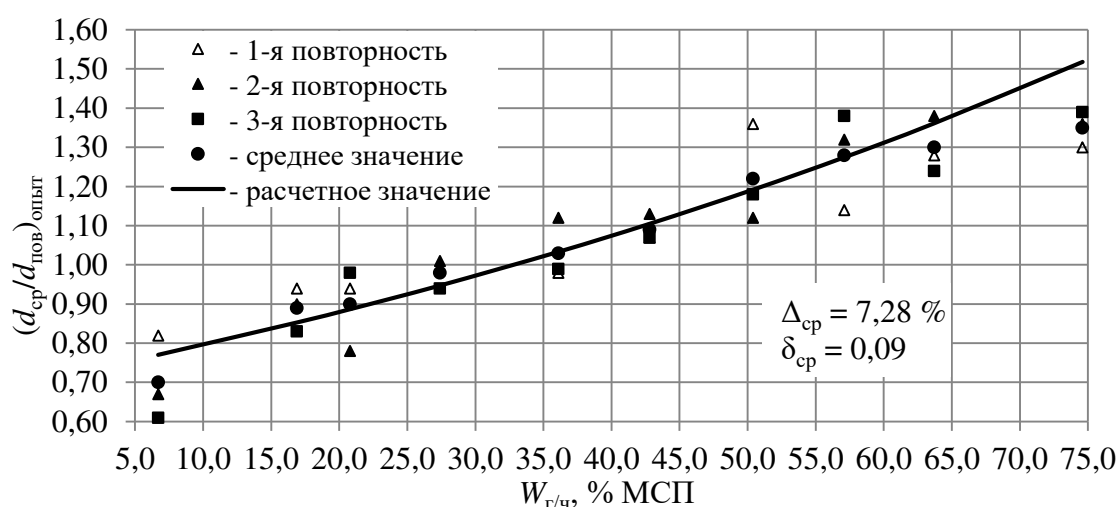


Рисунок 1 – Графическое представление опытных значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}}$ по повторностям их определения

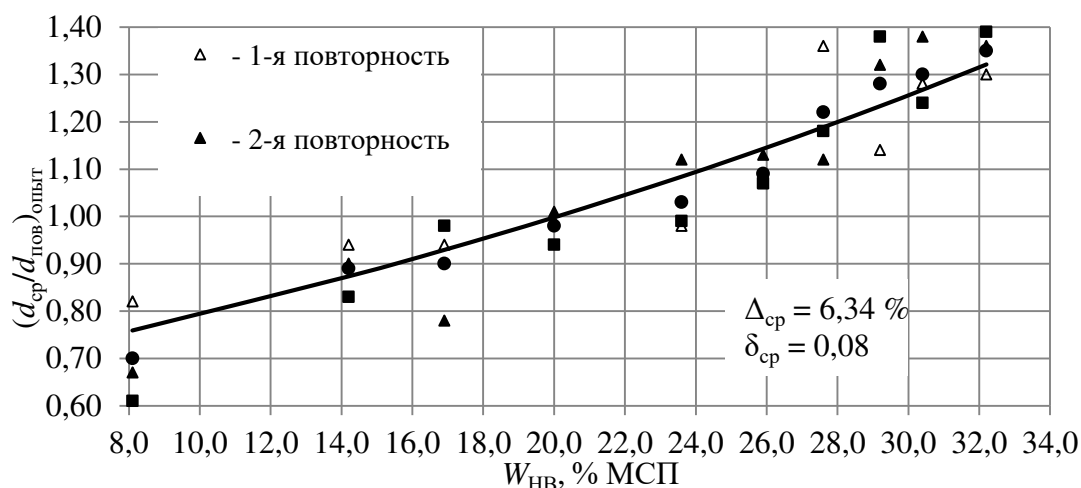


Рисунок 2 – Графическое представление опытных значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$ по повторностям их определения

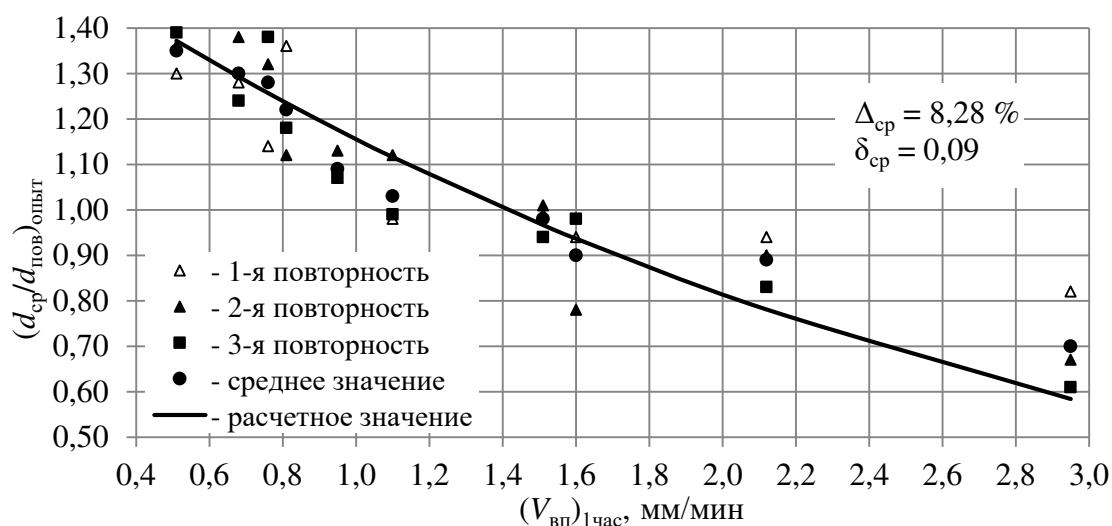


Рисунок 3 – Графическое представление опытных значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}$ по повторностям их определения

Судя по приведенным на рисунках 1, 2 и 3 данным, графические образы зависимостей (1), (2) и (3) соответствуют опытным данным, но при этом имеют место превышающие 12 % отклонения отдельных значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ от расчетных их величин.

В процессе анализа проведено сопоставление расчетных значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ со значениями $(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$, результаты которого приведены в таблицах 3, 4 и 5.

Таблица 3 – Данные и результаты сопоставления расчетных по зависимости (1) и опытных (осредненных по трем повторностям) значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}}$

Параметр	Значение параметра										Среднее
$W_{\text{т/ч}}, \% \text{ МСП}$	6,7	16,9	20,8	27,4	36,1	42,8	50,4	57,1	63,7	74,6	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}}$	0,77	0,85	0,89	0,95	1,03	1,10	1,19	1,27	1,36	1,52	-
$(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35	-
Отклонение, %	-10,0	4,2	1,5	3,4	-0,3	-1,3	2,3	0,4	-4,7	-12,4	4,1

Таблица 4 – Данные и результаты сопоставления расчетных по зависимости (2) и опытных (осредненных по трем повторностям) значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$

Параметр	Значение параметра										Среднее
$W_{\text{НВ}}, \% \text{ МСП}$	8,1	14,2	16,9	20,0	23,6	25,9	27,6	29,2	30,4	32,2	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}}$	0,76	0,87	0,93	1,00	1,08	1,14	1,19	1,23	1,27	1,32	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	10,3	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35	-
Отклонение, %	-8,4	1,9	-3,3	-1,8	-5,2	-4,9	2,6	3,7	2,5	2,1	3,6

Таблица 5 – Данные и результаты сопоставления расчетных по зависимости (3) и опытных (осредненных по трем повторностям) значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}$

Параметр	Значение параметра										Среднее
$(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}, \% \text{ МСП}$	2,95	2,12	1,60	1,51	1,10	0,95	0,81	0,76	0,68	0,51	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\bar{V}_{\text{вп}}}$	0,58	0,78	0,94	0,97	1,12	1,18	1,24	1,26	1,29	1,37	-
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35	-
Отклонение, %	16,6	12,3	-4,1	1,3	-8,3	-7,9	-1,2	1,8	0,6	-1,6	5,6

Судя по данным таблиц 3, 4 и 5, средние отклонения расчетных значений от опытных составляют: по зависимости (1) – $\bar{\Delta}_{W_{\text{т/ч}}} = 4,1 \%$; по формуле (2) – $\bar{\Delta}_{W_{\text{НВ}}} = 3,6 \%$ и по уравнению (3) – $\bar{\Delta}_{\bar{V}_{\text{вп}}} = 5,6 \%$, что соответствует высокому уровню аппроксимации опытных данных. Но при этом наличие отклонений, превышающих 12 %, побуждает к использованию нижеприведенных зависимостей, учитывающих два почвенных фактора:

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+W_{\text{НВ}}} = 0,5 \cdot (0,679 \cdot 2,718^{0,01 \cdot W_{\text{т/ч}}} + 0,640 \cdot 2,718^{0,023 \cdot W_{\text{НВ}}}), \quad (4)$$

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}} = 0,5 \cdot (0,679 \cdot 2,718^{0,01 \cdot W_{\text{т/ч}}} + 1,59/2,718^{0,35 \cdot (\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}), \quad (5)$$

$$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}} = 0,5 \cdot (0,640 \cdot 2,718^{0,023 \cdot W_{\text{НВ}}} + 1,59/2,718^{0,35 \cdot (\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}). \quad (6)$$

Результат сопоставления значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$, полученных по зависимостям (4), (5) и (6), со среднеопытными значениями $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$ приведен в таблицах 6, 7 и 8.

Таблица 6 – Данные и результаты сопоставления расчетных значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})$ по зависимости (4) $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+W_{\text{НВ}}}$ со среднеопытными значениями

Параметр	Значение параметра									
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+W_{\text{НВ}}}$	0,75	0,84	0,89	0,95	1,04	1,10	1,17	1,23	1,29	1,39
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35
Отклонения, %	-6,9	+5,4	+1,1	+2,2	-0,7	-1,0	+4,3	+8,2	+1,0	-7,9

Таблица 7 – Данные и результаты сопоставления расчетных значений $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}$ по зависимости (5) со среднеопытными данными

Параметр	Значение параметра									
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{т/ч}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1 \text{ час}}}$	0,65	0,78	0,87	0,92	1,03	1,09	1,06	1,21	1,27	1,38
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35
Отклонения, %	+5,3	+12,8	+3,1	+6,5	+0,2	-0,1	+4,9	+5,5	+2,5	-2,4

Таблица 8 – Данные и результаты сопоставления расчетных значений **$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}$ по зависимости (6) с опытными значениями**

Параметр	Значение параметра									
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{НВ}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}$	0,67	0,82	0,93	0,97	1,09	1,15	1,20	1,23	1,27	1,34
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35
Отклонения, %	+4,4	+7,6	+2,9	+0,6	-5,8	-5,5	+1,6	+3,6	+2,1	+1,1

Использование двухфакторных зависимостей приводит к снижению осредненного значения отклонений расчета от опыта до $\pm 3,9\%$, что свидетельствует о приемлемости зависимостей (4), (5) и (6) для ведения расчетов.

Большая сходимость результатов расчета с опытными данными достигается при использовании формулы:

$$\left(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}}\right)_{\text{расч}} = 0,333 \cdot \left(0,679 \cdot e^{0,01 \cdot W_{\text{г/ч}}} + 0,640 \cdot e^{0,023 \cdot W_{\text{НВ}}} + 1,59 / e^{0,35 \cdot (\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}\right), \quad (7)$$

что проиллюстрировано данными сопоставления, приведенными в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты сопоставления расчетных по зависимости (7) значений **$(d_{\text{кон}}/d_{\text{пов}})_{W_{\text{г/ч}}+W_{\text{НВ}}+(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}}$ с опытными значениями $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})$**

Параметр	Значение параметра									
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{расч}}$	0,69	0,81	0,86	0,95	1,05	1,11	1,18	1,22	1,28	1,37
$(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	0,70	0,89	0,90	0,98	1,03	1,09	1,22	1,28	1,30	1,35
Отклонения, %	+1,7	+8,5	+4,9	+3,4	-1,9	+1,8	+1,33	+4,7	+1,5	-1,5

В соответствии с данными таблицы 9 осредненное отклонение расчетных значений от опытных составляет $\pm 3,3\%$, а максимальное отклонение составляет $8,5\%$.

Полученные зависимости апробированы на данных по параметрам контуров увлажнения, полученных другими исследователями (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты сопоставления расчетных значений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ с опытными данными, полученными другими исследователями

Источник информации	Почвенный параметр			Расчетное значение $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ по зависимости				Опытное значение $(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}})_{\text{опыт}}$	Отклонение значения, %
	$W_{\text{г/ч}}$, % МСП	$W_{\text{НВ}}$, % МСП	$(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}$, % МСП	(1)	(2)	(3)	Среднее		
[1]	57,0	27,2	-	1,20	1,19	-	1,20	1,15	-4,1
[4]	$65 \pm 5,0$	$28 \pm 1,75$	0,8	1,30	1,21	1,20	1,24	1,13	-9,7

Установленное наличие связи $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}} = f(\Pi_{\text{п}})$ (где $\Pi_{\text{п}}$ – параметр, учитывающий свойства почвы) и полученные описывающие ее зависимости позволяют предложить экспресс-метод определения среднего диаметра по величине его поверхностного диаметра, суть которого заключается в нижеследующем:

- на участке капельного полива в пределах увлажняемого (расчетного) слоя почвы определяются значения почвенных параметров $W_{\text{г/ч}}$, $W_{\text{НВ}}$ и $(\bar{V}_{\text{вп}})_{1\text{час}}$;

- устанавливается влажность почвы в подкапельном почвенном пространстве и строится вертикальное сечение контура увлажнения при опытном капельном поливе для наиболее приемлемой величины поливной нормы и глубины увлажнения почвенного профиля. При этом с учетом принятой точности измерений параметры контура определяются по двум, трем или четырем радиальным направлениям;

- по полученным при камеральной обработке вертикальным сечениям контуров

капельного увлажнения почвы устанавливаются опытные значения соотношения $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ и определяется его среднеопытная величина $\left(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}}\right)_{\text{опыт}}$;

- расчетом по зависимостям (1), (2) и (3) определяются значения $\left(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}\right)_{W_{\text{г/ч}}}$, $\left(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}\right)_{W_{\text{нб}}}$ и $\left(d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}\right)_{\bar{V}_{\text{нб}}}$ и по зависимости (7) среднее расчетное значение $\left(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}}\right)_{\text{расч}}$;

- при приемлемой точности определения значений $\left(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}}\right)_{\text{расч}}$ в сравнении с опытными значениями $\left(\overline{d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}}\right)_{\text{опыт}}$ расчетная зависимость принимается за основу для последующих определений значений среднего по глубине зоны увлажнения диаметра контура $d_{\text{ср}}$, в соответствии с которым определяется поливная норма капельного полива.

Выводы

1 В результате исследования и дисперсионно-корреляционного анализа установлено наличие функциональной связи между средним диаметром капельного контура и его поверхностным значением.

2 Получены экспериментальные зависимости, позволяющие определить величину среднего диаметра контура по замеренному значению диаметра локального контура в приповерхностном (пятисантиметровом) почвенном слое, для широкого спектра почвенных условий проведения капельного полива.

3 Статистическая оценка результатов сопоставления расчетных и опытных значений соотношений $d_{\text{ср}}/d_{\text{пов}}$ показала приемлемость полученных экспериментальных зависимостей для практического использования.

4 На базе полученных данных и экспериментальных зависимостей предложен экспресс-метод определения среднего диаметра контура капельного увлажнения почвы по величине его поверхностного диаметра.

Список использованных источников

1 Ясониدي, О. Е. Капельное орошение на Северном Кавказе / О. Е. Ясониدي, Д. П. Гостищев // Вопросы мелиорации. – 2003. – № 5–6. – С. 19–26.

2 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1985. – 24 с.

3 Карпенко, О. Н. Капельное орошение и агротехника возделывания роз в теплице / О. Н. Карпенко // Проблемы агротехники и мелиорации. Труды ЦКРНИИГиМ. – Днепропетровск, 1989. – С. 71.

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

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

6 Штанько, А. С. Изменение параметров локальных контуров капельного увлажнения почв в постполивной период / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 227–233.

УДК 631.674.6

А. В. Колганов, А. С. Штанько

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О ГРАНИЦАХ КОНТУРОВ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Цель исследования – обоснование критериального показателя для определения координат линии (поверхности), которая ограничивает контур увлажнения, форми-