

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Федеральное государственное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГНУ «РосНИИПМ»)**

**БЕЗОПАСНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ**

Научный обзор

Новочеркасск
2010

УДК 626.844.001.25

ББК 20

Б 40

Научный обзор подготовлен сотрудниками ФГНУ «РосНИИПМ»: доктором сельскохозяйственных наук, профессором Балакаем Г. Т.; кандидатами сельскохозяйственных наук Воеводиной Л. А., Бабичевым А. Н., Кулыгиным В. А., Балакай Н. И., Евтуховым М. В., Латарией Д. Б.; кандидатами технических наук Снопичем Ю. Ф., Погоровым Т. А., Сухаревым Д. В.; Бабичевой Е. А.; сотрудниками ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ»: Тупикиным Н. И., Кропиной Е. А., Фиошиным А. Б.

Б 40 Безопасные системы и технологии капельного орошения: научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / составители: Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, Ю. Ф. Снопич, А. Н. Бабичев, В. А. Кулыгин, Н. И. Балакай, М. А. Евтухов, Д. Б. Латария, Т. А. Погоров, Д. В. Сухарев, Е. А. Бабичева, Н. И. Тупикин, Е. А. Кропина, А. Б. Фиошин. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 52 с.

УДК 626.844.001.25

ББК 20

ISBN 978-5-93503-039-1

© ФГНУ «РосНИИПМ», 2010

© Оформление.

ФГНУ «РосНИИПМ», 2010

Содержание

Введение	4
1. Распространение капельного орошения в мире	6
1.1 Понятие капельного орошения и микроорошения	6
1.2 Краткая история создания капельного орошения	7
1.3 Площади, занятые системами капельного орошения в мире	7
2. Преимущества и недостатки капельного орошения	9
3. Влияние водного и питательного режимов на урожай- ность овощных культур при капельном орошении	11
4. Основные составные части капельного орошения	15
4.1 Обязательные компоненты системы	15
4.2 Гидравлический расчет трубопроводов при капельном орошении	21
5. Расчетные методы определения водопотребления	26
6. Влияние качества воды на работу СКО и доступность пи- тательных веществ	29
7. Особенности применения удобрений при капельном оро- шении	31
7.1 Особенности проведения фертигации	34
7.2 Обеспечение экологической безопасности при проведе- нии фертигации (химизации)	37
7.3 Стратегия управления азотом	38
8. Влияние капельного орошения на почву	39
8.1 Закономерности формирования контура увлажнения почвы	41
8.2 Меры по предотвращению опасного влияния засоления	43
Заключение	46
Литература	47

Введение

Водные ресурсы на Европейской территории России, где проживает восемьдесят процентов населения, а также сосредоточена основная часть хозяйственной инфраструктуры, составляют лишь восемь процентов от всех водных запасов страны. В южных районах наблюдается дефицит воды. При условии применения орошения здесь возможно получать высокие урожаи и обеспечить потребности населения всей страны. Наиболее эффективным способом орошения в развитых странах признается капельное орошение.

Капельное орошение в настоящее время является одним из интенсивно развивающихся способов орошения. В последние двадцать лет площади, занятые капельным орошением, расширились более чем в 6 раз и в настоящее время в мире составляют порядка 6,1 млн га [1].

В нашей стране, по оценке ICID, в 2005 году было занято около 200 тыс. га, а если учесть, что фактически в РФ поливается порядка 400 тыс. га, то получается, что доля площадей, где применяется капельное орошение, является значительной [2, 3].

Применение капельного орошения во многих странах мира доказало его преимущества, среди которых: снижение трудовых, энергетических и ресурсных затрат, возможность использования на землях, непригодных для орошения другими способами, например на землях с высоким залеганием грунтовых вод, на крутых склонах, на почвах легкого механического состава. Использование капельного орошения позволяет снизить оросительные нормы более чем на 50 % по сравнению с традиционными способами, вносить удобрения для получения максимальных урожаев запланированного качества. Его возможно применять при повышенной минерализации воды, на полях неправильной формы, при наличии малodeбитных источников водоснабжения и использовании местного стока, резервы которого на Юге России составляют до 7,0 кубо-километров в год, что может обеспечить полив на площади около 2-х млн га [4].

Капельное орошение является наиболее технически сложным и дорогостоящим способом орошения. Недостаточный учет исходных условий при проектировании и эксплуатации системы приводит к негативным результатам, когда вложенные ресурсы (финансовые, трудовые, материальные) не дают ожидаемой отдачи. При непродуман-

ном использовании капельного орошения возможна не только потеря вложенных средств, но и нанесение вреда окружающей среде [5].

Практика применения систем капельного орошения при возделывании овощных культур на Юге России в последние годы показала, что при проектировании и эксплуатации их уделяется недостаточное внимание вопросам влияния на почвенное плодородие. В связи с этим возникла потребность в разработке агротехнических требований к системам капельного орошения, обеспечивающих ресурсосбережение и сохранение плодородия черноземных почв.

1. Распространение капельного орошения в мире

1.1 Понятие капельного орошения и микроорошения

Капельное орошение – локальный способ полива с подачей воды по пластмассовым трубопроводам через капельницы безнапорно по каплям на поверхность или под поверхность почвы в зону распространения основной массы корней каждого отдельного растения [6, 7, 8].

Капельное орошение относится к так называемому микроорошению, которое включает кроме капельного орошения, в котором вода подается через капельницы (рис. 1), специально вмонтированные в трубопроводы или расположенные на трубопроводе, также и орошение с помощью микроспринклеров различного типа, имеющих расход до 200 л/час (рис. 2) [2].



Рис. 1. Капельницы, вмонтированные в трубопровод и предназначенные для установки на трубопроводе [2]



Рис. 2. Микроспринклеры [2]

1.2 Краткая история создания капельного орошения

Началом возникновения капельного орошения можно считать использование еще в древности глиняных горшков, заполненных водой, из которых вода постепенно просачивалась в почву. Современное капельное орошение начало свое развитие в Германии в 1860 году, когда исследователи начали экспериментировать с подпочвенным орошением, используя глиняные трубы для комбинирования оросительной и дренажной систем. В 1913 году Е. В. House в университете Колорадо Colorado State University сумел успешно подать воду в корнеобитаемую зону растений без подъема уровня грунтовых вод. В 1920-х годах в Германии был представлен перфорированный трубопровод, а в 1934 году О. Е. Robey проводил эксперименты с пористыми тканевыми шлангами в университете Мичигана. После второй мировой войны развитие производства современных пластмасс позволило реализовать основные преимущества капельного орошения. Пластмассовые микротрубки и различного типа капельницы начали использовать в теплицах Европы и США [1].

Новая технология капельного орошения была представлена Simcha Blass и его сыном Yeshayahu в Израиле, где он разработал и запатентовал первую использовавшуюся на практике капельницу для поверхностного капельного орошения. Вместо того чтобы выпускать воду через небольшие отверстия, которые легко засорялись мелкими частицами, вода выпускалась через большего размера и длины проходы, в которых с помощью трения внутри пластмассовой капельницы замедлялся поток воды. Первый производственный участок компании «Нетафим» с использованием системы такого типа был установлен в 1965 году Блассом в Израиле в кибуце Хатзерим [9].

1.3 Площади, занятые системами капельного орошения в мире

Широкомасштабное использование капельного орошения началось в 70-х годах в Австралии, Израиле, Мексике, Новой Зеландии, США и Южной Африке для орошения овощных и плодовых культур [10, 11]. Сообщалось, что площади под капельным орошением составляли 56000 га. По данным Международной Комиссии по Ирригации и Дренажу (ICID), площади под микроорошением медленно, но неуклонно увеличивались и к 1981 г. составили 0,4 млн га, 1,1 млн га

в 1986 г., 1,8 млн га в 1991 г. и около 3,0 млн га в 2000 г. вместе со спринклерным микроорошением [2].

Десятилетие 1990-2000 годов свидетельствовало о резком увеличении распространения технологии капельного орошения как в развитых, так и в развивающихся странах. В случае с микроорошением наибольшее распространение отмечено на Американском континенте (1,9 млн га), затем в Европе и Азии (1,8 млн га в каждой), Африке (0,4 млн га) и Океании (0,2 млн га). Площадь под микроорошением увеличилась почти в шесть раз в течение последних 20 лет – с 1,1 млн га в 1986 до 6,1 млн га в 2006 (рис. 3) [1].

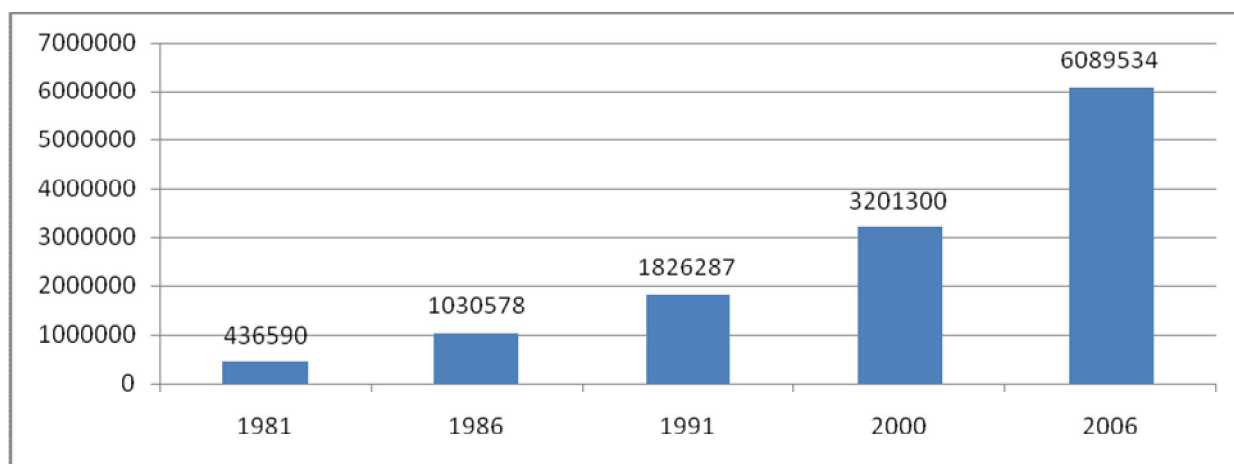


Рис. 3. Площади под микроорошением в мире [1]

По данным S.A. Kulkarni и др. [2], в 2005 г. в РФ было 200000 га под капельным орошением, что составляет около 4 % от всей орошаемой площади. Наибольший процент орошаемых площадей под капельным орошением отмечен в Израиле (74 %), Испании (26 %), Саудовской Аравии (17 %), Тунисе (16 %), Южной Африке (15 %), Италии (14 %). Наибольшие площади под капельным орошением заняты в США – 1209757 га (6 % от всей орошаемой площади) (табл. 1).

Таблица 1

Страны с наибольшими площадями, занятыми микроорошением, по данным ICID, 2005 год

Страна	Площадь	% от всей площади орошения
1	2	3
США	1209757	6
Испания	914112	26
Индия	589251	1

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Китай	371000	1
Италия	366038	14
Бразилия	338000	10
Южная Африка	220000	15
Россия	200000	4
Мексика	200000	3
Саудовская Аравия	198000	17
Австралия	180000	9
Израиль	170000	74
Иран	160000	2
Греция	128583	9
Египет	104000	3
Франция	103300	7
Чили	62153	3
Сирия	62000	5
Тунис	62000	16
Япония	55000	2
Всего	5693194	3

За последние 15 лет произошло значительное сокращение поливных площадей [12]. Из Открытого письма Д. А. Медведеву академиком П. А. Полад-Заде, А. А. Вискне, Б. М. Кизяева известно, что из 6,3 млн га орошаемых земель, использовавшихся в 1990 году в России, сегодня в работоспособном состоянии находится менее 2 млн га, а поливается только около 0,4 млн [3]. Сравнив цифры, представленные в этом письме (400000 га, которые поливаются), и вышеприведенные данные Международной комиссии по ирригации и дренажу (площадь в РФ под микроорошением составляет 200000 га), получается, что половина фактически поливаемых в настоящее время площадей в Российской Федерации поливается с помощью капельного орошения. Возможно, что истина находится где-то посередине, но отрицать того, что капельное орошение становится в нашей стране одним из динамично развивающихся способов орошения, нельзя.

2. Преимущества и недостатки капельного орошения

С помощью микроорошения и капельного орошения в частности можно поливать виноградники, сады, полевые культуры, ветроломные полосы, овощные культуры, тепличные культуры, а также ландшафтные системы [13].

Преимуществами капельного орошения являются [1, 14]:

- повышение урожайности культуры с одновременным снижением поливных норм и уменьшением затрат воды на получение единицы продукции;

- уменьшение площади увлажняемой зоны, и как следствие, снижение потерь влаги за счет испарения;

- возможность проведения поливов при сильном ветре с сохранением равномерности распределения влаги на орошаемом участке;

- отсутствие необходимости тщательной планировки орошаемого участка, так как поливные трубопроводы с компенсирующими давление капельницами позволяют применять их в самых сложных топографических условиях при отсутствии поверхностного стока;

- снижение оросительных норм, практически исключающее возможность фильтрации в нижележащие горизонты и позволяет применять системы капельного орошения (СКО) на территориях с залеганием уровня грунтовых вод выше, чем допустимо для других способов полива, без опасности вторичного засоления;

- предоставляется возможность проведения сельскохозяйственных работ во время орошения;

- обеспечивается подача удобрений непосредственно в корнеобитаемый слой;

- исключаются периферийные потери воды;

- уменьшается количество сорняков в междурядьях;

- при переходе от других типов орошения к капельному, процесс адаптации происходит быстро и без проблем;

- улучшение экологической обстановки за счет исключения водной эрозии и стока с участков, где применяется капельное орошение;

- возможность использования на крутых склонах, где методы могут вызвать чрезмерную эрозию.

Основные недостатки капельного орошения – это [1, 14]:

- высокая стоимость;

- большое количество пластмассовых труб, которые необходимо утилизировать, следовательно, увеличение количества отходов;

- засорение капельниц;

- непригодность для использования в качестве противозаморозкового орошения;

- не приемлемо для вспомогательных технических поливов;

- при определенных типах почв и поливной воды возможно увеличение концентрации солей в зоне смоченного контура, влекущее за собой опасность их попадания в корневой горизонт в случае длительного выпадения осадков небольшими расходами;

- некоторым культурам для хорошего роста и развития необходимо смачивание листьев.

3. Влияние водного и питательного режимов на урожайность овощных культур при капельном орошении

Урожайность при использовании капельного орошения, по данным многих источников, способна значительно повыситься. Так, по данным компании A.I.K. LTD, урожайность овощных культур при использовании систем капельного орошения может составлять, например, лука репчатого 120 т/га (табл. 2) [15].

Таблица 2

Урожайность овощных культур при использовании систем капельного орошения [15]

Культура	Урожайность, т/га
Томат	160
Лук репчатый	120
Капуста белокочанная	120
Морковь	120
Свекла столовая	100
Огурец в растил по почве	50
Сладкий перец	100
Баклажан	120
Картофель ранний	60

Согласно результатам исследований В. А. Федосеевой, проводившихся в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья (2005-2007 гг.), – при повышении предполивного порога от 70 до 90 % НВ урожайность томатов в среднем увеличилась с 49,7 до 96,4 т/га. Увеличение дозы удобрений с $N_{110}P_{40}K_{55}$ до $N_{190}P_{70}K_{90}$ на фоне данного водного режима почвы также способствует повышению урожайности в среднем на 58-75 % [16].

По данным А. С. Овчинникова, И. И. Азарьевой, формирование наибольшей урожайности томатов 95, 96 т/га происходило при проведении полосного объемного рыхления и поливной норме 190 м³/га [17].

Исследования А. С. Овчинникова, И. И. Азарьевой показали, что применение наибольших в опыте поливных норм $220 \text{ м}^3/\text{га}$ и проведение полосного объемного рыхления способствовало развитию наибольшей корневой массы, однако урожайность томатов была получена при менее высокой поливной норме $190 \text{ м}^3/\text{га}$ [18].

Для оценки эффективности капельного орошения томатов в Волгоградской области М. С. Григоровым, В. А. Федосевой закладывались полевые опыты по изучению различных водных и пищевых режимов почвы с поддержанием предполивного порога влажности в ее активном слое на уровнях 70, 80 и 90 % НВ и внесением доз удобрений: $\text{N}_{110}\text{P}_{45}\text{K}_{50}$ и $\text{N}_{150}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$. В варианте допустимого увеличения влажности почвы до 90 % НВ эффективность соответствующего увеличения дозы внесения удобрений характеризовалась повышением урожайности с 84,7 до 90,8 т/га. Повышение суммарного расхода влаги растений до $6640 \pm 50 \text{ м}^3/\text{га}$ обеспечило их урожайность 90 т/га. Уменьшение предполивного порога влажности приводило к получению более низкой урожайности с 57,7 до 63,1 т/га [19].

В. Н. Бочаровым, Г. Ф. Соколовой, Н. Н. Киселевой, Д. В. Кравцовой, проводившими исследования в дельте Волги при капельном орошении, было установлено, что при поддержании оптимальной влажности почвы 80-90 % НВ наименьшее количество воды в сутки (в среднем $28 \text{ м}^3/\text{га}$) растения томата расходуют в период нарастания вегетативной массы, наибольшее ($64 \text{ м}^3/\text{га}$) – в фазе плодообразования [20].

По данным О. Е. Ясониди, при изучении эффективности капельного орошения в полевых опытах на томатах, в среднем за три года урожайность томатов составила 87,0 т/га при предполивном пороге влажности почвы 75-85% НВ и 96,5 т/га – при 85-95 % НВ [21].

В результате исследований, проведенных на светло-каштановых почвах Волгоградской области, с целью получения урожайности томата 80-140 т/га, Е. Н. Ероновой установлено, что получение 110 т/га товарной продукции томатов возможно при режиме влажности почвы 80-70 % НВ на фоне внесения удобрений в дозе $\text{N}_{160}\text{P}_{120}\text{K}_{100}$, или 70-70 % НВ с дозой удобрений $\text{N}_{230}\text{P}_{180}\text{K}_{270}$. Для получения запланированного урожая 140 т/га плодов томата необходимо обеспечение влажности почвы на уровне 80-70 % НВ и 80-80 % НВ в сочетании с дозой удобрений $\text{N}_{230}\text{P}_{180}\text{K}_{270}$ [22].

Исследованиями В. Н. Бочарова и Г. Ф. Соколовой в Астраханской области установлено, что наибольшую урожайность томата 102 т/га в почвенно-климатических условиях Волго-Донского междуречья возможно получить при сочетании высокого уровня предполивной влажности 80-90 % НВ с применением минеральных удобрений как при основном внесении, так и в подкормках общей дозой $N_{260}P_{100}K_{130}$ [23].

Согласно данным М. Ромащенко, В. Корюненко, проводивших исследования с перцем сладким и баклажаном при капельном орошении в условиях Запорожской области, установлено, что в период посадки–завязывания плодов влажность почвы необходимо поддерживать на уровне не ниже 75 % НВ. Наибольшая интенсивность потребления влаги баклажаном наблюдается в период завязывания плодов–начала плодоношения. В этот период влажность почвы в слое 40 см необходимо поддерживать не ниже 80 % НВ. Ширина ленты увлажнения должна составлять приблизительно 60 см. При этом величина поливной нормы при схеме посадки 90+50 х (25-30) см составляла 100-110 м³/га [24].

Анализ данных, полученных О. В. Бочарниковой и В. С. Бочарниковым, свидетельствует, что наибольший выход товарной продукции сладкого перца при капельном орошении формируется на варианте с влажностью активного слоя почвы 90 % НВ, на фоне внесения минеральных удобрений $N_{230}P_{150}K_{230}$. Однако при анализе эффективности режима капельного орошения перца по показателям суммарного расхода оросительной воды, отнесенного к единице продукции (на 1 т плодов перца), установлено, что наименьшие затраты воды на формирование единицы урожая сложились на варианте с поддержанием влажности почвы на уровне 80 % НВ при уровне минерального питания $N_{180}P_{115}K_{170}$, величина коэффициента водопотребления составила 77,8 м³/т. С понижением порога влажности до уровня 60 % НВ урожайность снизилась до 20,3-35,7 т/га, что на 16,2-28,0 т/га меньше, чем при 90 % НВ влажности почвы [25].

А. С. Овчинников и Т. В. Пантюшина, проводившие исследования, направленные на совершенствование элементов технологии капельного орошения и удобрения гибридов сладкого перца, установили, что при поддержании порога влажности на уровне 80 % НВ и ми-

неральном питании $N_{180}P_{115}K_{170}$ вода используется наиболее эффективно, коэффициент водопотребления составил $77,8 \text{ м}^3/\text{т}$ [26].

При проведении исследований, направленных на повышение урожайности и качества моркови (сорт Шантенэ 2461) при капельном орошении, А. А. Мартыновой установлено, что максимальный урожай был зафиксирован на варианте опыта с поддержанием дифференцированного порога влажности почвы (70-90-80) с применением дозы минеральных удобрений ($N_{220}P_{180}K_{280}$), который составил в 2007 году – $69,4 \text{ т/га}$ и в 2008 году – $69,3 \text{ т/га}$ [27].

В Волгоградской области М. С. Григоровым, В. М. Жидковым и В. М. Захаровым в 2000-2004 годах проводились исследования по отработке дифференцированного капельного полива картофеля (сорт Ред Скарлет) на среднесуглинистых светло-каштановых почвах. Наиболее высокий урожай картофеля 74 т/га был получен при режиме орошения 60-85-70 % НВ. При этом выход стандартных клубней составил 90-95 %. Экономия оросительной воды составила до 20 м^3 на 1 тонну продукции. Экономия в сравнении с дождеванием составила 30-40 % [28].

А. С. Овчинниковым, М. А. Акулининой, В. В. Бородычевым и Е. В. Шенцевой в 2005-2007 годах были проведены исследования, направленные на разработку и освоение режимов орошения и системы минеральных удобрений в дозах на планируемую урожайность огурца $30-70 \text{ т/га}$ при капельном орошении. Наибольшая урожайность отмечена на варианте с внесением соломы, поддержанием предполивного порога влажности на уровне 90 % НВ, при внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 70 т/га – $70,3 \text{ т/га}$ [29]. Получение максимальной урожайности на варианте с внесением соломы указывает на благоприятное влияние улучшения водно-воздушного режима орошаемых почв.

О положительной роли улучшения водно-воздушного режима тяжелых черноземных почв при возделывании картофеля посредством применения различных агрометеорологических приемов, таких как щелевание, фрезерование, глубокое безотвальное рыхление, сообщает в своих публикациях В. А. Кулыгин. В его исследованиях урожайность картофеля увеличивалась на 10-42 % [30, 31, 32].

Таким образом, анализ литературных источников показал, что количества исследований, проведенных на черноземных почвах при

использовании капельного орошения, недостаточно, основные исследования в последние годы проводились на каштановых почвах. Большинство исследований доказало эффективность применения дифференцированных режимов орошения при использовании капельного орошения на различных овощных культурах. Единое мнение об оптимальных режимах орошения и системах удобрения еще не сформировано и требует проведения дополнительных исследований.

4. Основные составные части капельного орошения

Системы капельного орошения (СКО) обеспечивают водой и питательными элементами напрямую корнеобитаемую зону растения через встроенные в полиэтиленовых трубках капельницы, которые могут быть расположены на или ниже поверхности почвы. Практика применения СКО показала, что правильно спроектированные и управляемые системы могут увеличивать урожайность при одновременной экономии воды, удобрений, энергии и денег. Первый шаг к созданию приносящей прибыль СКО – это правильный выбор компонентов системы (рис. 4).

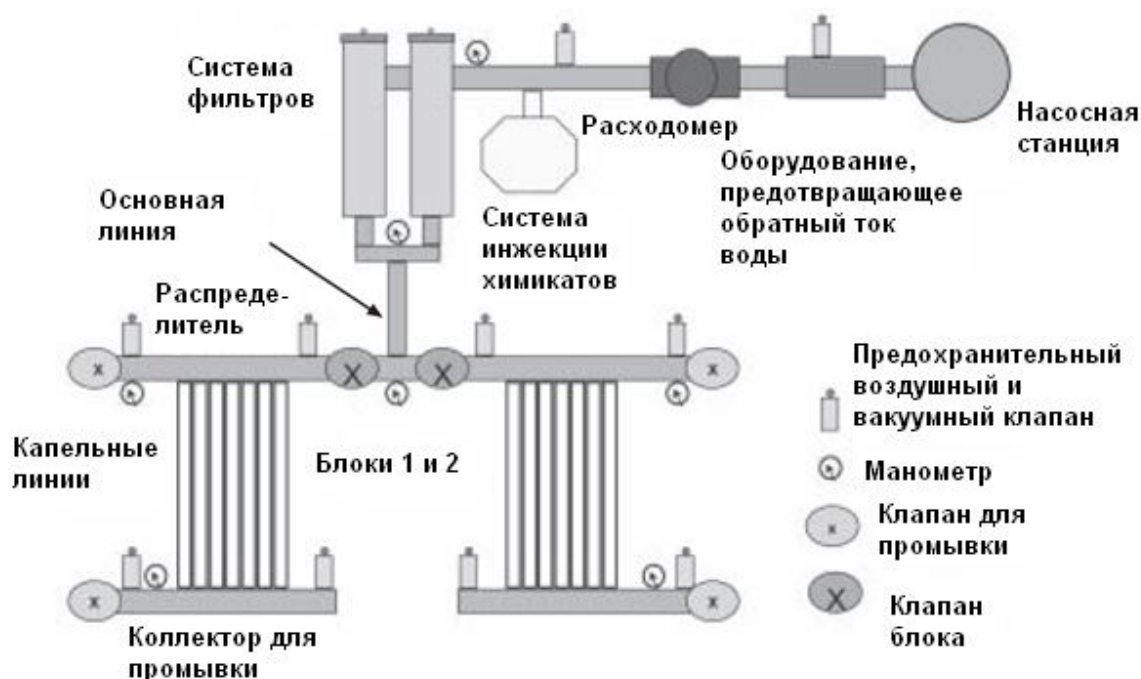


Рис. 4. Схематическое изображение системы капельного орошения

4.1 Обязательные компоненты системы

СКО может функционировать без некоторых из перечисленных компонентов, но управлять и эксплуатировать такую систему сложно.

В конечном счете, система может выйти из строя из-за недостаточных сигналов оператору о состоянии работы или недостаточной защиты капельниц. Обычно существует несколько исполнений каждого компонента; ниже перечислены их опции. Специальные опции могут быть доступными или нет для вашего использования в зависимости от особенностей участка и системы. Основные факторы, которые должны быть учтены при выборе каждого компонента, перечислены по значимости [33].

Насос. СКО обычно требуют низкого давления. Нужен только насос, как в случае для большинства оросительных систем. Требование к давлению находится в диапазоне для большинства низконапорных дождевальных машин кругового действия. Размер насоса зависит от расхода и общего напора. Требования по общему напору включают высоту всасывания насоса, потери на трение, изменения в высотах, давление в системе и, для СКО, потери давления в фильтре и других структурных компонентах, таких как контрольные клапаны, расходомеры, обратные (запорные) клапаны, основные и подосновные снабжающие линии. Таким образом, размер насоса будет зависеть от емкости водоснабжения, необходимого давления в системе, размеров зоны (площади, которая должна орошаться одновременно) и фильтра и требований к промывающей линии.

Фильтрационная система. Фильтрационная система удаляет взвешенные частицы из воды для предотвращения засорения эмиттеров. Группа фильтров может быть установлена параллельно для увеличения общего расхода. Серия фильтров может быть использована для улучшения фильтрации. *Опции.* Обычно используют сетчатые, дисковые и песчано-гравийные фильтры в зависимости от качества воды. Центробежные сепараторы песка используют в тех случаях, когда вода содержит большое количество песка из глубоких скважин. Для систем, снабжаемых водой из поверхностных водных источников, в дополнение к обычному фильтрационному оборудованию могут потребоваться бассейны-отстойники для удаления отложений. Комбинация оборудования может быть использована для удаления взвешенных частиц. Многие из этих фильтрационных систем имеют возможность автоматической обратной промывки.

Таким образом, качество воды, требования капельниц (максимально допустимый размер частиц) и расход системы являются важ-

ными факторами, влияющими на фильтрационное оборудование. Качество воды влияет на количество, размер и тип (органических или минеральных) удаляемых частиц. Например, поверхностные воды обычно содержат большее количество органического вещества, чем грунтовые воды, что влияет на тип фильтра, который может быть использован. Требования к фильтрации определяются размером эмиттера или отверстия. Такая информация предоставляется производителем и должна помогать в продлении срока службы системы. В общем, фильтрация должна предотвращать прохождение частиц размером 1/10 от самого малого прохода в капельнице. Первичные фильтры разделяют на сетчатые, дисковые или песчано-гравийные.

Клапан, поддерживающий давление. Зависит от типа фильтрации, может быть оборудован клапаном, поддерживающим давление для обеспечения промывки (автоматической или вручную).

Манометры. Фильтры должны быть снабжены манометрами на входе и выходе для показаний разницы давления, необходимой для начала промывки фильтрационной единицы, вручную или автоматически. Следуйте рекомендациям производителя о величине разницы давления, при которой должна быть начата промывка. Также рекомендуется иметь манометры в начале основной доставляющей линии и на отдаленном конце системы, установленные на промывающей линии. Расход по показаниям давления и расходомеров системы обеспечивает информацией оператора о состоянии капельниц (их работе и засорении).

Предохранитель обратного тока. Это оборудование предотвращает обратный ток удобрений, химикатов или частиц в водный источник. Его устанавливают между водным источником или насосом и линией, впрыскивающей химикаты. *Опции.* Промежуток физического воздуха между линией с водой и фертигационным баком, прерыватель атмосферного вакуума, прерыватель вакуума давления или двойной обратный клапан являются опциями для предотвращения обратного потока. *Выводы.* Важным является тип жидкости, которая может иметь обратный ток (токсическая или нетоксическая), а также возможное возникновение обратного давления или обратного сифонирования (обратной перекачки). При установке оборудования следует соблюдать постановления федеральных и местных органов власти.

Регулирующий клапан. Эти клапаны используют для помощи при поддержании правильного давления в оросительных линиях. *Выводы.* Важно учитывать величину потерь давления, рекомендованную изготовителем эмиттера, и потери давления в трубопроводе во время доставки воды к пункту соединения капельной линии. Эмиттеры обычно рассчитаны производителем так, чтобы обеспечивать определенный расход, если работают при заданном давлении. Регулирующий клапан должен быть такого размера, чтобы обеспечивать это давление, в то же время, учитывая потери давления между клапаном и эмиттером.

Химический инжектор. Химический инжектор точно впрыскивает удобрения и пестициды в оросительную систему. Существует два типа химических инжекторов:

1) постоянная норма (позитивное перемещение): диафрагма, поршень или шестеренчатый насос;

2) переменная норма: инжекторы Вентури, работающие на разнице давления или эластичные баллоны (емкости, баки).

Выводы. Типы используемых химикатов, дозы инъекции и требуемая точность являются определяющими факторами при выборе наилучшего типа инжектора. Требуемое количество инъекционных систем и расположения их точек инъекции зависит от опасности засорения и/или того материала, который будет инжектирован (впрыскиваться).

Расходомер. Расходомер измеряет объем воды, проходящей через систему как скорость потока, так и общий аккумулярованный объем. Расходомер обеспечивает оператора информацией о том, как система работает и как спланировать поливы.

Обратный клапан линии химигации. Этот клапан, установленный между инжектором и водным источником, предотвращает обратный ток воды в бак с химикатами в случае поломки инжектора. Этот клапан часто является составной (интегрированной) частью инъекционной установки и может управлять как обратным давлением, так и обратным сифонированием. *Выводы.* При установке оборудования следует соблюдать постановления федеральных и местных органов власти.

Клапан зоны. Такие клапаны отрываются и закрываются для контроля расхода соответствующей зоны. Их можно контролировать

автоматически, используя электронную контрольную систему. В сельскохозяйственном производстве такие клапаны зоны часто управляются вручную, там, где размер зоны значительный.

Регулятор давления. Регуляторы давления обычно расположены на распределителе для помощи при регулировании рабочего давления в капельницах. *Выводы.* Основными исходными данными являются тарирование капельниц изготовителем и линия потерь давления. Капельницы обычно градуированы изготовителем для обеспечения определенного расхода, если работают при заданном давлении. Регулятор давления должен быть таких размеров, чтобы обеспечить это давление, одновременно учитывая потери давления, которые имеют место между регулятором и капельницами.

Воздушные и вакуумные предохранительные клапаны. Такие клапаны предотвращают засасывание почвы или частиц в капельницы при отключении оросительной системы или при стекании капельных линий. Они не могут управляться обратным давлением, только обратным сифонированием. Все точки системы с подъемами по высоте должны быть оборудованы воздушными или вакуумными предохранительными клапанами.

Основные и подосновные линии. Основные и подосновные линии являются транспортирующими трубопроводами, которые доставляют воду от головного контролирующего сооружения системы до распределителей с подсоединенными капельными линиями. *Выводы.* Давление в системе, требуемые расходы, гидравлический удар и стоимость труб являются факторами, на которые следует обратить внимание.

Промывающие линии. Промывающие линии на концах системы служат для трех целей:

- 1) позволить любым отложениям и загрязнениям быть вымытыми из капельных линий;
- 2) уравновесить давления в капельных линиях;
- 3) позволить положительному давлению на обоих концах капельной линии прерываться для предотвращения попадания (засасывания) почвы в капельную линию.

Основной распределитель. Основной распределитель доставляет воду от подосновной линии к латералям и связывает несколько капельных линий вместе в одну подконтрольную единицу. На большин-

стве сельскохозяйственных полей подосновная линия служит этой функции.

Капельная линия. Капельная линия является полиэтиленовой трубкой, в которую вмонтированы встроенные капельницы. Расстояние между капельницами и расход выбирают для удовлетворения требований растений и водоудерживающей способности почвы. Они должны быть совместимы с (накачиваемым) давлением (насоса) и емкостью потока. Капельные линии различают по толщине стенок, диаметру, расстоянию между эмиттерами и расходам. Большинство СКО используют капельные линии с толщиной стенок от 8 (0,250 мм) до 15 (0,375 мм) мил. На СКО для ширококорядных культур стремятся использовать большие диаметры (7/8 дюйма или большего диаметра), тонкостенные капельные линии с малым расходом, которые иногда относят к капельным лентам. Большие диаметры и более низкие расходы позволяют удлинить длину добегаания и увеличить размер зоны, которая соответствует обычным размерам полей. Имеются также капельные линии с компенсацией давления, но обычно они не используются из-за высокой стоимости. Качество воды также может влиять на выбор размера эмиттера и расстояния для того, чтобы избежать засорения.

Выводы. Толщину стенок трубок, расстояние между капельницами, расход, механический состав почвы и водоудерживающую способность почвы необходимо учитывать, потому что они влияют на содержание влаги в корнеобитаемой зоне растения и ее распределение.

Соединители (коннекторы). Коннекторы необходимы для прикрепления капельной линии к распределителю или подосновной линии. Количество и тип зависят от схемы расположения системы. Существует много типов коннекторов. Опции коннекторов включают склеивание, резиновые прокладки, резьбу, и уплотнение. Они могут иметь прямое соединение с капельной линией или могут подсоединяться через снабжающую трубку, которая прикреплена к капельной линии. Опции коннектора капельной линии состоят в соединении (проволокой), зажиме (хомутом) или уплотнении.

Для точной доставки воды и питательных веществ в соответствии с проектом и потребностями культуры может быть применен *автоматический контроль*. Он также может уменьшить необходимость ручного управления. *Автоматический контроль.* Насосы, кла-

паны, инжекторы могут включаться и выключаться или открываться и закрываться автоматически в соответствии с продолжительностью поливов и последовательностью поливаемых зон. Это можно осуществить с помощью автоматических таймеров, сенсоров почвенной влаги или с помощью моделей, работающих по метеоданным для определения момента запуска системы. Компьютерный контроль и мониторинг являются дополнительной опцией, но не обязательны для автоматизации.

4.2 Гидравлический расчет трубопроводов при капельном орошении

Магистральные и распределительные трубопроводы капельного орошения по гидравлическому режиму работы являются системой с турбулентным установившимся равномерным движением жидкости. Они ничем не отличаются в гидравлическом отношении от аналогичных трубопроводов систем дождевания и поверхностного орошения. Их расчет следует вести по обычным методикам с использованием формул для турбулентного установившегося равномерного движения жидкости или по таблицам для гидравлического расчета Ф. А. Шевелева.

Поливные и распределительные трубопроводы последнего порядка отличаются от остальных тем, что имеют по своей длине движение жидкости с переменной массой и равномерно распределительный путевой отбор воды. Существует ряд методик гидравлического расчета поливных и распределительных трубопроводов, основанных на теоретических и эмпирических зависимостях. Все они имеют различную степень точности, сложности и успешно используются за рубежом.

Гидравлический расчет сводится к подбору такого диаметра поливного трубопровода, который обеспечит нормальный гидравлический режим работы и условие $\frac{h_e 100}{n} \leq 5,0 \%$, т.е. потери напора h_e не должны превышать 0,05 напора в голове поливного трубопровода. При менее жестких требованиях допускаются потери напора $h_e \leq h_b h_H (h_H h_b)$ – диапазон рабочих напоров капельницы).

Методика гидравлического расчета, предложенная О. Е. Ясониди [34], рассматривает поливной трубопровод с капельни-

цами как низконапорную систему с путевым и равномерным отбором воды по длине.

Расчет поливного трубопровода сводится к определению внутреннего диаметра, обеспечивающего минимальные суммарные потери напора в его конце. Расчет ведется методом подбора диаметра с последовательным использованием стандартных типоразмеров. Поливные трубопроводы изготавливаются из полиэтиленовых труб низкой плотности по ГОСТ 18599-73. Обычно используются трубы диаметром 12, 16, 20 и 23 мм.

На поливном трубопроводе капельницы расположены друг от друга на небольшом расстоянии 0,5-4,0 м. Отношение расстояний между капельницами (d) к длине трубопровода весьма мало, поэтому расчет потерь напора можно вести как для трубопроводов со средним равномерно распределенным расходом по длине при нулевом его значении в конце.

При турбулентном установившемся движении жидкости в круглых трубопроводах потери напора по длине в соответствии с уравнением Вейсбаха-Дарси равны:

$$\lambda = \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

где h_e – потери напора в поливном трубопроводе, м;

λ – коэффициент гидравлического трения;

l – длина трубопровода, м;

d – диаметр трубопровода, м;

V – скорость движения воды, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Преобразовав формулу Вейсбаха-Дарси, получим:

$$h_e = \frac{8\lambda l Q^2}{gd^5 \Pi^2}. \quad (2)$$

При равномерно распределенных расходах по длине трубопроводов потери напора находим по формуле

$$h_e = \frac{1}{3} \cdot \frac{8Q^2 l \lambda}{\Pi^2 d^5 g}, \quad (3)$$

где Q – расход в голове поливного трубопровода, м³/с.

Зная схему посадки культур, расход в голове трубопровода можно рассчитать по зависимости

$$Q = q_1 n_1 n_2, \quad (4)$$

где q_1 – расход капельницы, м³/с;

n_1 – количество капельниц на одном растении, шт.;

n_2 – количество растений в ряду, шт.

Приняв длину поливного трубопровода l , напор h в голове поливного трубопровода и определив расход Q , можно рассчитывать необходимый внутренний диаметр по формуле

$$d = \sqrt{\frac{8\lambda Q^2}{3g0,05h\Pi^2}}, \quad (5)$$

где h – напор в голове поливного трубопровода, м;

$0,05 h$ – потери напора приняты равными 5 % от напора в голове поливного трубопровода, т.е. $5\% \geq \frac{h_e 100}{h}$.

Такое условие обеспечивает равномерные и стабильные расходы капельниц по длине поливного трубопровода.

Коэффициенты гидравлического сопротивления трубопровода с капельницами находим по эмпирической формуле, ранее выведенной на основании лабораторных и лабораторно-полевых исследований:

$$\lambda = \frac{1,363}{Re_d^{0,3484}}, \quad (6)$$

где Re_d – число Рейнольдса, выраженное через диаметр трубопровода.

$$Re_d = \frac{Vd}{\gamma}, \quad (7)$$

где V – скорость движения воды в трубопроводе, м/с;

d – диаметр трубопровода, м;

γ – коэффициент кинематической вязкости воды при температуре 20 °С равен 0,000001 м²/с.

Скорость движения воды в трубопроводе находим по формуле

$$V = \frac{4Q}{\Pi d^2}. \quad (8)$$

Напор в голове поливного трубопровода определяется расходно-напорной характеристикой принятой капельницы. Например, в случае использования капельниц «Молдавия 1» напор в голове поливного трубопровода будет равен 20 м/с. Поливные трубопроводы рассчитываются на расход в голове одним диаметром.

Распределительные трубопроводы последнего порядка рассчитываются аналогичным образом. Расчет ведут переменным диаметром по участкам, начиная с конца. Расход распределительного трубопровода можно определить по формуле

$$Q_{\Psi} = \frac{l_{\Psi}}{b_H} Q, \quad (9)$$

где Q_{Ψ} – расход в голове распределительного трубопровода или его участка, м³/с;

l_{Ψ} – длина распределительного трубопровода, м, принимается в зависимости от расходов капельницы, форм участков, схем посадки, рельефа от 200 до 400 м;

b_H – расстояние между поливными трубопроводами, оно зависит от ширины междурядий и на виноградниках равно 2,5-2,0 м, в садах 4,0-8,0 м, на овощах – 0,7-1,4 м;

Q – расход поливного трубопровода, м³/с.

Согласно ГОСТ 18599-73, в СССР выпускались трубы из полиэтилена низкой плотности средне-легкого типа с внутренними диаметрами: 0,046, 0,058, 0,069, 0,083, 0,102, 0,115, 0,129, 0,148 м. Эти трубы используются для строительства распределительных трубопроводов последнего порядка. При расчете последовательно применяются диаметры от наименьшего к наибольшему [35].

Предлагаемая методика гидравлического расчета трубопроводов капельного орошения базируется на традиционных формулах гидравлики, обладает простотой, достаточной точностью и достоверностью, что подтверждается натурными исследованиями. Сравнительная оценка результатов расчетов по предлагаемой методике и рекомендациям ВНИИМиТП, ВНИИГиМ, зарубежных авторов дает хорошую сходимость. В то же время все перечисленные методики обладают значительной сложностью расчетов и обилием различного рода эмпирических коэффициентов.

Подача воды на орошаемый участок осуществляется в соответствии с режимом орошения культуры. Насосная станция должна в течение всего периода оптимального увлажнения обеспечивать растения водой в нужном объеме и своевременно. Рассчитывают насосно-силовое оборудование на расход и поливной напор, необходимый для одновременного полива площади в течение одного такта.

Полный напор насосной станции определяется по уравнению

$$H = h_2 + \sum h_e + \sum h_m + h_k + h_{n.m.} \pm h_b, \quad (10)$$

где H – полный напор насосной станции, м;

h_2 – геодезический напор, м. Он рассчитывается как разность между наивысшей отметкой на орошаемом участке по трассам трубопроводов всех порядков и отметкой минимального уровня воды в месте водозабора, м;

$\sum h_e$ – сумма потерь напора по длине наиболее протяженной трассы трубопроводов: магистрального, распределительных, поливного, м;

$\sum h_m$ – сумма местных потерь напора по расчетной трассе, м. Их приближенно принимаю равными 5,0-10,0 % от потерь напора по длине;

h_k – рабочий напор капельницы, м. Принимается по паспортным данным;

$h_{n.m.}$ – расстояние от поверхности почвы до поливного трубопровода, подвешенного на шпалерной проволоке, м. Принимается конструктивно на различных культурах от 0,0 до 1,0;

h_b – потери напора во всасывающем и присоединительном трубопроводах, м. Они могут быть приняты от 0,75 до 1,0 м.

Максимальный и минимальный расходы, необходимые для одновременного полива площади в течение одного такта, служат для определения количества насосных агрегатов:

$$n = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}, \quad (11)$$

где n – количество насосов на насосной станции, необходимое для обеспечения водоподачи в соответствии с режимом орошения, шт.;

$Q_{\max}$ – максимальный расход, л/с;

$Q_{\min}$ – минимальный расход, л/с.

Мощность на валу насоса рассчитывается по формуле

$$N_H = \frac{Q_n}{1020\eta}, \quad (12)$$

где N_H – мощность на валу насоса, кВт;

Q_n – производительность насоса, л/с;

H – полный напор, м;

η – коэффициент полезного действия, для центробежных насосов принимается равным 0,7-0,8.

Расчет мощности электродвигателя осуществляется по зависимости:

$$N_g = K \frac{N_H}{\eta}, \quad (13)$$

где N_g – мощность двигателя, кВт;

η – коэффициент полезного действия передачи, при соединении насоса и электродвигателя жесткой муфтой, равен единице;

K – коэффициент запаса, равен 1,1-1,5.

5. Расчетные методы определения водопотребления

Потенциальную испаряемость можно определять, используя косвенные (расчетные) методы, основанные на применении уравнений, характеризующих динамику тепло- и влагообмена в системе почва–растение–атмосфера.

Теоретической основой расчетных методов служит то, что при оптимальном водоснабжении растений существует тесная связь между испарением влаги сельскохозяйственным полем и энергетическими ресурсами атмосферы, которые оцениваются таким комплексным показателем, как испаряемость.

В большинстве случаев при определении суммарного водопотребления (эвапотранспирации) за основу принимают испаряемость, скорректированную коэффициентами, учитывающими роль растений и климата в испарении влаги орошаемым полем.

Суммарное водопотребление (мм) с учетом этих коэффициентов находят по зависимости:

$$ET = k_b k_0 ET_0, \quad (14)$$

где k_b – биологический коэффициент, характеризующий роль растений;

k_0 – микроклиматический коэффициент;

ET_0 – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация), мм.

Из зарубежных методов определения испаряемости (потенциальной эвапотранспирации) наиболее широкое распространение имеют расчетные модели Х. Л. Пенмана, Л. Тюрка и Х. Ф. Блейни–В. Д. Криддла [36].

В нашей стране из расчетных методов определения испаряемости и водопотребления наибольшее практическое применение получил метод А. М. и С. М. Алпатьевых, основанный на использовании упрощенной формулы Н. Н. Иванова, которая имеет вид:

$$ET_0 = k_{pr} \sum d_{\phi}, \quad (15)$$

где ET_0 – испаряемость, мм;

k_{pr} – коэффициент пропорциональности между испаряемостью и дефицитом влажности воздуха, равный 0,61;

$\sum d_{\phi}$ – сумма дефицитов влажности воздуха за расчетный период, мм.

За последние 50 лет учеными и специалистами во всем мире разработано огромное количество методов для расчета ET_0 (потенциальной эвапотранспирации) по различным климатическим параметрам. Эти методы часто имели только местное значение и не могли применяться в других частях земли. Испытание того или иного метода в других условиях является трудоемким, продолжительным делом, а данные по ET нужны быстро.

ФАО провела оценку четырех расчетных методов: радиационного, метода Пенмана, метода с испарителем, уточненного метода Пенмана. По результатам этой оценки, проведенной под руководством Комитета по ирригации и водопотреблению Американского общества гражданских инженеров, ФАО рекомендовало для расчета эвапотранспирации метод Пенмана–Монтейта как единственный стандартный метод [37].

В 1948 г. Пенман объединил теорию энергетического баланса с методом переноса массы и вывел уравнение для расчета испарения с открытой водной поверхностью для стандартных климатических ус-

ловий: по солнечному освещению, температуре, влажности и скорости ветра. Этот так называемый комбинационный метод в дальнейшем был развит многими исследователями и распространен на заселяемые поверхности путем введения факторов сопротивления.

Расчетная формула Пенмана–Монтейта выглядит так:

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}, \quad (16)$$

где ET_0 – потенциальная эвапотранспирация (мм день⁻¹);

Rn – радиация нетто на поверхности культуры [МДжм⁻² день⁻¹];

G – плотность почвенного теплового потока [МДжм⁻² день⁻¹];

T – средняя дневная температура на высоте 2м [°C];

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м [м с⁻¹];

Δ – наклон кривой давления насыщенного пара [кПа °C⁻¹];

γ – психометрическая постоянная [кПа °C⁻¹];

e_a – фактическое давление пара [кПа];

e_s – давление насыщенного пара [кПа];

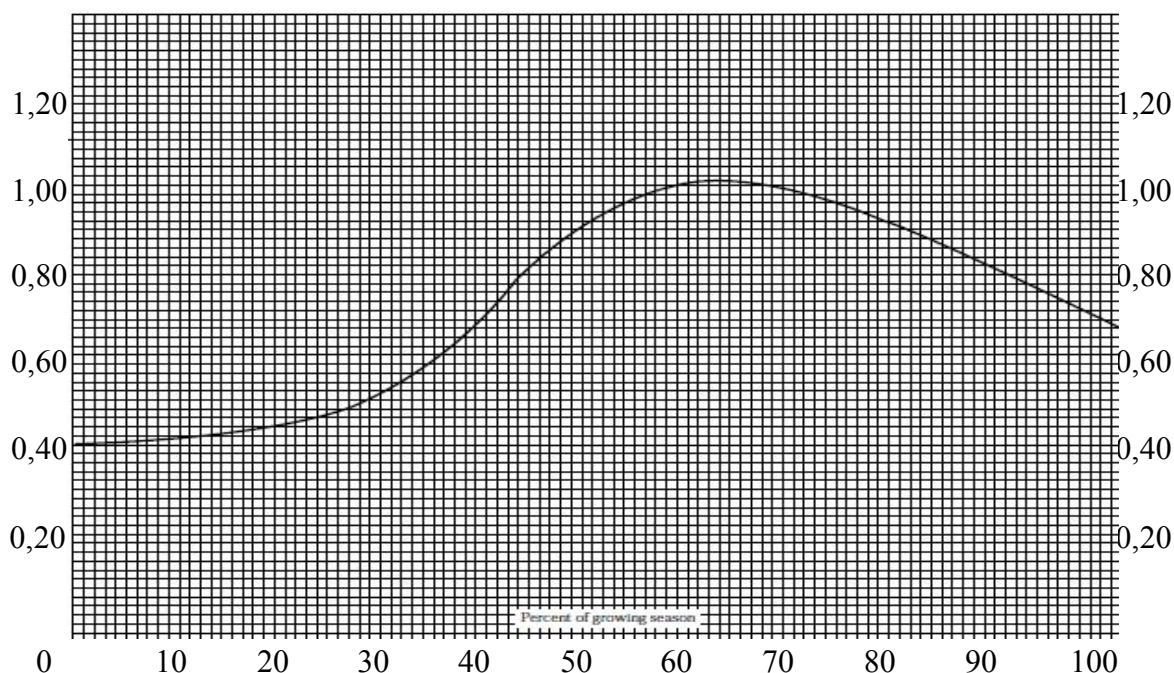
$e_s - e_a$ – дефицит давления насыщенного пара [кПа].

После определения потенциальной эвапотранспирации должны быть учтены биологические коэффициенты, характеризующие роль растений. Обычно эти коэффициенты зависят от площади листовой поверхности растений на поле, а форма биологической кривой примерно повторяет кривую развития листовой поверхности, выраженную через индекс листовой поверхности. Например, кривая биологических коэффициентов для томатов может выглядеть следующим образом, представленным на рис. 5.

Таким образом, зная процент от периода вегетации (период вегетации может быть выражен в днях или суммой эффективных температур), по графику находят биологический коэффициент, соответствующий данному периоду, и умножают его на значение ET_0 за этот же период, в результате получается суммарное водопотребление растения.

В 2009 году ФАО разработало программу для определения потенциальной эвапотранспирации, которая называется EToCalc (V3.1) [39]. Данная программа разработана в соответствии с порядком вычислений, описанным в FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56 [40]. С ее помощью можно вычислить потенциальную эвапотранспирацию

даже при отсутствии некоторых показателей, входящих в вышеприведенную формулу. Подробную информацию об этой программе можно найти на сайте ФАО [http:// www. fao.org/nr/water/ETo.html](http://www.fao.org/nr/water/ETo.html).



Процент от периода вегетации

Рис. 5. Кривая биологических коэффициентов для томатов [38]

Данным методом в настоящее время пользуются при проведении исследований как за рубежом, так и у нас в стране [41, 42].

6. Влияние качества воды на работу СКО и доступность питательных веществ

Качество воды может серьезно повлиять на работу систем капельного орошения и их срок эксплуатации. В некоторых случаях вода плохого качества, например с высоким содержанием солей, может повлиять на свойства почвы и рост растений, другие свойства воды могут вызвать полное засорение капельниц и выход из строя всей системы капельного орошения.

Проблемы, связанные с качеством поливной воды, обычно возникают в связи с засорением капельниц, их классифицируют как физическое, химическое и биологическое засорение.

Опасность физического засорения может возникать при повышенном содержании в воде взвешенных веществ, мелкого песка. Для их удаления обычно применяют различные фильтры (рис. 6). Обычно

используют сетчатые, дисковые и песчано-гравийные фильтры в зависимости от качества воды [43]. Центробежные сепараторы песка используют в тех случаях, когда вода содержит большое количество песка из глубоких скважин. Для систем, снабжаемых водой из поверхностных водных источников, в дополнение к обычному фильтрационному оборудованию могут потребоваться бассейны-отстойники для удаления отложений. Комбинация оборудования может быть использована для удаления взвешенных частиц. Многие из этих фильтрационных систем имеют возможность автоматической обратной промывки. Как правило, рекомендации по фильтрованию предписывают удалять из воды частицы размером более одной десятой от размера наименьшего отверстия капельницы. Отдельные частицы ила, глины и бактерии обычно могут пройти через систему фильтрования и капельницы, в то же время их скопления, особенно если они скрепляются продуктами биологической деятельности, могут вызвать засорение.



Рис. 6. Фильтры для капельного орошения [1]

Химическое засорение может произойти в следующих случаях [44, 45]:

- если концентрация бикарбонатных ионов превышает 2 мг-экв/л, а pH больше 7,5, может выпадать осадок в виде карбоната кальция;

- концентрация кальция от 2 до 3 мг-экв/л может вызвать выпадение осадка во время подачи в систему капельного орошения некоторых фосфорных удобрений. Для введения в систему фосфорных удобрений необходимы специальные процедуры, которые должны

внимательно осуществляться квалифицированным персоналом;

- высокие концентрации сульфид-ионов могут вызвать выпадение железного и марганцевого осадка. Сульфиды железа и марганца практически нерастворимы, даже в кислых растворах. В таком случае рекомендуется постоянное введение кислоты в систему или использование бассейнов-отстойников для осаждения железа и марганца;

- поливная вода, содержащая более 0,1 мг/л сульфидов, может спровоцировать рост серных бактерий в системе капельного орошения. Может потребоваться проведение регулярного хлорирования;

- если в воде содержится марганец, хлорирование следует проводить с осторожностью ввиду того, что возможна задержка реакции по времени между хлорированием и выпадением осадка. Это может спровоцировать выпадение марганцевого осадка уже после прохождения системы фильтрования и вызвать засорение капельниц.

Для водоподготовки обычно проводят хлорирование или обработку кислотами. Хлорирование обычно проводят для уничтожения засорения органического происхождения, предотвращения засорения бактериальной слизью, а обработку кислотами – для предупреждения выпадения в осадок различных химических веществ, например кальция, железа, марганца.

Таким образом, учет качества воды при проектировании и эксплуатации систем капельного орошения является одним из важнейших факторов, влияющих на работоспособность системы и сохранение почвенного плодородия. После определения характеристик качества воды следует запроектировать необходимое оборудование, а также разработать мероприятия по предотвращению или уменьшению возможного негативного влияния на почвенное плодородие. Анализ литературных источников показал, что сведений о непосредственном влиянии качества воды на свойства черноземных почв при применении капельного орошения крайне недостаточно и требуется проведение исследований, направленных на изучение почвенных процессов, возникающих при применении поливных вод различного качества в системах капельного орошения.

7. Особенности применения удобрений при капельном орошении

Система удобрений при использовании капельного орошения во многом схожа с системами удобрений, используемых при других способах орошения, но также имеет некоторые особенности. Основная

цель при разработке экологически безопасной системы удобрения овощных культур при капельном орошении – это удовлетворить потребности растений для получения заданной урожайности и не нанести вреда окружающей среде.

Для определения потребностей растений существует огромное количество расчетных методов. Это балансовые методы, определение норм удобрений на прибавку урожая, определение норм удобрений с применением балансовых коэффициентов использования питательных элементов, определение норм удобрений по возмещению удобрениями выноса с урожаями питательных веществ в зависимости от содержания их в почве и др. [46].

Вначале определяют необходимое растениям количество питательных элементов, которое в основном зависит от вида растения и планируемой урожайности. Далее определяют обеспеченность почвы доступными элементами питания. Для капельного орошения следует учесть, что объем, который будут занимать корни, уменьшен, следовательно, и потреблять питательные элементы они будут из меньшего объема. Данное обстоятельство следует учитывать при расчете количества питательных элементов, поступающих из почвы. После определения потребностей растений и возможностей почвы необходимо сравнить необходимое и имеющееся количество питательных элементов. Если содержание питательных элементов в почве не позволяет достичь запланированной урожайности, в почву вносят дополнительные питательные вещества – удобрения.

Следующим этапом расчета является планирование разделения норм удобрений для основного внесения и с помощью фертигации. Для основного внесения можно использовать любые удобрения, в том числе дешевые малорастворимые удобрения. Для фертигации следует использовать только полностью растворимые удобрения. Планирование основного внесения удобрений и фертигации зависит от механического состава почвы и обеспеченности ее питательными элементами (табл. 3) [47].

При использовании капельного орошения рациональным считается предпосевное внесение 20-30 % от всей нормы азота, 50-70 % фосфора, 30-50 % калия. Остальную часть питательных веществ дают с подкормками [48].

**Планирование разделения норм удобрений
для основного внесения и в подкормках**

Механический состав почвы	Обеспеченность питательными элементами		
	низкая	средняя	высокая
Легкий	Ф	Ф	Ф
Среднесуглинистый	ОФ	Ф	Ф
Тяжелый	ОФ	ОФ	Ф
Примечание: О – основное внесение; Ф – фертигация.			

Решение о необходимости проведения фертигации и нормах удобрения следует принимать, основываясь на результатах анализа тканей растений [49]. Такие анализы можно провести традиционными методами и с использованием новых приборов для экспресс-диагностики растений (рис. 7) [50, 51].



Флюориметр



N-тестер



Портативная лаборатория функциональной диагностики «Аквадонис»

**Рис. 7. Приборы для экспресс-диагностики потребности растений
в питательных элементах**

7.1 Особенности проведения фертигации

Возможность фертигации в период выращивания культуры является одним из основных преимуществ капельного орошения перед другими способами полива. Фертигация является частным случаем более широкого понятия «химигация», которая означает подачу различных химикатов в систему полива.

Преимущества от использования химигации могут быть следующие [52]:

- затраты на химигацию по сравнению с воздушным или почвенным внесением могут быть меньше;
- химикат может быть внесен тогда, когда это необходимо без ожидания подходящих погодных условий или доступности рабочей силы. Это может сократить общие трудовые затраты;
- внесение может быть более однородным по сравнению с другими методами при равных условиях;
- при применении гербицидов, заделываемых в почву, соответствующее количество воды может быть внесено для заделки гербицида на желаемую глубину и для немедленной его активации;
- уплотнение почвы снижается, так как отпадает необходимость прохода полевой техники по полю при внесении химикатов;
- механические повреждения растений сокращаются по сравнению с механическими поверхностными методами внесения;
- вред оператору снижается до минимального;
- может потребоваться меньшее количество удобрений, особенно при микроорошении (при капельном орошении);
- потери от сноса ветром могут быть исключены в зависимости от метода орошения. Это может снизить одну из причин химических потерь и загрязнения окружающей среды;
- технологии химигации совместимы с нулевой обработкой почвы.

Недостатками применения химигации являются [52]:

- некоторые химикаты являются коррозионно-опасными для ирригационного оборудования, особенно в зоне, расположенной непосредственно после пункта внесения. В большинстве случаев растворимые химикаты далее по системе от точки внесения не являются серьезной проблемой. Оборудование для введения химикатов должно

быть спроектировано таким образом, чтобы обеспечить возможность управления концентрацией химикатов;

- смешивание химикатов может быть опасным и затратным, если сделано без соответствующих знаний о потенциальных, иногда сильных реакциях. Химикаты также могут выпадать в осадок, что может засорить оборудование или образовывать ядовитые испарения;

- могут случаться потери от испарения (улетучивания), особенно при дождевании;

- число химикатов, которые могут быть успешно использованы с помощью химигации, ограничено;

- чрезмерное внесение воды или дожди во время химигации могут вызвать потери химикатов или сделать их неэффективными из-за их глубокого просачивания в почву (глубинной фильтрации) или поверхностного стока;

- требуется специальное оборудование для внесения и предохранения системы орошения;

- всегда существует потенциальная опасность для водных источников, особенно это касается пестицидов и гербицидов;

- многое еще не изучено по вопросам о наилучших и наиболее безопасных методах работы при химигации, метод является относительно новым;

- требуется высокий уровень организации управления и равномерности орошения.

Химические препараты, применяемые для химигации при введении химиката с помощью инъекционного оборудования, должны быть в одной из следующих форм:

- растворимый, сухой порошок (кристаллы);
- жидкость, способная смешиваться или образовывать эмульсию;

- нерастворимый, смачивающийся, дисперсный порошок.

Отдельные виды оборудования изготавливают специально для применяемого вещества (например, в зависимости от типа химиката, химической концентрации, вязкости). В результате должны быть выбраны как подходящий тип химикатов, так и тип оборудования. Оборудование должно соответствовать необходимой емкости системы. Снабжение энергией насосов, которые подают химикаты в систему,

может быть с помощью электрического привода, двигателя внутреннего сгорания или гидропривода. Оборудование для введения химикатов в систему полива можно разделить на четыре категории: *самотёк, ментор, насос-дозатор и дозирующая система* [52].

Самотек из емкостей-хранилищ химикатов – этот способ является наиболее простым. Контроль за инжестируемой нормой связан с регулировкой клапана, который приблизительно регулирует поток химикатов в поливную воду. Поток химикатов подается или на всасывающий конец насоса или в открытую самотечную систему. Этот тип инъекции обычно используют в поверхностных системах, особенно для внесения почвенных мелиорантов, таких как серные соединения. Он требует постоянного внимания оператора.

Ментор – это наиболее простой способ подачи химикатов в систему. Методы, используемые для этой категории, следующие:

- инъекция на всасывающей стороне насоса;
- инъекция на основе принципа Вентури;
- инъекция с помощью Питот трубок.

Норма внесения химиката примерно пропорциональна потоку воды. Метод требует некоторого внимания со стороны оператора. С его помощью можно управлять подачей жидкостей водорастворимых или сухих материалов. Оборудование ментора должно быть использовано там, где (водный поток) расход воды близок к постоянному.

Насос-дозатор – этот метод точно отмеряет количество химиката для ввода в поливную воду в предварительно определенной дозе. Доза входящего потока химиката является постоянной во времени и позволяет оператору проводить изменения дозы внесения. Метод следует использовать там, где скорость водного потока близка к постоянной. Используемый метод инъекции является инъекцией насоса. Он может инжестировать только жидкости.

Дозирующая система – этот метод инъекции в точных пропорциях вводит химикаты в поток поливной воды. Он состоит из сенсора, который определяет скорость водного потока, модуля, контролирующего химический поток, и инъекционного насоса, который инжестировывает химикат. Эта категория инъекционного оборудования должна быть использована там, где расход (скорость) потока изменяется. Он является автоматическим и требует минимального внимания оператора.

7.2 Обеспечение экологической безопасности при проведении фертигации (химигации)

После определения потребностей растений следует принять меры предосторожности, обеспечивающие экологическую безопасность. Для этого при установке фертигационного оборудования предусматриваются специальные технологии для обеспечения аспектов безопасности химигации. В то же время, если используется механическое оборудование, всегда существует возможность отказа, поломки или выхода из строя. Успешная и безопасная химигация требует установки оборудования, обеспечивающего безопасность работ. Такое оборудование проектируется для уменьшения трех возможных проблем загрязнения окружающей среды:

- обратного тока неразбавленных химикатов в емкость с водой или водный источник;
- пролива химиката на поверхность почвы;
- обратного тока воды, смешанной с химикатами из поливной системы.

Системы, обеспечивающие безопасность, включают следующие требования [52]:

- система должна быть оснащена специальным обратным клапаном, вакуумным предохранительным клапаном и трубопроводом низкого давления (для отвода в канализацию), установленным в подходящем месте на поливном трубопроводе для предотвращения загрязнения водного источника;
- трубопровод для инъекции пестицидов должен содержать функциональный (работоспособный), автоматический, быстро закрывающийся обратный клапан для предотвращения потока жидкости обратно к инъекционному насосу;
- трубопровод для инъекции пестицидов должен также содержать функциональный (работоспособный), нормально закрывающийся клапан, управляемый соленоидом, расположенный на всасывающей стороне инъекционного насоса и подсоединенного к системе блокировки для предотвращения попадания жидкости из снабжающей емкости при автоматическом или ручном отключении поливной системы;

- система должна быть оснащена работоспособными блокираторами для автоматического отключения инжекционного насоса, подающего химикаты при остановке двигателя водяного насоса;

- поливная линия или водяной насос должны быть оснащены работоспособным мембранным переключателем (реле давления), который будет останавливать водяной насос, если водяное давление снижается до значений, когда распределение пестицидов становится неблагоприятным;

- системы должны использовать дозирующий насос, например инжекционный диафрагменный насос, быть эффективно спроектированными и изготовлены из материалов, которые устойчивы к воздействию пестицидов и подходящие к системе блокировки.

7.3 Стратегия управления азотом

Одним из наиболее важных элементов при выращивании овощных культур является азот, в то же время он очень подвижен и может быть легко вымыт из корнеобитаемой зоны растений, где он действительно необходим. После этого он может попасть в грунтовые воды и таким образом загрязнить их, нанося вред окружающей среде. Поэтому системе применения азотных удобрений должно уделяться повышенное внимание. Увеличить эффективность использования азота растениями помогают следующие действия [49]:

- учет поступления азота из всех источников при определении дозы внесения азотных удобрений, например, азот в почве, определяемый во время предпосевных анализов; азот в поливной воде и азот, минерализуемый в течение вегетационного периода;

- минимизирование предпосевного внесения азота;

- внесение азотных удобрений рядом с рядком растений ближе к капельной линии;

- использование усовершенствованных способов орошения для сведения к минимуму потерь на глубинную фильтрацию;

- проведение анализов тканей растений для определения необходимости в дополнительных удобрениях;

- создание условий для более глубокого проникновения корневой системы для потребления азота.

При составлении программ фертигации удобно использовать графики ежедневного потребления питательных элементов. На рис. 8 представлена кривая потребления лука репчатого.

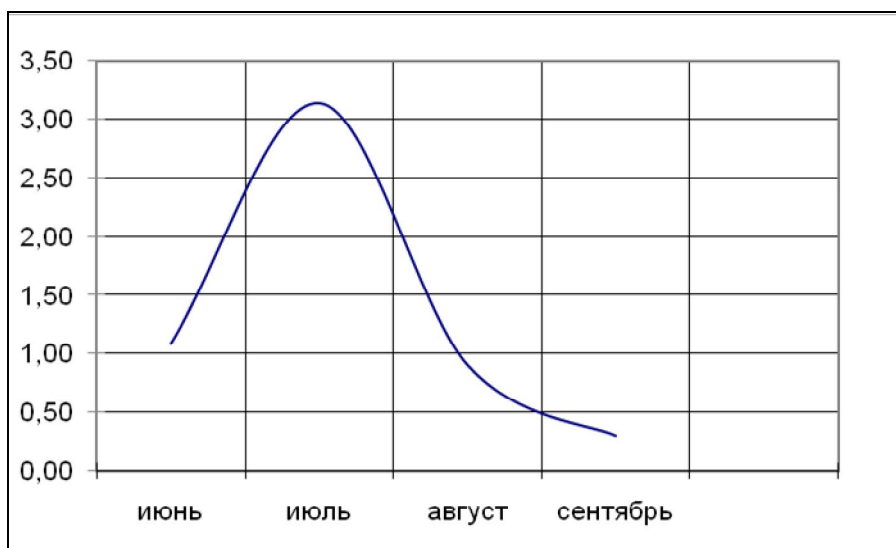


Рис. 8. Среднесуточное потребление азота растениями лука репчатого, кг/га/день

Таким образом, разработка системы удобрений при использовании капельного орошения должна быть направлена на наиболее эффективное использование удобрений для получения высоких урожаев при одновременном соблюдении мероприятий, предотвращающих загрязнение водных объектов и направленных на сохранение почвенного плодородия.

8. Влияние капельного орошения на почву

Основное отличие капельного орошения от других способов орошения состоит в том, что вода по полю распределяется очагами. Такое распределение обуславливает и распределение содержащихся в этой воде солей. Обычно при использовании капельного орошения формируются зоны с повышенным содержанием солей (рис. 9).

Опыты, проведенные на виноградниках и в садах фруктовых деревьев [53] в течение 1968-1970 гг., показали, что соли при капельном орошении почвы распределяются в трех основных областях:

- в поверхностной зоне, непосредственно вблизи расположения капельниц, при этом концентрация их больше, чем при любых других способах орошения;

- в средней зоне, на периферии контура увлажнения, где количество их колеблется от незначительных до средних значений;
- в глубинной зоне с увеличенным содержанием на подошве контура и с тенденцией возрастания по мере удаления от капельницы (в пределах контура увлажнения).

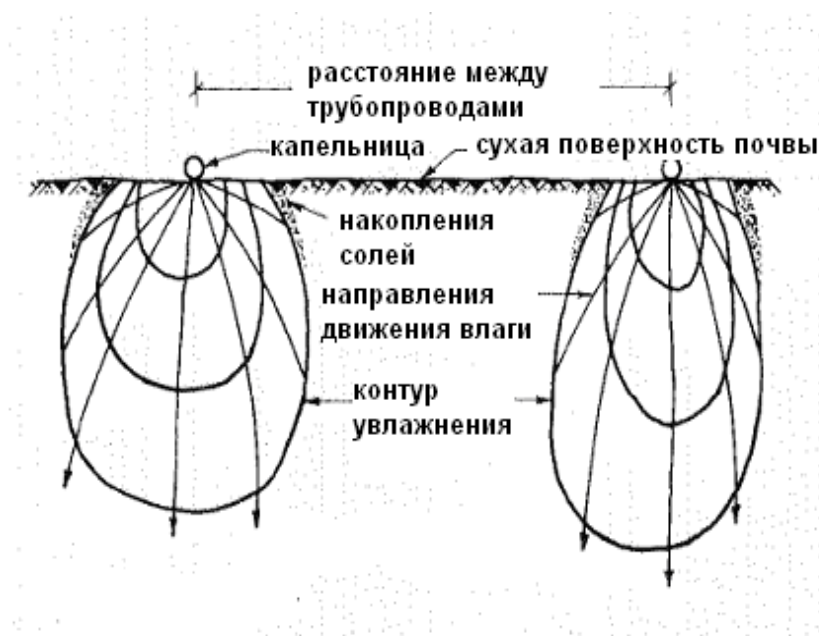


Рис. 9. Накопление солей при капельном орошении

Почва, находящаяся под капельницей, оказывается наиболее промытой. Содержание солей в ней будет стремиться к содержанию солей в поливной воде. По мере увеличения расстояния от капельницы скорость передвижения воды сокращается, что вызывает накопление солей в периферийной зоне контура увлажнения [54].

Наиболее опасной зоной накопления является зона, расположенная в верхней части очага увлажнения, вдоль границ увлажненной площади. Небольшие дожди могут вымыть эти накопленные соли вниз в корнеобитаемую зону и серьезно повредить растения [45].

Испарение с поверхности почвы вызывает появление большого потока воды, направленного вверх и достигающего глубины порядка 30 см. Степень накопления солей на поверхности почвы (на глубине менее 30 см) была в три-четыре раза выше, если контуры увлажнения перекрывались, по сравнению с расположенными отдельно, т.е. когда расстояние между трубопроводами было больше [55].

В общем случае характер распределения солей при капельном орошении зависит от скорости испарения с поверхности почвы, поглощения влаги корнями растений, распределения фронта увлажнения, общего количества подаваемой воды и расстояния между капельницами и трубопроводами.

В зарубежной литературе встречаются работы, рекомендующие использовать капельный способ полива для опреснения засоленных почв путем создания выщелоченных зон под капельницей, а также использовать минерализованные воды для полива, так как изменяя режим орошения, можно поддерживать уровень засоленности порового раствора на уровне засоленности поливной воды.

Так, исследования, проведенные на тяжелых по механическому составу засоленных почвах в San Joaquin Valley в Калифорнии США, показали, что при поливе водой с малым содержанием солей от 0,34 дСм/м до 1,2 дСм/м капельное орошение способствовало рассолению почв и в зоне действия капельниц засоление снижалось [56].

Исследования, выполненные израильскими исследователями [57], показали, что при проведении капельного орошения на песчаных почвах в условиях повышенной эвапотранспирации происходит вымывание солей из контура увлажнения, обуславливающее развитие большого количества тонких корней в этой зоне. Концентрация растворимых солей в почве повышается по мере удаления от капельного источника. Корни растений группируются в зоне с низким уровнем осмотического потенциала.

Однако, по данным Ф. В. Унгурияну, при орошении хорошо структурированных черноземов подобная практика может вызвать глубокие отрицательные изменения [54].

8.1 Закономерности формирования контура увлажнения почвы

Важным вопросом при использовании капельного орошения является вопрос исследования закономерностей формирования контура увлажнения почвы. Для описания характера распределения влаги и солей мы планируем воспользоваться исследованиями, проведенными Д. П. Гостищевым, Н. С. Скуратовым, Е. П. Боровым, Е. А. Ветренко, А. Д. Ахмедовым и др. [58, 59, 60, 61, 62].

Этими авторами разработаны расчетные формулы зависимости коэффициента от влажности ($D(W)$), позволяющие определять разме-

ры контура увлажнения, основываясь на формулах, полученных Гарднером и Л. Е. Чернышевской:

$$D(W) = D_0 \exp[\beta(W - W_0)], \quad (17)$$

$$\beta = \frac{1}{W_n - W_0} \ln \left[\frac{3(W_n - W_0)^{3,5}}{W_n (W_0 - W^*)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + \frac{2W_0}{W_n^3} \right)} \right], \quad (18)$$

$$D_0 = \frac{K_\phi \psi W^*}{1 - \left(\frac{W^*}{W_n} \right)^3} \left(\frac{W_0 - W^*}{W_n - W^*} \right)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + 2 \frac{W_0}{W_n^3} \right), \quad (19)$$

где β – параметр, характеризующий почву;

D_0 – коэффициент диффузии при начальной влажности W_0 ;

W_n – полная влагоемкость;

W_0 – начальная влажность;

W^* – максимальная молекулярная влагоемкость;

K_ϕ – коэффициент фильтрации;

ψ – капиллярное давление при влажности, равной максимальной молекулярной влагоемкости.

$$W^* = \frac{m(W_n - W_m)^{10/7} - W_n(m - W_m)^{10/7}}{(W_n - W_m)^{10/7} - (m - W_m)^{10/7}}, \quad (20)$$

$$\psi = -h_k \sqrt[3]{\frac{10}{7\nu} \ln \frac{W - W_m}{m - W_m}}, \text{ при } W \geq W^*, \quad (21)$$

где W_m – максимальная гигроскопичность, %;

h_k – максимальная высота капиллярного поднятия (для суглинистых почв 2-5 м);

ν – эмпирический коэффициент, определенный для минеральных грунтов и принимается равным 2,7;

m – пористость, % от объема почвы.

По известным значениям пористости и максимальной гигроскопичности с помощью уравнений можно вычислить направление влагопереноса и размеры контура увлажнения.

В зависимости от состава накапливающихся в почве солей, могут развиваться и другие неблагоприятные почвенные процессы. Так, при повышенном накоплении натрия возможно осолонцевание почв. Исследования, проведенные нами в 2007-2008 гг., показали, что после окончания поливного сезона в теплицах, поливы в которых проводились водой сульфатно-натриевого состава, содержание поглощенного натрия доходило до 20 % от суммы обменных катионов [63].

8.2 Меры по предотвращению опасного влияния засоления

Так как любая оросительная вода содержит некоторое количество растворенных солей, которые обычно распределяются на границах увлажненного почвенного объема в течение оросительного сезона, необходимы меры по предотвращению опасного влияния засоления. Применяя большее количество воды, чем требуется растениям, большинство солей может быть вымыто ниже корневой зоны, но невозможно полностью избежать появления участков с накоплением солей.

Для снижения опасности попадания накопленных в верхней части контура увлажнения солей в корнеобитаемую зону во время дождливых периодов рекомендуется продолжать орошение запланированными объемами для того, чтобы вымыть соли вниз за пределы корнеобитаемой зоны [45].

В тех районах, где осадков выпадает менее 150-255 мм в год, может потребоваться дополнительное применение дождевания или поверхностного орошения для предотвращения критических уровней накопления солей. Дополнительное орошение особенно необходимо там, где оросительная вода имеет высокую минерализацию, а также там, где однолетние культуры могут быть высажены или посеяны на засоленные границы, образовавшиеся в предыдущие годы [45].

Если планируется получение высоких урожаев, вредные растворимые соли должны быть удалены из корнеобитаемой зоны растений. В засушливых районах, где засоление является главной проблемой, должно применяться дополнительное количество оросительной воды для промывок почвы. В США предлагается при капельном орошении, когда поливы проводятся часто, ежедневно или через день, определять величину минимального дополнительного количества воды (в долях от вносимого количества воды) LR_i , которое должно

пройти через корнеобитаемую зону для предотвращения засоления по формуле [45]:

$$LR_i = \frac{EC_w}{2(\max EC_e)}, \quad (22)$$

где EC_e – электропроводность вытяжки из насыщенной почвы, дСм/м;

EC_w – электропроводность оросительной воды, дСм/м.

Знание электропроводности оросительной воды (EC_w), дСм/м, и электропроводности вытяжки из насыщенной почвы (EC_e), дСм/м, является очень полезным при определении устойчивости культуры к оросительной воде. Минимальное и максимальное EC_e необходимы для определения требуемых промывок под капельным орошением. Минимальное EC_e – это максимальная концентрация солей, при которой урожайность не уменьшается. Максимальное EC_e – это теоретический уровень засоленности, который уменьшил бы урожайность до 0, т.е. если во всей корнеобитаемой зоне засоленность будет на этом уровне, растения не смогут потреблять воду и прекратят рост. В табл. 4 представлены значения минимальной и максимальной EC_e для различных культур. Эти значения были получены при экстраполяции данных, полученных при 0, 10, 25, 50-процентном сокращении урожайности. Минимальные и максимальные значения EC_e для некоторых овощных культур представлены в табл. 4.

Таблица 3

**Минимальные и максимальные значения EC_e
для овощных культур [64]**

Культура	EC_e , дСм/м	
	min	max
1	2	3
Свекла	4,0	15
Брокколи	2,8	13,5
Томат	2,5	12,5
Кабачок	2,2	16
Шпинат	2,0	15
Капуста	1,8	12
Картофель	1,7	10
Сладкая кукуруза	1,7	10

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Перец	1,5	8,5
Салат латук	1,3	9
Редис	1,2	9
Лук	1,2	7,5
Морковь	1,0	8
Бобы	1,0	6,5

Теоретическое уменьшение урожайности (Y), в процентах, для различных культур, вызванное засолением при капельном орошении, если $EC_w > \min EC_e$, может быть вычислено по формуле

$$Y = \frac{EC_w - \min EC_e}{\max EC_e - \min EC_e} \cdot 100. \quad (23)$$

Для частого орошения $EC_w \leq \min EC_e$, Y будет равно 0.

Ежедневные поливы и соответствующие объемы для промывки (против засоления почвы) способствуют тому, что концентрация солей в почвенном растворе находится на таком же уровне, как и в оросительной воде из-за небольшого периода высыхания почвы между поливами, а также потому, что соли остаются растворенными. Если поливы проводятся редко, во время высыхания почвы концентрация солей повышается.

В результате анализа научных публикаций по вопросам влияния капельного орошения на плодородие почвы нами были сделаны следующие выводы. Применение капельного орошения оказывает определенное влияние на почву, которое в основном зависит от применяемых режимов орошения, качества используемой поливной воды и почвенных условий.

Капельное орошение часто приводит к очаговому распространению зон с повышенным содержанием солей, которые особенно опасны в засушливых районах с количеством осадков менее 250 мм в год. Применение поливной воды с повышенным содержанием натрия на почвах тяжелого механического состава может стать причиной очагового осолонцевания. Таким образом, для предотвращения и уменьшения негативного влияния вышеуказанных почвенных процессов необходима разработка специального комплекса мероприятий при применении капельного орошения.

Заключение

Капельное орошение как способ орошения получил в нашей стране в последние годы значительное распространение, что связано с неоспоримыми преимуществами, которые могут быть получены от его применения, а именно – экономия водных, энергетических, трудовых ресурсов, повышение эффективности применения удобрений при получении высокой урожайности, возможности автоматизации процесса полива и внесения химических веществ и другие. В то же время при недостаточном учете исходных условий при проектировании систем капельного орошения и отсутствии знаний о возможных процессах при взаимодействии поливной воды, вносимых удобрений и почвы при использовании капельного орошения возможна не только потеря вложенных средств, но и нанесение вреда окружающей среде, что абсолютно недопустимо.

Применение капельного орошения оказывает определенное влияние на почву, которое в основном зависит от применяемых режимов орошения, качества используемой поливной воды и почвенных условий. Анализ литературных источников показал, что сведений о непосредственном влиянии качества воды на свойства черноземных почв при применении капельного орошения крайне недостаточно и требуется проведение исследований, направленных на изучение почвенных процессов, возникающих при применении поливных вод различного качества. Кроме того, при применении капельного орошения возможно очаговое распространение зон с повышенным содержанием солей, которые особенно опасны в засушливых районах с количеством осадков менее 250 мм в год, когда соли могут накапливаться. Применение поливной воды с повышенным содержанием натрия на почвах тяжелого механического состава может стать причиной возникновения осолонцевания почв.

Таким образом, для предотвращения и уменьшения негативного влияния вышеуказанных почвенных процессов необходима разработка специального комплекса мероприятий при применении капельного орошения.

Литература

1 Reinders F. B. Micro-irrigation: world overview on technology and utilization // Keynote address at the opening of the 7th International Micro-Irrigation Congress in Kuala Lumpur, Malaysia, 2006.

2 S.A. Kulkarni, F.B. Reinders, and F. Ligetvari Global Scenario of Sprinkler and Micro Irrigated Areas 7th International Micro Irrigation Congress.

3 Открытое письмо Д. А. Медведеву академиков П. А. Полад-Заде, А. А. Вискне, Б. М. Кизяева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 2.

4 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

5 Снопич Ю. Ф. Техника и технология орошения в современных условиях землепользования // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 28-30.

6 Ясониди О. Е. Капельное орошение на Северном Кавказе. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1987. – 80 с.

7 Григоров М. С., Попов Р. Ю. Капельное орошение // Актуальные вопросы мелиорации и использования природных и техногенных ландшафтов: сб. науч. тр. / ФГОУ ВПО «НГМА». – Новочеркасск, 1996. – С. 61-64.

8 Гидромелиоративные системы нового поколения / Шумаков Б. Б. [и др.]. – М.: ВНИИГиМ, 1997. – 110 с.

9 <http://www.netafimltd.ru/139/1935>.

10 Беляева Т. В. Совершенствование некоторых способов полива в США // Обзорная информация. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1975. – 69 с.

11 Нестерова Г. С. Зоин И. С., Вейсман Е. А. Капельное орошение // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ, 1973. – С. 5-52.

12 Щедрин В. Н. Современные проблемы мелиорации и пути их решения // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 9-11.

13 NRCS, Conservation Practice Standard irrigation system, microirrigation Code 441, 2006.

14 Дементьев А. В. Капельное орошение томатов в условиях Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 2004. – 164 с.

15 Современное промышленное производство овощей и картофеля с использованием систем капельного орошения: учеб. пособие для агр. учеб. заведений I-IV уровней аккредитации по спец. 1310 «Агрономия» / Л. С. Гиль [и др.]. – Житомир: ЧП «Рута», 2007. – 390 с.

16 Федосеева В. А. Режимы капельного орошения и удобрения томатов в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Волгоград: ФГОУ ВГСХА, 2009. – 20 с.

17 Овчинников А. С., Азарьева И. И. Хозяйственная эффективность фотосинтеза и продуктивность томатов при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2009. – № 4. (16) – С. 7-12.

18 Овчинников А. С., Азарьева И. И. Зона увлажнения почвы как фактор управления ростом корневой системы томатов при капельном орошении / А. С. Овчинников, И. И. Азарьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2009. – № 4 (16). – С. 43-47.

19 Григоров М. С., Федосеева В. А. Эффективность орошения томатов в Волгоградской области // Вестник РАСХН. – 2007. – № 3.

20 Астраханская технология выращивания овощных культур / В. Н. Бочаров [и др.]. // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2007. – № 4.

21 Докучаев В. В., Шилер Г. Г., Макаров В. В. Опыт капельного орошения огурца в Ростовской области // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2007. – № 10.

22 Еронова Е. Н. Оптимизация режимов орошения и минерального питания томата при капельном поливе в пленочных теплицах на светло-каштановых почвах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Волгоград, 2009. – 20 с.

23 Астраханская технология выращивания овощных культур / В. Н. Бочаров [и др.]. // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2007. – № 4.

24 Ромащенко М., Корюненко В. Технология выращивания перца и баклажана при капельном орошении в условиях Запорожской области // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2007. – № 5.

25 Бочарникова О. В., Бочарникова В. С. Продуктивность сладкого перца при капельном орошении в зависимости от применения минеральных удобрений // Вопросы мелиорации. – 2007. – № 1-2.

26 Овчинников А. С., Пантюшина Т. В. Эффективность капельного орошения перспективных гибридов сладкого перца в Нижнем Поволжье // Вопросы мелиорации. – 2007. – № 1-2.

27 Мартынова А. А. Капельное орошение моркови // Вопросы мелиорации – 2009. – № 3-4.

28 Григоров М. С., Жидков В. М., Захаров В. В. Дифференцированный режим орошения картофеля при капельном поливе // Картофель и овощи. – 2009. – № 9.

29 Ресурсосберегающая технология капельного орошения огурца / А. С. Овчинников [и др.] // Картофель и овощи. – 2009. – № 3.

30 Кулыгин В. А. Влияние фрезерования почвы на условия вегетации и урожайность картофеля при орошении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2005. – № 13. – С. 56-60.

31 Кулыгин В. А., Евтухов М. В., Райлян Р. Н. Совершенствуя технологию выращивания картофеля при орошении // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 48-49.

32 Щедрин В. Н., Кулыгин В. А. Влияние увлажнения почвы на урожайность и водопотребление картофеля // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 5. – С. 23-25.

33 MF-2576, Subsurface Drip Irrigation (SDI) Components: Minimum Requirements // www.oznet.ksu.edu.

34 Ясонида О. Е. Проектирование систем капельного орошения: учеб. пособие НИМИ. – Новочеркасск, 1984. – 101 с.

35 Руководство по проектированию строительства и эксплуатации систем капельного орошения. ВТР-11-28- 81. – М., 1981. – 177 с.

36 Мелиорация и водное хозяйство. 6. Орошение: справочник / Б. Б. Шумаков [и др.]; под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.

37 [http://rex.vniigim.ru/HTML/VOL3BOOK1\(rus\).doc](http://rex.vniigim.ru/HTML/VOL3BOOK1(rus).doc).

38 National Engineering Handbook, Part 623, Chapter 2, Irrigation Water Requirements, 1984.

39 FAO. 2009. ETo calculator. Land and Water Digital Media Series №36. FAO, Rome, Italy.

40 Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper №56. Rome, Italy.

41 Ромко А. В. Обоснование водного и питательного режима мелиорируемых земель гумидной зоны с использованием интегрированной модели агрогеосистемы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007. – 26 с.

42 Rui M.A. Machado, David R. Bryla, M.L. Verissimo, A.M. Sena, M.R.G. Oliveira Nitrogen requirements for growth and early fruit development of drip-irrigated processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Portugal // Journal of Food, Agriculture & Environment Vol. 6 (3&4):215-218. 2008 // www.world-food.net.

43 MF-2576 Subsurface Drip Irrigation (SDI) Components: Minimum Requirements // <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2003/mf2576.pdf>.

44 MF-2575 Water Quality Assessment Guidelines for Subsurface Drip Irrigation // <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2003/mf2575.pdf>.

45 National Engineering Handbook, Part 623, Chapter 7, Trickle Irrigation, 1984.

46 Донских И. Н. Курсовое и дипломное проектирование по системе применения удобрений. – Л.: Агропромиздат, 1989. – 144 с.

47 Рекомендации по возделыванию сельскохозяйственных культур при капельном орошении. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 43 с.

48 Козленко А. Е., Билыч Р. В. Применение специальных удобрений и стимуляторов роста растений в овощеводстве. – <http://agrovita.com.ua>, 2010.

49 D. M. Sullivan & et al Nutrient Management for Onions in the Pacific Northwest // PNW 546. – 2001.

50 Церлинг В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

51 Цикункова Т. Агропромышленная газета Юга России. // № 35-36 (142-143) 22 сентября–5 октября 2008 года.

52 National Engineering Handbook, Part 652, Irrigation Guide, 1997.

53 Shmueli M. Field observation plots and experiments in the use of trickle irrigation in orchards and vines. – British Columbia Orchardist. 1974, V. 14(I).

54 Унгурияну Ф. В. Засоление земель при капельном орошении. – М., 1986. – 48 с. – Мелиорация и водное хоз-во. Обзор. информ. / М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, ЦБНТИ. Сер. 1, Орошение и оросительные системы, ISSN 0233-6189; Вып. 1.

55 B. Yaron, J. Shalhevet и D. Shimshi Patterns of salt distribution under trickle irrigation. – Ecological Studies: Physical aspect of soil water and salt in ecosystems. 1972, V.4, pp 389-394.

56 Hanson B., May D. Drip irrigation increases tomato yields in salt-affected soil of San Joaquin Valley // <http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca5704p132-70223.pdf>.

57 Rauta C., Sandu J. Lupta pentru folosirea judicioasa a apei-irrigatia “picatura-cu-pucatura”. – Ferme si intreprinderi. 1972, B. 24 (2), 16-18.

58 Гостищев Д. П., Рогозина Ю. С. Математическое моделирование влагопереноса при внутрипочвенном орошении // Мелиорация и водное хозяйство: обзорн. информ. / ЦБНТИ Минводстроя СССР. – М., 1990. – С. 3-6.

59 Скуратов Н. С. Моделирование работы увлажнителей при подпочвенном орошении // Мелиорация орошаемых земель, использование охрана водных ресурсов: сб. науч. тр. ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1982. – С. 69-77.

60 Боровой Е. П., Ветренко Е. А. Аналитический подход к определению параметров контура увлажнения почвы на основе решения уравнения влагопереноса // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2009. – № 4 (16). – С. 52-57.

61 Ахмедов А. Д. Аналитический подход к определению некоторых водно-физических характеристик почвогрунтов // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2008.

62 Антоненко Е. М., Юркова Р. Е. Многофакторное моделирование пространственно-временной структуры распределения загрязняющих веществ в почве // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – 2005. – № 13. – С. 83-86.

63 Воеводина Л. А. Особенности влияния капельного орошения на почвенное плодородие (по материалам семинара) // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИППМ»; под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2009. – Вып. 41. – С. 68-74.

64 Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1976. Water Quality for Agriculture. U.N. Food and Agric. Org. Irrigation and Drainage Paper 29.

Научный обзор

**БЕЗОПАСНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ**

Корректор Е. В. Кулыгина

Компьютерная верстка Е. А. Бабичевой

Подписано в печать 07.07.10 г. Формат 60х84 1/16.

Усл. печ. л. 3,02. Тираж 300 экз. Заказ № 34.

Отпечатано в ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ»

109382, Москва, ул. Совхозная, д. 10, корп. 6