

УДК 631.674.6

А. С. Штанько, В. Н. Шкура

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

ВНУТРИКОНТУРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Целью исследования является получение расчетных экспериментальных зависимостей и разработка методики определения параметров внутриконтурного распределения влажности почвы при капельном поливе. При проведении исследований и обобщении использовались апробированные методики, а также материалы и данные, приведенные в известных публикациях. При получении зависимостей для определения параметров внутриконтурного распределения влажности были проанализированы контуры капельного увлажнения, полученные авторами в различных условиях капельного полива. В результате корреляционно-регрессивного анализа фактических и аппроксимированных локальных контуров капельного увлажнения, зафиксированных авторами, были получены экспериментальные зависимости, описывающие в относительных координатах линейные размеры линий влажности (изоплет), отражающие внутриконтурное распределение влажности почвы. Факторами влияния на внутриконтурное распределение влажности, которые учитываются в данной методике, являются поливная норма, от величины которой зависят глубина и диаметр оконтуривающей изоплеты; содержание в почве глинистых частиц; наименьшая влагоемкость почвы; влажность оконтуривающей изоплеты. С целью апробации полученных зависимостей для определения внутриконтурного распределения влажности почвы проведен расчет и сопоставление с данными по параметрам локальных контуров капельного увлажнения, зафиксированных другими авторами. Результаты сопоставления рассчитанных по предложенным экспериментальным зависимостям значений глубины и диаметра внутриконтурных изоплет с опытными данными, полученными в различных условиях капельного полива, показали допустимые отклонения, которые в среднем по контуру не превышают 12 %, что свидетельствует о приемлемости предложенных экспериментальных зависимостей и методики для практических расчетов.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения, внутриконтурное пространство, дополивная влажность, изоплета, влажность почвы.

A. S. Shtanko, V. N. Shkura

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

INNER CONTOUR SOIL MOISTURE DISTRIBUTION BY DRIP IRRIGATION

The purpose of study is to obtain calculated experimental dependencies and to develop methodology for determining the inner contour soil moisture distribution parameters by drip irrigation. The approved techniques as well as the materials and data given in well-known publications were used during research and generalization. When obtaining the dependencies for determining the inner contour moisture distribution parameters the drip humidification contours got by authors under various drip irrigation conditions were analyzed. As a result of the correlation-regression analysis of the actual and approximated local drip humidification

contours recorded by authors, experimental dependences describing the linear sizes of moisture lines (isopleth) in relative coordinates that reflect the intrinsic distribution of soil moisture were obtained. The factors influencing the inner contour moisture distribution taken into account in this technique are the following – the irrigation norm, as the depth and diameter of the contouring isopleth depend on its value; the content of clay particles in soil; the lowest moisture capacity of soil; the contouring isopleth moisture. To confirm the obtained dependences for determining the inner contour soil moisture distribution the calculation and comparison with data on local drip humidification contour parameters recorded by other authors were carried out. The results of comparison of the values of the depth and the diameter of the inner contour isopleths calculated by the proposed experimental dependences with data obtained under different drip irrigation conditions showed the allowable deviations which do not exceed 12 % in contour on average that indicates the acceptability of the proposed experimental dependences and the methodology for practical calculations.

Key words: drip irrigation, moisture contour, inner contour space, pre-irrigation moisture, isopleth, soil moisture.

Введение. Контур увлажнения почвы, формирующийся при капельном поливе сельскохозяйственных культур, является наиболее значимым элементом технологии капельного орошения, точность определения параметров которого оказывает значительное влияние на конструкцию и эффективность использования систем капельного орошения [1]. Исследования параметров контуров увлажнения почвы при капельном поливе с разной степенью глубины проработки и учета различных факторов влияния велись (изначально) со времени применения технологий капельного орошения и продолжают в настоящее время. Исследованию параметров внутриконтурного распределения влажности почвы уделено внимание в работах И. П. Айдарова [2], Б. Б. Шумакова, А. А. Алексащенко, Н. И. Вдовина [3], А. И. Голованова, Е. В. Кузнецова [4], А. С. Овчинникова, В. С. Бочарникова, М. П. Мещерякова [5], В. В. Бородычева, А. В. Шуравилина и др. [6], В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова [7], А. Д. Ахмедова, Е. Ю. Галиуллиной [8], М. К. Гаджиева [9], О. Е. Ясониди [10], И. К. Кулинич [11], Ю. С. Уржумовой [12], О. Н. Карпенко [13], Н. О. Кохно [14], М. Ю. Храброва [15] и других специалистов. Анализ различных подходов к разрешению этой задачи приведен в монографии В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова и А. Н. Рыжакова [7]. В известных предложениях и рекомендациях рассматривается только часть факторов влияния

на внутриконтурное распределение влажности, а применимость отдельных расчетных зависимостей определяется условиями проведения экспериментальных исследований. Единая и общепринятая методика определения количественных характеристик распределения влажности почвы во внутриконтурном пространстве при капельном поливе отсутствует. В связи с этим целью данного исследования поставлено получение расчетных зависимостей и разработка методики определения параметров внутриконтурного распределения влажности почвы при капельном поливе.

Материалы и методы. При проведении исследований и обобщений использовались апробированные методики, а также материалы и данные, приведенные в известных публикациях. При получении зависимостей для определения параметров внутриконтурного распределения влажности почвы были проанализированы контуры капельного увлажнения, полученные авторами в различных условиях капельного полива. Примеры полученных экспериментальных данных приведены ниже.

1 Почвы – глинистые черноземы с содержанием глинистых частиц $W_{г/ч} = 70,2 \%$ от массы сухой почвы (МСП), наименьшей влагоемкостью (НВ) почвы $W_{НВ} = 32,0 \%$ МСП при средней доливной влажности почвогрунтовой толщ $\beta_{д/п} = 64,4 \%$ НВ. В таблице 1 приведены два примера внутриконтурного распределения влажности почвы (по характерным изо-плетам) при поливной норме $N_{пол} = 22,0$ (первый контур) и $32,0$ л (второй контур) и расходах капельницы $4,0$ и $6,0$ л/ч соответственно. Приведенные в таблице 1 глубины и диаметры внутриконтурных и граничных (оконтуривающих) изоплет контуров капельного увлажнения соответствуют их максимальным значениям.

2 Данные измерений локальных контуров капельного увлажнения тяжелосуглинистых черноземов ($W_{г/ч} = (65 \pm 3) \%$ МСП; $W_{НВ} = (28,2 \pm \pm 1,8) \%$ МСП; $\beta_{д/п} = 65,6 \%$ НВ) приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры контуров капельного увлажнения, сформировавшихся в глинистых почвах

Параметр	Значение параметра						
Влажность изоплеты $\beta_{из/n,i}$, % $\beta_{НВ}$	70	75	80	85	90	95	100
Глубина изоплеты первого контура $h_{из/n,i}$, см	82,0	68,9	62,0	48,9	36,8	25,6	14,6
Диаметр изоплеты первого контура $d_{из/n,i}$, см	82	71	61	51	38	26	14
Глубина изоплеты второго контура $h_{из/n,i}$, см	97,0	73,6	63,6	48,8	37,2	30,0	19,7
Диаметр изоплеты второго контура $d_{из/n,i}$, см	90,0	81,0	65,0	52,0	38,9	29,0	18,4
Примечание – Значения $h_{из/n,i}$ и $d_{из/n,i}$ приняты средними по четырем повторностям опыта.							

Таблица 2 – Параметры контура капельного увлажнения, сформировавшегося в тяжелосуглинистых почвах

Параметр	Значение параметра					
$\beta_{из/n,i}$, % $\beta_{НВ}$	70	75	80	85	90	95
$h_{из/n,i}$, см	80	67	62	48	36	23
$d_{из/n,i}$, см	88	76	63	51	38	25
Примечание – Значения $h_{из/n,i}$ и $d_{из/n,i}$ приняты по одной повторности опыта.						

3 В таблице 3 приведены данные по определяющим линейным параметрам положения изоплет во внутриконтурном пространстве в условиях легких по гранулометрическому составу почв ($W_{г/ч} = 16,0$ % МСП; $W_{НВ} = 12,0$ % МСП).

Таблица 3 – Значения глубин и диаметров изоплет в локальном контуре капельного увлажнения легких почв

Параметр	Значение параметра					
$\beta_{из/n,i}$, % $\beta_{НВ}$	65	70	75	80	85	90
$h_{из/n,i}$, см	70	64	60	54	48	42
$d_{из/n,i}$, см	50	45	41	38	32	30
Примечание – Контур замерен в трехкратной повторности.						

В результате корреляционно-регрессивного анализа фактических и аппроксимированных локальных контуров капельного увлажнения, зафиксированных авторами, были получены экспериментальные зависимости, описывающие в относительных координатах линейные размеры линий

влажности (изоплет), отражающие внутриконтурное распределение влажности почвы в зависимости от:

- содержания в почве глинистых частиц $W_{г/ч}$, % МСП:

$$\left[\frac{h_{из/n,i}}{h_{из/n,70}} \right]_{W_{г/ч}} = \left[\frac{d_{из/n,i}}{d_{из/n,70}} \right]_{W_{г/ч}} = 1,0 - 1,1^{0,1 \cdot W_{г/ч}} \cdot \left(\frac{\beta_{из/n,i}}{\beta_{из/n,70}} - 1,0 \right); \quad (1)$$

- величины НВ почвы $W_{НВ}$, % МСП:

$$\left[\frac{h_{из/n,i}}{h_{из/n,70}} \right]_{W_{НВ}} = \left[\frac{d_{из/n,i}}{d_{из/n,70}} \right]_{W_{НВ}} = 1,0 - 1,2^{0,1 \cdot W_{НВ}} \cdot \left(\frac{\beta_{из/n,i}}{\beta_{из/n,70}} - 1,0 \right), \quad (2)$$

где $h_{из/n,i}$ и $d_{из/n,i}$ – глубина и диаметр определенной внутриконтурной изо-плеты (линии почвенного профиля с одинаковой влажностью), см;

$h_{из/n,70}$ и $d_{из/n,70}$ – глубина и диаметр оконтуривающей изоплеты, соответствующей влажности 70 % НВ;

$W_{г/ч}$ – содержание в почве глинистых частиц, % МСП;

$\beta_{из/n,i}$ – влажность определенной внутриконтурной изоплеты, % НВ;

$\beta_{из/n,70}$ – влажность изоплеты на уровне 70 % НВ;

$W_{НВ}$ – НВ почвы, % МСП.

Графическая интерпретация предложенных экспериментальных зависимостей (1) и (2) представлена на рисунках 1 и 2.

При получении этих эмпирических зависимостей были обработаны экспериментальные данные о параметрах локальных контуров капельного увлажнения почвы, которые были ограничены определенными диапазонами изменения определяющих функции аргументов. В связи с этим предложенные зависимости приемлемы для следующих граничных условий:

- влажность рассматриваемых внутриконтурных изоплет $\beta_{из/n,i}$ должна соответствовать диапазону от 70 до 100 % $\beta_{НВ}$;

- содержание в почве глинистых частиц $W_{г/ч}$ – от 16 до 72 % МСП;

- НВ почвы $W_{НВ}$ – от 12 до 35 % МСП;

- влажность оконтуривающей изоплеты контура капельного увлажнения почвенного пространства принимается равной 70 % МСП.

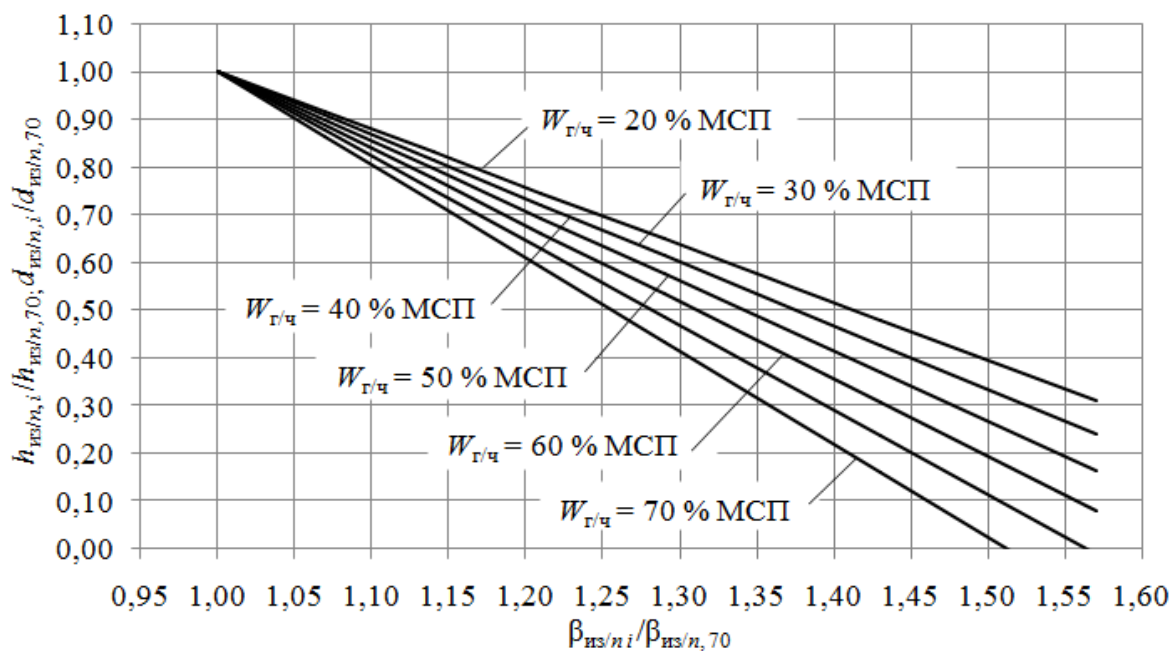


Рисунок 1 – Графическая интерпретация функциональных связей
 $h_{из/n,i} / h_{из/n,70} = f(\beta_{из/n,i} / \beta_{из/n,70}; W_{г/ч})$

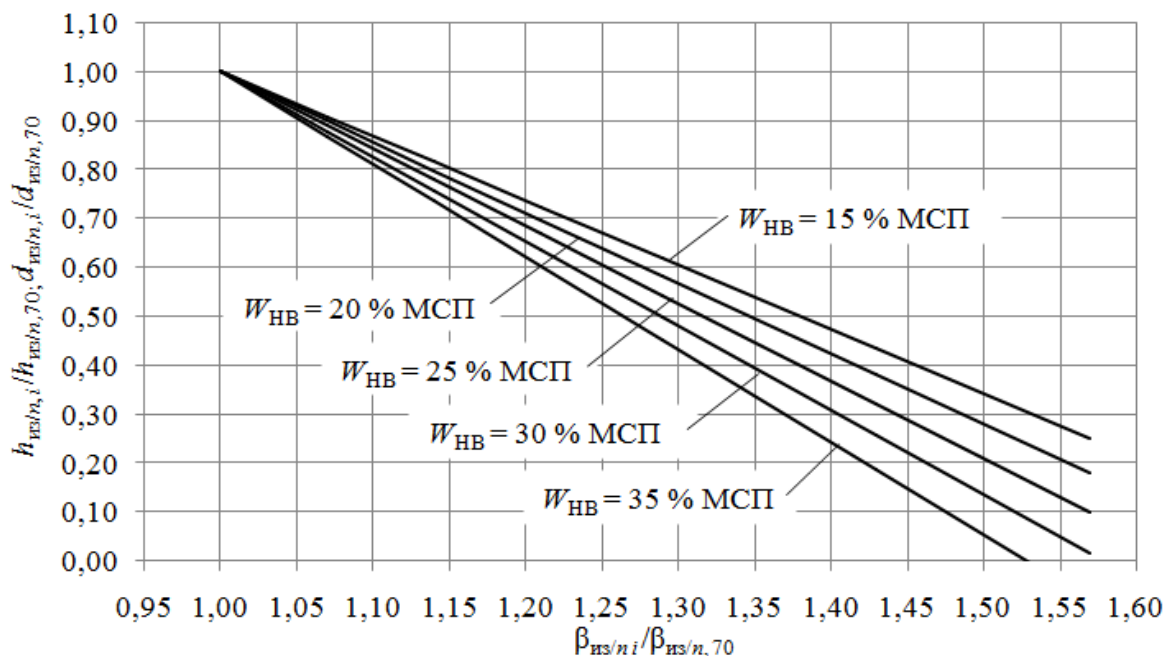


Рисунок 2 – Графическая интерпретация функциональных связей
 $h_{из/n,i} / h_{из/n,70} = f(\beta_{из/n,i} / \beta_{из/n,70}; W_{нв})$

По нашему мнению, надежно зафиксировать границу контура капельного увлажнения при проведении опытных исследований возможно

по влажности, превышающей окружающий фон на 10 % НВ. При фиксации контуров увлажнения влажность окружающей толщи почвогрунта составляла (60 ± 5) % НВ. В связи с этим для идентификации границы контура увлажнения была принята влажность $\beta_{из/n,гр}$, соответствующая 70 % НВ ($\beta_{из/n,70}$).

По предложенным зависимостям (1) и (2) можно установить либо относительные величины глубины и диаметра внутриконтурных изоплет, либо их абсолютные значения при известных глубине и диаметре оконтуривающей линии с влажностью 70 % НВ ($h_{из/n,70}$, $d_{из/n,70}$), которые можно определить по опытным данным либо расчетным методом в зависимости от поливной нормы и других факторов. Для каждого параметра (глубины или диаметра рассматриваемой изоплеты) предлагаются две зависимости, которые учитывают либо содержание глинистых частиц в почве, либо ее НВ. Таким образом, предложенные эмпирические зависимости учитывают следующие факторы влияния на внутриконтурное распределение влажности: поливную норму (через значения глубин и диаметров граничных изоплет $h_{из/n,70}$ и $d_{из/n,70}$), содержание в почве глинистых частиц $W_{г/ч}$, НВ почвы $W_{НВ}$, влажность оконтуривающей изоплеты $\beta_{из/n,70}$.

Расчет значений $h_{из/n,i}$ и $d_{из/n,i}$ производится в следующей последовательности. Для изоплеты с рассматриваемой величиной влажности $\beta_{из/n,i}$ рассчитываются ее относительные глубина и диаметр по зависимостям (1) и (2). Затем по зависимостям

$$\frac{h_{из/n,i}}{h_{из/n,70}} = 0,5 \cdot \left(\left[\frac{h_{из/n,i}}{h_{из/n,70}} \right]_{W_{г/ч}} + \left[\frac{h_{из/n,i}}{h_{из/n,70}} \right]_{W_{НВ}} \right), \quad (3)$$

$$\frac{d_{из/n,i}}{d_{из/n,70}} = 0,5 \cdot \left(\left[\frac{d_{из/n,i}}{d_{из/n,70}} \right]_{W_{г/ч}} + \left[\frac{d_{из/n,i}}{d_{из/n,70}} \right]_{W_{НВ}} \right) \quad (4)$$

находится среднее арифметическое по каждой паре полученных значений,

которые и будут являться расчетными значениями относительной глубины и диаметра изоплеты i -й влажности. Далее по предварительно определенным значениям $h_{из/n,70}$ и $d_{из/n,70}$ вычисляются значения абсолютной глубины $h_{из/n,i}$ и диаметра $d_{из/n,i}$ рассматриваемой изоплеты $\beta_{из/n,i}$. Если исходные данные для расчета содержат только одну из необходимых почвенных характеристик (содержание глинистых частиц или НВ почвы), то расчет ведется по соответствующей зависимости и полученное значение принимается окончательным, но точность его значения будет снижена.

Результаты и обсуждение. Сопоставление опытных значений, зафиксированных авторами и представленных в таблицах 1–3, с рассчитанными по зависимостям (1)–(4) проиллюстрировано рисунками 3 и 4.

Из графических представлений опытных и расчетных значений относительных параметров внутриконтурных изоплет (по данным рисунков 3 и 4) можно сделать заключение о приемлемости предложенных зависимостей (1)–(4) и методики для проведения практических расчетов.

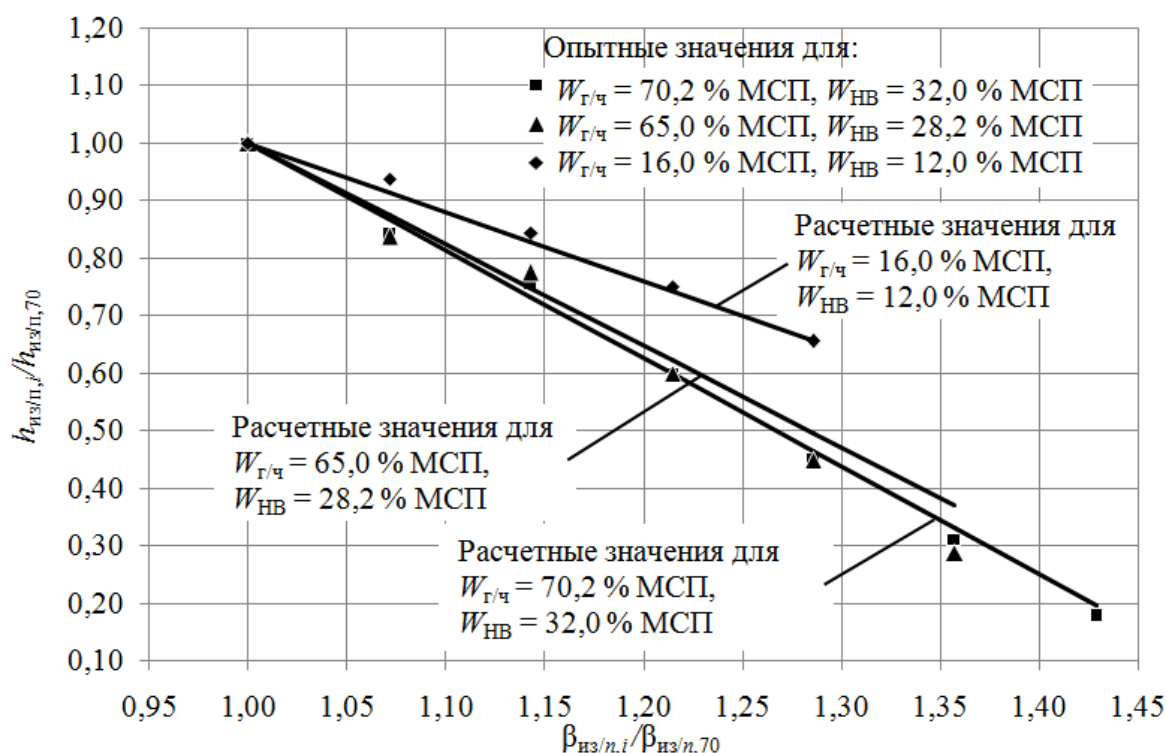


Рисунок 3 – Сопоставление опытных значений $h_{из/n,i} / h_{из/n,70} = f(\beta_{из/n,i} / \beta_{из/n,70})$ с расчетными

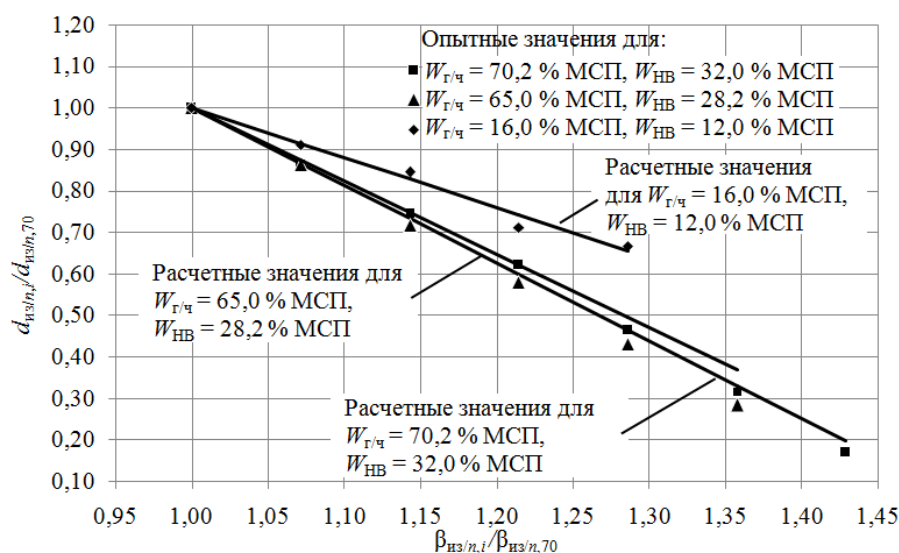


Рисунок 4 – Сопоставление опытных значений

$$d_{из/n,i} / d_{из/n,70} = f(\beta_{из/n,i} / \beta_{из/n,70}) \text{ с расчетными}$$

С целью апробации полученных зависимостей для определения внутриконтурного распределения влажности почвы проведены расчет и сопоставление с данными по параметрам локальных контуров капельного увлажнения, зафиксированных другими авторами, результаты которых рассмотрены ниже.

М. К. Гаджиев [9] проводил исследования контура капельного увлажнения на темно-каштановой тяжелосуглинистой карбонатной почве со следующими показателями: $W_{г/ч} = 46,3\%$ МСП, доповлажная влажность $\beta_{д/п} = 68\% \beta_{нв}$, средняя скорость впитывания в первый час $V_{вп/1ч} = 0,026$ дм/мин (15,6 см/ч), $W_{нв} = 22,5\%$ МСП – при капельном поливе нормой $N_{пол} = 112$ л, выдаваемой капельницами с расходом $q_{кап} = 4$ л/ч. В результате натуральных опытов им были зафиксированы параметры локального контура капельного увлажнения почвы, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Геометрические параметры внутриконтурных изоплет контуров капельного увлажнения, зафиксированных М. К. Гаджиевым

Параметр	Значение параметра				
	70	75	80	90	100
Влажность изоплеты $\beta_{из/n,i}$, % $\beta_{нв}$	70	75	80	90	100
Глубина изоплеты $h_{из/n,i}$, см	145	125	105	74	48
Диаметр изоплеты $d_{из/n,i}$, см	152	133	122	82	51

Результаты расчета глубин внутриконтурных изоплет по предложенным зависимостям и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева представлены в таблице 5 и на рисунке 5.

Таблица 5 – Результаты расчета глубин внутриконтурных изоплет по зависимостям (1) и (3) и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева

Параметр	Значение параметра				
	70	75	80	90	100
$\beta_{из/н}, \% \beta_{НВ}$	70	75	80	90	100
$(h_{из/н})_{опыт}, см$	145	125	105	74	48
$(h_{из/н,i})_{W_{гч}}, см$	145,00	128,90	112,80	80,59	48,39
$\Delta h_{гч}, см$	0,00	3,90	7,80	6,59	0,39
$\Delta h_{гч}, \%$	0,00	3,12	7,42	8,91	0,80
$(h_{из/н,i})_{W_{НВ}}, см$	145,00	129,39	113,78	82,56	51,34
$\Delta h_{НВ}, см$	0,00	4,39	8,78	8,56	3,34
$\Delta h_{НВ}, \%$	0,00	3,51	8,36	11,57	6,96
$(h_{из/н,i})_{ср}, см$	145,00	129,15	113,29	81,58	49,86
$\Delta h_{ср}, см$	0,00	4,15	8,29	7,58	1,86
$\Delta h_{ср}, \%$	0,00	3,32	7,89	10,24	3,88

$(h_{из/н})_{опыт}$ – опытные значения глубины изоплеты; $(h_{из/н,i})_{W_{гч}}$ – расчетные значения глубины изоплеты по содержанию глинистых частиц; $(h_{из/н,i})_{W_{НВ}}$ – расчетные значения глубины изоплеты по НВ; $(h_{из/н,i})_{ср}$ – среднее между расчетными значениями по содержанию глинистых частиц и по НВ; Δh – отклонение расчетных значений от опытных.

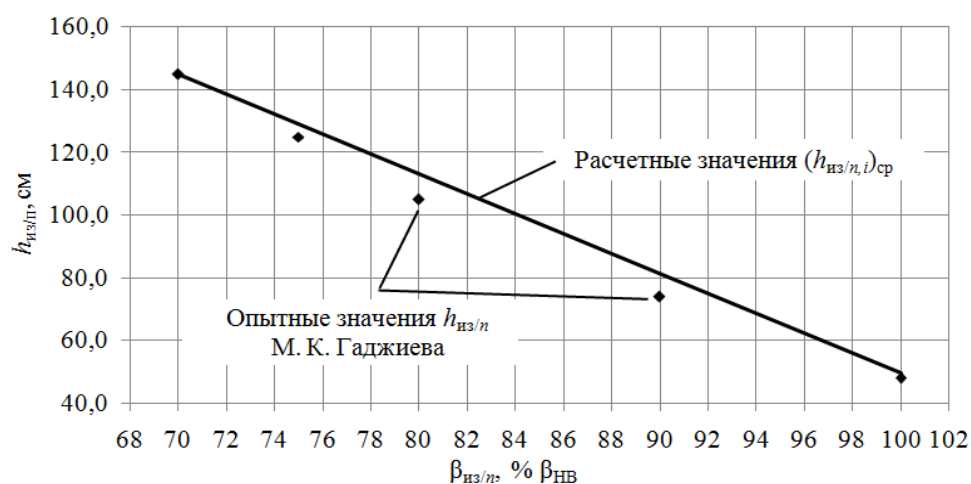


Рисунок 5 – Расчетные значения глубин внутриконтурных изоплет и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева

Анализ полученных результатов показал максимальное отклонение расчетной глубины внутриконтурных изоплет от опытных данных

М. К. Гаджиева по $\beta_{из/н} = 90\% \beta_{нв}$, которое составило +7,58 см в абсолютной величине и 10,24 % от опытных данных.

Результаты расчета диаметров внутриконтурных изоплет по предложенным зависимостям и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева представлены в таблице 6 и на рисунке 6.

Таблица 6 – Результаты расчета диаметров внутриконтурных изоплет по зависимостям (2) и (4) и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева

Параметр	Значение параметра				
$\beta_{из/н}, \% \beta_{нв}$	70	75	80	90	100
$(d_{из/н})_{опыт}, см$	152	133	122	82	51
$(d_{из/н,i})_{W_{г/ч}}, см$	152,00	135,12	118,24	84,48	50,72
$\Delta d_{г/ч}, см$	0,00	2,12	-3,76	2,48	-0,28
$\Delta d_{г/ч}, \%$	0,00	1,59	-3,08	3,03	-0,55
$(d_{из/н,i})_{W_{нв}}, см$	152,00	135,64	119,27	86,55	53,82
$\Delta d_{нв}, см$	0,00	2,64	-2,73	4,55	2,82
$\Delta d_{нв}, \%$	0,00	1,98	-2,24	5,54	5,53
$(d_{из/н,i})_{ср}, см$	152,00	135,38	118,76	85,51	52,27
$\Delta d_{ср}, см$	0,00	2,38	-3,24	3,51	1,27
$\Delta d_{ср}, \%$	0,00	1,79	-2,66	4,29	2,49

$(d_{из/н})_{опыт}$ – опытные значения диаметра изоплеты; $(d_{из/н,i})_{W_{г/ч}}$ – расчетные значения диаметра изоплеты по содержанию глинистых частиц; $(d_{из/н,i})_{W_{нв}}$ – расчетные значения диаметра изоплеты по НВ; $(d_{из/н,i})_{ср}$ – среднее между расчетными значениями по содержанию глинистых частиц и по НВ; Δd – отклонение расчетных значений от опытных.

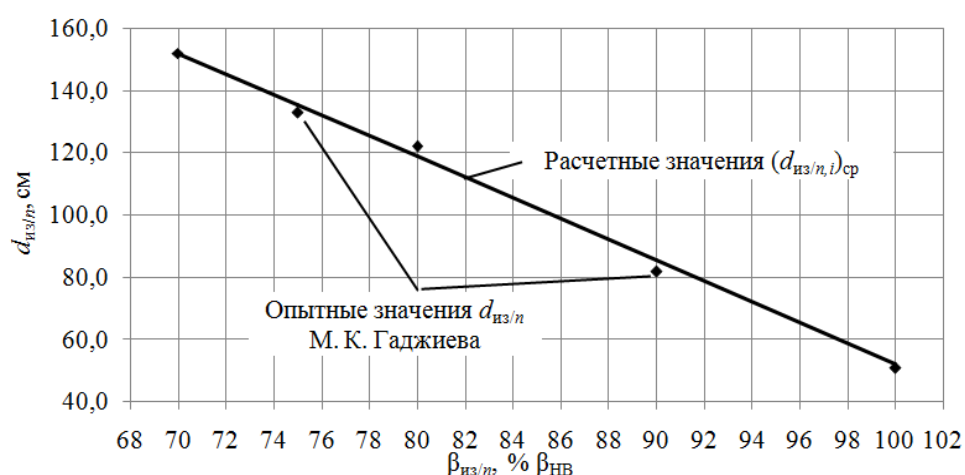


Рисунок 6 – Расчетные значения диаметров внутриконтурных изоплет и их сопоставление с опытными данными М. К. Гаджиева

По диаметру внутриконтурных изоплет отклонение расчетных данных от опытных, зафиксированных М. К. Гаджиевым, не превышает 5 %.

Результаты определения геометрических параметров внутриконтурных изоплет по зависимостям (1)–(4) и сопоставления их с данными, зафиксированными И. К. Кулиничем [11], А. С. Овчинниковым, В. С. Бочарниковым, М. П. Мещеряковым [5] и Н. О. Кохно [14], представлены в таблицах 7–9.

Таблица 7 – Результаты расчета геометрических параметров внутриконтурных изоплет по зависимостям (1)–(4) и их сопоставление с опытными данными И. К. Кулинича

Параметр	Значение параметра				
	70	75	80	85	90
$\beta_{из/n}, \% \beta_{НВ}$	70	75	80	85	90
$(h_{из/n})_{опыт}, см$	174	157	122	108	98
$(h_{из/n,i})_{ср}, см$	174,00	155,00	135,99	116,99	97,99
$\Delta h_{ср}, см$	0,00	-2,00	13,99	8,99	-0,01
$\Delta h_{ср}, \%$	0,00	-1,28	11,47	8,33	-0,01
$(d_{из/n})_{опыт}, см$	133	102	99	87	71
$(d_{из/n,i})_{ср}, см$	133,00	118,47	103,95	89,42	74,90
$\Delta d_{ср}, см$	0,00	16,47	4,95	2,42	3,90
$\Delta d_{ср}, \%$	0,00	16,15	5,00	2,79	5,49
Условия опыта: серые лесные карбонатные суглинистые выщелоченные почвы, $q_{кап} = 15,5$ л/ч, время капания $t_{кап} = 1,33$ ч, $W_{г/ч} = 47,5$ % МСП, $W_{НВ} = 21,7$ % МСП.					

Таблица 8 – Результаты расчета геометрических параметров внутриконтурных изоплет по зависимостям (1)–(4) и их сопоставление с опытными данными А. С. Овчинникова, В. С. Бочарникова и М. П. Мещерякова

Параметр	Значение параметра				
	70	80	90	100	110
$\beta_{из/n}, \% \beta_{НВ}$	70	80	90	100	110
$(h_{из/n})_{опыт}, см$	141	130	93	55	28
$(h_{из/n,i})_{ср}, см$	141,00	115,07	89,13	63,20	37,27
$\Delta h_{ср}, см$	0,00	-14,93	-3,87	8,20	9,27
$\Delta h_{ср}, \%$	0,00	-11,49	-4,16	14,91	33,10
$(d_{из/n})_{опыт}, см$	97	90	64	38	25
$(d_{из/n,i})_{ср}, см$	97,00	79,16	61,32	43,48	25,64
$\Delta d_{ср}, см$	0,00	-10,84	-2,68	5,48	0,64
$\Delta d_{ср}, \%$	0,00	-12,04	-4,19	14,42	2,55
Условия опыта: $q_{кап} = 2$ л/ч, $W_{г/ч} = 21,2$ % МСП, $W_{НВ} = 16,5$ % МСП.					

**Таблица 9 – Результаты расчета геометрических параметров
внутриконтурных изоплет по зависимостям (1)–(4) и их
сопоставление с опытными данными Н. О. Кохно**

Параметр	Значение параметра						
	70	75	80	85	90	95	100
$\beta_{из/n}, \% \beta_{НВ}$	70	75	80	85	90	95	100
$(h_{из/n})_{опыт}, см$	89,0	79,2	68,6	54,5	47,0	36,8	27,0
$(h_{из/n,i})_{ср}, см$	89,00	78,73	68,46	58,19	47,92	37,65	27,38
$\Delta h_{ср}, см$	0,00	-0,47	-0,14	3,69	0,92	0,85	0,38
$\Delta h_{ср}, \%$	0,00	-0,59	-0,21	6,77	1,95	2,30	1,39
$(d_{из/n})_{опыт}, см$	102,0	90,2	79,0	62,0	54,4	40,0	30,7
$(d_{из/n,i})_{ср}, см$	102,00	90,23	78,46	66,69	54,92	43,15	31,37
$\Delta d_{ср}, см$	0,00	0,03	-0,54	4,69	0,52	3,15	0,67
$\Delta d_{ср}, \%$	0,00	0,03	-0,69	7,56	0,95	7,86	2,20
<p>Условия опыта: тепличный почвогрунт на основе южных карбонатных тяжелоуглинистых черноземов с внесением в пахотный слой 20 % перегноя (по объему), $W_{г/ч} = 47\%$ МСП, $W_{НВ} = 28\%$ МСП по метровому почвенному слою с замером контура через 1 сут после капельвания поливной нормой $N_{пол} = 30$ л с расходом капельницы $q_{кап} = 4$ л/ч в течение $t_{кап} = 7,5$ ч.</p>							

Сопоставление результатов расчета по зависимостям (1)–(4) с опытными данными, зафиксированными другими авторами и представленными в таблицах 5–9, показало, что в некоторых примерах сопоставления имеются отклонения расчетных данных от опытных, которые превышают 12 %. По всему массиву сопоставления выявлено четыре таких случая из 78 примеров сопоставления (один по данным И. К. Кулинича и три по данным А. С. Овчинникова, В. С. Бочарникова, М. П. Мещерякова). Так как остальные результаты сопоставления расчетных данных с опытными, полученными в различных условиях капельного полива, показали приемлемые отклонения, которые в среднем по контуру не превышают 12 %, считаем, что предложенные зависимости и методика определения геометрических параметров внутриконтурных изоплет в целом отражают процессы внутриконтурного распределения влажности почвы при капельном поливе и могут быть использованы для практических расчетов.

Выводы

1 Исследованию параметров внутриконтурного распределения влажности уделено внимание в работах многих специалистов. Анализ различных подходов к разрешению этой задачи показал, что в известных предложениях и рекомендациях рассматривается только часть факторов влияния на внутриконтурное распределение влажности, а применимость отдельных расчетных зависимостей определяется условиями проведения экспериментальных исследований. Единая и общепринятая методика определения количественных характеристик распределения влажности почвы во внутриконтурном пространстве при капельном поливе отсутствует.

2 В результате исследований получены экспериментальные зависимости и разработана методика расчета геометрических параметров (глубины и диаметра) внутриконтурных изоцветов определенной влажности. Факторами влияния на внутриконтурное распределение влажности, которые учитываются в данной методике, являются поливная норма, от величины которой зависят глубина и диаметр оконтуривающей изоцветы; содержание в почве глинистых частиц; НВ почвы; влажность оконтуривающей изоцветы.

3 Результаты сопоставления рассчитанных по предложенным экспериментальным зависимостям (1)–(4) значений глубины и диаметра внутриконтурных изоцветов с опытными данными, полученными в различных условиях капельного полива авторами, а также М. К. Гаджиевым, И. К. Кулиничем, А. С. Овчинниковым, В. С. Бочарниковым, М. П. Мещеряковым и Н. О. Кохно, показали приемлемые отклонения, которые в среднем по контуру не превышают 12 %, что свидетельствует о приемлемости предложенных экспериментальных зависимостей (1)–(4) и методики для практических расчетов.

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография: в 2 ч. / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013.

2 Айдаров, И. П. Расчеты контуров увлажнения при капельном орошении / И. П. Айдаров, А. А. Алексахенко, Л. Ф. Пестов // Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования. – М., 1983. – С. 15–22.

3 Шумаков, Б. Б. Теоретические и экспериментальные исследования капельного орошения / Б. Б. Шумаков, А. А. Алексахенко, Н. И. Вдовин // Вестник сельскохозяйственной науки. – М., 1978. – № 7. – С. 82–92.

4 Голованов, А. И. Основы капельного орошения / А. И. Голованов, Е. В. Кузнецов. – Краснодар: КГАУ, 1996. – 96 с.

5 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. – № 4. – С. 10–14.

6 Капельное орошение сои на тяжелосуглинистых почвах / А. В. Шуравилин, В. В. Бородычѳ, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. – 2009. – № 3. – С. 21–25.

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

8 Ахмедов, А. Д. Контурь увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3(270). – С. 183–188.

9 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.

10 Ясониди, О. Е. Водосбережение при орошении / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. – 473 с.

11 Кулинич, И. К. Капельное орошение виноградников на горных склонах в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Кулинич Иван Константинович. – Волгоград, 1982. – 22 с.

12 Уржумова, Ю. С. Конструкция и гидравлический расчет водовыпуска системы локального низконапорного орошения садов и виноградников / Ю. С. Уржумова // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. по материалам междунар. конф. и науч. семинаров в 2003 г. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Ч. 1. – Новочеркасск, 2003. – С. 201–207.

13 Карпенко, О. Н. Капельное орошение и агротехника возделывания роз в теплице / О. Н. Карпенко // Проблемь агротехники и мелиорации. Трудь ЦКРНИИГиМ. – Днепрпетровск, 1989. – С. 71.

14 Кохно, Н. О. Орошение розы в теплице / Н. О. Кохно, М. В. Карпенко // Актуальные проблемы мелиорации и водного хозяйства Юга России: сб. науч. ст. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: НГМА, 2003. – С. 69–74.

15 Храбров, М. Ю. Технология малообъемного орошения / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 4. – С. 30–32.

References

1 Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositelnyye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya: v 2 ch.* [Irrigation systems in Russia: from generation to generation: monograph: in 2 parts]. Novocherkassk, Helikon Publ. (In Russian).

2 Aydarov I.P., Aleksashenko A.A., Pestov L.F., 1983. *Raschety konturov uvlazhneniya pri kapelnom oroshenii* [Calculations of moisture contours during drip irrigation]. *Teoriya i praktika kompleksnogo meliorativnogo regulirovaniya* [Theory and practice of complex reclamation regulation]. Moscow, pp. 15-22. (In Russian).

3 Shumakov B.B., Aleksashenko A.A., Vdovin N.I., 1978. *Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya kapelnogo orosheniya* [Theoretical and experimental studies of drip irrigation]. *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science]. Moscow, no. 7, pp. 82-92. (In Russian).

4 Golovanov A.I., Kuznetsov Ye.V., 1996. *Osnovy kapelnogo orosheniya* [Fundamentals of drip irrigation]. Krasnodar, KSAU Publ., 96 p. (In Russian).

5 Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. *Metodika rascheta i obosnovaniye parametrov kontura uvlazhneniya v usloviyakh otkrytogo i zakrytogo grunta* [The calculation method and substantiation of moisture contour parameters under the conditions of the open and closed ground]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 10-14. (In Russian).

6 Shuravilin A.V., Borodychev V.V., Lytov M.N., Belik O.A., 2009. *Kapelnoye orosheniye soi na tyazhelosuglinistykh pochvakh* [Drip irrigation of soybean on heavy loamy soils]. *Vestnik RUDN. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and livestock], no. 3, pp. 21-25. (In Russian).

7 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapelnoye orosheniye yabloni: monografiya* [Drip irrigation of the apple tree: monograph]. Novocherkassk, Lick Publ., 310 p. (In Russian).

8 Akhmedov A.D., Galiullina Ye.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapelnom oroshenii* [Soil moisture contours by drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Bulletin of Nizhnevolzhsk agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 3(270), pp. 183-188. (In Russian).

9 Gadzhiev M.K., 1984. *Osobennosti kapelnogo orosheniya vinogradnikov v usloviyakh Dagestanskoj ASSR. Avtoreferat dis. kand. s.-kh. nauk* [Features of drip irrigation of vineyards under the conditions of Dagestan ASSR. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Novocherkassk, 24 p. (In Russian).

10 Yasonidi O.Ye., 2004. *Vodosberezheniye pri oroshenii* [Water saving in irrigation]. Novocherkassk State Reclamation Academy. Novocherkassk, business-training centre “Nabla” YURSTU (NPI), 473 p. (In Russian).

11 Kulinich I.K., 1982. *Kapelnoye orosheniye vinogradnikov na gornykh sklonakh v usloviyakh Krasnodarskogo kraja. Avtoreferat dis. kand. s.-kh. nauk* [Drip irrigation of vineyards on mountain slopes under the conditions of Krasnodar Territory. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Volgograd, 22 p. (In Russian).

12 Urzhumova Yu.S., 2003. *Konstruktivnyy i gidravlicheskiy raschet vodovypuska sistemy lokalnogo nizkonapornogo orosheniya sadov i vinogradnikov* [Construction and hydraulic calculation of water discharge system of local low-pressure irrigation of orchards and vineyards]. *Sovremennyye problemy melioratsii zemel, puti i metody ikh resheniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarnykh konferentsiy i nauchnykh seminarov v 2003 g., FGNU «RosNIIPM»* [Urgent problems of land reclamation, ways and methods for their solution. Proceed. of international conferences and scientific seminars in 2003], FGNU “RosNIIPM”. Novocherkassk, part 1, pp. 201-207. (In Russian).

13 Karpenko O.N., 1989. *Kapelnoye orosheniye i agrotehnika vzdelyvaniya roz v teplitse* [Drip irrigation and agrotechnics of cultivation of roses in greenhouse]. *Problemy agrotehniki i melioratsii. Trudy TSKRNIIGiM* [Problems of agrotechnics and melioration. Proceedings of TsKRNIIGiM]. Dnepropetrovsk, 71 p. (In Russian).

14 Kokhno N.O., Karpenko M.V., 2003. *Orosheniye rozy v teplitse* [Irrigation of roses in greenhouse]. *Aktualnyye problemy melioratsii i vodnogo khozyaystva Yuga Rossii: sbornik nauchnykh statey nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Urgent problems of land reclamation and water management in the South of Russia: Proc. of scientific-practical conferences]. Novocherkassk, NGMA Publ., pp. 69-74. (In Russian).

15 Khrabrov M.Yu., 2000. *Tekhnologiya malooyemnogo orosheniya* [Technology of low-volume irrigation]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Melioration and Water Management], no. 4, pp. 30-32. (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: пр. Баклановский, 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