МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-
техническому обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОДПОЧВЕННОГО ПОЛИВА МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

Научное издание

Москва 2022

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-
техническому обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОДПОЧВЕННОГО ПОЛИВА МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

Научное издание

Москва 2022

УДК 631.674.4
ББК 40.623.54
И 66

Рецензенты:
Г.В. Ольгаренко, д-р с.-х. наук, проф., чл.-корр. РАН,
зам. директора по науч. работе (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»);
В.Ф. Воробьев, д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр.
(ФГБНУ ФНЦ Садоводства)

И 66 **Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н., Давыдов А.А., Золотилов В.А. Инновационные технологии и технические средства для подпочвенного полива многолетних насаждений**: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 156 с.

ISBN 978-5-7367-1725-5

Рассмотрены основные способы орошения многолетних насаждений, изучен потенциал использования атмосферной влаги при подпочвенном орошении. Приведены результаты экспериментальных исследований по обоснованию выбора режимов работы гидробура и пневмогидробура, технологий и технических средств для подпочвенного орошения растений яблони и винограда, подпочвенного минерального питания садовых насаждений с использованием гидрогеля, подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур. Показаны направления расширения функциональных возможностей гидро- и пневмогидробуров.

Предназначено для специалистов АПК, научных работников, преподавателей и студентов образовательных учреждений, сельскохозяйственных консультантов.

Mishurov, N.P., Fedorenko, V.F., Selivanov, V.G., Aristov, E.G., Krakhovetskiy, N.N., Davydov, A.A., Zolotilov, V.A. *Innovative Technologies and Technical Means for Subsoil Irrigation of Perennial Plantations: Scientific Publication* (Moscow: Rosinformagrotekh), 156 (2022).

The main methods of irrigation of perennial plantations are considered, the potential of using atmospheric moisture in subsoil irrigation is studied. The results of experimental studies on substantiation of the choice of operating modes of a hydraulic drill and pneumatic hydrodrill, technologies and technical means for subsoil irrigation of apple and grape plants, subsoil mineral nutrition of garden plantations using hydrogel, subsoil irrigation of perennial essential oil crops are presented. The directions of expanding the functionality of hydraulic and pneumohydrodrills are shown.

Designed for agricultural specialists, scientists, teachers and students of educational institutions, agricultural consultants.

УДК 631.674.4
ББК 40.623.54

ISBN 978-5-7367-1725-5

© ФГБНУ «Росинформагротех», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Орошаемое земледелие – один из основных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства. В районах с недостаточным и неустойчивым увлажнением, где за год выпадает 340-370 мм осадков (для нормального роста и развития растений требуется 800-1100 мм), расход воды на суммарное испарение в 2-2,5 раза превышает приход в виде осадков. Поэтому орошение является единственной возможностью получать высокие гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур в засушливых регионах [1].

Еще недавно основной целью орошения было повышение влажности почвы до уровня, благоприятного для роста и развития растений. Однако в последние годы орошение начинают рассматривать как прием более широкого и глубокого воздействия на условия произрастания растений. С учетом этого главными требованиями, предъявляемыми к способам орошения и технике полива, должны быть эффективное и экономичное использование воды, обеспечение водно-воздушного режима почв, сохранение и повышение их плодородия, улучшение структуры.

Для полива садов и других многолетних насаждений используют дождевание, капельное, внутрипочвенное орошение и поверхностный полив. Эффективность каждого из способов орошения зависит от конкретных условий их применения. Им свойственны определённое устройство оросительной сети и соответствующая техника полива, т.е. способы переведения подаваемой воды из состояния свободного потока в оросительной сети в форму почвенной влаги.

Широко применяемые в настоящее время способы полива, такие как поверхностное орошение и дождевание имеют существенные недостатки: разрушается структура почвы, испаряется много влаги, создаются условия для возникновения болезней, на последующие обработки почвы затрачивается много труда и ресурсов. Кроме того, при поверхностном поливе сильно переувлажняется верхний слой почвы, что приводит к прекращению доступа воздуха в нижние слои и снижению полезной деятельности микроорганизмов. При этом такой полив создает благоприятные условия для развития сорняков и

вредителей. На поверхности почвы откладываются вредные соли и образуется корка, а рыхление ухудшает структуру почвы, повреждает корни растений.

Одним из наиболее перспективных способов полива является подпочвенное орошение, позволяющее поддерживать влажность активного слоя почвы на уровне капиллярной влагоемкости; исключить разрушение структуры пахотного горизонта поливами и образование почвенной корки; уменьшить испарение с поверхности почвы; обеспечить сохранение запасов воды в почве дольше, чем при поливе дождеванием [2]. При подпочвенном орошении вода поступает непосредственно к корневой системе растений, что значительно сокращает её расход. Запасы влаги равномерно распределяются в нижних слоях почвы, защищенных от испарения, и долго сохраняются, повышается коэффициент полезного использования влаги. Кроме того, подпочвенный полив улучшает структуру почвы, увеличивает эффект аэрации, что способствует лучшему питанию корневой системы, а следовательно, развитию растений [3].

Внутрипочвенное очаговое воздействие в районе корневой системы не ограничивается только поливом. Учеными и практиками доказано, что удобрения под плодовые деревья лучше вносить не поверхностно, а в зону расположения основной массы корней на глубину 40-60 см. При этом уменьшаются потери влаги на испарение, растения быстрее и полнее используют удобрения, меньше повреждаются.

Однако применяемые в настоящее время современные системы внутрипочвенного орошения многолетних насаждений являются стационарными, затратными и не всегда в полной мере решают основную задачу подпочвенного полива – точную и строго дозированную подачу воды или питательного раствора к корневой системе растений, в связи с чем назрела необходимость разработки и других эффективных технологий и технических средств для подпочвенного орошения многолетних насаждений.

Установлено, что в атмосфере содержится огромное количество парообразной влаги, конденсируя которую можно получить воду в количестве, достаточном для применения ее в сельском хозяйстве. Как показали результаты исследований отечественных ученых, в качестве теплообменника природного «холодильника» можно ис-

пользовать почву, что должно привести к стабильному процессу конденсации атмосферной парообразной влаги. Разница температур в приземном слое атмосферы и почве запускает конденсационные процессы в зоне корневой системы.

С учетом накопленного опыта была предложена технология подпочвенного локального малообъемного полива многолетних насаждений, для реализации которой были разработаны специальные технические средства – гидробур и пневомгидробур.

Подпочвенное внесение поливочной воды и сжатого воздуха непосредственно в корневую систему растения – новый перспективный способ активного воздействия на подпочвенные горизонты в области корневой системы растений, обеспечивающий высокую эффективность подпочвенного орошения, обогащение кислородом и улучшение климата почвы. Его цель состоит в том, чтобы обеспечить оптимальные значения влажности почвы и концентрации воздуха, чтобы растения пополняли свои потребности в воде и кислороде, поставляя минералы и другие органические соединения в надземную продуктивную часть растений. При этом в почве создаются многочисленные каналы различных сечений, улучшается ее структурность. Эти каналы создают хорошие условия для движения потоков воздуха, особенно паров воды, что вызывает появление своеобразного «подпочвенного дождя». Объем конденсированной воды зависит от разности упругости паров наружного воздуха и паров у конденсирующей поверхности. Количество сконденсировавшейся в почве воды зависит от степени обмена газами между почвенным воздухом и атмосферой, осуществляемого через свободные от воды почвенные поры, или от степени аэрации почвы.

Техника для внутрипочвенного орошения должна обеспечивать не только поступление поливной воды в корнеобитаемый слой почвы, но и увеличение общего объема ее пор, что способствует усилению газообмена между почвенным воздухом и атмосферой и, соответственно, создает предпосылки для внутрипочвенной конденсации парообразной влаги атмосферного воздуха («подпочвенный дождь»).

В ходе исследований было обосновано применение подпочвенного орошения с использованием инструментов по доставке воды,

смеси воды и воздуха, гидрогеля в почву для эффективного использования влаги и питательного раствора при внедрении орошаемого земледелия для возделывания многолетних насаждений.

В издании рассмотрены основные способы орошения многолетних насаждений, изучен потенциал использования атмосферной влаги при подпочвенном орошении многолетних насаждений. Приведены результаты экспериментальных исследований по обоснованию выбора режимов работы гидробура и пневмогидробура, технологий и технических средств для подпочвенного орошения растений яблони и винограда, подпочвенного минерального питания садовых насаждений с использованием гидрогеля, подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур. Показаны направления расширения функциональных возможностей гидро- и пневмогидробуров.

1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

Важным фактором интенсификации выращивания многолетних насаждений в районах неустойчивого увлажнения является орошение. Максимальная эффективность от его применения достигается при условии своевременного проведения поливов и увлажнения почвы на глубину размещения основной массы корневой системы [4].

До недавнего времени основной целью орошения было повышение влажности почвы до уровня, благоприятного для роста и развития растений. В последние годы его начинают рассматривать как прием более широкого и глубокого воздействия на условия произрастания растений.

Так, орошение приводит к изменению направленности биохимических процессов: синтез веществ превалирует над гидролизом. Исследованиями, проведенными учеными ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в условиях Саратовской, Ульяновской и Московской областей, установлено, что благодаря поливу урожайность плодоносящих яблонь возрастает на 19-55%, средняя масса плодов и их сочность – на 30-40, а содержание витамина С – на 20-30% [5].

Все способы полива должны в первую очередь обеспечивать равномерное распределение воды по полю, и эта вода в виде запаса почвенной влаги должна находиться в слое активного водопотребления. Поглощение воды почвой, превращение её в фактор почвенного плодородия и глубина увлажнения почвогрунта зависят от водно-физических свойств почвы. При любом способе полива, независимо от принципа распределения воды по полю, процессы впитывания и формирования запасов почвенной влаги определяются свойствами данной почвы. Каждому способу орошения свойственны определённое устройство оросительной сети и соответствующая техника полива, т.е. способы переведения подаваемой воды из состояния свободного потока в оросительной сети в состояние почвенной влаги. Поступление, передвижение и распределение её в почве имеют большое значение для жизни растений [6].

Для полива садов и других многолетних насаждений используют дождевание, капельное, внутрипочвенное орошение и поверхностный полив (рис. 1). Эффективность каждого из этих способов зависит от конкретных условий. Данные технологии основаны на периодическом аккумулировании воды в почве, при этом интенсивность водоподачи в сотни раз превышает водопотребление [4].

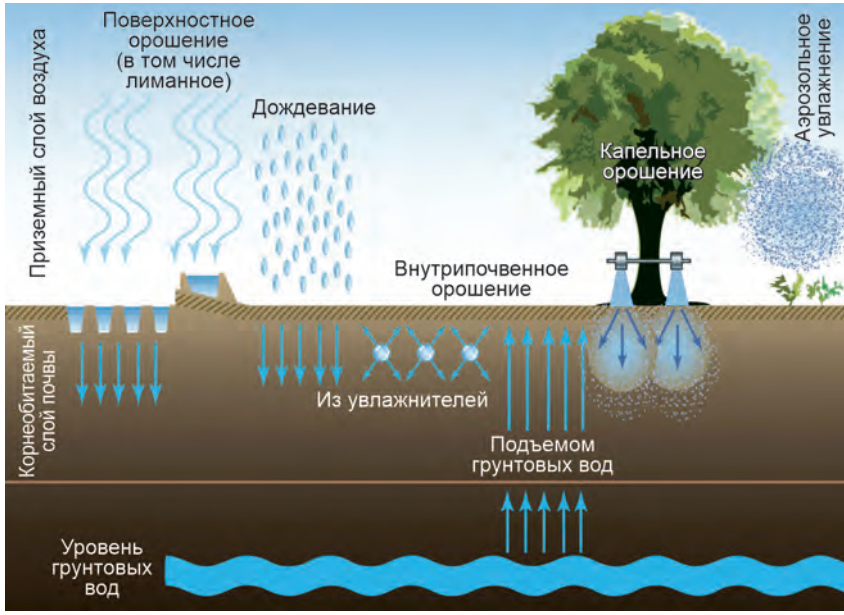


Рис. 1. Основные виды полива садов и других многолетних насаждений [7]

Во многих питомниководческих хозяйствах при выращивании многолетних насаждений применяют *поверхностное орошение* – распределение воды по поверхности земли с помощью борозд, полос, затопления чеков. Этот способ используют при орошении большими оросительными нормами, на засоленных почвах, требующих промывки; в районах с сильными ветрами на спланированной поверхности полей при благоприятных уклонах с водопроницаемыми почвами; на тяжёлых или легко заплывающих почвах при большом водопотреблении сельскохозяйственных культур [8].

К основным способам поверхностного орошения относятся поливы напуском по полосам, затоплением, по бороздам. При поливе напуском по полосам вода из выводной борозды или временного оросителя подаётся на полосу орошаемой площади и распределяется по ней самотеком. На хорошо спланированных участках без поперечного уклона применяют полив с головной подачей воды, когда она из временного оросителя непосредственно поступает в голову полосы; при сложном микрорельефе в условиях плохо спланированной площади и даже с небольшим уклоном в поперечном направлении применяют полив с боковой подачей воды, когда она поступает в выводные борозды, а из них – в полосы. Для механизации полива применяют поливные агрегаты и передвижные трубопроводы.

При поливе затоплением на орошаемом участке создают сплошной слой воды, постепенно впитывающейся в почву (рис. 2) [9].

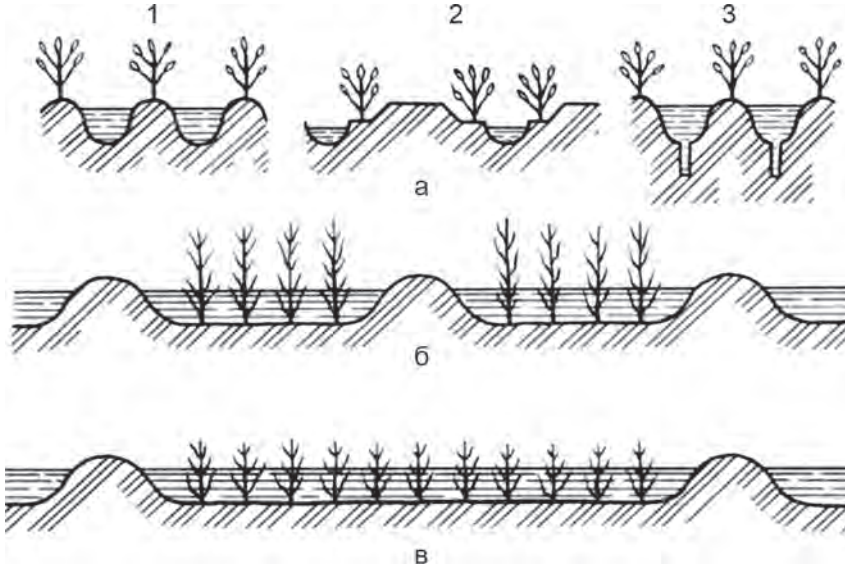


Рис. 2. Поверхностные способы полива:
а – полив по бороздам; б – полив по полосам; в – полив по чекам;
1 – поперечное сечение проточных или тупых борозд;
2 – борозды с террасками; 3 – борозды-щели

Достоинства систем поверхностного орошения: простота и надежность в эксплуатации; отсутствие потребности в специальных машинах, дефицитных материалах, дополнительной энергии; возможность проводить поливы при большой силе ветра; хорошее промачивание почвогрунта при влагозарядке; сравнительно малые затраты на строительство.

Недостатки поверхностного самотечного способа полива: тяжелый ручной труд; большой объем планировочных работ при сложном микрорельефе; разрушение структуры почвы и потребность в дополнительном рыхлении междурядий; ухудшение воздушного режима почвы; неравномерность увлажнения почвы по длине поливных борозд и полос, что иногда приводит к подъему уровня грунтовых вод и засолению или заболачиванию орошаемых участков; низкий коэффициент использования земли вследствие прокладки открытых распределительных и поливных сетей; ухудшение условий механизации сельскохозяйственных процессов [10-13].

Дождевание – один из самых распространенных способов орошения в России. Сущность полива дождеванием состоит в том, что оросительная вода под действием искусственно создаваемого давления с помощью специальных аппаратов или насадок распыляется на мелкие капли. Под действием силы тяжести капли дождя падают на орошаемую площадь, увлажняя при этом приземный слой воздуха, растения и почву. Дождевание производится с помощью дождевальных устройств, которые в зависимости от способа перемещения и создаваемого напора подразделяются на дождевальные агрегаты, машины и установки, а в зависимости от радиуса действия – на короткоструйные (менее 10 м), среднеструйные (10-50 м) и дальнеструйные (более 50 м) [14].

По принципу создания искусственного дождя насадки разделяют на дефлекторные (отражательные) и струйные. В струйных насадках вода вытекает из сопла с большой скоростью и, встречая сопротивление воздуха, постепенно распадается на капли. Струйные насадки в неподвижном положении создают неравномерный слой дождя по длине струи. Для формирования более равномерного дождя в дождевальных аппаратах с одной стороны устанавливают несколько сопел, а с другой – заставляют вращаться дождевальные аппараты вокруг вертикальной оси.

Равномерность дождя – важный, но не единственный показатель, характеризующий его качество, большое значение имеют также интенсивность и крупность капель.

При подборе дождевальных насадок и аппаратов необходимо знать их характеристики (приводимые в справочных и паспортных данных) и впитывающие свойства почвы для соблюдения основного условия дождевания: средняя интенсивность дождя не должна превышать впитывающую способность почвы в конце полива. Интенсивность дождя, обеспечивающую в данных условиях подачу требуемой нормы полива без стока воды, называют допустимой. Качество дождевания зависит от диаметра образуемых капель. Наиболее благоприятным для растений и почвы является моросящий дождь, который состоит из капель ∅ 0,4-0,9 мм. Другая качественная характеристика искусственного дождя – степень равномерности распределения его по орошаемой площади [15].

В последнее время активно ведутся работы по созданию современных систем орошения дождеванием. Так, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева и ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» разработана система орошения дождеванием, принцип работы которой заключается в следующем. Из пруда-накопителя осуществляется забор поливной воды, которая по всасывающим трубопроводам посредством насосной станции под давлением транспортируется до фильтровальной станции. Затем очищенная вода по подводящему трубопроводу поступает в распределительный внутрипочвенный трубопровод и по соединительным трубопроводам подается в гидранты, из которых распределяется по поливным трубопроводам и подается к дождевальным аппаратам, осуществляющим дождевание садовых модулей (рис. 3) [16].

Предложенная оросительная система сада дождеванием включает в себя усовершенствованный агротехнический прием предполивной нарезки сверхузких щелей в поливном садовом модуле с очаговыми резервуарами для аккумулирования в них почвенной влаги [16]. Особенно эффективен разработанный прием щелевания на склоновых землях, когда поливная вода не смывается быстрым потоком, а проникает в нарезанные щели и, сохраняясь в нарезанных очаговых резервуарах на расчётный период времени, позволяет сдвигать сро-

ки и даты очередного вегетативного полива, тем самым сокращая их общее количество [16].

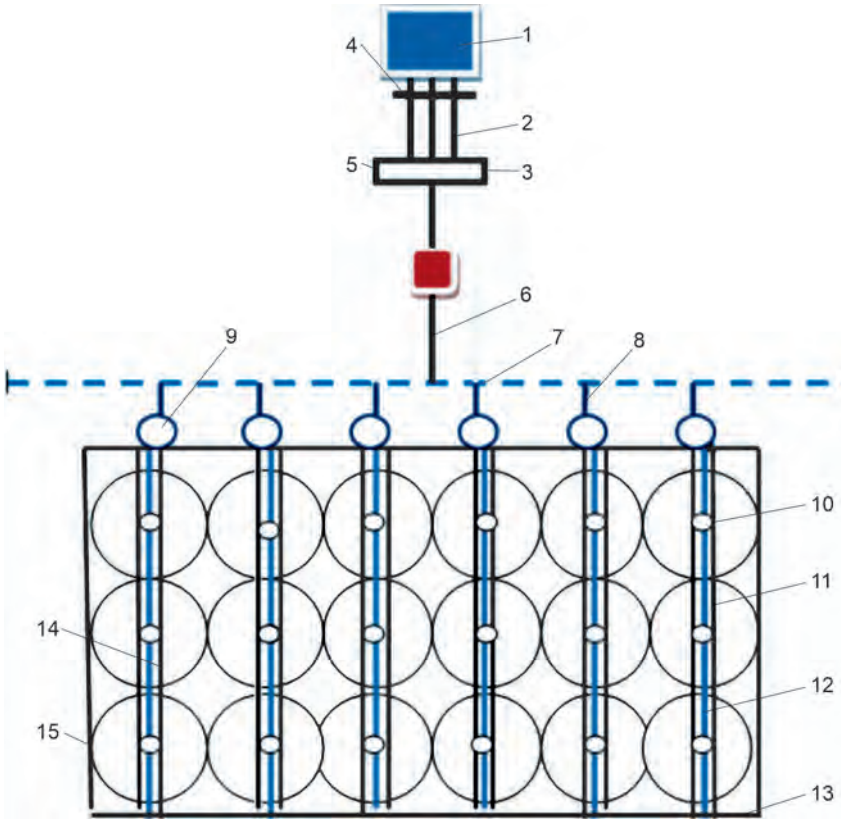


Рис. 3. Условная схема системы орошения садовых культур дождеванием:
1 – пруд-накопитель; 2 – всасывающие трубопроводы;
3 – насосная станция; 4 – армированная перемычка;
5 – фильтровальная станция; 6 – подводящий трубопровод;
7 – распределительный внутрипочвенный трубопровод;
8 – соединительный трубопровод; 9 – гидрант;
10 – дождевальный аппарат кругового действия;
12 – поливной трубопровод; 11, 14 – внутренние границы
поливного участка; 13, 15 – границы садового модуля

Дождевание по сравнению с другими способами полива имеет следующие преимущества: высокий уровень механизации; частичная или полная автоматизация процесса полива; минимальные затраты ручного труда; возможность применения на участках, имеющих как прямые, так и обратные уклоны или безуклонную поверхность; меньшие по сравнению с поверхностным способом орошения объемы планировочных работ; возможность маневрирования поливными нормами в широком диапазоне – от 50 до 900 $м^3$/га; исключается нарушение структуры почвы при соответствующем качестве дождя; поливная норма регулируется более точно в соответствии с периодами развития растений и мелиоративным состоянием земель; увлажняется не только почва, но и растения, а также приземный слой воздуха, что благоприятно сказывается на физиологических процессах в растениях; возможно внесение с поливной водой удобрений и средств защиты растений; высокий уровень коэффициентов использования земельной площади и полезного действия оросительной сети [17].

Основные недостатки дождевания: необходимы значительные затраты механической энергии для создания требуемого напора, высокая энергоемкость, большая металлоемкость дождевальной техники и ее несовершенство, зависимость качества полива от силы ветра [17].

В системах дождевания новыми и наиболее эффективными направлениями совершенствования являются мелкодисперсное и синхронно-импульсное дождевание. При мелкодисперсном дождевании особые установки создают мельчайшие капли воды, увлажняющие приземный слой воздуха, растения и отчасти почву. Положительное влияние оказывает и создание искусственного тумана.

Синхронно-импульсное дождевание – накопление в гидропневмоаккумуляторах воды и выброс ее в виде дождя под действием сжатого в камере воздуха. При этом растения снабжаются водой синхронно с учётом их водопотребления в течение всего вегетативного периода [18]. Такое дождевание имеет ряд преимуществ, обеспечивающих значительный агрофизиологический и организационно-хозяйственный эффект, заключающийся в обеспечении длительного направленного воздействия искусственного дождя;

создании почти полностью контролируемых условий для роста и развития растений, исключающих отрицательное воздействие погодных факторов; поддержании влажности активного слоя почвы и приземного воздуха на оптимальном уровне без резких колебаний, свойственных обычным периодическим поливам; снижение капитальных затрат на строительство сети; исключении водооборота, что упрощает водопользование на системе, снижает затраты труда [19].

В современных условиях в садоводстве широко используется так называемое подкроновое орошение, имеющее ряд технологических преимуществ. С помощью системы подкронового орошения и агротехнического потенциала, который данная система привносит в практику, возможно не только поддержание влажности почвы на оптимальном уровне, но и искусственное его понижение в определенные фенофазы развития растений. Понижение влажности почвы в саду во время цветения способствует увеличению доли продуктивных завязей. Более напряженный водный режим во время дифференциации плодовых почек, по мнению ряда исследователей, способствует увеличению количества генеративных почек [20, 21].

Для реализации данного способа полива садовых насаждений специалистами ФГБНУ ВНИИ «Радуга» был разработан комплект подкронового орошения с кольцевыми водовыпусками (рис. 4) [4]. Разработано два варианта исполнения кольцевых водовыпусков (с дождевальными насадками и отверстиями), различающихся способами распределения поливной воды.

Ирригационный комплект состоит из распределительного трубопровода (∅ 75-110 мм) и поливных крыльев *2*, выполненных из полиэтиленовых труб. Трубы распределительного трубопровода соединены проходными *3* и рабочими *4* муфтами с манжетами и зафиксированы скобами, которые вставлены в отверстия ушек хомутов, установленных на концах труб. В патрубки рабочих муфт установлены тройники *5* с двумя кранами *6*, к которым через быстросборные соединения *7* подсоединены шланги *8*, соединенные с тройниками *9* поливных крыльев [4].

Поливные крылья состоят из полиэтиленовых труб *10*, *11* с тройниками *12*, к которым через быстросборные соединения *13* и шлан-

ги *14* подсоединены кольцевые незамкнутые водовыпуски *15* с дефлекторными насадками секторного действия *16* с углами секторов орошения 180°. Последние трубы поливных крыльев заканчиваются угольниками *17*, к которым также подсоединены кольцевые водовыпуски [4].

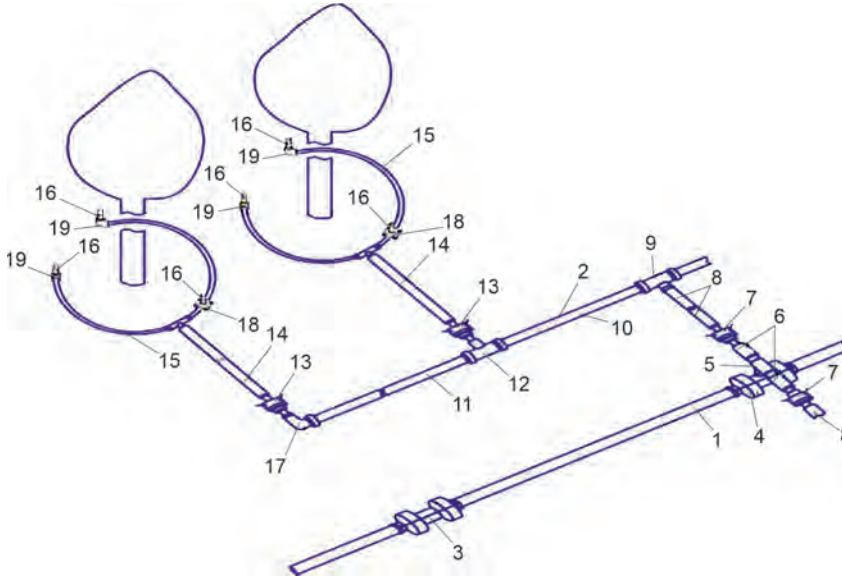


Рис. 4. Общая схема комплекта подкронового орошения

Дефлекторные насадки на кольцевых отводах установлены в седелки *18* и угольники соединительные *19* с внутренней резьбой. Схема распределения дождя под кроной дерева приведена на рис. 5 [4].

Также имеется вариант применения колец большего диаметра с равномерно расположенными отверстиями с внутренней и наружной сторон кольца (рис. 6).

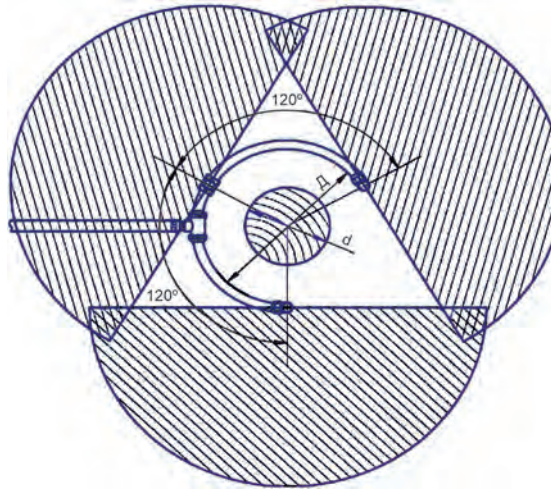


Рис. 5. Схема распределения дождя под кроной дерева

Рис. 6. Кольцевой водовыпуск с отверстиями

Проведенными исследованиями установлено: полив осуществляется непосредственно под кроной дерева, что уменьшает расход воды; ствол дерева остается сухим, а при орошении дождеванием ствол дерева и листья обильно увлажняются, что может вызывать появление различного рода болезней коры и поражение плодов; возможно совмещение процессов подкормки растений удобрениями с поливом; комплект мобилен (перемещение поливного шлейфа с позиции на позицию занимает 20-30 мин), прост в эксплуатации (обслуживает один человек), имеет относительно низкую стоимость; для работы требуется сравнительно небольшой напор воды [4].

При переходе на интенсивные технологии возделывания садов одним из наиболее рациональных вариантов является *капельное орошение*. Так, по данным обследований систем капельного орошения (СКО), в США, Израиле, Австралии и других государствах снижение затрат воды составляет 30-50%. Экономное расходование оросительной воды обеспечивает высокую эффективность систем: КПД – 0,8-0,95 по сравнению с 0,5-0,6 и 0,7-0,8 при использовании поверхностных и дождевальных систем соответственно [8].

Медленная подача воды в зону корнеобитания способствует формированию оптимального водно-воздушного режима, поддержанию его на относительно постоянном уровне без периодической смены циклов переувлажнения и высыхания почвы от полива до полива. Все это положительно влияет на рост и развитие многолетних насаждений и сельскохозяйственных культур, позволяя получать при значительной экономии воды бóльшие урожаи, чем при дождевании или поверхностном поливе, обеспечивая улучшение качества продукции, более ранние сроки созревания урожая, благоприятные условия уборки благодаря сухим приствольным кругам или междурядьям [8].

При капельном орошении вода подается непосредственно к растениям через специальные микроводовыпуски – капельницы с очень малым расходом (4-20 л/ч), увлажняя только зону распространения корней. При этом междурядья остаются сухими. Вместе с поливной водой при необходимости подаются удобрения, раствор которых

впрыскивается в магистральный трубопровод с помощью инжектора [22].

Эффективность капельного полива древесных плодовых растений, культивируемых в промышленных садовых насаждениях, в значительной степени зависит от качества реализации капельной поливной сети, точности подачи оросительной воды и элементов минерального питания в зоны расположения основной массы корневых систем многолетних культур [23].

В общем случае в составе капельной оросительной сети выделяют транспортирующую сеть, подводящую поливную воду к садовому насаждению, и поливную сеть, обеспечивающую подвод воды к растениям и выпуск ее в определенную зону области питания каждого растения [24]. В конструктивном отношении капельная оросительная сеть представляет собой закрытую трубопроводную сеть, функционирующую в напорном режиме. Поливная сеть включает в себя оросительный трубопровод и питающиеся из него поливные трубопроводы, оборудованные поливными устройствами и капельными микроводовыпусками [25].

Устройства для капельного полива древесных плодовых культур должны обеспечивать подачу поливной воды в определенные зоны корневой системы многолетних растений, в том числе в межрядовое пространство, и при этом не создавать препятствий для ведения уходных и других агротехнических работ.

Специалистами Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации (г. Новочеркасск) предложено конструктивное решение усовершенствованного капельного поливного устройства, соответствующего указанным требованиям [26, 27]. План участка сада, оборудованного таким устройством, приведен на рис. 7.

Усовершенствованная капельная поливная сеть многолетних садовых насаждений включает в себя поливной трубопровод, расположенный вдоль рядов выращиваемых культур, к которому через специальные узлы подключены перпендикулярно направленные капельные консоли, оборудованные капельными микроводовыпусками требуемого количества и расположения. При поливе капельные консоли располагаются в рабочем положении параллельно поверх-

ности земли. По окончании подачи воды в поливные трубопроводы консоли освобождаются от оросительной воды и автоматически переводятся из рабочего положения в близкое к вертикальному, при котором не возникает препятствий для проведения механизированных агротехнических работ в межрядовом пространстве садового насаждения [26, 27].

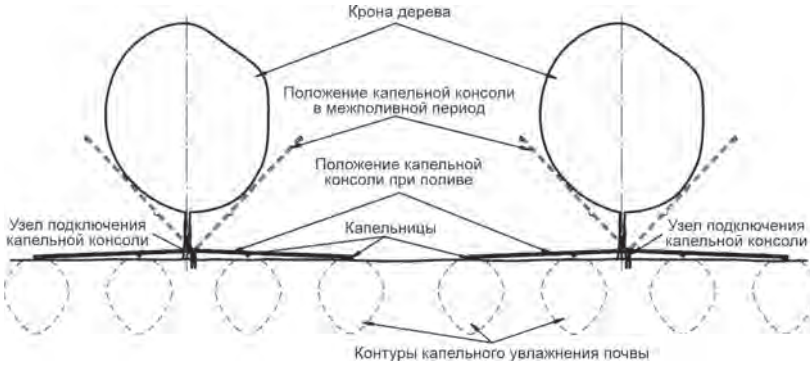
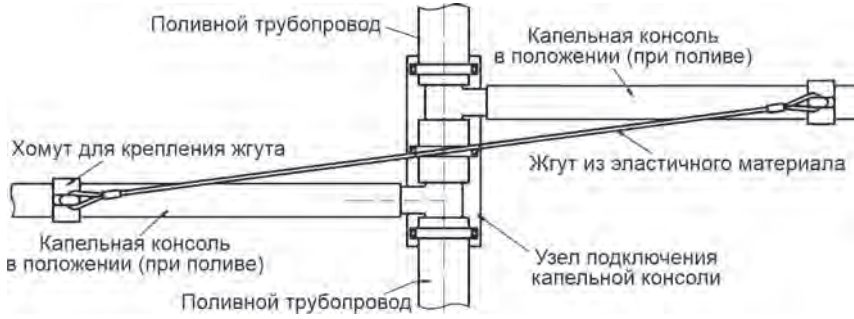
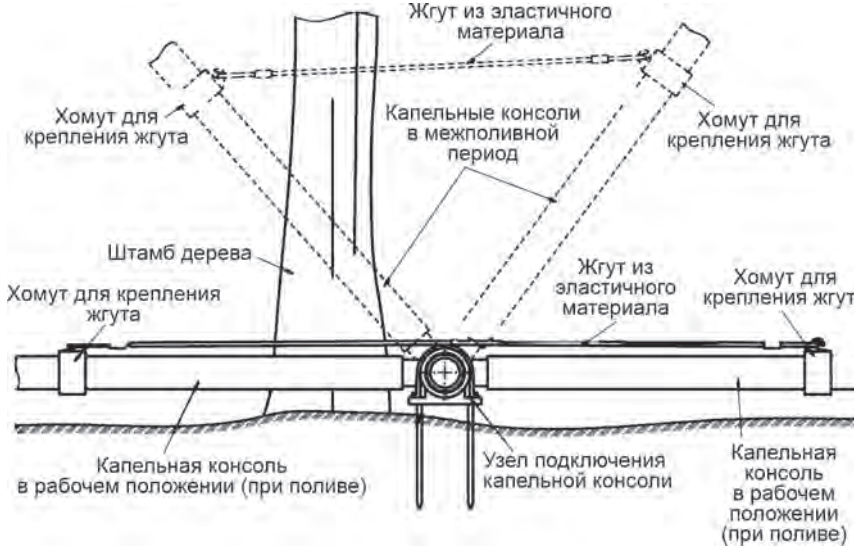


Рис. 7. Вид участка сада (вдоль рядов), оборудованного поливным устройством для капельного увлажнения межрядового корнеосвоенного почвенного пространства (пат. RU № 2713136)

Автоматический перевод капельных консолей из положения, близкого к вертикальному, в рабочее производится за счет взаимодействия сил, создаваемых упругим жгутом из эластичного материала, соединяющим противоположно направленные капельные консоли одного узла подключения, с одной стороны, и весом капельной консоли – с другой. Конструктивная схема поливного устройства приведена на рис. 8 [26, 27].


Поливной трубопровод
Капельная консоль
в положении (при поливе)
Хомут для крепления жгута
Жгут из эластичного материала
Капельная консоль
в положении (при поливе)
Узел подключения
капельной консоли
Поливной трубопровод

а


Жгут из эластичного
материала
Хомут для
крепления жгута
Капельные консоли
в межполивной
период
Хомут для
крепления жгута
Штамб дерева
Хомут для крепления
жгута
Жгут из
эластичного
материала
Хомут для
крепления жгута
Капельная консоль
в рабочем положении (при поливе)
Узел подключения
капельной консоли
Капельная
консоль
в рабочем
положении
(при поливе)

б

в

Рис. 8. Поливное устройство для увлажнения почвы в межрядовом корнеобитаемом почвенном пространстве: а – общий вид; б – капельные консоли в рабочем положении (при поливе); в – капельные консоли в нерабочем положении (межполивной период)

Жгут из эластичного материала должен создавать усилие, достаточное для преодоления силы тяжести и сил трения в узле подключения капельной консоли, для подъема и удержания капельных консолей без воды в положении, близком к вертикальному. При подаче воды в поливной трубопровод и наполнении капельных консолей их масса увеличивается. При этом создаваемое жгутом усилие должно быть меньше силы, которая стремится опустить наполненные водой капельные консоли в рабочее положение к поверхности земли. Соответственно, при подаче поливной воды капельные консоли занимают близкое к поверхности земли положение и производится капельный полив требуемой площади питания растения [26, 27].

Вращение капельных консолей относительно поливного трубопровода с целью перевода поливного устройства из рабочего положения в близкое к вертикальному и обратно, а также подача поливной воды из поливного трубопровода в капельную консоль и герметичность соединения обеспечиваются конструкцией узла подключения капельных консолей, который не имеет деформируемых элементов [26, 27].

Основным конструктивным элементом узла подключения капельных консолей является платформа, к которой посредством хомутов крепятся боковые и центральный элементы поливного трубопровода. Для придания устойчивости поливному устройству платформа в нижней части оснащена анкерами, втыкаемыми в почву. В элементы поливного трубопровода монтируются тройники [26, 27].

Предложенное поливное устройство функционирует следующим образом. Перед первым поливом в начале вегетационного периода или межполивной период капельные консоли поливного устройства не содержат поливную воду, в связи с чем усилия, создаваемого жгутом из эластичного материала, достаточно для перевода и поддержания капельных консолей в положении, близком к вертикальному, которое позволяет занять крона культивируемых растений. При поливе вода подается в поливные трубопроводы и далее – в капельные консоли, наполнение которых значительно увеличивает их массу и преодолевает усилие, создаваемое жгутом из эластичного материала. При этом консоли вращением относительно оси поливного трубопровода занимают рабочее, параллельное поверхности земли, положение. Поливная вода в виде капель подается капельными микроводовыпусками в почвенное пространство, формируя зоны капельного увлажнения с требуемыми геометрическими и влажностными параметрами. По завершении полива подача воды прекращается, а оставшаяся в консолях вытекает через капельницы, установленные на капельных консолях и поливном трубопроводе. При этом масса капельных консолей уменьшается, они посредством усилия, создаваемого жгутом из эластичного материала, поднимаются в положение, близкое к вертикальному, и не препятствуют проведению агротехнических работ в межрядовом пространстве [26, 27].

Достоинства капельного орошения: значительная экономия ресурсов – воды, трудозатрат, времени; при правильно отстроенной системе исключается размывание почвы; равномерное распределение влаги; возможность использования системы капельного орошения не только для полива растений, но и доставки жидких удобрений, которые также будут проникать сразу к корням, а также применения её вне зависимости от рельефа местности; возможность автоматизации процесса при наличии дополнительного оборудования, что позволяет исключить необходимость присутствия обслуживающего персонала на несколько дней, не опасаясь, что растения останутся без питания или погибнут. Практически каждый комплект оборудования предусматривает наличие фильтра, через который проходит вода, прежде чем попасть в почву, т.е. растения получают очищенную воду, без вредных примесей [28].

Недостатки: высокая стоимость оборудования; необходимость следить за чистотой системы, регулярно прочищать трубы и капельницы; несвоевременное устранение засоров может повлечь за собой ухудшение качества полива, снижение урожайности, порчу установки; стремительное разрастание корней растений вследствие регулярного и обильного орошения и даже прорастание их в трубы; необходимость демонтажа установки на зимний период [28].

Подпочвенное орошение как один из перспективных способов полива привлекает все большее внимание исследователей. При этом в последнее время находит применение *мелкоструйчатое внутрипочвенное орошение* – способ орошения, при котором поливная вода поступает в корнеобитаемый слой почвы из системы орошения к подпочвенным увлажнителям через водовыпуски. При этом обеспечивается равномерность полива, поддерживается влажность корнеобитаемого слоя почвы, сохраняется её структура, предотвращается появление на ней корки, снижается расход поливной воды и уменьшаются ее потери на испарение с поверхности почвы, создаются условия для автоматизации всего технологического процесса орошения [8].

Система внутрипочвенного мелкоструйчатого орошения включает в себя комплекс различных технологических звеньев, связанных между собой системой трубопроводной сети, последним зве-

ном которой является мелкоструйчатый водовыпуск. Поливная вода в виде тонкой струи подается по гибкой микротрубке к внутрипочвенному гофрированному увлажнителю с перфорацией для водовыпусков оросительной воды, откуда она просачивается в активный корнеобитаемый слой многолетнего насаждения. Каждый внутрипочвенный увлажнитель имеет по 15-20 водовыпусков, что сокращает время, затрачиваемое на расходование поливной нормы, и позволяет экономить энергетические ресурсы. Поскольку локальный характер увлажнения ограниченного объема почвы исключает расходование воды на смачивание поверхности почвы приствольных кругов и междурядий многолетних насаждений, потери поливной воды на испарение отсутствуют, что обеспечивает экономию значительного количества водных ресурсов [8].

Принцип действия разработанной отечественными учеными [8] системы внутрипочвенного мелкоструйчатого орошения (рис. 9) многолетних насаждений заключается в следующем: водозабор осуществляется насосной станцией из открытого или закрытого водоисточника, затем поливная вода под давлением до 0,02 МПа подается в сетчатый или дисковый фильтр грубой очистки (рис. 10). Очищенная вода поступает в магистральный трубопровод, по нему – к распределительному трубопроводу орошаемого модуля и поступает в поливные трубопроводы, в которые с шагом 4000-5000 мм вмонтированы гибкие микротрубки. Из них поливная вода тонкими струйками подается во внутрипочвенные гофрированные увлажнители с перфорацией для водовыпусков (шаг перфорации – до 150 мм). Таким образом, оросительная вода с перфорированных водовыпусков внутрипочвенных увлажнителей поступает непосредственно в корневую зону выращиваемых многолетних насаждений. Питательный режим обеспечивается путем внесения жидких удобрений с помощью насоса-дозатора (рис. 11) [8].

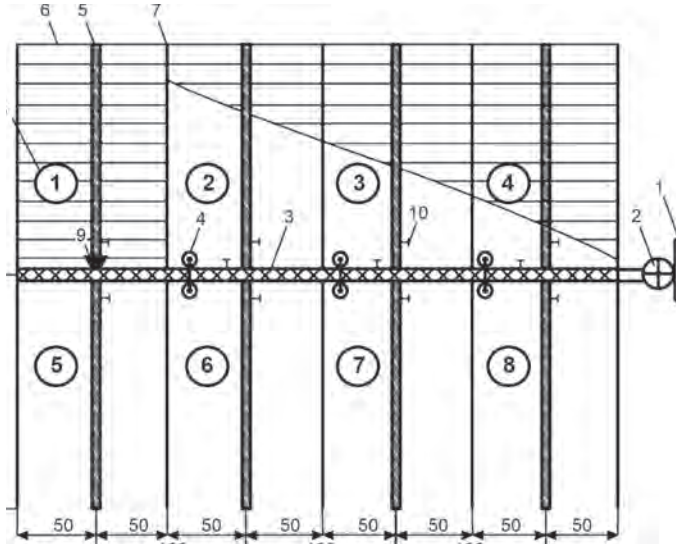


Рис. 9. Поливной модуль системы внутрипочвенного мелкоструйчатого орошения:
1 – водоем; 2 – насосная станция; 3 – магистральный трубопровод; 4 – насос-регулятор; 5 – распределительный трубопровод; 6 – поливной трубопровод; 7 – граница модуля; 8 – номер модуля; 9 – участковый регулятор; 10 – запорная арматура

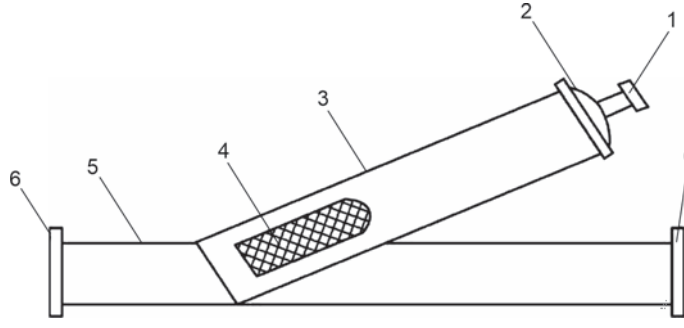


Рис. 10. Сетчатый фильтр грубой очистки:
1 – запорное устройство; 2 – съемная крышка; 3 – корпус фильтра; 4 – фильтрующий элемент; 5 – водопроводный элемент; 6 – крепежный фланец

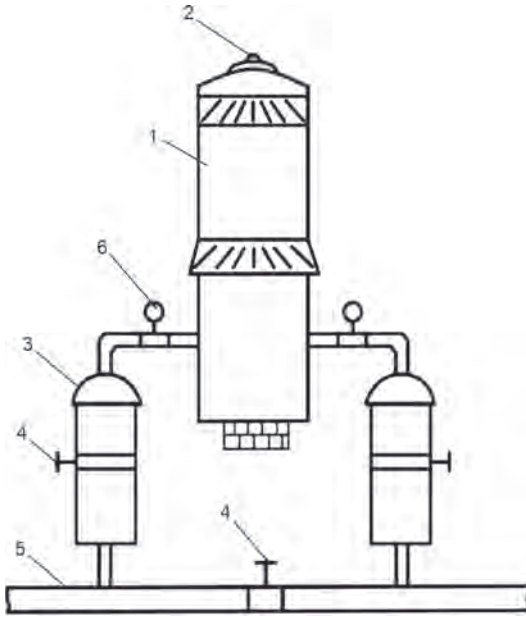


Рис. 11. Насос-дозатор:
1 – съемная крышка;
2 – корпус насоса;
3 – манометр;
4 – ёмкость с раствором;
5 – запорная арматура;
6 – трубопровод

Однако эти современные системы орошения многолетних насаждений являются стационарными, затратными и не всегда в полной мере решают основную задачу подпочвенного полива – точную и строго дозированную подачу воды или питательного раствора к корневой системе растений.

Поэтому назрела необходимость разработки других эффективных технологий и технических средств для подпочвенного орошения многолетних насаждений.

2. ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ ПРИ ПОДПОЧВЕННОМ ОРОШЕНИИ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

Интенсификация хозяйственной деятельности, увеличение антропогенной нагрузки на речные бассейны и растущий дефицит воды во многих регионах России делают водные ресурсы важным, а иногда определяющим фактором хозяйственного развития [29]. Особый интерес представляет атмосферная влага – её запасы в атмосфере и возможность использования в хозяйственной деятельности.

Атмосферный воздух является гигантским резервуаром влаги и даже в засушливых районах содержит, как правило, более 6-10 г воды на 1 м^3. В 1 км^3 приземного слоя атмосферы в жарких, засушливых и пустынных областях Земли содержится до 20 тыс. т водяных паров [30].

В среднем в любое время в атмосфере содержится 12,9 тыс. км^3 воды, или 0,001% всего количества воды на Земле, что в 6 раз превышает объем воды, содержащейся в руслах рек мира [31].

Влагосодержание воздуха у земной поверхности имеет суточный и годовой ход. Суточный ход относительной влажности опосредованно определяется суточным ходом температуры, поскольку от нее зависят, с одной стороны, количество влаги, поступающей в воздух от испарения, с другой – турбулентный и конвективный перенос пара от подстилающей поверхности в вышележащие слои воздуха. Суточный и годовой ход абсолютной влажности и парциального давления полностью взаимно идентичны. В тёплое время года над сушей в ясную погоду в суточном ходе парциальное давление имеет два минимума и два максимума [31].

Первый минимум – на рассвете при минимальных температуре подстилающей поверхности и поступлении влаги от испарения. Первый максимум – с увеличением высоты солнца повышается температура подстилающей поверхности и парциальное давление быстро растет, пока испарение преобладает над переносом пара вверх. Второй минимум – ближе к полудню, когда турбулентный перенос влаги в вышележащие слои воздуха превышает поступле-

ние влаги от испарения и парциальное давление пара понижается [31].

Второй максимум – к вечеру при ослабевающей турбулентности земная поверхность остаётся достаточно тёплой, что обеспечивает превышение испарения над переносом влаги вверх. При этих условиях парциальное давление пара продолжает расти, достигая максимума, после чего испарение уменьшается до полного прекращения и парциальное давление также понижается до утреннего минимума [31].

Суточные изменения абсолютной и относительной влажности в течение суток в теплый период в южных регионах России приведены на рис. 12 [32].

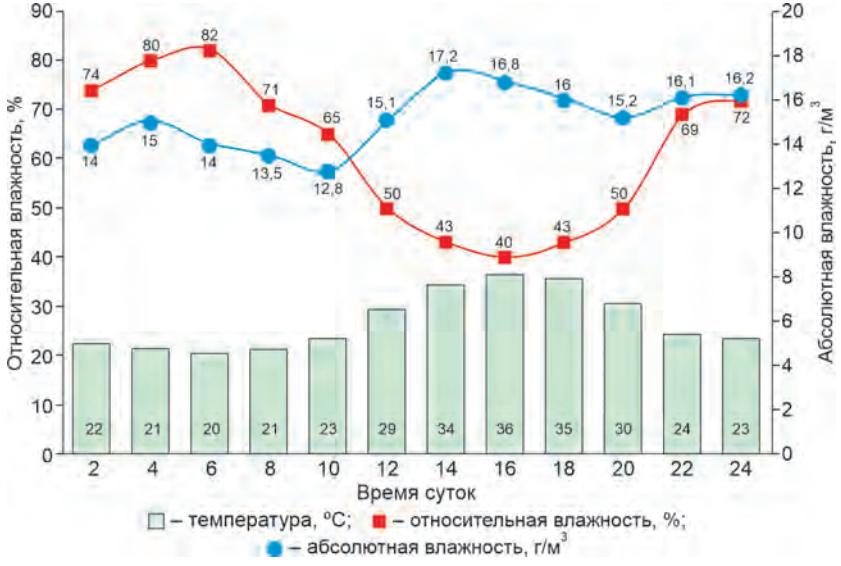


Рис. 12. Суточные изменения абсолютной и относительной влажности

На процесс суточного изменения относительной влажности наибольшее воздействие оказывает температура, понижение которой приводит к повышению относительной влажности, и наоборот, относительная влажность уменьшается с повышением температуры. При этом следует иметь в виду, что абсолютное количество водяного пара в воздухе с изменением температуры существенно не изменяется.

Значения абсолютной влажности при различных температурах и относительной влажности приведены в табл. 1 [33, 34].

Таблица 1

Значения абсолютной влажности и точки росы при различных температурах

Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	8,3	16,6	24,9	33,2	41,5	49,8	58,1	66,4	74,7	83,0
	8,0	19,0	26,0	32,0	36,0	40,0	43,0	45,0	48,0	50,0
45	6,5	13,1	19,6	26,2	32,7	39,3	45,8	52,4	58,9	65,4
	4,0	15,0	22,0	27,0	32,0	36,0	38,0	41,0	43,0	45,0
40	5,1	10,2	15,3	20,5	25,6	30,7	35,8	40,9	46,0	51,1
	1,0	11,0	18,0	23,0	27,0	30,0	33,0	36,0	38,0	40,0
35	4,0	7,9	11,9	15,8	19,8	23,8	27,7	31,7	35,6	39,6
	-2,0	8,0	14,0	18,0	21,0	25,0	28,0	31,0	33,0	35,0
30	3,0	6,1	9,1	12,1	15,2	18,2	21,3	24,3	27,3	30,4
	-6,0	3,0	10,0	14,0	18,0	21,0	24,0	26,0	28,0	30,0
25	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	16,1	18,4	20,7	23,0
	-8,0	0,0	5,0	10,0	13,0	16,0	19,0	21,0	23,0	25,0
20	1,7	3,5	5,2	6,9	8,7	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3
	-12,0	-4,0	1,0	5,0	9,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
15	1,3	2,6	3,9	5,1	6,4	7,7	9,0	10,3	11,5	12,8
	-16,0	-7,0	-3,0	1,0	4,0	7,0	9,0	11,0	13,0	15,0

Примечание. В числителе указана абсолютная влажность, г/м^2, в знаменателе – точка росы, °С (температура, при которой в обозначенных условиях начинаются конденсационные процессы).

Из данных графика (рис. 13), где представлены значения абсолютной влажности (масса парообразной воды в 1 м^3 воздуха) в зависимости от температуры при различных значениях относительной влажности следует, что даже в крайне неблагоприятных условиях пустынь, где температура достигает 45-50°С, а относительная влажность не превышает 20%, в каждом 1 м^3 воздуха содержится 12-

13 г парообразной влаги [32], высвободить которую и перевести в жидкое состояние возможно, если активировать конденсационные процессы. Чтобы запустить механизм процесса конденсации, необходимо снизить температуру влажного воздуха ниже точки росы.

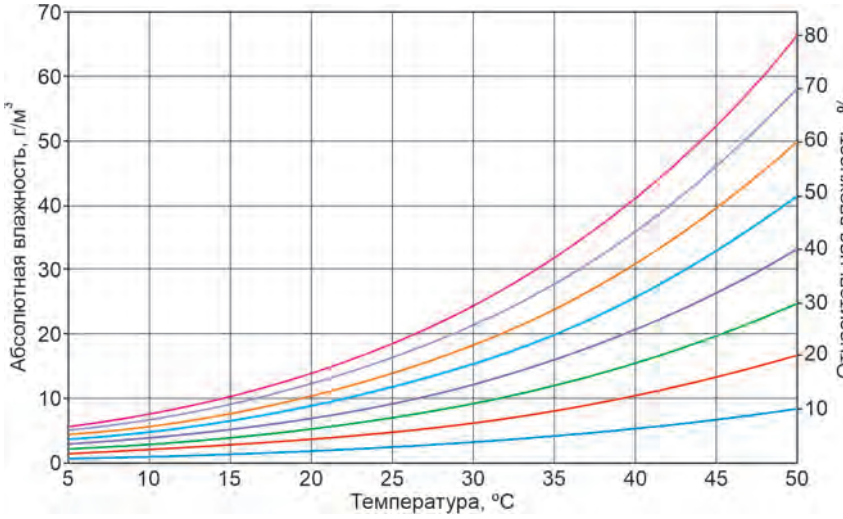


Рис. 13. Количество водяного пара в воздухе при различных значениях влажности и температуры

На графике (рис. 14) представлены значения температуры точки росы в зависимости от влажности и температуры внешней среды. Как следует из диаграммы, при высоких значениях относительной влажности даже небольшое понижение температуры приведет к началу процесса конденсации. При невысокой относительной влажности для запуска процесса конденсации понижение температуры должно быть значительным и при определенных условиях даже переходить в отрицательную область.

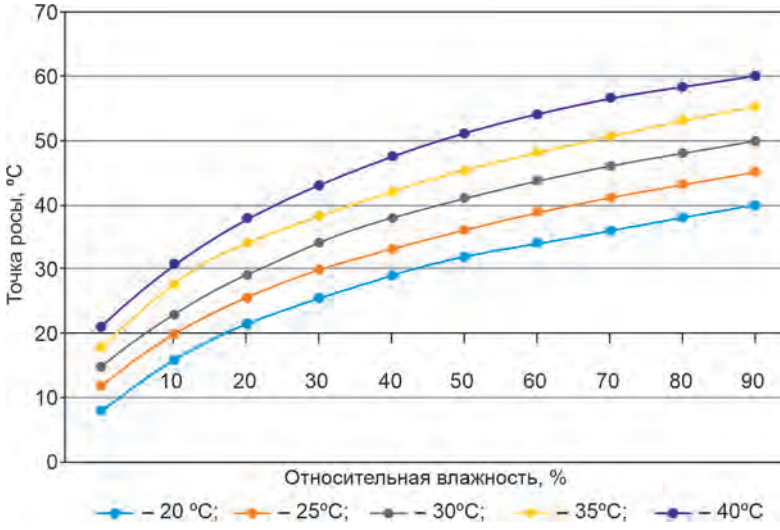
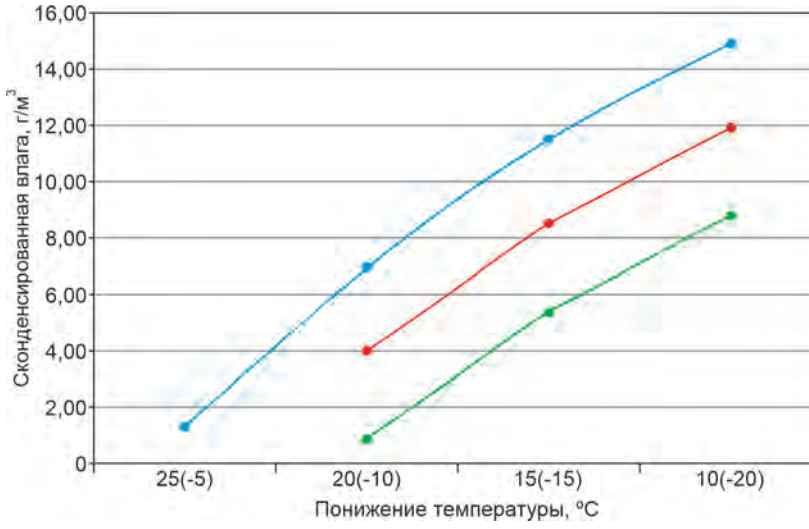
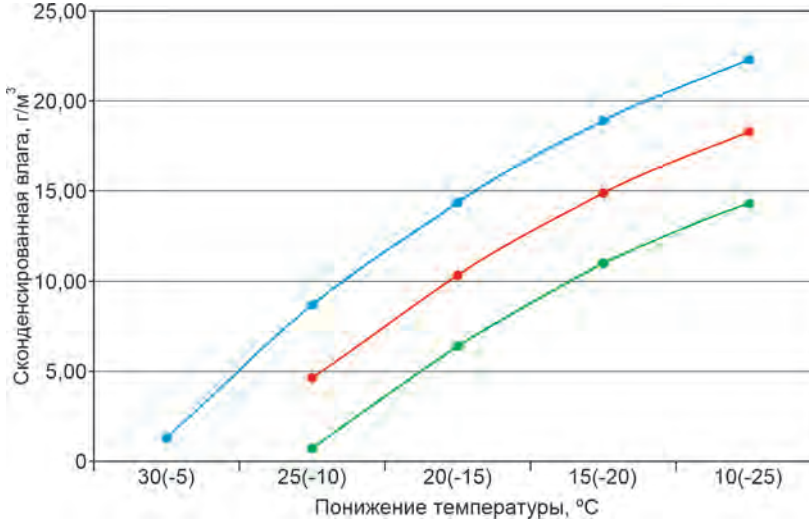


Рис. 14. Значения температуры точки росы в зависимости от относительной влажности и температуры окружающей среды

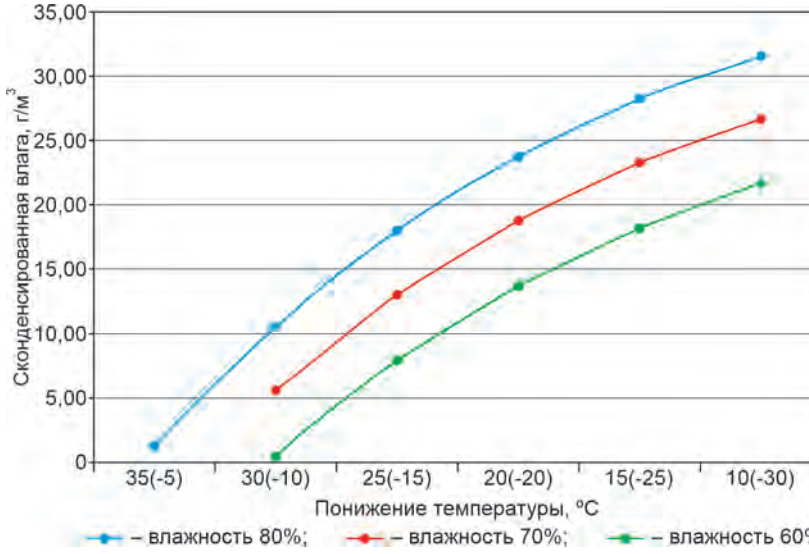
Результаты расчета количества сконденсированной воды при температуре внешней среды 40, 35, 30°С и значениях относительной влажности 80, 70 и 60% приведены на рис. 15. При понижении температуры на 10°С в жидкое состояние переходит 10 г (при влажности 80%) и 5 г (70%) парообразной воды каждого кубометра воздуха, на 20°С – 24 г (при влажности 80%), 19 г (70%) и 14 г (60%). Это подтверждает необходимость разработки технологии внутрипочвенного полива для реализации притока парообразной влаги из атмосферы и ее конденсации в почве [32].


16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0
Сконденсированная влага, г/м3
25(-5)
20(-10)
15(-15)
10(-20)
Понижение температуры, °С

а


25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0
Сконденсированная влага, г/м3
30(-5)
25(-10)
20(-15)
15(-20)
10(-25)
Понижение температуры, °С

б



в

Рис 15. Величина сконденсированной влаги при температуре воздуха, °С: а – 30; б – 35; в – 40

С учетом того, что относительная влажность почвенного воздуха всегда достаточно высока, почва может быстро охлаждаться за счет повышенной теплопроводности и поверхностных более сухих слоев. Содержание парообразной воды во влажной почве близко к точке насыщения воздуха парами. Поэтому изменения температуры внутрипочвенных горизонтов или приземного слоя воздуха легко вызывают переход парообразной воды в капельно-жидкое состояние (конденсация). Внутрипочвенная конденсация – образование жидкой фазы воды при охлаждении почвенного воздуха до точки росы может иметь немаловажное значение в балансе влаги почвы [35].

Парообразная влага независимо от потока воздуха может перемещаться из зон с большей абсолютной влажностью к зонам с меньшей влажностью, а при их равенстве – из зоны с большей температурой воздуха к меньшей. В теплый период времени (апрель-сентябрь) аб-

солютная влажность воздуха под землей ниже, чем на поверхности. Таким образом, возникает устойчивый поток влаги из атмосферы в почву, где и происходит ее конденсация.

Ученые давно наблюдали подобное явление в природе. Виднейший советский почвовед и мелиоратор академик А.Н. Костяков писал: «Нужно особо отметить проблему подпочвенного конденсационного орошения, в основе которого должно лежать всяческое усиление процессов конденсации в активных слоях почвы парообразной влаги, содержащейся в атмосферном и почвенном воздухе, и использование этих процессов для увлажнения почвы» [36].

Практическим подтверждением возможности конденсации паров воздуха в почвенных горизонтах явились результаты исследований профессора В.В. Тугаринова. В 1936 г. на территории Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева он построил установку, которая представляла собой небольшой песчаный холм высотой 6 м (рис. 16). В холме была оборудована вертикальная шахта, соединенная с двумя слегка наклонными трубами. После нескольких лет исследований ученый добился того, что по трубам стала сочиться вода и её было тем больше, чем жарче стояла погода. Это явление объяснялось тем, что температура внутри холма ниже, чем у окружающего воздуха. На поверхности более холодных частиц грунта, из которого был сложен холм, происходила конденсация паров – оседала «роса». Вследствие этого давление воздуха внутри холма также понижалось и туда устремлялся наружный теплый воздух, воды накапливалось еще больше, и она начинала вытекать через трубы [36].

Это явление доказало, что почва является эффективным природным конденсатором атмосферной влаги. Так, уже на глубине 50-70 см температура почвы на 8-10°С ниже, чем на поверхности [37].

Существуют три температурные зоны грунта. Первая – на глубине до 2 м, в ней температура меняется в течение суток. Вторая – от 2 до 8 м, здесь температурный фон изменяется по сезонам: зима, весна, лето, осень. Третья начинается на глубине примерно 8 м, где температура всегда практически неизменна. На рис. 17 представлен график сезонных изменений температуры на разных глубинах для регионов Краснодарского и Ставропольского краев, Крыма [32].

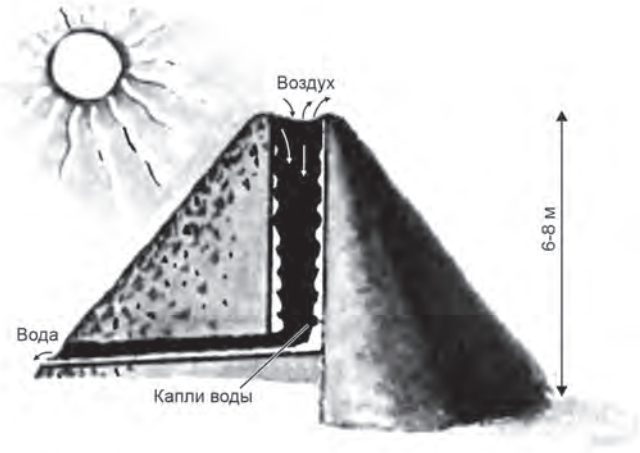


Рис. 16. Схема установки, построенной В.В. Тугариновым в 1936 г. на территории Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева

Сезонная разность температур в приземном слое атмосферы и почве на разных глубинах, представлена на рис. 18.

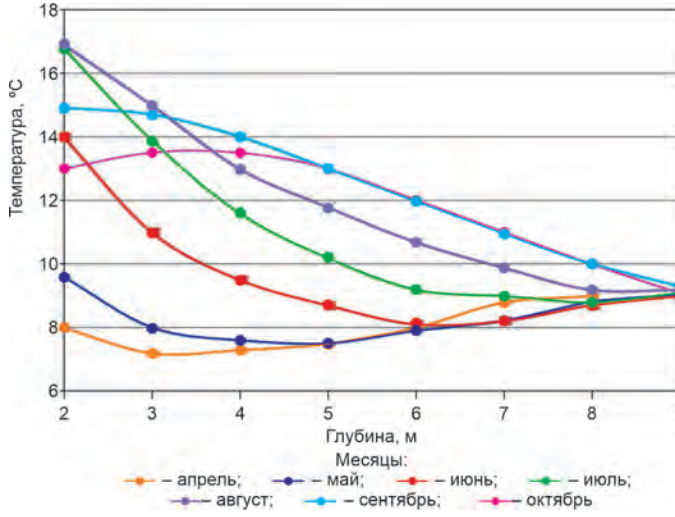


Рис. 17. Сезонное распределение температуры почвы на разных глубинах

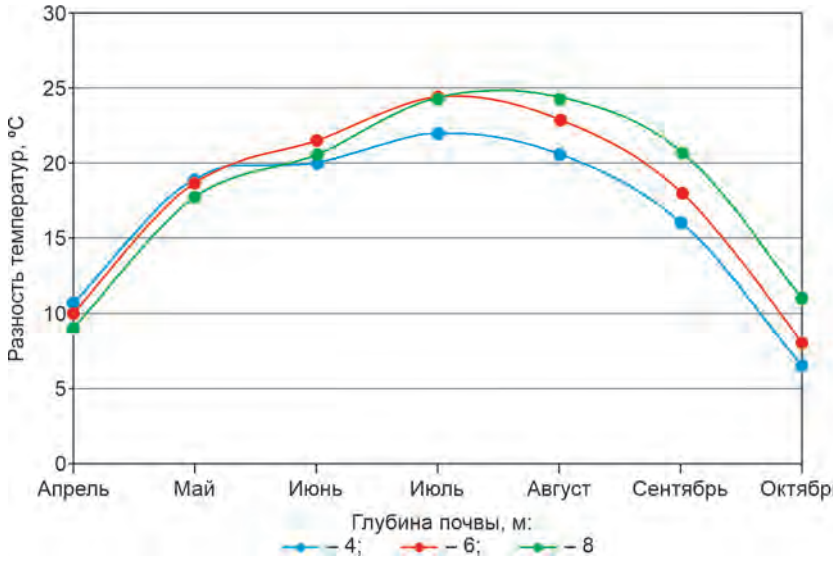
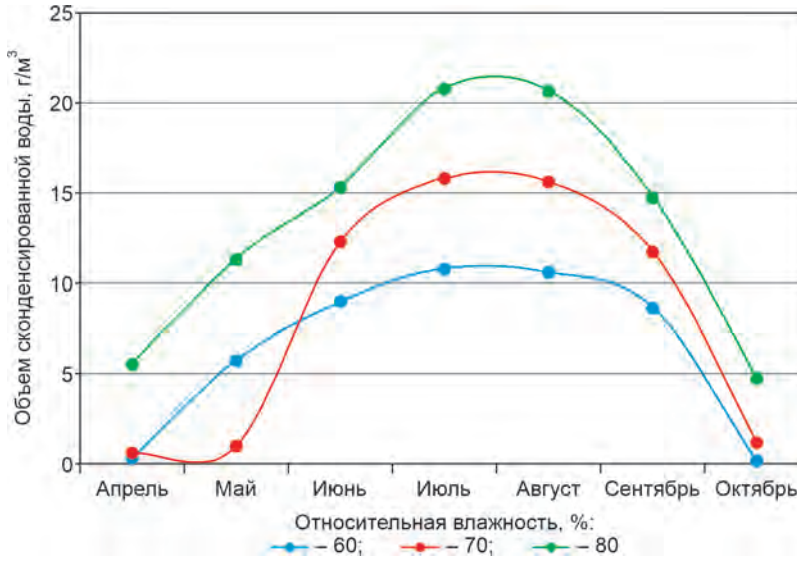


Рис. 18. Сезонная разность температур воздуха и почвы

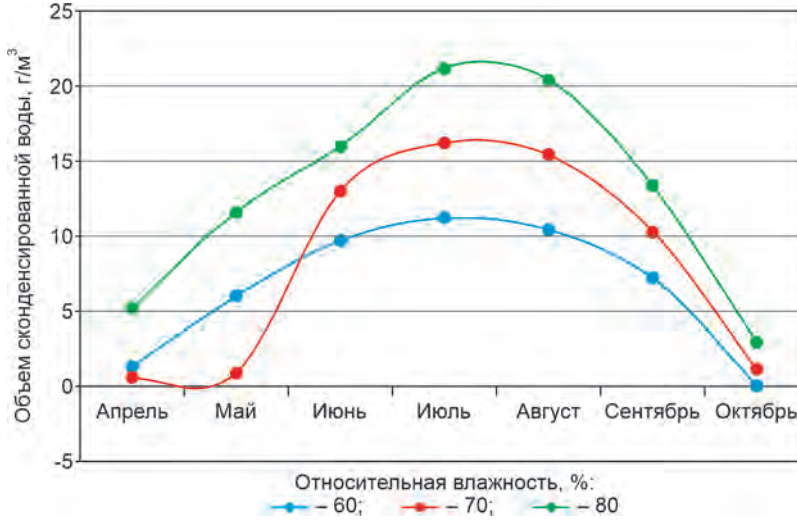
Как следует из диаграммы, с мая по сентябрь разность температур составляет 20-25°С, что указывает на высокую эффективность конденсационных процессов в этой зоне при соответствующей влажности атмосферного воздуха.

На рис 19 а, б графически представлена потенциальная возможность (сезонная) получения воды, сконденсированной на поверхности коллектора, помещенного на глубину 8 и 6 м.

Использование в качестве теплообменника природного «холодильника» – почвенных горизонтов должно обеспечить стабильный процесс конденсации атмосферной парообразной влаги. Разница температур в приземном слое атмосферы и почве запускает конденсационные процессы в зоне корневой системы. Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что в атмосфере содержится огромное количество парообразной воды, конденсируя которую можно получить воду в количестве, достаточном для применения ее в сельскохозяйственных работах. Количество сконденсировавшейся в почве воды зависит от степени обмена газами между почвенным воздухом и атмосферой, осуществляемого через свободные от воды почвенные поры, т.е. от степени аэрации почвы.



а



б

Рис. 19. Объем сконденсированной воды на различной глубине почвы: а – 8 м; б – 6 м

Аэрация почвы – один из показателей плодородия, способствующих росту растений. Она в значительной степени зависит от качества разрыхления почвы.

Основой аэрации является диффузия, под которой понимают перемещение газов в почвенном воздухе или атмосфере от участков с высоким парциальным давлением к участкам с более низким давлением. При хорошем контакте почвенного и атмосферного воздуха диффузия газов происходит непрерывно, что объясняется различным газовым составом воздушной фазы почвы и атмосферы. Однако диффузия газов внутри почвы протекает медленнее, чем в атмосферном воздухе [38]. Воздухопроницаемость зависит от гранулометрического состава почвы, ее структурного состояния и сложения, и в конечном итоге – от размера пор аэрации. Чем они крупнее и чем их больше, тем лучше проницаемость почвы для воздуха.

При хорошем контакте почвенного и атмосферного воздуха диффузия газов происходит непрерывно. В естественных условиях через 1 $см^2$ почвы толщиной в 1 см каждую секунду проходит до 1 л воздуха и более [39]. С точки зрения агрономии наиболее благоприятный воздушный режим наблюдается в рыхлых аморфных почвах с хорошей структурой. В верхних горизонтах этих почв содержание воздуха во время вегетации растений находится на уровне 20-25% объема почвы.

Техника для внутрипочвенного орошения должна обеспечивать не только поступление поливной воды в корнеобитаемый слой почвы, но и увеличение общего объема ее пор, что способствует усилению газообмена между почвенным воздухом и атмосферой и создает предпосылки для внутрипочвенной конденсации парообразной влаги атмосферного воздуха (появление своеобразного «подпочвенного дождя»).

При подпочвенном поливе потребление воды можно значительно снизить за счет подпочвенной конденсации парообразной влаги, содержащейся в атмосферном воздухе («подпочвенного дождя»). С учетом этого давно ведутся разработки способа внутрипочвенного орошения, при котором не только осуществлялась бы дозированная доставка воды к корням каждого из растений, но и создавались условия для активной подпочвенной конденсации парообразной влаги

атмосферного воздуха. Для реализации поставленной задачи сконструирован так называемый гидробур, представляющий собой отрезок трубы, на конце которой установлен конический наконечник с отверстиями (рис. 20) [40]. К гидробуру присоединяется шланг, по которому насосом или от трубопровода под напором подается вода.

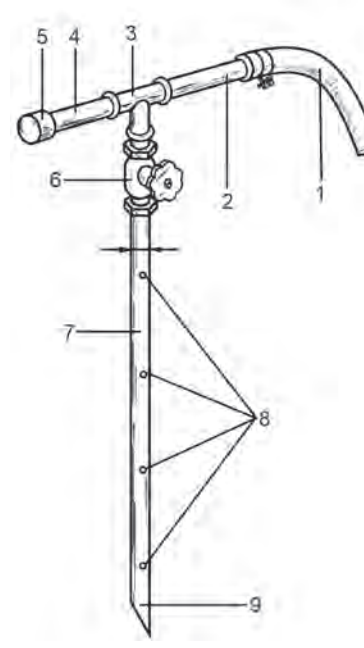


Рис. 20. Гидробур:
1 – шланг для подачи воды;
2 – рукоятка-труба для подачи воды;
3 – тройник; 4 – рукоятка-труба;
5 – заглушка; 6 – кран;
7 – рабочий орган в виде трубы;
8 – отверстия для подачи воды в почву;
9 – наконечник

Принцип погружения гидробура в почву основан не на вращении рабочего органа и разрушении грунта, а на его размывании. При включении подачи воды в гидробур она размывает почву, что позволяет при небольшом нажиме на рукоятку легко заглублять наконечник в почву на 60-100 см [36].

С помощью подобного инструмента в середине 1950-х годов в Крыму во время аномальной засухи было спасено от гибели несколько миллионов кустов винограда. Более 15 тыс. га виноградников находилось на грани гибели, так как влаги, доступной для растений, в почве уже не было. При использовании поверхностного полива для спасения кустов винограда необходимо было на 1 га вылить мини-

мум по 500-800 м^3 воды. В этот период времени такой объем воды взять было негде. Однако подача к корням каждого виноградного куста всего лишь 3-4 л воды с помощью гидробура помогла решить проблему водоснабжения виноградников и обеспечить их дальнейшие рост и развитие [36].

В октябре 1954 г. в Одесской области при исследовании работы гидробура были получены интересные результаты. С помощью гидробура в нескольких местах в почву подавалось по 5 л воды на глубину 60 см. Через разные промежутки времени в местах внесения воды было произведено несколько разрезов почвы по оси скважины. В одном из них, сделанном через 12 ч после внесения воды, её оказалось в 4 раза больше, чем было внесено, а в разрезе, сделанном через 48 ч, – еще больше [36]. Это свидетельствует о том, что увеличение количества влаги в разрезанных скважинах произошло за счет конденсации водяных паров воздуха в увлажненном, а следовательно, охлажденном участке почвы. Конденсатором влаги в данном случае является сама почва. Гидробур же создает в ней каналы, по которым водяные пары из воздуха устремляются в этот естественный конденсатор (рис. 21) [36].

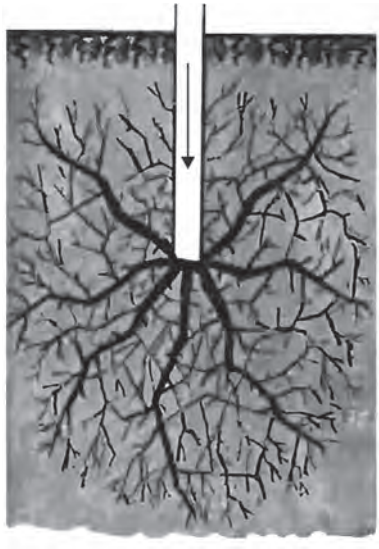


Рис. 21. Каналы в почве, образующиеся в результате действия гидробура

При подаче гидробуром жидкости в почву под давлением она устремляется в поры почвы, одновременно расширяя и охлаждая их. В почве образуются многочисленные каналы различных сечений, улучшается ее структура. Каналы создают благоприятные условия для движения в почве потоков воздуха, особенно паров воды. Объем конденсированной воды зависит от разности упругости паров наружного воздуха и паров у конденсирующей поверхности. Подсчитано, что если разность упругости паров воздуха и паров почвы составляет 1 мм рт. ст. при условии идеального прохождения паров в почве, то за счет конденсации за 1 ч в 1 $м^3$ почвы выделится 60 л воды. В реальных условиях эта цифра значительно меньше, но дополнительный объем воды, поступающий к корням растений, – серьезный фактор, который позволяет увеличить время между очередными поливами [36].

Таким образом, анализ априорной информации и результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать для подпочвенного орошения при возделывании многолетних насаждений использование гидробуров [41, 42]. Применение этих инструментов дает возможность производить активное глубинное воздействие на почву в области корневой системы растений с целью увеличения влажности почвы. Кроме того, вода, поступающая под давлением в почву, проникает во все существующие поры и микроканалы, одновременно увлажняя и расширяя их. Почва становится более рыхлой, структурированной, коэффициент аэрации увеличивается, улучшается кислородный баланс, образуется развитая сеть каналов. С их применением становится разрешимой задача глубинной подкормки растений, при котором дозированная подача питательных веществ происходит непосредственно в зону активной деятельности корневой системы.

При подпочвенном орошении с использованием гидробуров вода поступает непосредственно к корневой системе растений. Ее запасы равномерно распределяются в нижних слоях почвы, защищены от испарения и долго сохраняются. В связи с этим количество воды, подаваемой на орошение, уменьшается, повышается коэффициент ее полезного использования, создаются благоприятные условия для жизнедеятельности полезных почвенных бактерий, в первую оче-

редь нитрифицирующих, затруднено распространение вирусных и грибковых заболеваний растений.

Исследования показывают, что при подпочвенном поливе потребление воды может снизиться более чем в 2 раза за счет подпочвенной конденсации. Однако, несмотря на очевидную эффективность использования данной технологии для внутрипочвенного орошения многолетних насаждений, этот метод в настоящее время получил распространение в основном в личных подсобных хозяйствах. Причем в качестве инструментария используются гидробуры «кустарного» производства примитивной конструкции без обоснования параметров и режимов работы, что сказывается на её эффективности. Такие гидробуры невозможно применять при промышленном выращивании многолетних насаждений.

Для активного внедрения перспективной технологии в практику крупных предприятий, занимающихся выращиванием многолетних насаждений, необходимо совершенствовать не только технологию внутрипочвенного орошения, но и конструктивное исполнение оборудования для её реализации, а также определить оптимальные режимы работы оборудования.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОБУРА И ПНЕВМОГИДРОБУРА

При разработке конструкции гидробура учитывались известные технические решения. Общий вид гидробура приведен на рис. 22. Через кран, установленный на рукоятке, в гидробур под давлением подается вода. Другой конец рукоятки заглушен. Через шток вода под давлением поступает в наконечник, гидробур заглубляется в почву на глубину, лимитированную ограничителем. Ограничитель глубины может устанавливаться на требуемую высоту вдоль всей длины штока.

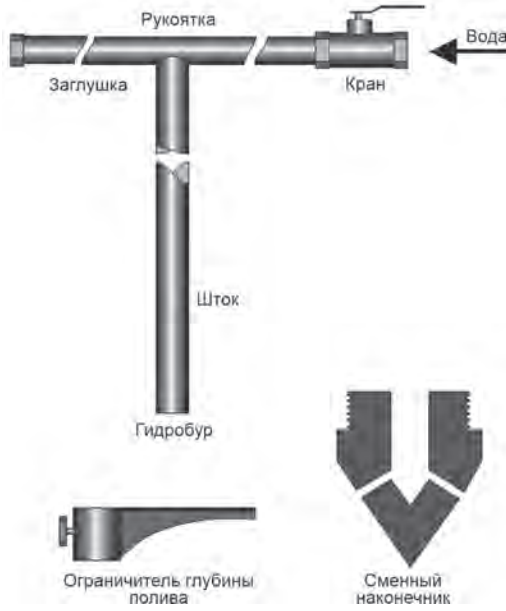


Рис. 22. Общий вид гидробура

Для проведения экспериментальных исследований по обоснованию режимов работы гидробуров были изготовлены сменные нако-

нечники с отверстиями разного диаметра и разным их количеством. Среди всего спектра изготавливаемых наконечников следует отметить наконечники со специальным узконаправленным расположением отверстий. Такая конструкция содержит элемент новизны и может быть рекомендована для выполнения специализированных очаговых внесений жидких и воздушно-капельных (воздушно-порошковых) ингредиентов.

Выбор того или иного наконечника обусловлен планируемым расходом подаваемой жидкости и ее давлением в системе. Расчет расхода жидкости при ее истечении под давлением через отверстия малых диаметров – достаточно сложная задача, и эти расчеты не всегда бывают точны. Расход зависит не только от диаметра сопла, но и от геометрии канала, по которому подается жидкость, от угла наклона отверстия сопла относительно направления движения основного потока, качества обработки внутренней поверхности канала и самого сопла и др.

Для проведения исследований были изготовлены два гидробура с наборами сменных наконечников, общий вид которых приведен на рис. 23).

а

б

Рис. 23. Общий вид гидробуров:
а – гидробур из трубы ∅ 1″ с конусным наконечником;
б – гидробур из трубы ∅ ½″

Гидробур (см. рис. 23а) изготовлен из трубы ∅ 1″ с конусным наконечником, имеющим четыре отверстия ∅ 3 мм (рис. 24). Угол конуса наконечника – 60°. Отверстия расположены диаметрально по окружности наконечника на расстоянии 15 мм от вершины конуса. Для подключения к насосной станции имеется соединительный резьбовой штуцер ½″.

Рис. 24. Сменный наконечник гидробура

Гидробур (см. рис. 23б) изготовлен из трубы ∅ ½″. Наконечники сменные с четырьмя отверстиями ∅ 2,0 мм и тремя – ∅ 1,0 мм. Отверстия расположены диаметрально с углами 90° и 120° между ними. Расстояние от вершины конуса до отверстий 15 мм. Соединительный резьбовой штуцер аналогичен буру на рис. 23а.

Все буры снабжены быстросъёмными резьбовыми соединениями со шлангами внутренним диаметром 10 и 13 мм.

Введение воды через гидробур необходимо в том числе и для того, чтобы создать в почве аэрирующие каналы, по которым начинает циркулировать влажный атмосферный воздух, вызывая появление «подпочвенного дождя». Однако создать в почве развитую систему каналов с большой удельной поверхностью можно не только путем введения воды, но и сжатого воздуха. Теплый влажный воздух при подаче под давлением через пневмобур охлаждается в почве за счет расширения. При этом парообразная влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется и смачивает поверхность каналов, что позволяет получить эффект, аналогичный действию гидробура, но уже без подачи

воды – безводный полив. Для достижения максимального эффекта требуются определенные климатические параметры – высокие температура и влажность воздуха.

С практической точки зрения наиболее перспективным представляется комбинированный способ внутрипочвенного полива, когда при введении в почву сжатого воздуха добавляют небольшое количество воды: от нескольких десятков миллилитров до 1,5 л. Причем эту воду можно подавать пульверизационным способом, вводя прямо в воздушный поток на выходе из сопла.

На основании изложенного был разработан пневмогидробур, конструкция которого представлена на рис. 25. Раздельная подача воды и воздуха позволяет использовать инструмент как гидро- и пневмобур, а при использовании комбинированного наконечника осуществлять одновременную подачу воды и воздуха, причем в требуемых пропорциях (режим работы – пневмогидробура).

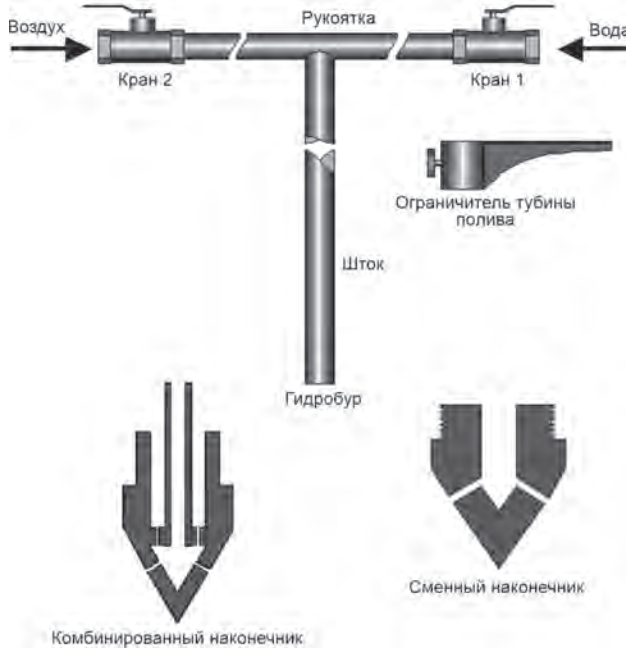


Рис. 25. Конструкция пневмогидробура

Пневмогидробур изготовлен из оцинкованных труб ∅ ½″. Снабжен двумя шаровыми кранами ½″ и двумя соединительными штуцерами ½″. Конусные насадки сменные – аналогичны используемым в гидробуре, представленном на рис. 23 б.

Количество подаваемой воды регулируется в зависимости от внешних условий, чтобы обеспечить полное увлажнение поверхности каналов. Однако следует учитывать, что давление воздуха, как и давление воды, при внутрипочвенном внесении не должно превышать 1,5-2 атм. В противном случае в области полива может быть серьезно нарушена структура почвы, что приведет к отрицательному результату.

Для обеспечения устойчивой работы гидро- и пневмогидробуров на малых давлениях 0,5-3,0 бар (0,05-0,3 МПа) при проведении исследований была смонтирована установка с секционным регулятором-распределителем и фильтром тонкой очистки (рис. 26). При этом одна секция распределителя заменена на регулятор тонкой подстройки, установлен манометр давления со шкалой до 5 бар (0,5 МПа). Минимальное значение цены деления 0,2 бар. Регулятор снабжен рычагом для быстрого переключения потока секций на слив в емкость – так называемым bay-pass для сброса давления. Входной и выходные фитинги подобраны под шланг внутренним диаметром 13 мм, сбросной патрубок из переключателя потока – под шланг ∅ 25 мм. Все элементы смонтированы на изготовленной стойке.

Для контроля расхода воздуха и воды через буры в процессе работы собран измерительный стенд с двумя расходомерами и двумя дисплеями фирмы «Polmac» (Италия) (рис. 27). На сварной раме закреплены:

- встраиваемый проточный расходомер с резьбовым окончанием ½″ и осевой турбиной (крыльчаткой);
- турбинный расходомер серии RapidCheck;
- два дисплея, показывающих и регистрирующих потоки воды и воздуха (л/мин и м³/ч);
- аккумулятор автомобильный 12 Вт для питания дисплеев и расходомеров.

Рис. 26. Регулятор-распределитель трехсекционный

Рис. 27. Измерительный стенд для контроля расхода воздуха и воды через гидро- и пневмогидробуры

Подачу воды обеспечивает насосная станция (рис. 28), смонтированная на передвижной двухколесной раме-тележке и укомплектованная следующими узлами и агрегатами:

- ёмкость полиэтиленовая (130 л);
- насосный агрегат с электродвигателем (мощность 1,5 кВт, рабочее напряжение 220 Вт);
- фильтр всасывающий (пропускная способность до 100 л/мин);
- барабан для намотки шланга (внутренний диаметр 8 мм, длина 20 м);
- диафрагменный насос, обеспечивающий расход воды до 19,5 л/мин и давление до 20 бар. На насосе установлен штатный регулятор давления с переключателем потока – bay-pass, который поддерживает устойчивый расход (при давлении от 3,5 до 20 бар).

Рис. 28. Насосная станция

Исследовались расходные характеристики гидробуров, оснащенных наконечниками следующего исполнения: три отверстия ∅ 1 мм (наконечник № 1); четыре отверстия ∅ 2 мм (№ 2); четыре отверстия ∅ 3 мм (№ 3). Эксперименты осуществлялись при давлении воды в системе: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 и 3 бар. Замеры проводились в трехкратной повторности. Время измерялось ручным секундомером с интервалами 30 с при расходе воды более 2,0 л/мин и 60 с – при расходе менее 2 л/мин. Результаты замеров представлены в табл. 2-4.

Таблица 2

Расходные характеристики гидробура с наконечником № 1 (3 отверстия ∅ 1 мм)

Давление, бар					
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Расход воды л/мин					
2,14	2,72	3,42	4,04	4,30	5,12
2,00	2,68	3,36	3,98	4,40	4,88
2,00	2,84	3,50	3,84	4,48	5,04
Среднее значение расхода, л/мин					
2,05	2,75	3,43	3,92	4,39	5,01
Расход через одно отверстие ∅ 1 мм, л/мин					
0,68	0,92	1,14	1,31	1,46	1,67

Таблица 3

Расходные характеристики гидробура с наконечником № 2 (4 отверстия ∅ 2 мм)

Давление, бар					
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Расход воды л/мин					
6,06	8,06	9,41	11,19	12,05	13,05
5,74	7,76	9,26	10,80	12,09	13,20
6,16	7,76	9,61	10,66	11,98	13,54
Среднее значение расхода л/мин					
5,99	7,86	9,43	10,89	12,04	13,27
Расход через одно отверстие ∅ 2 мм, л/мин					
1,50	1,97	2,36	2,72	3,01	3,32

Таблица 4

Расходные характеристики гидробура с наконечником № 3 (4 отверстия ∅ 3 мм)

Давление, бар			
0,5	1,0	1,5	2,0
Расход воды л/мин			
13,85	17,18	19,03	19,74
12,91	17,16	18,28	21,28
13,07	16,69	19,03	19,28
Среднее значение расхода, л/мин			
13,28	17,01	18,78	20,10
Расход через одно отверстие ∅ 3 мм, л/мин			
3,32	4,25	4,69	5,03

Результаты натурного измерения расхода воды при проливке под различным давлением жидкости через наконечники гидробуров с разным количеством и диаметром отверстий представлены на рис. 29.

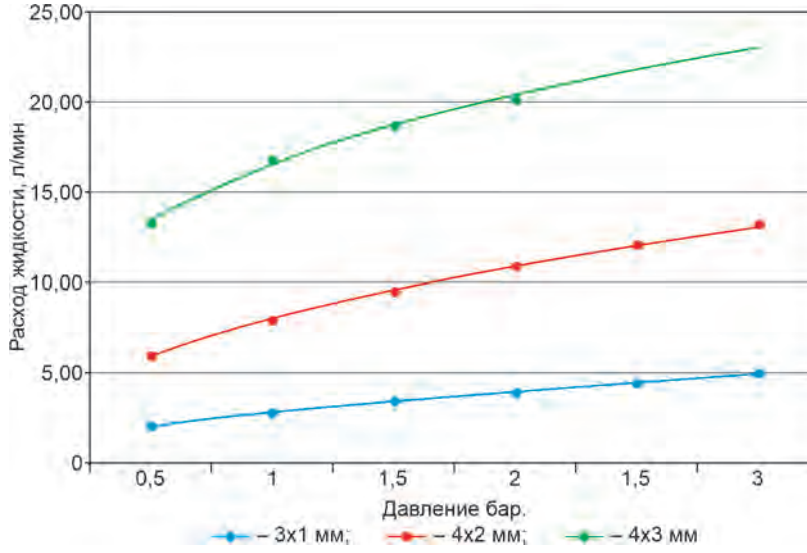


Рис. 29. Расход воды в зависимости от числа и диаметра отверстий наконечника и давления жидкости

Значения расхода жидкости, пересчитанные в расчете на одно отверстие, в зависимости от диаметра и давления в системе представлены в табл. 5 и на рис. 30.

Таблица 5

Расход жидкости через одно отверстие наконечника в зависимости от его диаметра и давления в системе, л/мин

Диаметр отверстия, мм	Давление, бар				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Расход воды, л/мин				
1	0,68	0,892	1,14	1,31	1,46
2	1,50	1,97	2,36	2,72	3,01
3	3,32	4,25	4,69	5,05	

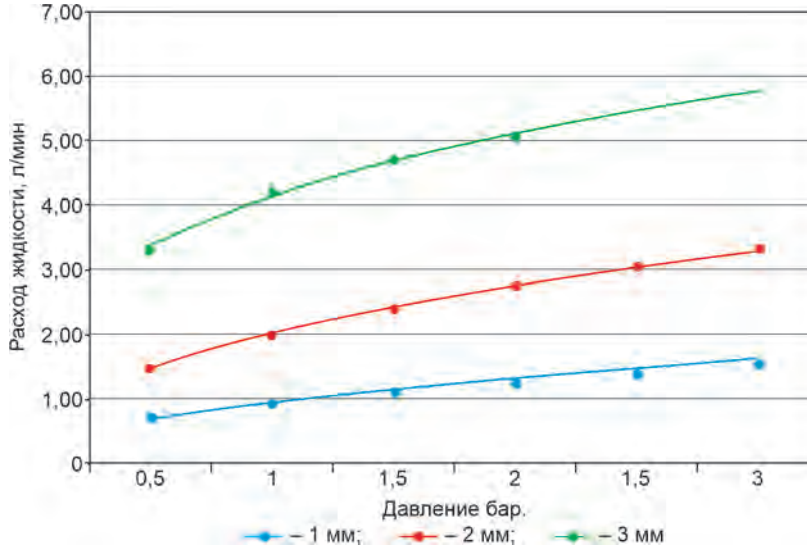


Рис. 30. Расход жидкости через одно отверстие разных диаметров при различных значениях давления

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить уравнения, согласно которым можно рассчитать расход воды через одно отверстие наконечника ∅ 1, 2 и 3 мм в зависимости от давления воды, подаваемой в гидробур:

для отверстия ∅ 1 мм – $M_в$ = 3,36 P 0,3;

∅ 2 мм – $M_в$ = 1,47 P 0,44;

∅ 3 мм – $M_в$ = 0,667 P 0,495,

где $M_в$ – расход воды, P – давление.

При конструировании гидробуров необходимо определение расхода жидкости в зависимости от диаметра сопла при фиксированном давлении (рис. 31).

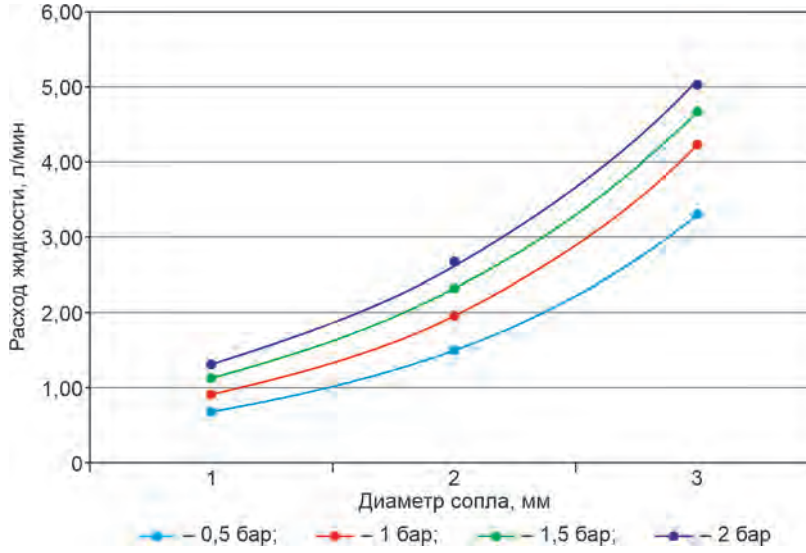


Рис. 31. Расход жидкости через отверстия наконечника в зависимости от его диаметра и давления в системе

Графики носят экспоненциальный характер и могут быть аппроксимированы уравнением вида:

$$M_в = \alpha e^{\beta d},$$

где α и β коэффициенты, определяемые экспериментально, e – число Эйлера (2,718…), d – диаметр сопла.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить следующие уравнения расхода воды в зависимости от диаметра сопла при различном давлении:

0,5 бар – $M_в = 0{,}31\ e^{0{,}79d}$, (α = 0,31, β = 0,79);

1 бар – $M_в = 0{,}42\ e^{0{,}768d}$, (α = 0,42, β = 0,768);

1,5 бар – $M_в = 0{,}567\ e^{0{,}707d}$, (α = 0,567, β = 0,707);

2 бар – $M_в = 0{,}68\ e^{0{,}67d}$, (α = 0,68, β = 0,67).

Рассчитанные по этим формулам значения расхода жидкости в зависимости от диаметра отверстия сопла для ряда постоянных значений давления представлены в табл. 6.

Таблица 6

Расход жидкости в зависимости от диаметра отверстия сопла при некоторых постоянных значениях давления, л/мин

Диаметр отверстия, мм	Давление, бар			
	0,5	1,0	1,5	2,0
	Расход воды л/мин			
0,5	0,46	0,62	0,81	0,95
0,8	0,58	0,78	1,00	1,17
1	0,68	0,91	1,15	1,33
1,5	1,01	1,34	1,64	1,87
2	1,50	1,97	2,33	2,61
2,5	2,23	2,89	3,32	3,66
3	3,31	4,25	4,72	5,13
3,5	4,92	6,23	6,72	7,18

Для определения расхода воздуха при продувке его через пневмобур были проведены специальные исследования. Воздух продувался через наконечник № 1 с тремя отверстиями ∅ 1,0 мм при давлении 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3 бар. Результаты измерений приведены в табл. 7 (в ходе исследований использовались данные компании «Югпривод» [43]).

Таблица 7

Расход воздуха через отверстие наконечника ∅ 1 мм, л/мин

Показатели	Давление воздуха, бар				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Расход через наконечник № 1 с тремя отверстиями ∅ 1 мм – всего	60	78	90	102	115
Расход через одно отверстие наконечника № 1 ∅ 1 мм	20	26	30	34	35

С учетом этих данных в табл. 8 приведены значения расхода воздуха в зависимости от диаметра отверстия наконечника при различных величинах давления воздуха в системе.

Таблица 8

Расход воздуха в зависимости от диаметра отверстия наконечника и давления воздуха в системе, л/мин

Давление, бар	Диаметр отверстия наконечника, мм				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Расход воздуха, л/мин				
1	5	19	42	73	117
2	7	28	63	109	175
3	9	37	84	146	234
4	12	47	106	182	292

В результате математической обработки полученных данных были получены выражения для определения расхода воздуха при постоянном давлении в зависимости от диаметра отверстий наконечника. В общем случае выражение имеет следующий вид:

$$M_в = \alpha d2 - \beta d + \gamma,$$

где α, β и γ – постоянные коэффициенты.

Для давления 1 бар формула примет вид: $M_в = 4{,}86d2\text{-}11{,}06\ d+8$;

2 бар – $M_в = 7{,}21d^2\text{-}16{,}01d+10{,}6$;

3 бар – $M_в = 9{,}64d^2-21{,}24d+13{,}4$;

4 бар – $M_в = 11{,}93d^2-25{,}93d+16{,}8$.

Графически эти зависимости представлены на рис. 32.

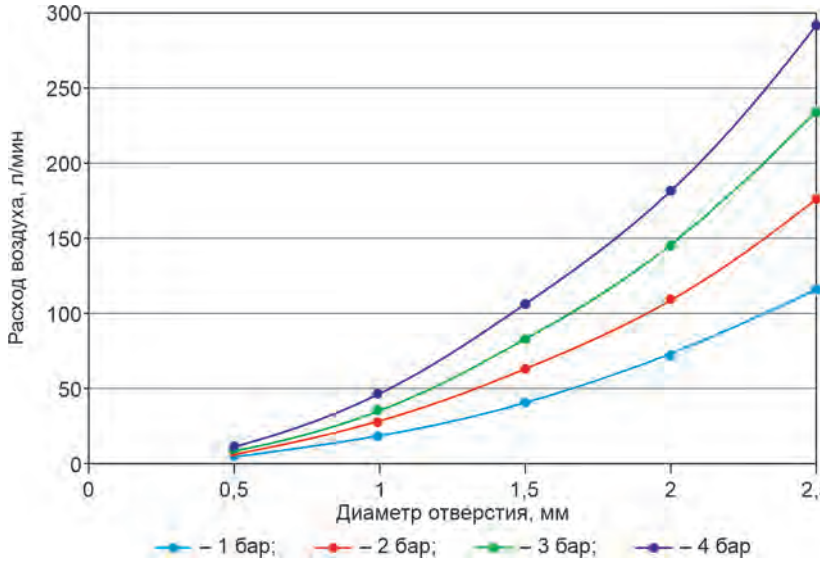


Рис. 32. Расход воздуха в зависимости от диаметра отверстий и давления воздуха в системе

Полученные результаты экспериментальных исследований были использованы для подбора оптимальных режимов расхода воды и воздуха гидро- и пневмогидробурами при проведении дальнейших исследований по отработке технологических приемов подпочвенного полива многолетних насаждений.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ ЯБЛОНИ И ВИНОГРАДА

4.1. Программа и методика исследований

Программой исследования предусматривались разработка и изготовление мобильных стендов для внедрения технологии подпочвенного орошения растений яблони и винограда; хозяйственное исследование технологии в питомниках на посадке и подкормке подвоев яблони и винограда; фенологические наблюдения за биометрическими изменениями растений.

Фенологические наблюдения за биометрическими изменениями растений проводились в соответствии с методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Для проведения исследований использовались гидробуры и универсальные пневмогидробуры. Раздельная подача воды и воздуха позволяет использовать универсальный пневмогидробур как гидро- и пневмобур, а с комбинированным наконечником – осуществлять одновременную подачу воды и воздуха в требуемых пропорциях.

Фотографии универсальных пневмогидробуров, специально изготовленных для проведения данных исследований, представлены на рис. 33.

Исследования по посадке подвоев яблони осуществлялись в питомнике ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Для выполнения широкого спектра технологических приемов подпочвенного воздействия, которые могут обеспечить пневмогидробуры в полевых условиях, была разработана и изготовлена универсальная навесная машина, агрегатируемая с трактором (рис. 34).

Схема размещения узлов на раме представлена на рис. 35.

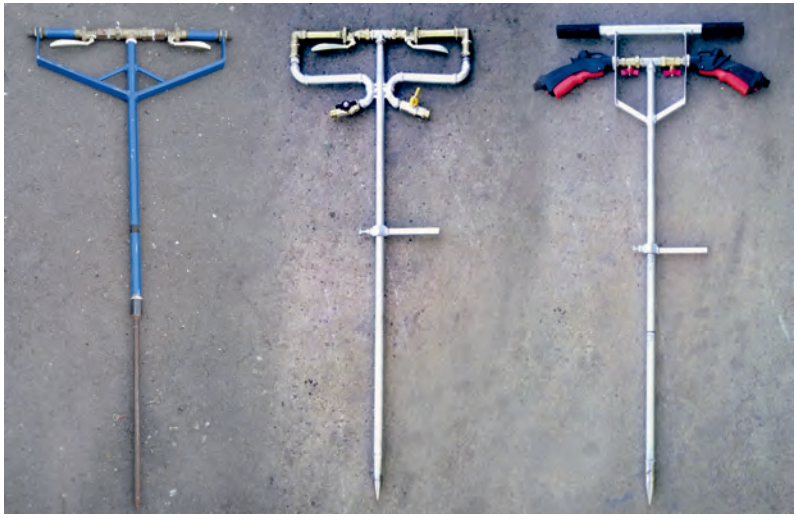


Рис. 33. Универсальные пневмогидробуры различного конструктивного исполнения

Рис. 34. Универсальная навесная машина в агрегате с трактором: 1 – насосная станция с баком для воды; 2 – регулятор-распределитель; 3 – компрессор с ресивером; 4 – генератор

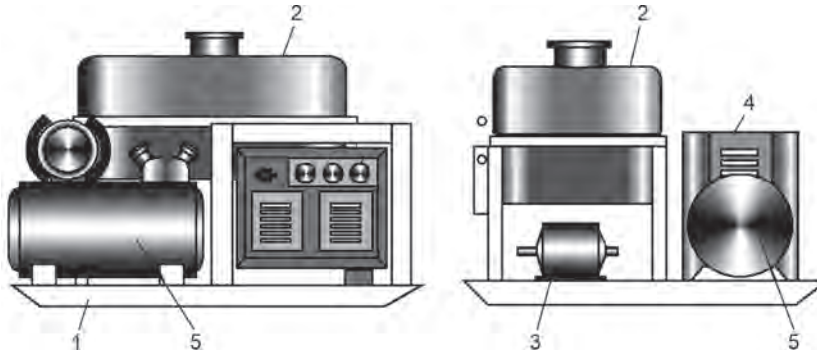


Рис. 35. Схема размещения узлов универсальной навесной машины:
1 – рама; 2 – бак; 3 – насос;4 – электрогенератор;
5 – компрессор с ресивером

Подача воды и питательного раствора осуществляется от ВОМ трактора через мембранный насос, воздуха – от электрогенератора через компрессор с ресивером. Кинематическая схема привода универсальной навесной машины приведена на рис. 36.

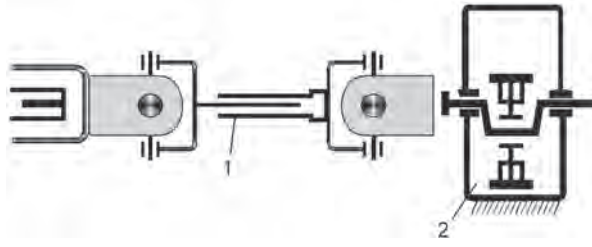


Рис. 36. Кинематическая схема машины:
1 – карданный вал; 2 – мембранный насос

Машина может одновременно обслуживать четыре-шесть пневмогидробуров и осуществлять другие операции в режиме очагового внутрипочвенного орошения.

Для исследований был подготовлен агрегат в варианте базирования основных технологических узлов (генератор и компрессор с ре-

сивером) на платформе автомобиля (к агротехническим срокам подкормки яблони). В качестве бака для воды и питательного раствора использовался опрыскиватель для защищенного грунта ОЗГ-120 с приводом насоса от электродвигателя (рис. 37).

Рис. 37. Мобильный агрегат для подачи водно-воздушной смеси, смонтированный на автомобиле:
1 – насосная станция с баком для воды; 2 – регулятор-распределитель; 3 – компрессор с ресивером; 4 – генератор

Сады плодовых культур закладываются по проекту обычных интенсивных садов на семенных или клоновых подвоях [44-50]. Для выращивания семенных подвоев используют семена плодовых культур, которые закупают или заготавливают из собственного маточно-семенного сада. В отличие от закупаемых семян, которые получают, как правило, при переработке плодов на соки, семена из маточно-семенного сада получают по специальной технологии, что обеспечивает более высокое качество и соответствие районированным семенным подвоям. Семена плодовых культур в отличие от злаковых

или овощных способны к прорастанию только после прохождения периода стратификации – процесса подготовки семян к прорастанию по специальной технологии с имитацией природных условий прорастания воздействием холода. Посев подготовленных семян в средней полосе России проводят ранней весной, выкопку подвоев – в начале октября.

Маточники клоновых подвоев представляют собой специальные элитные насаждения районированных форм клоновых подвоев, полученные из учреждений, на которые возложены обязанности по производству элитного посадочного материала. Используют два способа размножения: вертикальными и горизонтальными отводками.

В данных исследованиях в качестве посадочного материала использовался клоновый подвой («54-118»), размножаемый вертикальными отводками, со сдержанным ростом (полукарликовый): высота дерева по сравнению с семенным подвоем на 20% меньше. Данный подвой широко распространен в садах средней полосы России, хорошо размножается черенкованием и отводками, имеет темную окраску коры. Древесина на срезе необычного красно-сиреневого цвета, листья темные, антоциановые. Корневая система хорошо и быстро заполняет приствольный круг. В отличие от многих полукарликовых и особенно карликовых подвоев деревья на «54-118» не требуют опоры. Хорошо совместим со всеми испытанными сортами яблони. Переносит близкое залегание грунтовых вод. Зимостойкость, морозостойкость и засухоустойчивость – высокие.

Для соблюдения фитосанитарных норм и своевременного проведения различных агротехнический мероприятий на участке выращивания саженцев в обязательном порядке применяют культурооборот [51-56]. Число полей и чередование культур в культурооборотах участка устанавливают в соответствии с почвенно-климатическими условиями. С учетом этих требований подготовка почвы («первое поле») включала в себя следующие технологические операции:

- осенняя вспашка на глубину 25-27 см с одновременным боронованием;
- весеннее дискование с выравниванием почвы;
- боронование в два следа.

Посадка подвоев яблони как по исследуемой технологии, так и на контроле проводилась в конце мая по схеме 90×20 см.

Характеристика культуры:

- длина надземной части (средняя) – 43,8 см;
- длина корней (средняя) – 10,5 см;
- диаметр штамба (средний) – 6,4 мм.

Посадка подвоев по исследуемой технологии проводилась с использованием универсальной машины в агрегате с трактором МТЗ-82 (рис. 38).

Рис. 38. Универсальная машина на посадке подвоев

При этом применялись гидро- и пневмогидробур в режиме подачи воды по следующей технологии. В соответствии с принятой схемой посадки (90×20 см) по предварительно нарезанным следоуказателям оператор вводил гидробур в почву на глубину 20 см с одновременной подачей 2 л воды и вращательным движением ствола гидробура формировал конусовидную посадочную лунку. Далее сажальщик укладывал корневую часть подвоя в лунку и специальным инструментом обжимал ее, увеличивая контакт корней подвоя с почвой.

Контрольная посадка подвоев осуществлялась по принятой в питомнике технологии, включающей в себя: предварительную нарезку машиной четырех борозд с междурядьем 90 см, глубиной 20 см; укладку в борозду подвоев на расстоянии 20 см в рядке; вертикальное ориентирование с обжимом подвоя. Посадка осуществлялась без полива.

Глубинная подкормка подвоев

Следующая технологическая операция при выращивании подвоя – глубинная подкормка.

В качестве удобрения использовали азофоску с содержанием азота – 16%, калия – 16, фосфора – 16% (N16K16P16). Из расчета на 1 га площади вносилось 3,75 ц азофоски, или 60 кг д. в. по каждому элементу [57].

Двукратная подкормка (рис. 39) проводилась 11 июля и 1 августа в двух вариантах:

- подача 2 л питательного раствора на глубину 15 см в прикорневую зону с использованием пневмогидробура в режиме подачи жидкости;
- подача 2 л питательного раствора на глубину 15 см в прикорневую зону с последующей подачей 15 л воздуха с использованием пневмогидробура.

В контрольном варианте подкормка подвоев питательным раствором осуществлялась путем поверхностного полива. Режимы и даты проведения технологической операции по подкормке были одинаковыми для обеих технологий [58].

Рис. 39. Глубинная подкормка подвоев яблони

Экспериментальные исследования по установлению тенденции изменения влажности почвы при внутрипочвенном очаговом введении воды и воздуха пневмогидробуром проводились в августе в питомнике виноградников ФГБНУ ВНИИВиВ (г. Новочеркасск Ростовской области).

При этом закладывались три варианта опытов в трех режимах: «вода» (опыт 1), «воздух-вода» (опыт 2), «вода-воздух» (опыт 3) – рис. 40.

В опыте 1 в течение всего периода заглубления через гидробур подавалась вода под давлением 2 бар. По достижении глубины 0,6 м заглубление прекращали и бур выводился из почвы.

В опыте 2 в первую очередь осуществлялась подача сжатого воздуха (15 л) под давлением 4 бар. После заглубления в почву на 0,6 м подача воздуха прекращалась и включалась подача воды (5 л) с одновременным выводом бура из почвы.

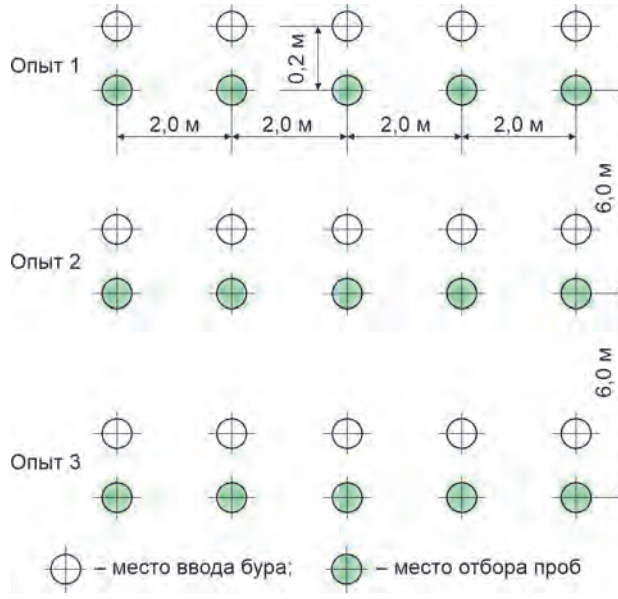


Рис. 40. Схема проведения экспериментов

В опыте 3 вода в количестве 5 л подавалась с момента заглубления бура в почву. По достижении глубины 0,6 м заглубление и подача воды прекращались, после чего включалась подача 15 л воздуха с одновременным выводом бура из почвы.

Во всех случаях соблюдалась трехкратная повторяемость экспериментов. Технология отбора проб проводилась по схеме, представленной на рис. 41, специализированным пробоотборником (рис. 42).

Температура почвы на разных горизонтах измерялась специальным почвенным термометром (рис. 43).

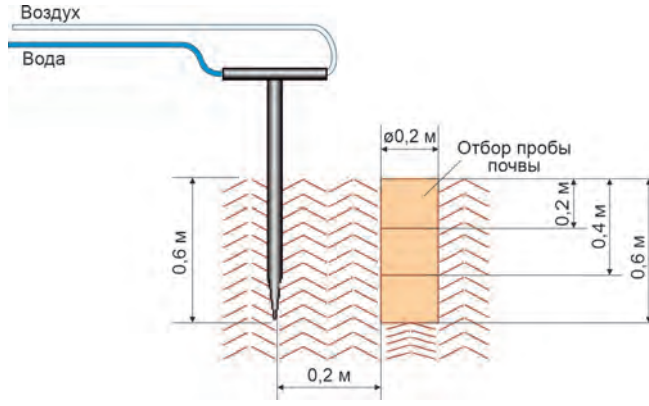


Рис. 41. Технология отбора проб

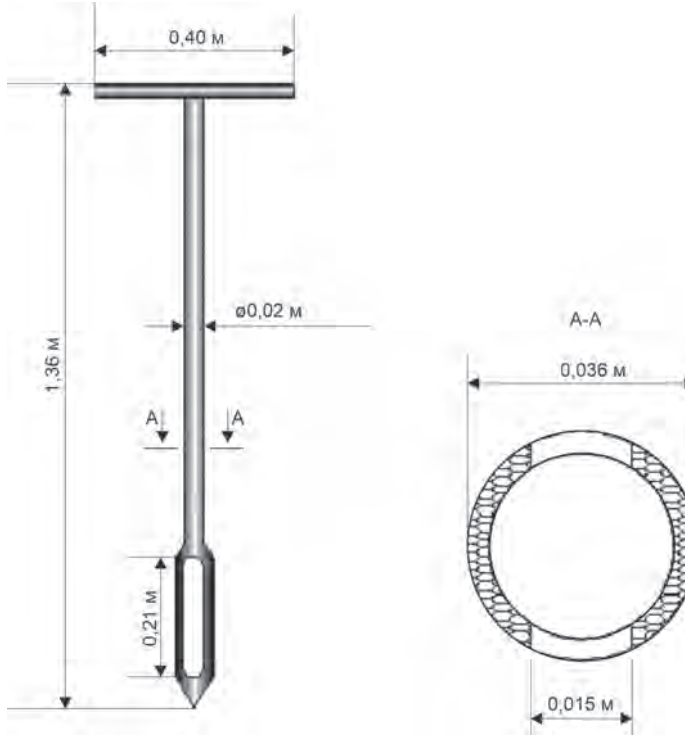


Рис. 42. Эскиз специализированного пробоотборника

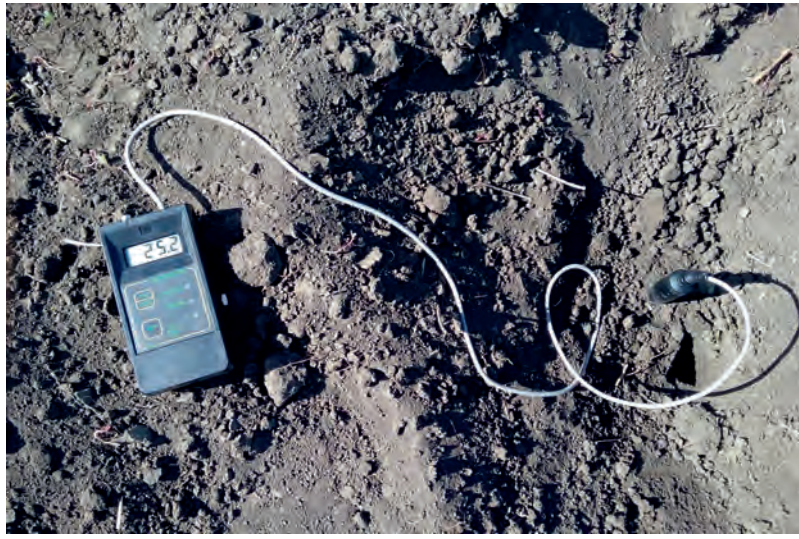


Рис. 43. Измерение температуры почвы почвенным термометром

Климатические и почвенные условия проведения испытаний:

- температура воздуха – 31-32°С;
- относительная влажность воздуха – 27%;
- температура почвы: на глубине 0,2 м – 26,0°С, 0,6 м – 23,4°С, 0,8 м – 22,8°С.

4.2. Результаты исследований применения универсальных пневмогидробуров при выращивании подвоев яблони

Проведенные осенние фенологические наблюдения биометрических изменений размерных характеристик наземной части подвоев яблони после двукратных подкормок питательным раствором приведены в табл. 9 [59].

Таблица 9

Размерные характеристики наземной части повоев яблони «54-118»

Вариант опыта	Суммарный прирост побегов на одном растении, см	Средняя высота подвоя, см	Средняя длина побега, см	Приживаемость, %
1 (контроль) – поверхностный полив питательным раствором	27,73	16,3	9,77	100
2 – питательный раствор	35,37	17,2	15,78	100
3 – питательный раствор + + воздух	35,13	17,67	10,23	100

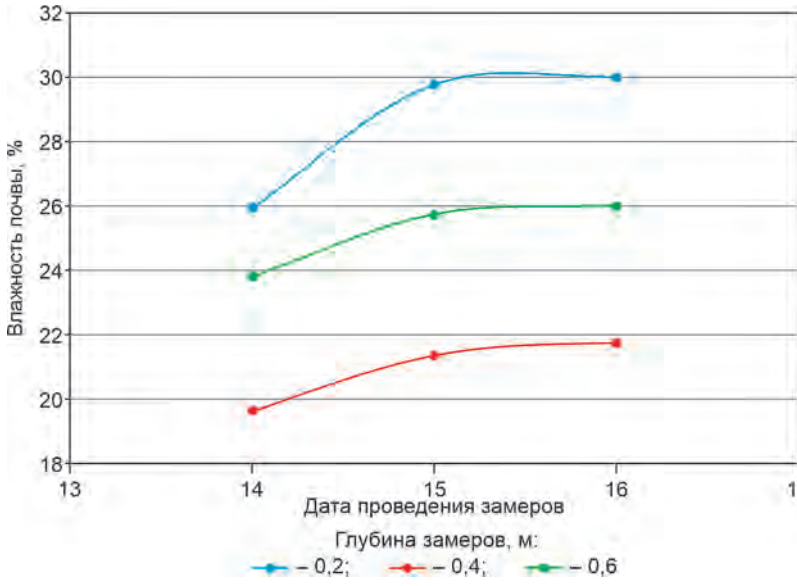
Анализ полученных данных показал следующее:

- суммарный прирост побегов на одном растении по исследуемой технологии на 7,4-7,6 см больше, чем на контроле;
- средняя высота растения по исследуемой технологии на 0,9-1,4 см превышает контроль;
- средняя длина побега растения по исследуемой технологии на 0,5-6,0 см больше, чем на контроле.

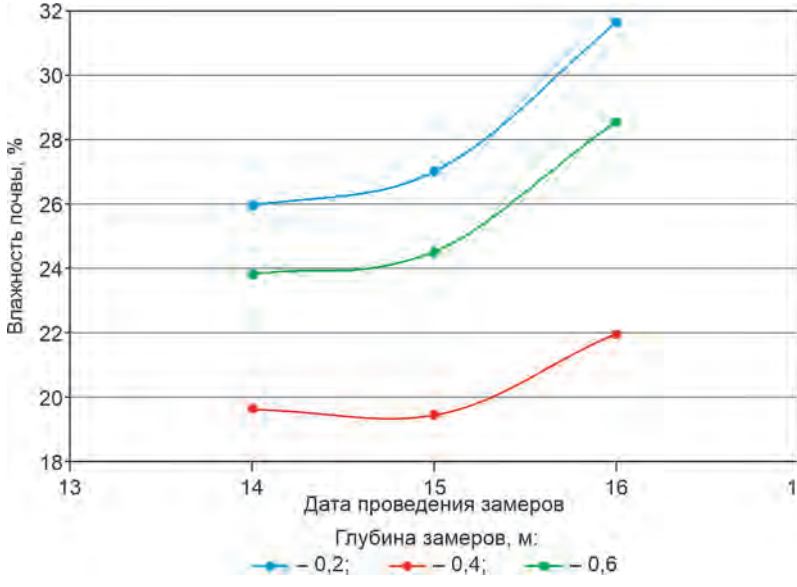
Результаты фенологических наблюдений, проведенные через шесть месяцев после посадки подвоев, свидетельствуют о преимуществе исследуемой технологии в первый год выращивания подвоев яблони в сравнении с существующей.

4.3. Результаты хозяйственных исследований применения универсальных пневмогидробуров в виноградниках

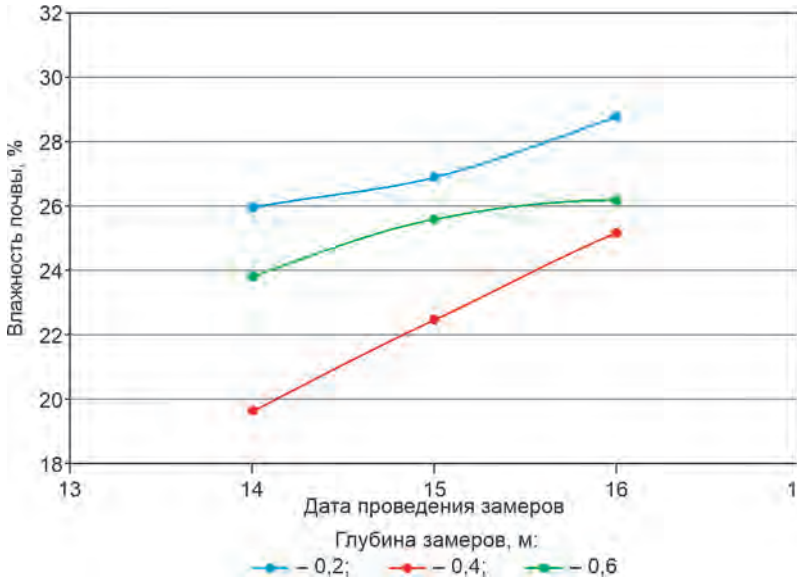
Как отмечалось ранее, при подпочвенном поливе с использованием пневмогидробуров вода или воздух-вода, подаваемые под давлением, создают внутри почвы систему новых каналов, что при определенных погодных условиях должно привести к включению механизма «подпочвенного дождя», или внутрипочвенной конденсации. Результаты хозяйственных исследований изменения влажности почвы на различной глубине при использовании пневмогидробуров на виноградниках по вариантам опытов приведены на рис. 44.


32
30
28
26
24
22
20
18
Влажность почвы, %
13
14
15
16
17
Дата проведения замеров
Глубина замеров, м:
– 0,2;
– 0,4;
– 0,6

а


32
30
28
26
24
22
20
18
Влажность почвы, %
13
14
15
16
17
Дата проведения замеров
Глубина замеров, м:
– 0,2;
– 0,4;
– 0,6

б



в

Рис. 44. Результаты замеров влажности почвы:
а – опыт № 1 (вода); б – опыт № 2 (воздух-вода);
в – опыт № 3 (вода-воздух)

Анализ результатов испытаний показал, что наиболее эффективным режимом «включения» внутрипочвенной конденсации является опыт № 2. Через двое суток после введения в почву смеси воздуха и воды влажность почвы на глубине 0,2 м увеличилась на 13,1%, 0,4 м – на 16,6, 0,6 м – на 17,3%.

Очевидно, что первоначальное введение в подпочвенные горизонты струи сжатого воздуха привело к улучшению структуры почвы, расширению каналов, увеличению коэффициента аэрации. Дальнейшее введение воды обеспечило увлажнение стенок каналов и пор, понижение температуры (а следовательно, включение эффекта конденсации) и при общем увеличении объема циркуляции воздуха – увеличение влагосодержания почвы за счет конденсации [60].

5. ПОДПОЧВЕННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ

Для реализации потенциальных возможностей растений яблони необходима система мероприятий, направленных на постоянное поддержание динамического равновесия между ростом и плодоношением путем оптимизации светового и питательного режимов, а также сохранения высокой активности надземной и корневой систем растения [61-65]. Внедрение в практику агротехнических мероприятий технологии подпочвенного воздействия на корневую систему растений яблонь путем обеспечения прикорневой зоны минеральным питанием с применением гидрогелей улучшает при этом совокупно климат почвы.

Развитие и выживание растений в любых условиях гораздо сильнее зависят от доступности воды, чем от какого-либо иного фактора внешней среды. Считалось, что в пересыхающей почве вода доступна растениям до тех пор, пока содержание влаги в ней не достигнет коэффициента устойчивого завядания, когда в почве остается недоступная растениям вода (химически связная). Согласно этой точке зрения физиологические процессы, рост и развитие растений на почве, подвергающейся иссушению, протекают нормально до достижения начала завядания растений. Однако большое количество данных показывает, что на обмен веществ, а следовательно, на рост и развитие растений влияет даже слабый водный дефицит. Такой внутренний водный дефицит возникает в тканях задолго до того, как содержание влаги в почве приблизится к критическому уровню. Растения, перенесшие даже однократную сильную кратковременную засуху, не возвращаются к нормальному обмену веществ [66]. Поэтому внесение в почву гидрогеля как средства поддержания водного баланса почвы в засушливый период является эффективной технологической процедурой, крайне полезной и востребованной.

Гидрогель представляет собой сеть сшитых гидрофильных полимерных цепей. Может быть в виде коллоидного геля, в котором вода является дисперсионной средой. Гидрофильные полимерные цепи

удерживаются вместе поперечными связями, образуя трехмерное твердое тело. Сшивки, связывающие полимеры гидрогеля, делятся на две основные категории: физические и химические. Физические поперечные связи включают в себя водородные связи, гидрофобные взаимодействия и переплетения цепей (среди прочего). Благодаря поперечным связям структурная целостность сети гидрогеля не разрушается при высокой концентрации воды. Натуральные или синтетические полимерные сетки в основе гидрогелей обладают очень высокими абсорбирующими свойствами (могут содержать более 90% воды) [67]. По имеющимся данным, 1 г геля способен впитать около 0,2-0,3 л воды и более [68].

Основной принцип работы гидрогеля – оптимизация режимов увлажнения и питания. Внесение гидрогеля в почву защищает растения от пересыхания или, наоборот, застоя воды, значительно улучшает состав почвы. Если внести гранулы гидрогеля рядом с корнями растения, то средство будет подпитывать его влагой в нужном объеме. При пересыхании грунта гидрогель отдает влагу, при переувлажнении – впитывает, и поскольку растение находится в оптимальных условиях, у него возрастает устойчивость к заболеваниям. Постоянный источник воды и питательных элементов препятствует коркообразованию и появлению микротрещин, повреждающих корневые волоски. Разбухание/сжатие гранул улучшает структуру почвы, оптимизирует условия аэрации и впитывания влаги, снижает переувлажнение в корневой зоне [68-71].

Снижение переувлажнения в корневой зоне – очень востребованное свойство гидрогеля. Избыток влаги в почве оказывает крайне неблагоприятное влияние на растения. Высокое влагосодержание почвы нарушает кислородный режим в корнеобитаемой зоне. Доступ кислорода к корням растений затрудняется (гипоксия) или полностью прекращается (аноксия). Обычно корни поглощают кислород, необходимый для дыхания, прямо из почвы. Хорошо структурированные почвы богаты кислородом, но в плохо дренированных почвах при больших дождях или при нарушении поливных норм поры заполняются водой, воздух вытесняется [68-71].

При высыхании, абсорбент принимает первоначальный вид – кристаллический и готов к новому циклу при последующем увлаж-

нении. Эта редкая способность циклично поглощать и отдавать влагу на протяжении нескольких лет при одноразовом внесении присуща абсорбентам акрилатного типа, поэтому применение этих абсорбентов является наиболее оправданным вариантом при проведении сельскохозяйственных мероприятий. При использовании суперабсорбентов вода и удобрения запасаются в зоне корневой системы растений и питают их [68-71].

С помощью гидрогеля можно сбалансировать не только доступ растений к влаге, но и к питанию удобрениями и др. Растения не способны использовать удобрения «в сухом виде», поэтому при недостатке влаги происходит нарушение нормального потребления элементов питания. Растение «сидит на голодном пайке», хотя удобрения внесены в почву. И в этом случае применение гидрогеля как постоянно действующего источника влаги обеспечивает растению нормальные условия развития и роста [68-71].

Очевидно, что использование гелей как составной части почвы может привести к положительным результатам, но существует ряд технологических и технических вопросов, без решения которых результативность практических мероприятий по внесению геля в почву может быть невысокой. Да и задача равномерного распределения геля в корнеобитаемой зоне нуждается в разработке и реализации новых технологических приемов. В особенности это касается технологии работы с растениями яблони.

Реализация поставленной задачи при возделывании многолетних садовых насаждений возможна при внедрении подпочвенного орошения с использованием пневмогидробуров, что позволяет активно глубинно воздействовать на почву в области корневой системы растений для увеличения её влажности, создания в почве каналов и улучшения структуры, повышения коэффициента аэрации. С их применением становится разрешимой задача глубинной подкормки растений, при которой подача питательных веществ происходит непосредственно в зону активной деятельности корневой системы [72, 73].

5.1. Программа и методика исследований

Программой исследований предусмотрены: разработка и изготовление универсального пневмогидробура для внесения порошкового геля и гидрогеля; обоснование и техническая реализация режимов работы пневмогидробура по расходу порошкового геля, гидрогеля, воды и воздуха; разработка и изготовление стенда для транспортирования порошкового и гидрогеля через пневмогидробур к прикорневой зоне растений; хозяйственное исследование технологии очагового воздействия на корневую систему растений в молодом яблоневом саду с применением питательного раствора, а также гидро- и порошкового гелей.

Методика исследований рассматривает режимы и технологию использования технологических материалов, а также технические параметры средств, разработанных и изготовленных в рамках решения задач, поставленных в данном исследовании.

Для реализации запланированных исследований на первом этапе был разработан универсальный пневмогидробур для внесения порошкового геля и гидрогеля (рис. 45, 46).

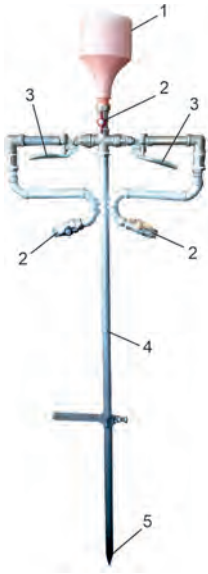


Рис. 45. Общий вид универсального пневмогидробура для подачи гидро- и порошкового гелей:
1 – емкость для порошкового геля;
2 – шаровые краны; 3 – клапан ручной;
4 – ствол; 5 – наконечник

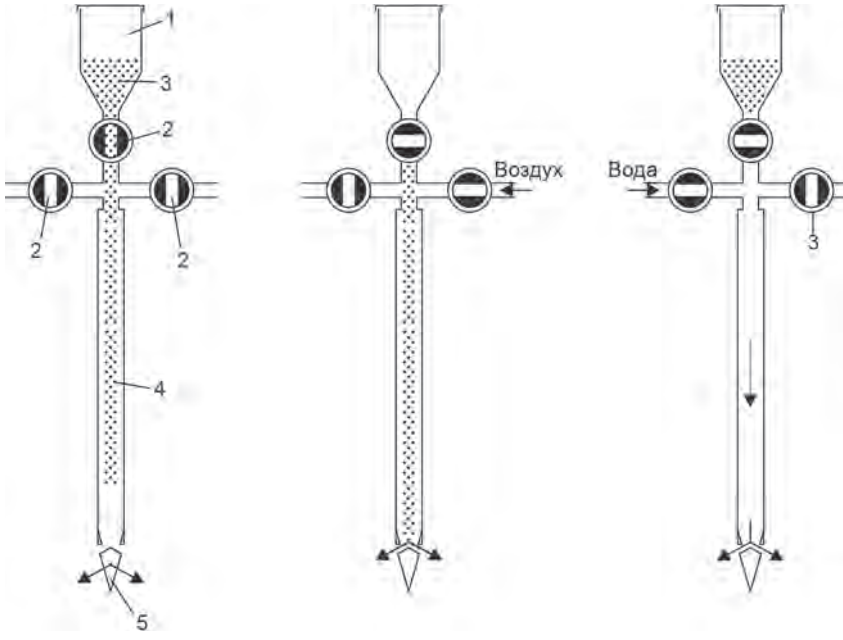


Рис. 46. Схема работы универсального пневмогидробура:
а – подача порошкового геля в ствол пневмогидробура;
б – внесение порошкового геля воздушным потоком в почву;
в – внесение гидрогеля в почву

Универсальный пневмогидробур предназначен для подачи гидро- и порошковых гелей в прикорневую зону растений. При подаче гидрогеля (см. рис. 46) технологический материал из бака через насосную станцию подается непосредственно в ствол пневмогидробура и далее через отверстие в наконечниках – в прикорневую зону растения. При этом каналы подачи воздуха и порошкового геля закрыты шаровыми кранами.

Подача порошкового геля производится в три этапа. На первом этапе дозированная масса порошкового геля *3* засыпается в емкость *1* (рис. 46 а), открывается шаровой кран *2* и порошок попадает в ствол *4* пневмогидробура. Шаровые краны подачи гидрогеля и воз-

духа при этом закрыты. На втором – открывается шаровой кран подачи воздуха (см. рис. 46 б) и порошковый гель воздушным потоком через отверстия в наконечнике пневмогидробура доставляется в прикорневую зону растения. На третьем этапе открывается шаровой кран подачи жидкости (рис. 46 в) и дозированный объем воды доставляется в место нахождения порошкового геля, где происходит реакция смешивания порошка с водой и его набухание.

Отработка режимов работы универсального пневмогидробура осуществлялась на разработанном и изготовленном стенде (рис. 47).

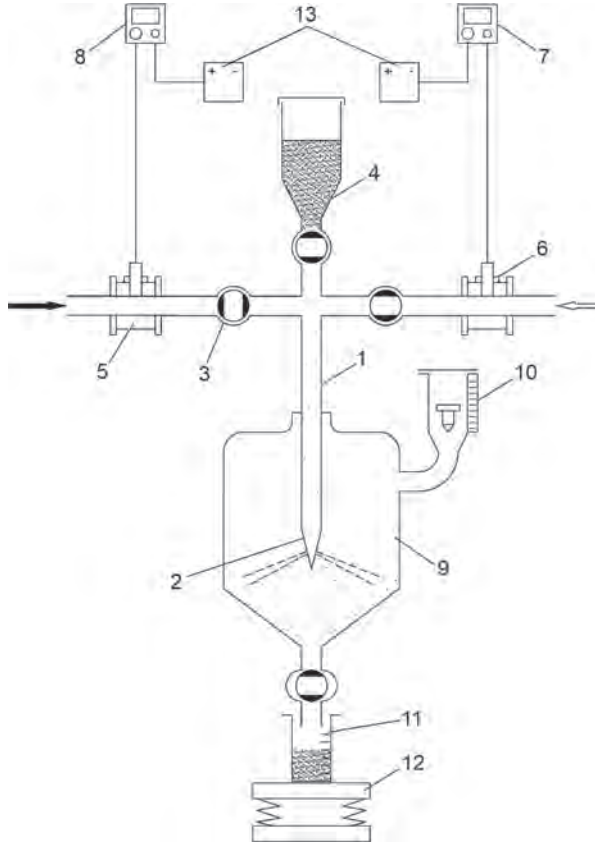


Рис. 47. Стенд для отработки режимов работы универсального пневмогидробура для подачи гидро- и порошкового гелей

Стенд состоит из пневмогидробура с основным стволом *1* и сменными наконечниками с отверстиями *2*. Ствол соединен с крестовиной, к которой с трех сторон монтируются шаровые краны *3*. К верхнему входу крестовины крепится бункер для сухого геля *4*. К боковому входу присоединен трубопровод для подачи гидрогеля *A*, а ко второму – шланг *B* для подачи воздуха от компрессора.

Перед кранами в трубопроводы вмонтированы датчики расхода жидкости *5* и расхода воздуха *6*, которые связаны с цифровыми индикаторами расхода воздуха *7* и жидкости *8*. Питание индикаторов *7* и *8* осуществляется от блоков питания *13*.

Ствол бура встроен в накопительную емкость вместимостью 20 л с конусовидным днищем, на выходе из которого установлен шаровой кран, а в верхней части смонтирован воздушный ротаметр поплавкового типа *10*. Гель из расширительной емкости подается в пробоотборники *11*. Масса проб определяется с помощью лабораторных весов *12*.

Порошковидный гель получали путем измельчения гранул. Порции порошка после просеивания и взвешивания засыпали в бункер *4*. При открытии шарового крана порошок из бункера просыпался в крестовину и далее в ствол *1*. Затем с задержкой в 1 с открывался кран и сжатый воздух поступал в ствол *1*, далее воздух с порошком выдувался через отверстия наконечника *2* и улавливался в накопительной емкости. Воздух через верхнее отверстие и ротаметр выходил наружу. При этом происходил замер расхода воздуха датчиком *6* и фиксировался на индикаторе *7*. Параллельно он фиксировался на выходном ротаметре *10*.

После отключения подачи воздуха порошок из емкости *9* ссыпался в пробоотборник и взвешивался на лабораторных весах.

При подаче гидрогеля по трубопроводу *A* с помощью датчика расхода жидкости *5* и индикатора *8* фиксировался минутный расход. Улавливаемый в накопительной емкости *9* гидрогель переливался в пробоотборник *11* и взвешивался на весах *12*.

Таким образом, на измерительном стенде отрабатывались следующие параметры гидровоздушных режимов подачи гидрогеля и порошкового геля с последующей подачей воды:

● давление подачи воздуха от компрессора в ствол универсального пневмогидробура, обеспечивающего полную подачу дозированного порошкового геля через отверстия наконечника. В результате эмпирических замеров определено давление в 4,5 атм. Дальнейшее увеличение давления приводило к забросу порошка в горизонтальные элементы пневмогидробура, уменьшение – к неполной подаче порошка через отверстия наконечника;

● время подачи 3 и 1,5 л гидрогеля через отверстия наконечника при рабочем давлении подачи 4 атм (10 с/1 л);

● диаметр и количество отверстий в сменных наконечниках. В результате экспериментальных исследований определен универсальный наконечник с тремя отверстиями ∅ 3 мм, ориентированными в направлении исследуемого объекта – корневой системы растений.

Отработка исследуемой технологии в хозяйственных условиях предусматривала следующие технологические операции:

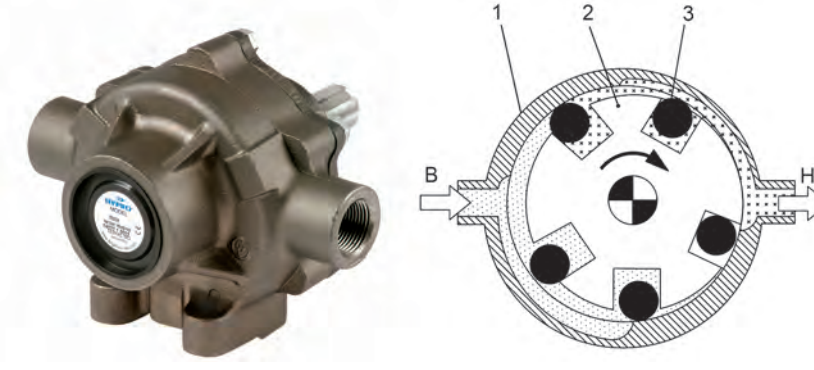
● минеральное питание растений в прикорневой зоне и поверхностным способом;

● внесение гидро- и порошкового гелей в прикорневую зону растений.

Для подачи гидрогеля в прикорневую зону растений был дополнительно разработан и изготовлен стенд (насосная станция) (рис. 48). Гидрогель при этом готовился непосредственно в баке стенда. Порошковый гель из расчета 10 г на 1 л воды постепенно (малыми дозами) засыпался в бак с дозированным количеством воды при постоянном перемешивании раствора гидромешалкой.

Поскольку технологический материал (гидрогель) представляет собой желеобразную массу, для его транспортирования был подобран и использовался в стенде роликовый насос фирмы «Hypro» (Италия) – рис. 49. Производительности насоса достаточна для подачи необходимого количества раствора в пневмогидробур и постоянного перемешивания раствора в баке.

Рис. 48. Стенд (насосная станция) для подачи гидрогеля:
1 – регулятор-распределитель; 2 – электрический двигатель (220 В);
3 – роликовый насос; 4 – бак для гидрогеля; 5 – пневмогидробур



а *б*

Рис. 49. Роликовый насос:
а – общий вид; б – схема работы и элементы насоса:
В – всасывание рабочего раствора; Н – нагнетание рабочего раствора
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – ролики

Для комплексного исследования внедряемой технологии (минеральное питание растений, обеспечение прикорневой зоны растений гидро- и порошковым гелями) был разработан, изготовлен и смонтирован на бортовой платформе автомобиля мобильный лабораторно-полевой стенд (рис. 50, 51).

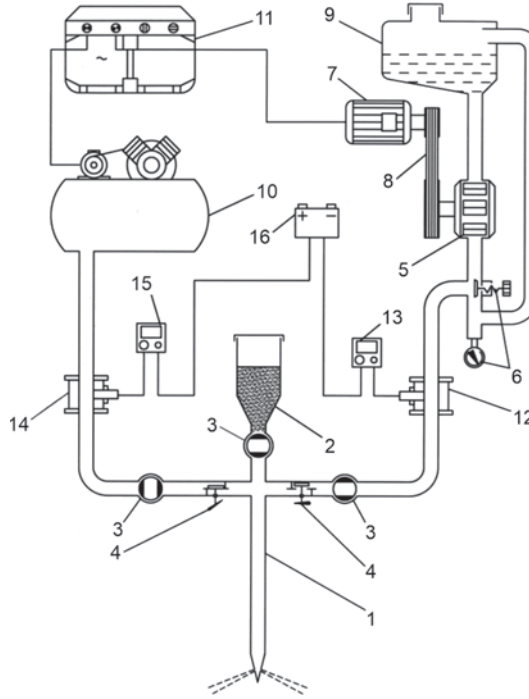


Рис. 50. Технологическая схема лабораторно-полевого стенда для исследования пневмогидробуров:
1 – трехканальный пневмогидробур; 2 – бункер для порошкового геля; 3 – кран шаровой; 4 – клапан ручной; 5 – насос роликовый; 6 – регулятор расхода с манометром; 7 – электродвигатель привода насоса; 8 – клиноременная передача привода; 9 – бак для гидрогеля; 10 – компрессор с ресивером; 11 – генератор электрический 220 В; 12 – расходомер жидкостный; 13 – блок управления расходомером; 14 – расходомер воздушный; 15 – блок управления; 16 – источник постоянного тока 12 В

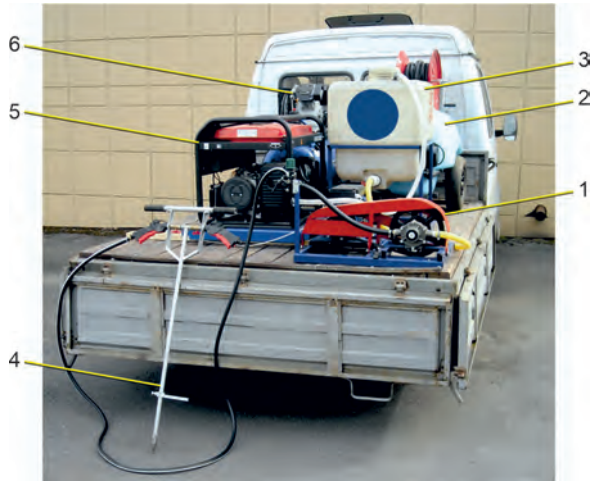


Рис. 51. Мобильный лабораторно-полевой стенд для отработки технологии минерального питания с внесением гидро- и порошкового гелей в прикорневую зону многолетних насаждений: 1 – насосная станция для внесения гидрогеля; 2 – насосная станция для внесения минерального раствора и воды; 3 – бак для гидрогеля; 4 – пневмогидробур; 5 – электрический генератор (220 В); 6 – компрессор с ресивером

Стенд обеспечивал выполнение всех элементов технологии, предусмотренной программой и методикой исследования. Хозяйственные исследования разработанной технологии с техническими средствами для минерального питания и внесения гидро- и порошкового гелей в прикорневую зону растений проводились на лабораторном участке Центра испытаний инновационных технологий ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Объект исследования – молодой яблоневый сад, посажен в 2017 г., площадью 0,5 га по схеме 5×2 м.

Для отработки технологии были выбраны два ряда по 42 яблони сорта Болотовское в каждом, из них: первый ряд для исследуемой технологии, второй – контрольный вариант.

Предварительно как по исследуемому, так и по контрольному вариантам была проведена минеральная подкормка растений. В качестве удобрений использовали азофоску с содержанием азота

16%, фосфора – 16, калия – 16% в концентрации 600 г на 120 л воды. По исследуемой технологии подкормка производилась путем внесения 3 л питательного раствора на глубину 20 см под каждое растение с использованием пневмогидробура, в контрольном варианте – 3 л питательного раствора под каждое растение поверхностным поливом.

Для хозяйственной проверки общих принципов воздействия гелей на водный режим почвы в исследуемой технологии были заложены следующие варианты опытов [57-58]:

• *опыт 1.* Объект исследования – 20 яблонь. Введение 3 л гидрогеля под каждое растение с использованием пневмогидробура на глубину 30 см. Гидрогель готовился в баке насосной станции (см. рис. 48) из расчета 10 г порошкового геля на 1 л воды;

• *опыт 2.* Объект исследования – 10 яблонь. Поэтапное введение 30 г порошкового геля, а затем 3 л воды универсальным пневмогидробуром на глубину 30 см;

• *опыт 3.* Объект исследования – 10 яблонь. Поэтапное введение 15 г порошкового геля, а затем 1,5 л воды универсальным пневмогидробуром на глубину 30 см.

В качестве действующего вещества – полимера – использовался полиакриловый абсорбент на основе соли калия – порошковый гель «Аквасин». При оценке разницы в форме обеспечения прикорневой зоны растений гидрогелем или порошковым гелем, а также дозы внесения порошкового геля учитывалась технологичность внесения разных форм гелей, а также эффективность форм и объемов внесения гелей.

Эффективность технологии в сравнении с контролем определялась по динамике изменения:

• влажности почвы в опытах с применением гидро- и порошкового гелей в сравнении с контролем;

• биометрических данных растений в опытах с применением гидро- и порошковых гелей в сравнении с контролем.

Анализ метеоданных за вегетационный период 2020 г. (табл. 10) показал превышение среднемноголетних показателей по количеству осадков на 7,7%, среднесуточной температуры – на 2,6°С. При этом пиковые превышения по количеству осадков, косвенно влияющие на результаты опытов, которые закладывались с конца июня, приходились на май-июнь (рис. 52).

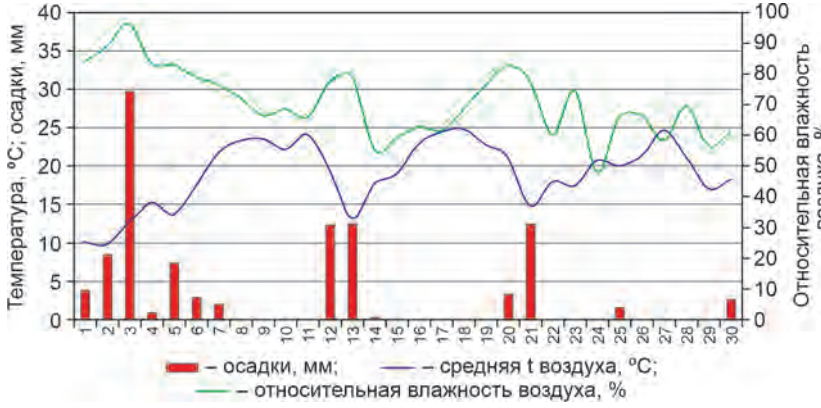
Таблица 10

Результирующие метеоданные за вегетационный период растений яблони, 2020 г.

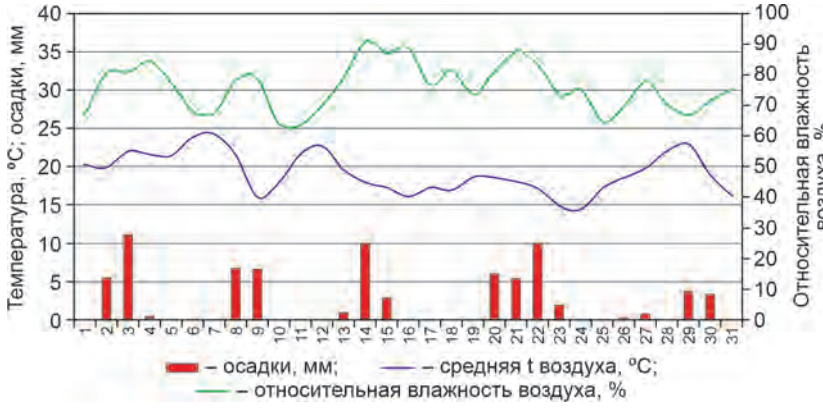
Месяц	Декада	Осадки, мм			Среднесуточная температура воздуха, °С			Среднесуточная относительная влажность воздуха, %		
		средне-многолетн.	2020	% к многолетн.	средне-многолетн.	2020	откл. от многолетн.	средне-многолетн.	2020	откл. от многолетн.
Апрель	1		0,1			4,7			56,7	
	2		15,5			4,1			70,4	
	3		3,1			6,5			52,2	
За месяц			18,7			5,1			59,8	
Май	1	14,0	19,7	140,7	9,6	13,8	4,2	63,5	66,4	2,9
	2	17,0	17,5	102,9	11,5	10,5	-1,0	62,0	61,5	-0,5
	3	19,0	55,4	291,6	14,1	11,7	-2,4	62,5	78,6	16,1
За месяц		50,0	92,6	185,2	11,7	12,0	0,2	62,7	68,9	6,2
Июнь	1	20,0	54,3	271,5	14,4	16,9	2,5	59,5	79,7	20,2
	2	21,0	27,9	132,9	15,4	20,8	5,4	60,0	68,6	8,6
	3	24,0	16,3	67,9	16,4	19,2	2,8	61,5	63,6	2,1
За месяц		65,0	98,5	151,5	15,4	19,0	3,6	60,3	70,6	10,3
Июль	1	26,0	30,6	117,7	17,4	20,8	3,4	64,0	74,7	10,7
	2	27,0	19,9	73,7	17,8	18,6	0,8	65,5	79,3	13,8
	3	27,0	25,0	92,6	17,7	18,2	0,5	67,0	74,2	7,2
За месяц		80,0	75,5	94,4	17,6	19,2	1,6	65,5	76,1	10,6
Август	1	25,0	12,3	49,2	17,1	19,4	2,3	69,0	69,0	0,0
	2	23,0	7,7	33,5	15,9	16,0	0,1	70,5	73,8	3,3
	3	22,0	15,3	69,5	14,4	18,0	3,6	72,5	77,1	4,6
За месяц		70,0	35,3	50,4	15,8	17,8	2,0	70,7	73,3	2,6
Сентябрь	1	20,0	24,5	122,5	12,5	16,3	3,8	74,0	70,5	-3,5
	2	18,0	26,8	148,9	10,8	12,1	1,3	78,0	74,7	-3,3
	3	17,0	2,0	11,8	8,1	13,6	5,5	78,0	67,6	-10,4
За месяц		55,0	53,3	96,9	10,5	14,0	3,5	76,7	70,9	-5,8
Октябрь	1	15,0	7,0	46,7	6,0	12,4	6,4	79,0	63,6	-15,4
	2	15,0	21,0	140,0	4,0	8,0	4,0	80,0	83,3	3,3
	3	16,0	11,0	68,8	3,5	6,8	3,3	80,0	84,3	4,3
За месяц		46,0	39,0	84,8	4,5	9,1	4,6	79,7	77,1	-2,6
За 05-10 месяц		366,0	394,2	107,7	12,6	15,2	2,6	69,3	72,8	3,6

Май 2020 г.

Июнь 2020 г.

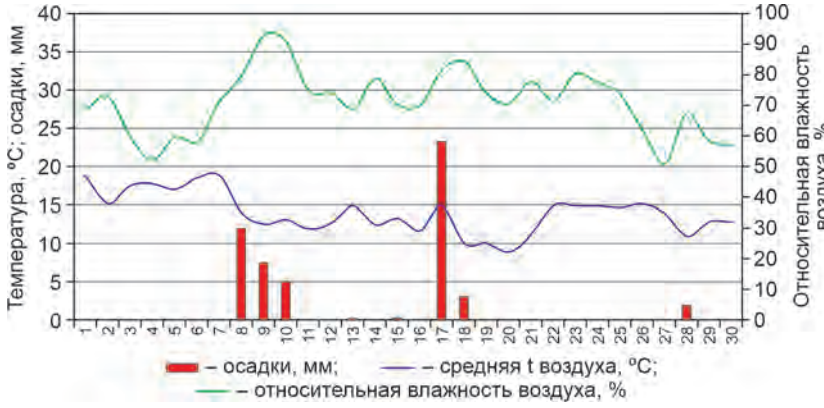


Июль 2020 г.



Август 2020 г.

Сентябрь 2020 г.



Октябрь 2020 г.

Рис. 52. Метеоданные за май-октябрь 2020 г.

Динамика изменения влажности почвы по испытываемой и сравниваемой технологиям определялась в соответствии с Международным стандартом ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Забор проб грунта производился пробоотборником на глубине 10, 20, 30, 40, 50 см по каждому из вариантов опытов.

Первый забор проб осуществлялся 30 июня в междурядье опытного и контрольного рядов яблонь, последующие – 22 июля, 25 августа и 8 октября в приствольной зоне растений опытного и контрольного рядов яблонь (рис. 53).

Рис. 53. Лабораторный участок ФГБНУ ФНЦ Садоводства: 1 – опытный ряд яблонь; 2 – контрольный

Пробы грунта помещались в герметичные металлические бюксы и транспортировались в учреждение, где производились их высушивание (рис. 54), взвешивание и расчет влажности.

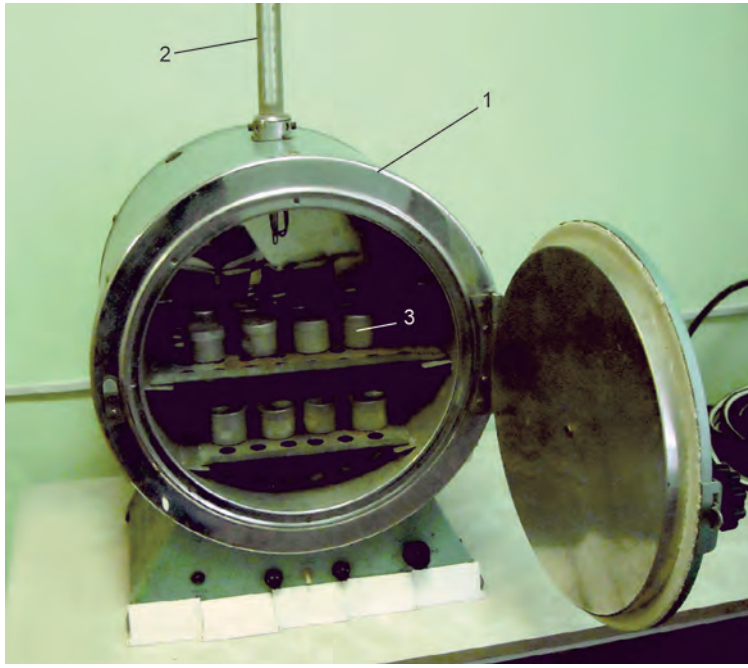


Рис. 54. Сушильный шкаф:
1 – корпус; 2 – бюксы с пробами грунта; 3 – термометр

Воздействие на корневую систему растений через введение гидро- и порошкового гелей осуществлялось с применением мобильного лабораторного стенда. Автомобиль, на платформе которого смонтирован стенд, передвигался вдоль междурядья исследуемых рядов яблонь и позиционно, в радиусе досягаемости шлангов (25 м), производилось внедрение гидро- и порошкового гелей в прикорневую зону растений (рис. 55).

Рис. 55. Внесение гидро- и порошкового гелей в прикорневую зону растений яблони

Динамика изменения биометрических данных растений определялась в соответствии с программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и ореховых культур [59].

5.2. Результаты исследований технологии подпочвенного минерального питания растений яблони с использованием гидро- и порошкового гелей

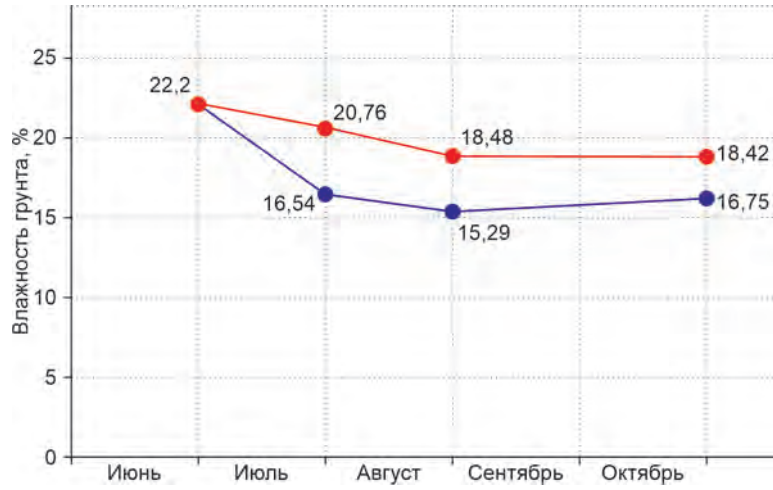
По результатам хозяйственных исследований разработанной технологии и технических средств получены следующие результаты.

Динамика изменения влажности с применением гидро- и порошкового гелей по вариантам опытов в сравнении с контролем приведена в табл. 11 и на рис. 56.

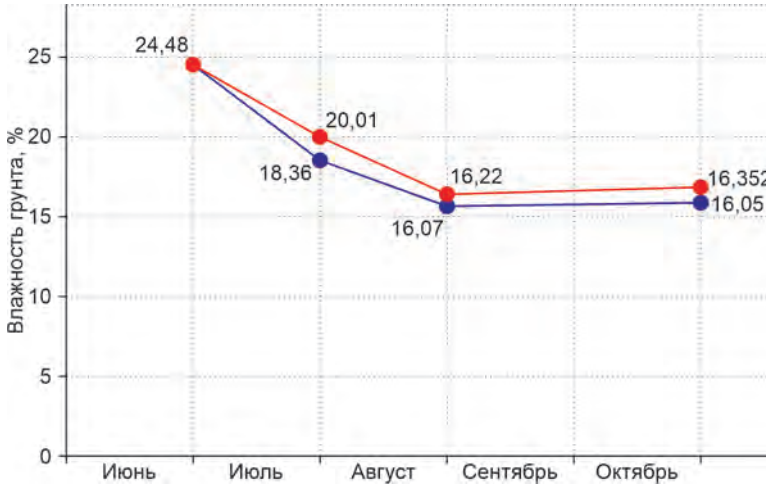
Таблица 11

Показатели влажности почвы по вариантам опытов

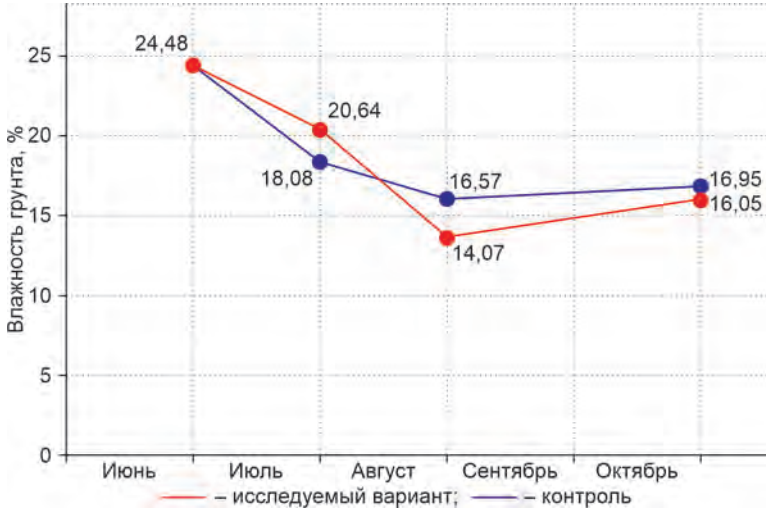
Вариант опыта	Дата забора проб			
	30.06	22.07	25.08	08.10
Влажность почвы, %				
Опыт 1	22,2	20,76	18,48	18,42
Контроль		16,54	15,29	16,75
Опыт 2	23,14	20,01	16,22	16,35
Контроль		18,36	16,07	16,05
Опыт 3	24,48	20,64	14,07	16,05
Контроль		18,08	16,57	16,95



а



б



в

Рис. 56. Динамика изменения влажности грунта:
а – опыт 1; б – опыт 2; в – опыт 3

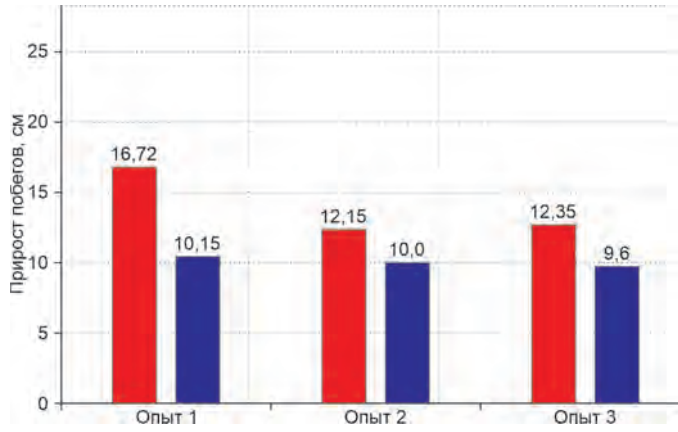
Анализ полученных результатов показывает, что наибольшая эффективность получена в опыте 1 – с применением гидрогеля. В сравнении с контролем влажности почвы во временном отрезке наблюдений 22.07 – 25.08 – 08.10 получена выше соответственно на 4,31 – 3,19 – 1,67%. Применение порошкового геля из расчета 30 г на одно растение показало более низкую эффективность, а из расчета 15 г на растение отсутствие эффекта.

Биометрические данные растений по вариантам опытов приведены в табл. 12 и на рис. 57.

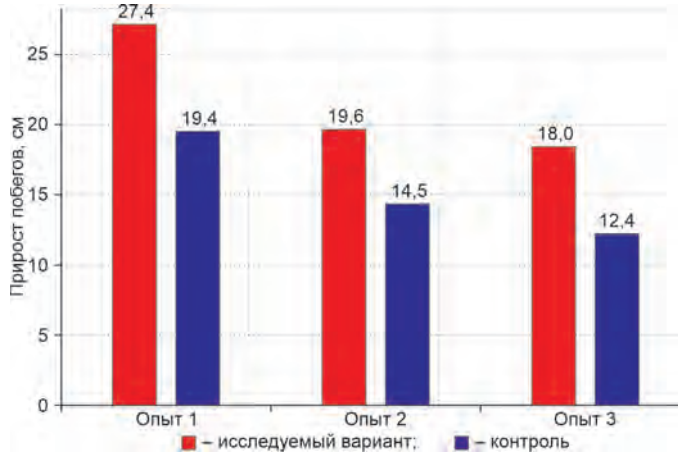
Таблица 12

Биометрические данные растений по вариантам опытов

Вариант опыта	Средний прирост на одно дерево, см	
	центрального побега	боковых побегов
Опыт 1	16,72	27,4
Контроль	10,15	19,4
Опыт 2	12,15	19,6
Контроль	10,0	14,5
Опыт 3	12,35	18,0
Контроль	9,6	12,4



а



б

Рис. 57. Динамика прироста на одно дерево:
а – центрального побега; б – боковых побегов

Результаты измерения биометрических данных также подтвердили эффективность применения гидрогеля: прирост центрального побега (высота растения) – на 6,6 см больше, чем на контроле, боковых – на 8,0 см больше.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ

6.1. Программа, объекты и методика исследования

В ходе экспериментальных исследований были запланированы изучение и анализ показателей влажности почвы в зоне корневой системы растений; фенологических, биологических, морфологических показателей развития эфиромасличных культур розы и лаванды, а также изучение показателей продуктивности (урожайность, сбор эфирного масла) и качество эфирного масла.

Исследования проводились совместно с сотрудникам ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Объектами исследований являлись:

- роза эфиромасличная сорта Лада девятого года жизни (2012 г. посадки);
- лаванда узколистная сорта Синева первого года посадки (2021 г.);
- лаванда узколистная сорта Вдала третьего года жизни (2019 г. посадки);

Полевой опыт на экспериментальном участке ФГБУН «НИИСХ Крыма» в отделе эфиромасличных и лекарственных культур (с. Крымская Роза Белогорского района Республики Крым) проводился на растениях *розы эфиромасличной сорта Лада* девятого года жизни (2012 г. посадки) в количестве 45 шт. (рис. 58).

Сорт Лада. (Авторы: Л.Г. Назаренко, Л.А. Грищенко). *Гибрид от скрещивания (Rosa alba* L.x *Мичуринка (R. damascena* Mill.x *Rosa gallica* L.*).* По данным конкурсного сортоиспытания, урожайность цветков – 53,6 ц/га, массовая доля декантированного эфирного масла – 0,032%, сбор декантированного эфирного масла – 1,76 кг/га.

Цветки махровые, бледно-бледно-розовые. Сорт зимостойкий, устойчив к поражению ржавчиной, имеет высокую бутонообразовательную способность, может образовывать репродуктивные побеги из боковых почек в случае гибели центрального стебля.

Переработка цветков возможна как методом гидродистиляции, так и экстракции.

Рис. 58. Посадки розы эфиромасличной сорта Лада

При условии проведения всех необходимых анализов в одном варианте опыта необходимо иметь не менее пяти растений. Таким образом, с учетом трех повторностей исследования проводились по следующей схеме:

- контроль – 5 растений×3 повторности = 15 растений;
- «гидрогель» – 5 растений×3 повторности = 15 растений;
- «вода + воздух» – 5 растений×3 повторности = 15 растений.

В данных исследованиях:

- контроль – участок, на котором развитие эфиромасличных культур протекает в естественных условиях без какого-либо вмешательства;
- «гидрогель» – участок, на котором выполнено подпочвенное внесение при посадке или уходе за эфиромасличными культурами раствора сухого вещества (гидрогеля) в воде в соотношении 1/100 под давлением 2 бар в количестве 5 л. В экспериментальных исследованиях использовался суперабсорбент «Аквасин» ТУ 2219-017-74584703-2011;
- «вода + воздух» – участок, на котором под каждое растение осуществлялось последовательное подпочвенное внесение воды в объеме 5 л с последующим введением воздуха в течение 15 с под давлением 2 бар.

Глубина внесения раствора, воды и воздуха – 0,4 м.

Основным возделываемым в Крыму эфиромасличным растением является лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia Mill.*) – многолетний полукустарник, соцветия которого содержат эфирное масло, дубильные вещества, органические кислоты, кумарины и другие вещества многостороннего использования. Лаванда выращивается, главным образом, для получения из её соцветий эфирного масла, основными компонентами которого являются линалилацетат (30-50%) и линалоол (10-20%). Кроме того, в масле содержатся гераниол, нерол, лимонен, фурфурол и другие компоненты. Масло лаванды используется в парфюмерно-косметической промышленности; его применяют при изготовлении сиропов, бальзамов, ликеров. Лавандовое масло – хороший антисептик, поэтому его широко используют в медицинской практике для изготовления разного рода эмульсий, примочек при лечении ран. Лаванда, имея мощную корневую систему, используется как противоэрозионное растение.

На одном месте лаванда может произрастать 15-18 лет и более, однако в зависимости от зоны возделывания, плодородия почвы, уровня

агротехники растения через 7-10 лет начинают стареть. Кусты дают слабый прирост, урожай снижается. Для восстановления продуктивности старых плантаций ранней весной проводят омолаживание растений (обрезка). С увеличением возраста снижается также и устойчивость этой культуры к низким температурам и другим стрессовым факторам.

По данным Министерства сельского хозяйства Республики Крым, в 2019 г. в регионе насчитывалось 939 га лаванды узколистной. В настоящее время в Крыму выращиваются преимущественно сорта селекции ФГБУН «НИИСХ Крыма» – Степная, Синева и Вдала (Информагентство «Научная Россия», официальный сайт ФГБУН «НИИСХ Крыма» – https://niishk.site/?ysclid=lb542lgfka136788476).

Для проведения полевого опыта также на экспериментальном участке ФГБУН «НИИСХ Крыма» в отделе эфиромасличных и лекарственных культур (с. Крымская Роза Белогорского района Республики Крым) в марте 2021 г. был заложен участок *лаванды узколистной сорта Синева* (рис. 59, 60), где изучались приживаемость растений после посадки с помощью пневмогидробура, дальнейшее их развитие и показатели продуктивности.

Рис. 59. Саженцы лаванды сорта Синева

Рис. 60. Посадки лаванды сорта Синева

Сорт Синева относится к узколистным сортам, создан методом индивидуального отбора в потомстве от свободного переопыления сортов Рекорд, Степная, Горная, Народная, Советская (синтетическая популяция). Позднеспелый, зимостойкий. По данным конкурсного сортоиспытания, урожайность соцветий – 89,5 ц/га, массовая доля эфирного масла – 1,85%, содержание сложных эфиров в масле – 56,7%, сбор эфирного масла – 165,7 кг/га. Высота куста 65-70 см, окраска венчика фиолетовая.

Сорт позднеспелый, зимостойкий. Многолетний, вечнозеленый полукустарник, относящийся к семейству Яснотковые. Способен произрастать в каменистом грунте, у растений глубокозалегающая корневая система. В высоту стебли взрослого и сфор-

мированного куста достигают 65-70 см. Они ветвистые, к концу 1-го года жизни побеги деревенеют у основания. Листья имеют узкую форму, длиной 2-6 см, опущенные, имеют серовато-зеленый оттенок.

Цветы классического фиолетового окраса. Лаванда начинает цвести в июне, цветение продолжается до конца августа. В это время лавандовый куст покрывается большим количеством узких соцветий, имеющих вид сине-фиолетовых колосков. Каждый цветочек маленький – в длину до 1 см. Отцветая, он образует маленький плод. Корневая система стержневая, с ответвлениями, глубокозалегающая (в некоторых случаях достигает в длину 4 м). Семена обычно созревают к сентябрю. Семечки средние по размеру, глянцевые, имеют фиолетовый окрас.

Лаванда сорта Синева источает приятный и выраженный аромат. Главной характерной особенностью сорта является сильное ветвление: у взрослого растения может появляться до 700 побегов, из-за чего кустарник имеет привлекательный, пышный вид (рис. 61).

Рис. 61. Лаванда сорта Синева

Отличается засухоустойчивостью, не любит излишнюю влажность. Может выдерживать заморозки до -30 ℃). Включена в Госреестр по Северо-Кавказскому региону и рекомендована для возделывания в Крыму. Однако может выращиваться и в других теплых областях и регионах с умеренно-континентальным климатом.

Данный сорт лаванды очень требовательно относится как к уровню кислотности, так и структуре почвы. Предпочитает легкие грунты с нейтральной кислотностью, поэтому перед высадкой необходимо внести в грунт немного извести или древесной золы для раскисления. Следует избегать участков с высоким залеганием грунтовых вод и низин.

Уход включает в себя регулярные подкормки и поливы, периодические обрезки, рыхление почвы. Помимо этого рекомендуется мульчировать землю междурядий перепревшими листьями. Места непосредственно у основания кустов, в радиусе 25-30 см, лучше оставлять открытыми, чтобы корневая система (располагающаяся в первом слое грунта) не загнила.

В период первого активного цветения цветки необходимо обрезать для лучшего созревания и наращивания разветвленной, крепкой корневой системы. Молодые растения в первый год жизни поливают раз в две недели, а в жаркую и сухую погоду – один раз в неделю. Взрослые кустарники (от 3 лет) – по мере высыхания почвы. Лаванда Синева способна переносить недлительную засуху, но отсутствие воды может негативно сказаться на качестве цветения. О переувлажнении грунта говорят пожелтевшие стебли и листочки.

Во время формирования молодых побегов и в период цветения растения, ему требуется много фосфора и калия, поэтому необходимо проводить подкормки универсальными комплексными удобрениями. Для стимуляции роста в качестве подкормки используют мочевину и гумат натрия, совмещая эти операцию с поливом (Источники: официальный сайт ФГБУН «НИИСХ Крыма» – https://niishk.site/?ysclid=lb542lgfka136788476; https://agronom.guru/tsvetyi/sadovyie-tsvetyi/lavanda/vidy-lvn/uzkolistnaya-lv/sineva).

Исследования проводились по следующей схеме:

- контроль – 10 растений×3 повторности = 30 растений;

● «гидрогель» – 10 растений×3 повторности = 30 растений;

● «вода + воздух» – 10 растений×3 повторности = 30 растений.

В данных исследованиях:

● контроль – участок, на котором развитие культурных растений протекает в естественных условиях без какого-либо вмешательства;

● «гидрогель» – участок, на котором подпочвенно вносится при посадке или уходе за лавандой раствор сухого вещества (гидрогеля) в воде в соотношении 1/100 под давлением 2 бар в количестве 2 л;

● «вода + воздух» – участок на котором под каждое растение последовательно подпочвенно вносится вода в объеме 2 л с последующим введением воздуха в течение 15 с под давлением 2 бар.

Глубина внесения раствора, воды и воздуха – 0,4 м.

Участок *лаванды узколистной сорта Вдала* третьего года жизни, заложен в 2019 г. (рис. 62).

Рис. 62. Посадки лаванды третьего года жизни сорта Вдала

Сорт Вдала создан методом индивидуально-клонового отбора в потомстве от насыщающих скрещиваний источника стерильности клона С-336 с сортом Хемус [(60-3) × Хемус] (рис. 63).

Рис. 63. Лаванда сорта Вдала

По данным конкурсного сортоиспытания, урожайность соцветий – 37,1 ц/га, массовая доля эфирного масла – 2,35%, содержание сложных эфиров в масле – 39,6%, сбор эфирного масла – 83,6 кг/га. Высота куста 55-60 см, окраска венчика фиолетовая.

Исследования проводились по следующей схеме:

- контроль – 10 растений×3 повторности = 30 растений;
- «гидрогель» – 10 растений×3 повторности = 30 растений;
- «вода + воздух» – 10 растений×3 повторности = 30 растений.

В данных исследованиях:

• контроль – участок, на котором развитие лаванды протекает в естественных условиях без какого-либо вмешательства;

• «гидрогель» – участок, на котором подпочвенно вносится при посадке или уходе за лавандой раствор сухого вещества (гидрогеля) в воде в соотношении 1/100 под давлением 2 бар в количестве 3 л;

• «вода + воздух» – участок, на котором под каждое растение последовательно подпочвенно вносится вода в объеме 3 л с последующим введением воздуха в течение 15 с под давлением 2 бар.

Глубина внесения раствора, воды и воздуха – 0,4 м.

Измерение влажности почвы проводилось с начала закладки опыта до августа месяца с периодичностью в 15 дней. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом с использованием следующих инструментов и принадлежностей:

• бур для забора проб;

• термостойкие стаканчики (бюксы), обычно алюминиевые, которые предварительно взвешивают и записывают массу пустого стаканчика на крышку;

• весы с ценой деления 0,1 г (или 0,01 г) и максимальной измеряемой массой не менее 200 г;

• сушильный шкаф-термостат с температурой сушки 105°С.

Температура почвы на разных горизонтах измерялась специальным почвенным термометром.

При проведении экспериментальных исследований руководствовались методическими указаниями, разработанными для работы с эфиромасличными культурами [74]. Использовались следующие методы исследования: полевые, лабораторные (биохимические), статистическая обработка данных. Биохимический анализ содержания эфирного масла в растениях выполнен в соответствии с разработанными методиками [75, 76].

Анализ компонентного состава эфирных масел проводился методом газожидкостной хроматографии на газовом хроматографе мод. Кристалл 5000.2 при следующих технических условиях: газноситель – гелий марки А; тип детектора – пламенно-ионизационный; колонка капиллярная CR-WAXms размером 30 м×0,32 мм;

толщина слоя неподвижной фазы – 0,5 мкм; температура детектора – 250°С; температура испарителя – 230°С; расход газа-носителя – 1,9 мл/мин. Начальная температура колонки – 75°С с выдержкой в 1 мин; скорость нагрева – 4°С/мин; конечная температура колонки – 220°С без выдержки; длительность анализа – 37,3 мин; деление потока 1:20 [77]. Идентификация компонентов проведена путем сравнения хроматографических профилей эфирного масла (метод «fingerprints») после предварительного проведения анализа образцов на хромато-масс-спектрометре Agilent Technologies 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5973N и на хроматографе Кристалл 5000.2 при одинаковых условиях хроматографирования [78, 79].

Статистическая обработка полученных данных проводилась согласно методике полевого опыта с использованием стандартного пакета программ, Microsoft Office Excel 2007 [58, 80, 81].

Для проведения исследований использовался пневмогидробур (пат. РФ № 2740805), снабженный быстросъёмными резьбовыми соединениями со шлангами внутренним диаметром 10 и 13 мм (рис. 64).

Для внутрипочвенного внесения воды и воздуха использовались разработанные наконечники, раствора гидрогеля – наконечник с четырьмя отверстиями ∅ 3 мм.

Конструктивное исполнение пневмогидробура позволяет осуществлять равномерное внесение гидрогеля в корневую область многолетних насаждений в следующей последовательности:

- подготовка почвы для внесения геля (продувка сжатым воздухом);
- внесение геля;
- подпочвенное внесение воды в количестве, достаточном для текущего полива и формирования запаса влаги в кристаллах гидрогеля.

Рис. 64. Общий вид пневмогидробура

Так как гидрогель химически нейтрален, в его состав можно вводить раствор химических реагентов (удобрения и средства защиты растений).

Для автономной работы пневмогидробура была разработана и смонтирована насосная станция на передвижной раме (рис. 65), укомплектованная следующими узлами и агрегатами: ёмкость полиэтиленовая вместимостью 130 л; насосный агрегат с электродвигателем мощностью 1,5 кВт и рабочим напряжением 220 Вт; фильтр всасывающий пропускной способностью до 100 л/мин; барабан для намотки шланга внутренним диаметром 8 мм и длиной 20 м.

Рис. 65. Насосная станция

Роликовый насос обеспечивал расход воды до 19,5 л/мин и давление до 20 бар. На насосе был установлен штатный регулятор давления с переключателем потока «bay-pass» для поддержания устойчивого расхода воды при давлении от 3,5 до 20 бар.

6.2. Физико-географические условия района проведения исследований

Исследования проводились в научном севообороте отдела эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Крымская Роза Белогорского района Республики Крым). Данный регион, расположенный в восточной предгорной части Крыма, относится к одному из пяти агроклиматических районов – верхнему предгорному, теплому, недостаточно влажному (северный подрайон с умеренно мягкой зимой) – табл. 13.

Таблица 13

Почвенно-климатические условия района проведения исследований

Показатели	Значения
Тип климата	Умеренно-континентальный
Годовая сумма:	
эффективных температур, °С	3200-3400
осадков, мм	450-500
Средняя годовая испаряемость с поверхности, мм	460-484
Гидротермический коэффициент увлажнения (Г.Т. Селянинова)	0,92
Суммарная годовая солнечная радиация, ккал/см^2	112-128
Средняя суточная температура, °С:	
самого теплого месяца	+22,3 (июль)
самого холодного месяца	-0,8 (январь)
Продолжительность периода со среднесуточной температурой > 0°С, дней	292
Тип почвы	Южные карбонатные черноземы
Гранулометрический состав почв	Тяжелые суглинки
Кислотность, pH	8,0

Климат территории умеренно-континентальный [82, 83, 84]. Десять месяцев в году средняя температура воздуха составляет +10°С, средняя температура самого холодного месяца (январь) – -0,8°С, самого теплого (июль) – +21°С. В третьей декаде июля-первой декаде августа на глубине 5 см прогревание грунта может достигать +27°С, на глубине 20 см – +22,4-23,4°С. Среднегодовая температура составляет +10°С.

Летом максимальная температура воздуха достигает +40°С и выше. В зимний период среднемноголетний минимум температуры -18°С, а в отдельные годы доходит до - 26-27°С. Теплый период продолжается в среднем 292 дня, холодный – более трех месяцев. Средняя продолжительность безморозного периода в воздухе составляет 194 дня, на поверхности почвы – 167 дней. Наиболее сухие месяцы – февраль (33 мм) и сентябрь (37 мм), самый влажный – июнь (58 мм).

Гидротермический коэффициент (ГТК) = 0,9, что свидетельствует об умеренно-засушливых агроклиматических условиях в период вегетации. Среднегодовая относительная влажность воздуха – 72-73%. В летние месяцы она снижается до 50-60%, а в отдельные дни – до 25-30% и ниже.

Среднегодовая сумма осадков составляет 540 мм с максимумом 67 мм в июне. Сумма активных температур выше 10°С – 2800-3300°С. Последний заморозок весной в воздухе отмечается около 11 апреля, на почве – 15 апреля, иногда раньше – в третьей декаде марта или позже – в первой декаде мая. Среднее количество дней с суховеями достигает 52, максимальная сила ветра – 28 м/с [85].

В Предгорной зоне Крыма период активной вегетации (с температурой воздуха 10°С и выше) длится более полугода – приблизительно с 13 апреля до 20 октября. За этот период выпадает 287 мм осадков. Осадки холодного периода года составляют бóльшую долю в накоплении почвенной влаги.

Почва в месте проведения исследований – южный карбонатный, тяжелый суглинистый чернозем (pH – 7,0-7,2, содержание гумуса в пахотном слое – 2,7-3,0%, общего азота – 0,12, фосфора – 0,10, калия – 1,0%).

В целом погодные условия в районе исследований относительно стабильны. В разные годы могут наблюдаться некоторые отклонения от средних многолетних показателей, что сказывается на особенностях развития растений, возделываемых в данной местности.

Закладка опыта на многолетних эфиромасличных культурах была проведена 22-23 апреля 2021 г. Отборы образцов почвенных проб на влажность проводились 22 и 26 апреля, 5 и 20 мая и 3 июня, в связи с этим за период с 20 апреля по 31 мая приведены более подробные погодные условия с учетом влажности воздуха (табл. 14).

Таблица 14

Характеристика метеоусловий
(в период с 20 апреля по 31 мая 2021 г.)

Дата	Температура,°С			Количество осадков, мм	Среднесуточная влажность воздуха, %
	минимум	максимум	средняя		
1	2	3	4	5	6
20.04.21	7,9	15,4	10,3	2,8	83,1
21.04.21	7,6	15,0	10,8	0,0	73,7
22.04.21	5,2	16,8	11,3	0,0	65,1
23.04.21	4,0	18,7	12,6	0,0	56,2
24.04.21	5,4	13,1	9,4	0,0	66,7
25.04.21	2,0	12,6	7,7	0,0	58,1
26.04.21	1,8	15,8	8,8	0,0	56,8
27.04.21	2,8	17,7	10,7	0,0	62,7
28.04.21	6,2	15,3	10,1	0,0	72,5
29.04.21	7,1	18,6	12,3	0,0	69,6
30.04.21	7,2	21,2	15,2	0,0	64,0
01.05.21	10,8	23,8	17,4	0,0	65,3
02.05.21	11,4	28,9	20,8	0,0	47,6
03.05.21	13,6	26,3	19,9	0,0	58,9
04.05.21	7,4	17,3	13,0	0,0	55,1
05.05.21	3,2	19,9	12,2	0,0	53,6

Продолжение табл. 14

1	2	3	4	5	6
06.05.21	4,3	20,9	13,6	0,0	53,7
07.05.21	8,6	22,8	15,9	0,0	55,8
08.05.21	9,8	27,2	18,3	1,0	53,1
09.05.21	5,2	13,4	9,3	0,0	65,1
10.05.21	5,8	16,9	11,0	0,0	61,9
11.05.21	7,4	16,5	11,7	0,0	70,6
12.05.21	3,1	18,1	11,6	0,0	64,7
13.05.21	4,7	24,3	14,9	0,0	60,5
14.05.21	10,0	26,1	19,0	0,0	52,0
15.05.21	11,6	25,9	18,8	0,0	55,7
16.05.21	11,6	25,2	18,6	0,0	63,3
17.05.21	13,3	18,3	15,9	0,0	78,3
18.05.21	10,2	21,2	16,1	2,2	69,1
19.05.21	12,2	17,8	14,4	0,2	72,8
20.05.21	12,0	26,3	18,9	0,0	52,0
21.05.21	13,1	21,7	16,9	0,0	68,6
22.05.21	11,3	20,8	15,8	1,2	73,7
23.05.21	11,7	24,6	17,7	0,0	62,3
24.05.21	9,7	24,4	17,7	0,0	63,5
25.05.21	9,8	22,7	15,8	0,0	72,1
26.05.21	9,1	26,2	18,2	0,0	61,6
27.05.21	10,1	26,7	19,3	0,0	57,3
28.05.21	12,9	27,3	20,4	0,0	61,8
29.05.21	13,2	27,3	18,7	0,0	73,8
30.05.21	13,6	23,8	18,6	0,0	74,9
31.05.21	11,5	21,4	15,9	1,8	79,7

Характеристика погодных условий 2021 г. по месяцам приведена в табл. 15.

Таблица 15

Характеристика метеоусловий в 2021 г. по месяцам

Месяц	Температура,°С					Осадки			
	минимум	максимум	средняя	норма	отклонение от нормы	число дней	мм	норма	от нормы, %
Январь	-17,4	17,3	3,8	-0,8	4,6	12,0	25,4	41,2	61,7
Февраль	-15,9	17,4	1,5	0,0	1,5	13,0	19,2	32,9	58,4
Март	-8,4	17,5	3,1	3,2	-0,1	11,0	21,8	41,6	52,4
Апрель	-0,1	21,2	8,8	10,0	-1,2	8,0	21,1	39,2	53,8
Май	3,1	28,9	16,3	14,9	1,4	5,0	6,4	47,4	13,5
Июнь	11,2	30,4	19,6	18,5	1,1	12,0	80,2	68,5	117,1
Июль	12,7	35,9	24,4	22,3	2,1	60,0	52,0	53,4	97,4
Август	14,7	35,3	23,5	20,2	3,3	7,0	64,6	47,9	134,9

Весенние месяцы 2021 г. характеризовались небольшим количеством выпавших осадков: в марте и апреле выпало немногим более половины нормы для данного региона, а в мае – всего 13,5% нормы осадков, летние месяцы были достаточно влажными. Температура воздуха, начиная с мая, превышала средние многолетние показатели. Таким образом, весенняя засуха, летняя жара и последующие обильные дожди не благоприятствовали формированию урожая соцветий лаванды.

6.3. Результаты экспериментальных исследований подпочвенного орошения пневмогидробурами растений розы и лаванды

В ходе проведения экспериментов в соответствии с программой исследований изучались и анализировались показатели влажности почвы в зоне корневой системы растений, фенологические, биологические, морфологические показатели развития эфиромасличных культур розы и лаванды, а также показатели продуктивности (урожайность, сбор эфирного масла) и качество эфирного масла.

Результаты экспериментальных исследований по определению влажности почвы по различным вариантам опыта приведены в табл. 16.

Анализ показателей влажности почвы в зоне корневой системы показал отсутствие значимых различий по вариантам опыта.

Биометрические показатели и продуктивность розы сорта Лада (рис. 66), а также состав получаемого эфирного масла приведены в табл. 17, 18.

Рис. 66. Цветущие кусты розы девятого года посадки

Таблица 16

Результаты определения влажности почвы в посадках многолетних культур на глубине 45-50 см, %

Вариант опыта	Дата проведения опыта				
	22.04.21*	26.04.21	05.05.21	20.05.21	03.06.21
Роза эфиромасличная сорта Лада					
Контроль	22,97±0,27	20,95±0,88	24,39±0,32	24,46±0,76	19,91±1,28
Воздух + вода	23,49±0,68	23,73±0,83	24,51±0,25	23,70±0,32	19,59±0,30
Гидрогель	23,44±0,86	21,15±1,60	24,20±0,57	24,73±0,30	19,51±0,51
Среднее значение	23,30±0,34	21,94±0,73	24,36±0,21	24,30±0,29	19,67±0,41
Диапазон изменчивости	21,84-24,84	18,58-25,18	23,06-25,02	23,18-25,81	18,28-22,43
Лаванда узколистная сорта Синева					
Контроль	19,93±0,31	20,88±1,19	20,40±1,21	19,37±0,22	17,51±0,58
Воздух + вода	20,64±0,02	22,29±1,53	20,04±0,55	20,08±0,78	16,93±0,31
Гидрогель	20,94±0,57	21,61±1,20	20,26±0,45	20,53±0,82	17,37±0,50
Среднее значение	20,50±0,24	21,60±0,70	20,23±0,41	20,00±0,37	17,21±0,25
Диапазон изменчивости	19,31-21,91	19,48-24,74	18,95-22,82	18,93-21,64	16,40-18,37
Лаванда узколистная сорта Вдала					
Контроль	20,48±0,59	21,15±1,79	20,30±0,34	18,37±0,62	15,16±0,86
Воздух + вода	20,72±0,51	21,25±2,23	20,63±0,48	18,74±0,66	16,23±0,77
Гидрогель	20,17±0,67	19,55±0,36	20,66±0,44	18,86±1,06	15,54±0,33
Среднее значение	20,46±0,31	20,65±0,88	20,53±0,22	18,66±0,41	15,64±0,38
Диапазон изменчивости	19,17-21,66	17,71-25,36	19,69-21,26	17,47-20,95	14,14-17,63

*Влажность определяли перед закладкой опыта.

Таблица 17

Биометрические показатели и продуктивность розы сорта Лада (сентябрь)

Вариант опыта	Высота куста, см	Ширина куста, см	Масса цветка, г	Количество лепестков, шт.	Урожай, ц/га	МДЭМ, %	Сбор эфирного масла, г
Контроль	111,0±1,5	125,7±9,4	3,41±0,02	50,7±2,4	25,3±3,7	0,013±0	0,368±0,049
Воздух + вода	114,0±10,8	123,3±11,7	3,46±0,036	53,5±1,7	25,5±4,4	0,012±0,001	0,320±0,069
Гидрогель	113,0±7,4	125,7±6,1	3,30±0,09	52,3±1,8	24,4±3,5	0,012±0,001	0,297±0,047
Среднее значение	112,7±3,8	124,9±4,7	3,39±0,38	52,2±1,1	25,1±1,9	0,012±0,001	0,320±0,031

Таблица 18

Компонентный состав эфирного масла розы эфиромасличной

Вариант опыта	Основные компоненты, %		
	цитронеллол	нерол	гераниол
Контроль	7,859±0,310	9,801±0,406	36,297±2,755
Воздух+вода	5,361±0,154	9,178±0,584	35,178±1,719
Гидрогель	6,209±0,227	9,628±0,867	35,442±0,299
Среднее значение	6,476±0,476	9,535±0,312	35,639±0,869

Как следует из данных табл. 17-18, по силе роста (по высоте и ширине куста), массе цветка и количеству лепестков в цветке значимых различий по вариантам опыта не наблюдалось. Наиболее важными являются показатели продуктивности, в частности урожайность. По урожайности цветков розы значимых различий также не наблюдалось. Анализ массовой доли эфирного масла показал, что в среднем она составила 0,012±0,001 и не имеет значимых различий по вариантам опыта. Соответственно, такой показатель, как сбор эфирного масла также не имеет значимых различий по вариантам опыта.

Анализ компонентного состава эфирного масла розы, полученного при подпочвенном внесении поливной воды в смеси с воздухом и гидрогеля, и сравнение его с контролем показали, что на качестве масла это никак не отразилось, количество всех основных составляющих (терпеновые спирты) находилось в одинаковых пределах. Таким образом, подпочвенное внесение гидрогеля (5 л на одно растение) и поливной воды (5 л) в смеси с воздухом в зону корневой системы розы эфиромасличной сорта Лада не привело к увеличению урожая по сравнению с контрольным участком и никак не повлияло на качество конечного продукта – эфирного масла.

В табл. 19, 20 приведены биометрические показатели и продуктивность лаванды сорта Синева, а также состав эфирного масла.

Таблица 19

Биометрические показатели и продуктивность лаванды сорта Синева

Вариант опыта	Длина см		Количество, шт.		Урожай, ц/га	МДЭМ, %		Сбор эфирного масла, г
	цветоноса	соцветия	мутовок	цветков в мутовке		сырая масса	абсолютно сухая масса	
Контроль	7,8±0,7	5,6±0,6	4,6±0,1	5,6±0,3	29,0±9,5	1,538±0,112	4,383±0,321	0,32±0,54
Воздух + вода	7,8±0,2	6,4±0,1	5,0±0,1	5,7±0,2	33,3±7,3	1,500±0,137	4,311±0,392	0,51±0,23
Гидрогель	7,9±0,3	5,9±0,5	4,8±0,1	5,8±0,2	60,0±12,6	1,525±0,175	4,347±0,499	0,77±0,18
Среднее значение	7,8±0,2	6,0±0,2	4,8±0,1	5,7±0,1	40,8±6,9	1,525±0,065	4,347±0,189	0,52±0,12

Таблица 20

Компонентный состав эфирного масла лаванды узколистной сорта Синева

Вариант опыта	Основные компоненты, %		
	линалоол	линалилацетат	гераниол
Контроль	56,298±0,674	21,207±0,653	0,554±0,083
Воздух+вода	55,868±1,368	20,761±1,872	0,624±0,077
Гидрогель	55,423±1,641	20,958±1,727	0,591±0,083
Среднее	55,863±0,600	20,975±0,684	0,589±0,038

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в результате проведения эксперимента с применением пневмогидробура в различных вариантах опыта на лаванде сорта Синева значимых различий по биометрическим показателям и качеству эфирного масла не наблюдалось. Однако подпочвенное внесение гидрогеля в количестве 2 л на одно растение сразу после посадки лаванды положительно отразилось на урожайности соцветий (см. табл. 19), так как все растения на делянках с применением гидрогеля зацвели в первый год вегетации в отличие от других вариантов опыта.

Таким образом, показатели по урожайности и сбору эфирного масла лаванды узколистной сорта Синева первого года вегетации в вариантах опыта, где при посадке с помощью пневмогидробура в зону корневой системы были внесены поливная вода в смеси с воздухом в количестве 2 л на одно растение и гидрогель в таком же количестве, значительно превышают контроль. В варианте «воздух+вода» превышение над контролем по урожайности составило 4,3 г с делянки, или 14,8%, а по сбору эфирного масла – 0,19 г, или 68,5%. В варианте опыта с внесением гидрогеля превышение над контролем по урожайности составило 31,0 г с делянки, или 106,8%, а по сбору эфирного масла – 0,45 г, или 154,9%.

Биометрические показатели и продуктивность лаванды сорта Вдала (рис. 67, 68), а также состав эфирного масла приведены в табл. 21, 22.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что, как и на розе, подпочвенное внесение гидрогеля (3 л на одно растение) и поливной воды (3 л) в смеси с воздухом в зону корневой системы лаванды узколистной сорта Вдала не привело к увеличению урожая и не повлияло на качество конечного продукта – эфирного масла.

В результате изучения приемов подпочвенного орошения и внесения гидрогеля в зону расположения корневой системы с помощью пневмогидробура на многолетних эфиромасличных культурах (розе эфиромасличной девятилетнего возраста и лаванде узколистной трехлетнего возраста) установлено, что биометрические показатели и показатели продуктивности данных культур, а также показатели качества масла не имели значимых различий по сравнению с контрольным вариантом опыта.

Рис. 67. Цветущее поле лаванды

Рис. 68. Измерение биометрических показаний лаванды

Таблица 21

Биометрические показатели и продуктивность лаванды сорта Вдала

Вариант опыта	Длина см		Количество, шт.		Урожай, ц/га	МДЭМ, %		Сбор эфирного масла, г
	цветоноса	соцветия	мутовок	цветков в мутовке		сырая масса	абсолютно сухая масса	
Контроль	12,9±0,3	9,4±0,3	5,7±0,1	8,6±0,2	850,0±14,4	1,617±0,017	4,414±0,046	13,73±0,13
Воздух + вода	12,7±0,1	9,3±0,1	6,0±0,1	9,8±0,4	983,3±58,3	1,500±0	4,095±0	14,75±0,88
Гидрогель	13,0±0,6	9,2±0,6	6,0±0,1	10,1±0,3	883,0±36,3	1,600±0,050	4,368±0,137	14,16±0,95
Среднее значение	12,8±0,2	9,3±0,2	5,9±0,1	9,6±0,3	905,6±28,5	1,572±0,024	4,292±0,065	14,22±0,41

Таблица 22

Компонентный состав эфирного масла лаванды узколистной сорта Вдала

Вариант опыта	Основные компоненты, %		
	линалоол	линалилацетат	гераниол
Контроль	54,718±0,369	21,962±0,761	0,566±0,019
Воздух+вода	55,018±0,282	22,477±0,303	0,576±0,029
Гель	54,317±0,884	22,832±0,272	0,590±0,039
Среднее	54,683±0,305	22,424±0,279	0,577±0,015

Установлена значительная изменчивость по урожайности соцветий лаванды узколистной сорта Синева первого года вегетации, где урожайность и, соответственно, сбор эфирного масла были выше в варианте внесением посредством пневмогидробура при посадке 2 л гидрогеля. График изменения урожайности и количества лавандового масла в граммах в результате изменения условий посадки саженцев представлен на рис. 69.

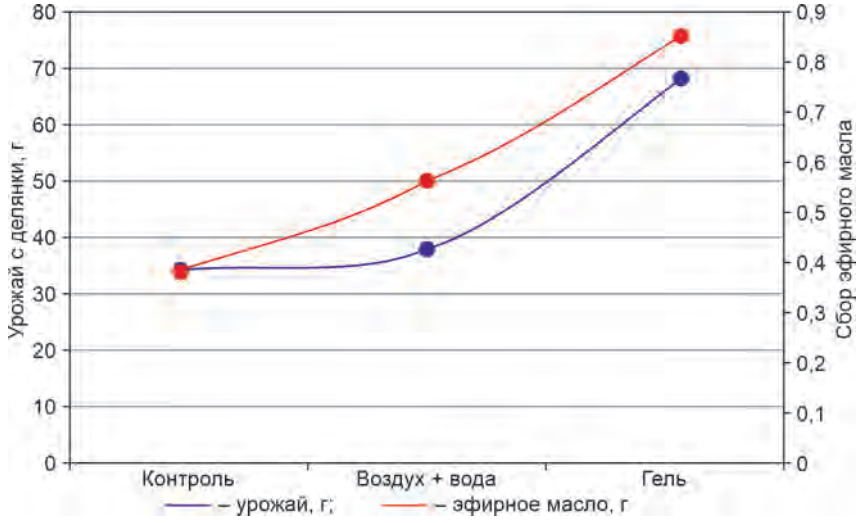


Рис. 69. Изменения показателей продуктивности лаванды сорта Синева

Отсутствие значимых различий по фенологическим и биометрическим показателям, а также продуктивности и качеству эфирного масла при возделывании посадок лаванды (третьего года жизни) и розы (девятого года жизни) объясняется тем, что экстремальные погодные условия (обильные дожди) нивелировали влияние внутрипочвенного орошения на рост растений и не благоприятствовали формированию урожая соцветий лаванды и розы.

В то же время, полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности инновационной технологии посадки многолетних растений с внесением с помощью пнемогидробура гидрогеля в область корневой системы саженцев. Это происходит, и по причине того, что работа пнемогидробура положительно влияет на развитие растения изначально, проектируя «архитектуру» его корневой системы.

7. НАПРАВЛЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИДРО- И ПНЕВМОГИДРОБУРОВ

Составной пневмогидробур. В ряде случаев плотность почвы, ее состав и структура таковы, что приходится прилагать большие усилия для того, чтобы ввести бур в землю. В этой связи был изготовлен бур с диаметром ствола 16 мм, что значительно облегчило работы на плотных почвах. С учетом этого было предложено изготовить сменные стволы разного диаметра.

Конструкция составного бура представлена на рис. 70 и включает в себя стандартный базовый элемент пневмогидробура с укороченным стволом *1*. В конце ствола нарезана резьба для крепления требуемых насадок. Сменные стволы *2* могут иметь различный диаметр и разную длину в зависимости от вида выполняемых работ. Сменные наконечники *3* имеют разное число отверстий различного диаметра и разный угол заточки.

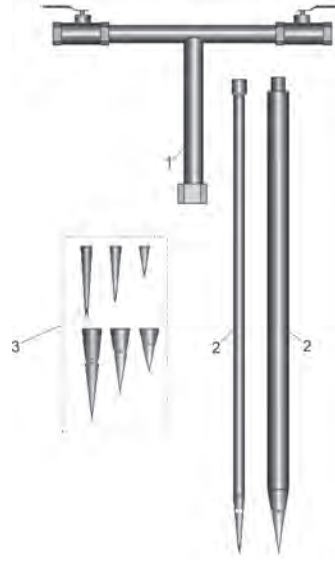


Рис. 70. Составной пневмогидробур

Функциональные возможности базового элемента можно расширить, добавив линию для подачи раствора (рис. 71).

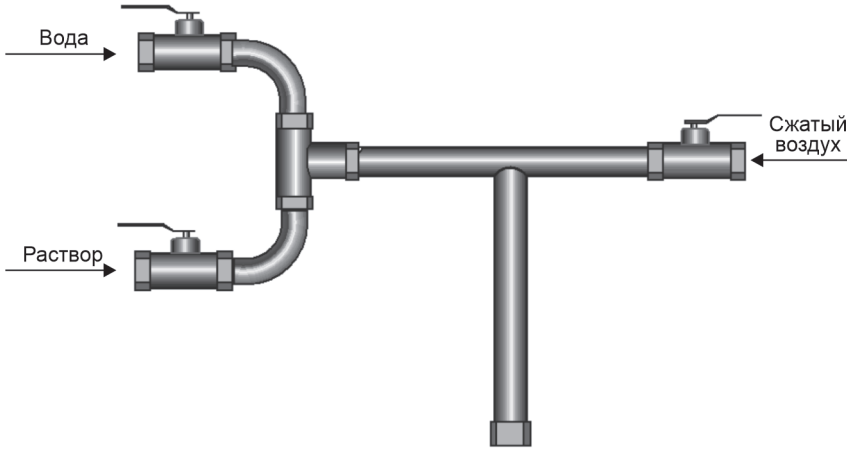


Рис. 71. Базовый элемент с расширенными возможностями

Подача воды, раствора (удобрений и средств защиты растений) и сжатого воздуха может воспроизводиться как раздельно, так и одновременно. Предлагаемый режим работы пневмогидробура: заглубление бура в почву производится путем подачи воды под давлением. После её отключения подается требуемое количество раствора. После прекращения подачи раствора включается компрессор и сжатый воздух распределяет раствор по всей корневой зоне.

Одним из наиболее опасных вредителей винограда является филлоксера. Это насекомое, поражающее корневую систему кустов. Заболевшие растения, как правило, погибают. Ранее, чтобы избавиться от этой болезни, приходилось зараженные филлоксерой виноградники выкорчевывать и спиливать, а участок не засаживать виноградом несколько лет. Пневмогидробур дает возможность проводить борьбу с этим вредителем. Ядохимикаты вносятся в почву поярусно на разную глубину. Филлоксера от них погибает, а растения полностью выздоравливают и начинают снова плодоносить.

Посадочные гидро- и пневмогидробуры для бурения лунок большого диаметра. В ряде случаев при проведении посадочных работ требуется пробурить лунку большого диаметра. Это можно сделать с применением пневмогидробура, эскиз которого приведен на рис. 72.

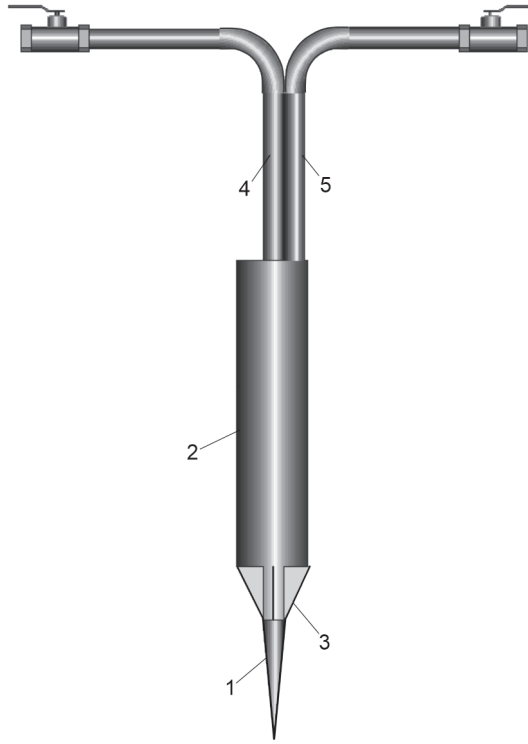


Рис. 72. Пневмогидробур для бурения лунок большого диаметра

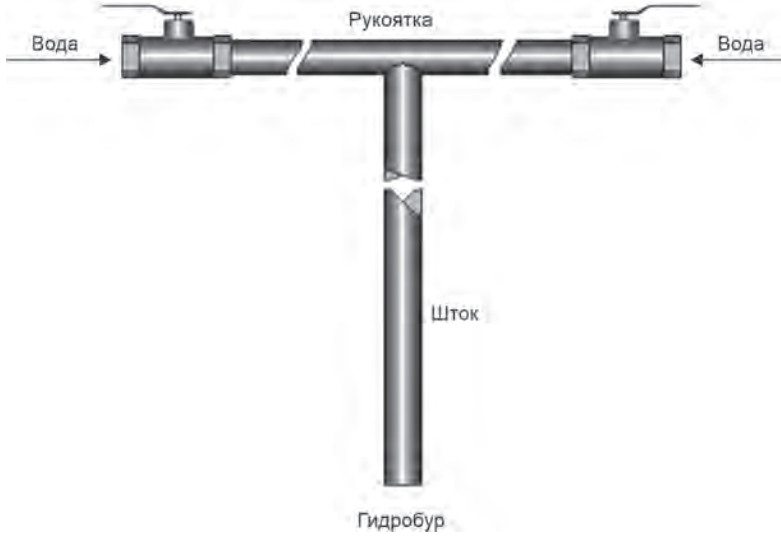
Ствол малого диаметра *1* проходит внутри ствола большого диаметра *2*. Процесс заглубления начинают с помощью ствола *1* и после полного заглубления его наконечника начинает работать ствол *2*, который расширяет отверстие лунки, образовавшееся при работе ствола *1*. В дальнейшем оба ствола работают вместе. Ножи *3* подрезают

почву и корни, если они встречаются на пути бура. Вода (или сжатый воздух) подается в буры через краны на рукоятках *4* и *5*.

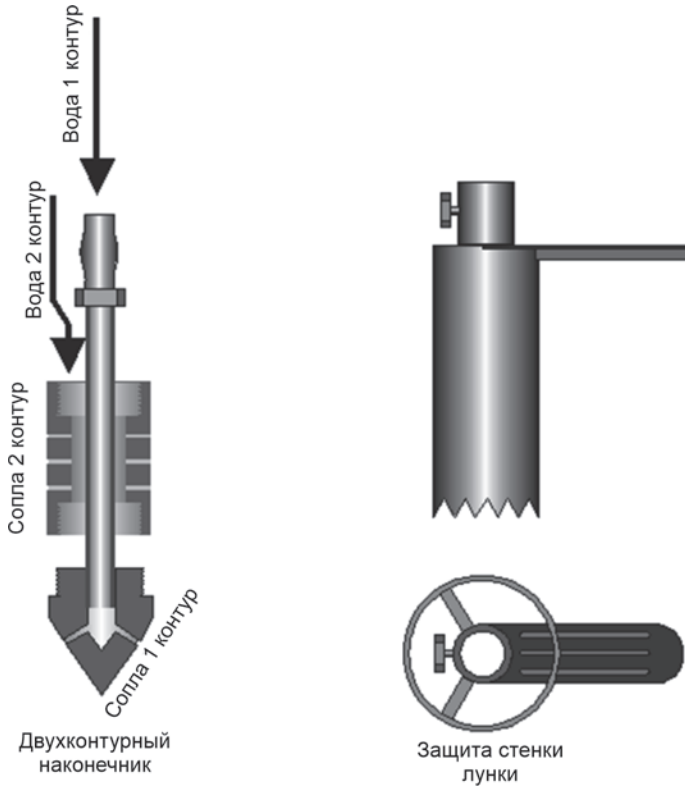
Установлено, что стоимость посадки виноградников с помощью гидробура в 4 раза дешевле, а посаженные таким образом растения приживаются лучше.

Конструкция гидробура (рис. 73), предназначенного для посадки виноградников, была усовершенствована авторами применительно к данным видам работ:

- введен конструкционный элемент, удерживающий стенки лунки от размывания и отвала комков грунта, уплотняющий стенки и обеспечивающий цилиндрическую форму лунки;
- подача жидкости осуществляется по двум контурам на разной высоте и под разным углом, что позволяет вымывать лунку бутылеобразной формы;
- обеспечена возможность введения в сферическую часть лунки препаратов, стимулирующих развитие корневой системы растения;
- получаемая при бурении специальная форма лунки позволяет устранить такой недостаток гидромеханического способа посадки, как необходимость короткой подрезки корней.



а



б *в*

Рис. 73. Конструкция посадочного гидробура:
а – гидробур; б – двухконтурный наконечник;
в – конструкционный элемент для защиты стенок лунки

Многоствольный пневмогидробур. Создать лунку большого диаметра можно с помощью многоствольного (четырехствольного) бура (рис. 74а).

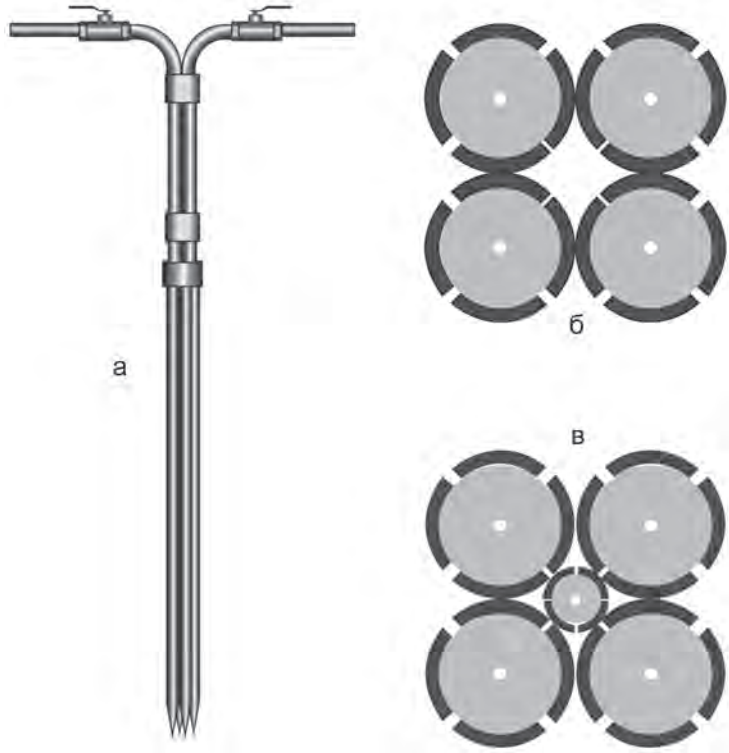


Рис. 74. Многоствольный пневмогидробур:
а – общий вид; б, в – схемы расположения стволов

Схема расположения стволов с несимметрично выполненными отверстиями приведена на рис. 74б. Причем отверстия различаются и по диаметру. Это необходимо для того, чтобы вода подавалась равномерно по всему периметру пневмогидробура. Подача воды, раствора или воздуха осуществляется независимо по двум направлениям.

Заслуживает внимания вариант конструкции с независимым стволом малого диаметра для подачи сжатого воздуха (рис. 74в).

Управляемый пневмогидробур. Работа с пневмогидробурами, рассчитанными на бурение посадочных лунок большого диаметра, может потребовать значительных физических усилий, в связи с чем предлагается использование пневмоцилиндров, которые при сравнительно небольшом давлении воздуха (5-8 бар) позволяют развить усилие до 100 кг.

Схематически управляемый пневмогидробур представлен на рис. 75.

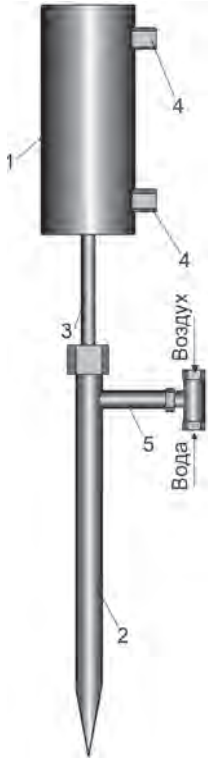


Рис. 75. Управляемый пневмогидробур

Принцип работы управляемого пневмогидробура достаточно прост. Ствол бура *2* жестко связан со штоком пневмоцилиндра *3*. Управление пневмоцилиндра *1* осуществляется через штуцеры *4*, посредством которых регулируется скорость выдвижения штока. Развиваемое усилие определяется давлением воздуха в системе.

Бур для внесения жидких органических удобрений. По мнению специалистов, внесение органических удобрений непосредственно в область корневой системы многолетних насаждений обеспечит максимальную эффективность. Для этих целей рекомендуется использовать пневмогидробур. Однако с учетом того, что жидкие удобрения могут содержать достаточно крупные частицы органики, подавать их через отверстия небольшого диаметра в наконечнике бура не представляется возможным.

На рис. 76 представлена конструкция бура, способного вносить в корневую область растений жидкие органические удобрения. Вода и удобрения подаются раздельно: вода – под давлением выполняет основную задачу – вводит бур в почву. После того, как бур проникнет в почву на требуемую глубину, подача воды прекращается и включается подача органических удобрений. Удобрения подаются по трубе достаточного диаметра. Открывается заслонка, и удобрения попадают в почву, распространяясь по каналам, образованным под действием воды.

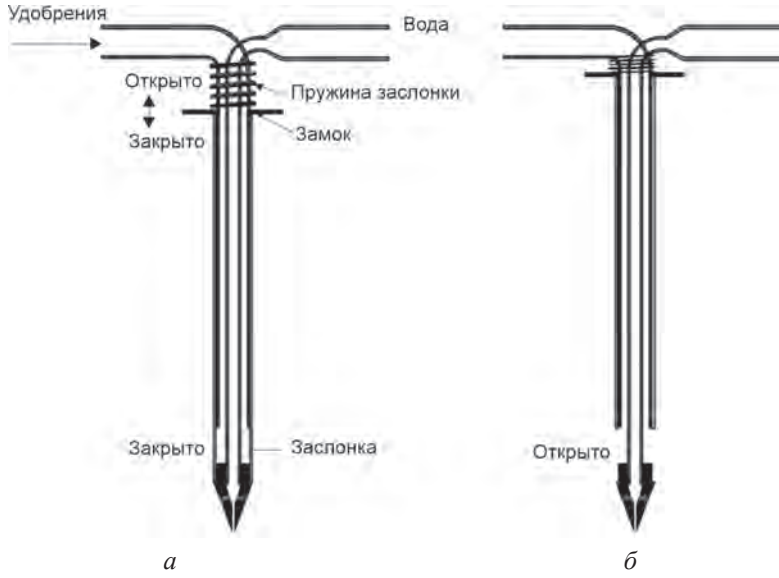


Рис. 76. Бур для внесения жидких органических удобрений: а – закрытая заслонка; б – открытая

Пневмогидробур для внутрипочвенного внесения препаратов в виде тонкодисперсного твердого или жидкого аэрозоля. Процессы внесения удобрений и глубинной подкормки растений можно осуществлять путем введения в воздушный поток соответствующих препаратов в виде тонкодисперсного твердого или жидкого аэрозоля.

Для получения воздушно-аэрозольной смеси разработана смесительная камера. Эскиз камеры смешения представлен на рис. 77.

Рис. 77. Эскиз камеры смешения

Сжатый воздух поступает в камеру смешения. Одновременно с ним подается жидкокапельный или тонкодисперсный порошкообразный аэрозоль. Насыщенная аэрозолем воздушно-капельная (или порошковая) смесь через наконечник пневмобура выбрасывается в почву, заполняя требуемый объем, величина которого зависит от давления воздуха и длительности подачи смеси. Повышать давление воздуха более 2-2,5 бар не следует, так как это может привести к разрушению структуры почвы. Та же проблема имеет место при подаче воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из основных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства является орошаемое земледелие. В районах с недостаточным и неустойчивым увлажнением орошение – единственная возможность получать высокие гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур.

Если недавно основной целью орошения было повышение влажности почвы до уровня, благоприятного для роста и развития растений, то в последние годы его начинают рассматривать как прием более широкого и глубокого воздействия на условия произрастания растений. Так, орошение приводит к изменению направленности биохимических процессов, например синтез веществ превалирует над гидролизом. С учетом этого главные требования, предъявляемые к способам орошения и технике полива, должны включать в себя эффективное и экономичное использование воды для полива, обеспечение водно-воздушного режима почв, сохранение и повышение её плодородия, улучшение структуры.

Для полива садов и других многолетних насаждений в настоящее время используются поверхностный полив, дождевание, капельное и внутрипочвенное орошение, эффективность которых зависит от конкретных условий их применения. Каждый из этих способов имеет как достоинства, так и недостатки.

К достоинствам систем поверхностного орошения относятся простота и надежность в эксплуатации; отсутствие потребности в специальных машинах, дефицитных материалах, дополнительной энергии; возможность проводить поливы при большой силе ветра; хорошее промачивание почвогрунта при влагозарядке; сравнительно малые затраты на строительство.

Недостатки поверхностного самотечного способа полива: применение тяжелого ручного труда; большой объем планировочных работ при сложном микрорельефе; разрушение структуры почвы и потребность в дополнительном рыхлении междурядий; ухудшение воздушного режима почвы; неравномерность увлажнения почвы по длине поливных борозд и полос, что иногда приводит к

подъему уровня грунтовых вод и засолению или заболачиванию орошаемых участков; низкий коэффициент использования земли вследствие прокладки открытых распределительных и поливных сетей; ухудшение условий механизации сельскохозяйственных процессов.

Дождевание по сравнению с другими способами полива обладает следующими основными преимуществами: высокий уровень механизации, частичная или полная автоматизация процесса полива; сведение к минимуму затрат ручного труда; возможность применения на площадях, имеющих как прямые, так и обратные уклоны или безуклонную поверхность; меньшие по сравнению с поверхностным способом орошения объемы планировочных работ; возможность маневрирования поливными нормами в широком диапазоне (от 50 до 900 $м^3$/га), структура почвы при соответствующем качестве дождя не нарушается; более точное регулирование поливной нормы в соответствии с периодами развития растений и мелиоративным состоянием земель; увлажнение не только почвы, но и растений и приземного слоя воздуха, что благоприятно сказывается на физиологических процессах в растениях; отсутствие необходимости в значительных объемах планировочных работ; возможность внесения вместе с поливной водой удобрений и ядохимикатов; высокий уровень автоматизации процесса полива и коэффициентов земельного использования площади и полезного действия оросительной сети.

Основные недостатки дождевания: потребность в большом количестве механической энергии для создания требуемого напора, высокая энергоемкость, большая металлоемкость дождевальной техники и ее несовершенство, зависимость качества полива от силы ветра.

В системах дождевания новыми и более эффективными направлениями являются мелкодисперсное и синхронно-импульсное дождевание. Суть мелкодисперсного дождевания следущая: особыми установками создаются мельчайшие капли воды, увлажняющие приземный слой воздуха, растений и отчасти почву. Положительно влияет создание искусственного тумана.

Синхронно-импульсное дождевание – накопление в гидропневмоаккумуляторах воды и выбросе ее в виде дождя под действием сжатого в камере воздуха. При этом растения снабжаются водой син-

хронно в ходе их водопотребления в течение всего вегетационного периода.

Синхронно-импульсное дождевание имеет ряд преимуществ, обеспечивающих значительный агрофизиологический и организационно-хозяйственный эффект, заключающийся в обеспечении длительного направленного воздействия искусственного дождя на условия роста и развития растения и внешнюю среду; создание почти полностью контролируемых условий роста растений, исключающих отрицательное воздействие погодных факторов на их рост и развитие; поддержание влажности активного слоя почвы и приземного воздуха на оптимальном уровне без резких колебаний, свойственных обычным периодическим поливам; снижение капитальных затрат на строительство сети; исключение водооборота, что упрощает водопользование на системе, снижает затраты труда.

Применяемое в садоводстве так называемое подкроновое орошение имеет ряд технологических преимуществ. С помощью системы подкронового орошения и агротехнического потенциала, который данная система привносит в практику, возможно не только поддержание влажности почвы на оптимальном уровне, но и искусственное его понижение в определенные фенофазы развития растений. Понижение влажности почвы в саду во время цветения способствует увеличению доли продуктивной завязи. Более напряженный водный режим во время дифференциации плодовых почек, по мнению ряда исследователей, также способствует увеличению количества генеративных почек.

Одним из наиболее рациональных вариантов при переходе на интенсивные технологии возделывания садов является капельное орошение. Так, по данным обследований систем капельного орошения (СКО), действующих в США, Израиле, Австралии и других государствах, снижение затрат воды составляет от 30 до 50%. К достоинствам капельного орошения относятся следующие: заметная экономия ресурсов – воды, трудозатрат, времени; правильно отстроенная система функционирует, не размывая почву; влага распределяется равномерно; систему капельного орошения можно использовать не только для доставки растениям воды, но и жидких удобрений, которые также будут проникать сразу к корням; приме-

нение такого способа полива возможно вне зависимости от рельефа местности; при наличии дополнительного оборудования весь процесс можно автоматизировать, что дает возможность отлучиться на несколько дней, не боясь, что растения останутся без питания; практически каждый комплект оборудования предусматривает наличие фильтра, через который проходит вода, прежде чем попасть в почву, т.е. растения получают исключительно чистую воду, без тяжелых примесей.

Недостатки капельного орошения: высокая стоимость оборудования для организации орошения почвы таким способом; для нормального функционирования системы необходимо следить за ее чистотой, регулярно прочищать трубы и капельницы; несвоевременное устранение засоров может повлечь за собой ухудшение качества полива, снижение урожайности, порчу установки; благодаря регулярному и обильному орошению, корни растений могут стремительно разрастаться и хорошо прорасти даже в трубы; на зимний период установку необходимо демонтировать.

Подпочвенное орошение как один из перспективных способов полива привлекает все большее внимание исследователей. При этом в последнее время находит применение мелкоструйчатое внутрипочвенное орошение – способ орошения, при котором поливная вода поступает в корнеобитаемый слой почвы из системы орошения к подпочвенным увлажнителям через водовыпуски. При этом обеспечивается равномерность полива, поддерживается влажность корнеобитаемого слоя почвы, сохраняется структура почвы, предотвращается появление на ней корки, снижается расход поливной воды и уменьшаются ее потери на испарение с поверхности почвы, создаются условия для автоматизации всего технологического процесса орошения. Однако эти современные системы орошения многолетних насаждений являются стационарными, затратными и не всегда в полной мере решают основную задачу подпочвенного полива – точную и строго дозированную подачу воды или питательного раствора к корневой системе растений.

Поэтому назрела необходимость разработки и других эффективных технологий и технических средств для подпочвенного орошения многолетних насаждений.

Интенсификация хозяйственной деятельности, увеличение антропогенной нагрузки на речные бассейны и растущий дефицит воды во многих регионах России делают водные ресурсы важным, а иногда определяющим фактором хозяйственного развития. Поэтому особый интерес представляют атмосферная влага, ее запасы в атмосфере и возможность использования в хозяйственной деятельности.

Атмосферный воздух является гигантским резервуаром влаги и даже в засушливых районах содержит, как правило, более 6-10 г воды на 1 $м^3$. А в 1 $км^3$ приземного слоя атмосферы в жарких, засушливых и пустынных областях Земли содержится до 20000 т водяных паров.

Высвободить парообразную влагу, перевести ее в жидкое состояние возможно, если активировать конденсационные процессы. Чтобы запустить механизм процесса конденсации, необходимо снижение температуры влажного воздуха ниже точки росы. Содержание парообразной воды во влажной почве близко к точке насыщения воздуха парами. Поэтому изменения температуры внутрипочвенных горизонтов или приземного слоя воздуха легко вызывают переход парообразной воды в капельно-жидкое состояние (запускается процесс внутрипочвенной конденсации – образование жидкой фазы воды при охлаждении почвенного воздуха до точки росы).

Таким образом, использование в качестве теплообменника природного «холодильника» – почвенных горизонтов должно привести к стабильному процессу конденсации атмосферной парообразной влаги. Разница температур в приземном слое атмосферы и в почве запускает конденсационные процессы в зоне корневой системы. При этом в результате конденсации можно получить воду в количестве, достаточном для применения в сельскохозяйственных работах.

Величина сконденсировавшейся в почве воды, зависит от степени обмена газами между почвенным воздухом и атмосферой, осуществляемой через свободные от воды почвенные поры, иначе – от степени аэрации почвы.

Поэтому техника для внутрипочвенного орошения должна обеспечивать не только поступление поливной воды в корнеобитаемый

слой почвы, но и увеличение общего объема ее пор, что способствует усилению газообмена между почвенным воздухом и атмосферой и, соответственно, создает предпосылки для внутрипочвенной конденсации парообразной влаги атмосферного воздуха (появление своеобразного «подпочвенного дождя»).

Для реализации данной задачи был сконструирован так называемый гидробур, имеющий следующие основные преимущества: возможность поддержания влажности активного слоя почвы на уровне капиллярной влагоемкости; исключение разрушения структуры пахотного горизонта поливами, образования корки; испарение с поверхности почвы снижается, и запасы воды в почве сохраняются дольше, чем при поливе дождеванием. При подпочвенном орошении вода поступает непосредственно к корневой системе растений. Запасы влаги равномерно распределяются в нижних слоях почвы, защищенных от испарения, и долго сохраняются, в связи с чем снижается количество воды, подаваемой на орошение, повышается коэффициент ее полезного использования. Кроме того, подпочвенный полив улучшает структуру почвы, увеличивает эффект аэрации, что способствует лучшему питанию корневой системы и развитию растений.

При этом внутрипочвенное очаговое воздействие в район корневой системы не ограничивается только поливом. Учеными и практиками доказано, что удобрения под плодовые деревья лучше вносить не поверхностно, а в зону расположения основной массы корней на глубину 40-60 см. При этом уменьшается потеря влаги на испарение, растения быстрее и полнее используют удобрения, меньше повреждаются корни деревьев.

Однако, несмотря на очевидную эффективность использования данной технологии для внутрипочвенного орошения многолетних насаждений, этот метод в настоящее время получил распространение в основном в личных подсобных хозяйствах. Причем в качестве инструментария используются гидробуры «кустарного» производства примитивной конструкции без обоснования параметров и режимов их работы, что, в свою очередь, сказывается на эффективности работы таких гидробуров, а также на возможности их применения при промышленном выращивания многолетних насаждений.

С учетом накопленного опыта авторами работы предложена технология подпочвенного локального малообъемного полива многолетних насаждений, для реализации которой были разработаны специальные технические средства – гидробур и пневмогидробур.

Подпочвенное внесение поливочной воды и сжатого воздуха непосредственно в корневую систему растения – новый, перспективный способ активного воздействия на подпочвенные горизонты в области корневой системы растений, обеспечивающий высокую эффективность подпочвенного орошения, обогащение кислородом и улучшение климата почвы. Его цель состоит в обеспечении максимальной влажности в почве и оптимальной концентрации воздуха, чтобы позволить растению пополнять свои потребности в воде и кислороде и поставлять минералы и другие органические соединения в надземную часть растения. При этом в почве создаются многочисленные каналы различных сечений и улучшается ее структурность. Эти каналы создают условия для движения в почве потоков воздуха и особенно паров воды, что вызывает появление своеобразного «подпочвенного дождя». Объем конденсированной воды зависит от разности упругости паров наружного воздуха и паров у конденсирующей поверхности.

С практической точки зрения наиболее перспективным представляется комбинированный способ внутрипочвенного полива, когда при введении в почву сжатого воздуха добавляют небольшое количество воды. Причем эту воду можно подавать пульверизационным способом – прямо в воздушный поток на выходе из сопла. Количество подаваемой воды регулируется в зависимости от внешних условий, чтобы обеспечить полное увлажнение поверхности каналов. Однако следует учитывать, что давление воздуха, как и давление воды при внутрипочвенном внесении не должны превышать 1,5-2 атм. В противном случае в области полива может быть серьезно нарушена структура почвы, а это приведет к отрицательному эффекту.

Для определения расходных характеристик гидро- и пневмогидробуров проводились специальные экспериментальные исследования, в результате которых получены формулы, которые в дальнейшем использовались для подбора оптимальных режимов расхода

воды и воздуха гидро- и пневмогидробурами при проведении дальнейших исследований по отработке технологических приемов подпочвенного полива многолетних насаждений.

В результате исследований применения универсальных пневмогидробуров при выращивании подвоев яблони установлено, что через шесть месяцев после посадки саженцев суммарный прирост побегов на одном растении по исследуемой технологии превышал контроль на 7,4-7,6 см, средняя высота растения – 0,9-1,4 см, средняя длина побега растения – 0,5-6,0 см.

При хозяйственных исследованиях применения универсальных пневмогидробуров в виноградниках установлено, что наиболее эффективным режимом «включения» внутрипочвенной конденсации является введение в почву смеси воздуха и воды. Так, анализ полученных в ходе исследований данных показал, что через двое суток после введения в почву смеси воздуха и воды влажность почвы на глубине 0,2 м увеличилась на 13,1%; 0,4 м – на 16,6; 0,6 м – на 17,3%. Очевидно, что первоначальное введение в подпочвенные горизонты струи сжатого воздуха обеспечило улучшение структуры почвы, расширение каналов, увеличение коэффициента аэрации. Дальнейшее введение воды привело к увлажнению стенок каналов и пор, понижению температуры, а следовательно, включению эффекта конденсации и при общем увеличении объема циркуляции воздуха – к увеличению влагосодержания почвы за счет конденсации.

Для реализации потенциальных возможностей растений яблони необходимо постоянное поддержание динамического равновесия между ростом и плодоношением путем сохранения высокой активности корневой системы растения. Поэтому актуальным является внедрение в практику технологии подпочвенного воздействия на корневую систему растений яблони, что обеспечивает минеральным питанием прикорневую зону с применением гидрогелей.

Внесение гидрогеля в почву защищает растения от пересыхания или, наоборот, застоя воды, значительно улучшает состав почвы. Постоянный источник воды и питательных элементов препятствует коркообразованию и появлению микротрещин, повреждающих корневые волоски. Разбухание – сжатие гранул улучшает структуру почвы, оптимизирует условия аэрации и впитывания влаги, снижа-

ет переувлажнение в корневой зоне. С помощью гидрогеля можно сбалансировать доступ не только к влаге, но и к питанию растений удобрениями и другими питательными веществами.

Анализ результатов исследований технологии подпочвенного минерального питания растений яблони с использованием гидро- и порошкового гелей показал, что наиболее эффективным является применение гидрогеля. Так, по сравнению с контролем влажность почвы за период наблюдений увеличилась более чем на 4%. Результаты измерения биометрических данных растений яблони также подтвердили наибольшую эффективность при применении гидрогеля – приросты центрального и боковых побегов соответственно на 6,6 см и 8,0 см больше, чем на контроле.

В результате изучения приемов подпочвенного орошения и внесения гидрогеля в зону расположения корневой системы с помощью пневмогидробура на многолетних эфиромасличных культурах (роза эфиромасличная девятилетнего возраста и лаванда узколистная трехлетнего возраста) установлено, что биометрические показатели и показатели продуктивности данных культур, а также качества масла не имели значимых различий по сравнению с контрольным вариантом опыта. Это обстоятельство объясняется тем, что экстремальные погодные условия (обильные дожди) не благоприятствовали формированию урожая соцветий лаванды и розы.

В то же время показатели продуктивности по урожайности и сбору эфирного масла лаванды узколистной сорта Синева первого года вегетации в вариантах опыта, где при посадке с помощью пневмогидробура в зону корневой системы вносились поливная вода в смеси с воздухом в количестве 2 л на одно растение и 2 л гидрогеля под давлением 2 бар, значительно превышают контроль. В варианте с внесением «воздух+вода» превышение над контролем по урожайности составило 14,8%, по сбору эфирного масла – на 68,5%. В варианте опыта с внесением гидрогеля превышение над контролем по урожайности составило 106,8 %, по сбору эфирного масла – 154,9%.

Таким образом, достоверно установлена высокая эффективность технологии посадки эфиромасличных культур с использованием пневмогидробура и гидрогеля.

Разработаны предложения по дальнейшему расширению функциональных возможностей универсальных пневмогидробуров. Так, при работе с плотными почвами предлагается использовать составной пневмогидробур, для чего изготовлены сменные стволы разного диаметра. Функциональные возможности базового элемента можно расширить, добавив линию для подачи раствора. При этом подача воды, раствора (удобрений и средств защиты растений) и сжатого воздуха может производиться как раздельно, так и одновременно. Пневмогидробур дает возможность проводить борьбу с вредителями (например, филлоксерой). Ядохимикаты вносятся в почву поярусно на разную глубину. Филлоксера от их воздействия погибает, а растения полностью выздоравливают и начинают вновь плодоносить.

Разработаны конструктивные схемы посадочного пневмогидробура для бурения лунок большого диаметра. Установлено, что стоимость посадки виноградников с помощью гидробура обходится в 4 раза дешевле, а посаженные таким образом растения приживаются лучше. Конструкция гидробура, предназначенного для посадки виноградников, была усовершенствована применительно к этим видам работ: введен конструкционный элемент, удерживающий от размывания и отвала комков грунта стенки лунки, уплотняющий стенки и обеспечивающий цилиндрическую форму лунки; подача жидкости осуществляется по двум контурам на разной высоте и под разным углом, что позволяет вымывать лунку бутылеобразной формы; обеспечена возможность введения в сферическую часть лунки соответствующих препаратов, стимулирующих развитие корневой системы растения; получаемая при бурении специальная форма лунки позволяет устранить такой недостаток гидромеханического способа посадки, как необходимость короткой подрезки корней.

Для подготовки посадочной лунки большого размера разработан многоствольный (четырехствольный) пневмогидробур. Обращает на себя внимание несимметричное расположение отверстий, которые также различаются по диаметру. Это необходимо для того, чтобы вода подавалась равномерно по всему периметру пневмогидробура. Подача воды, раствора или воздуха осуществляется независимо по двум направлениям. Заслуживает внимания вариант конструкции с независимым стволом малого диаметра для подачи сжатого воздуха.

При бурении посадочных лунок большого диаметра, где могут потребоваться большие физические усилия, рекомендуется применять управляемый пневмогидробур, в конструкции которого используется пневмоцилиндр, который при сравнительно небольшом давлении воздуха (5-8 бар) позволяет развивать усилие до 100 кг.

По мнению специалистов, внесение органических удобрений непосредственно в область корневой системы многолетних насаждений обеспечивает максимальную эффективность. С учетом этого разработана конструкция пневмогидробура для внесения жидких органических удобрений.

Внесение удобрений и глубинную подкормку растений можно производить путем введения в воздушный поток соответствующих препаратов в виде тонкодисперсного твердого или жидкого аэрозоля. Для получения воздушно-аэрозольной смеси предлагается использовать пневмогидробур со специальной смесительной камерой, куда поступает сжатый воздух, одновременно с ним в камеру подается жидкокапельный или тонкодисперсный порошкообразный аэрозоль. Насыщенная аэрозолем воздушно-капельная (или порошковая) смесь через наконечник пневмобура выбрасывается в почву, заполняя требуемый объем, величина которого зависит от давления воздуха и длительности подачи смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научное обеспечение водохозяйственного комплекса Крыма [Электронный ресурс]. – URL: http://agrocart.com/1850/nauchnoe-obespechenie-vodoxozyajstvennogo-kompleksa-kryma (дата обращения: 05.04.2022).

2. Основные преимущества и недостатки существующих способов автоматического полива [Электронный ресурс]. – URL: https://умныйполив.рфstati/dlja-chego-avtopoliv/osnovnye-preimuschestva-i-nedostatki-suschestvujuschih-sposobov-avtomaticheskogo-poliva.html (дата обращения: 12.04.2022).

3. Использование орошаемых земель в степных зонах. Подпочвенное орошение [Электронный ресурс]. – URL: http://www.comodity.ru/agriculturalplants/irrigatedlandssteppe/35.html (дата обращения: 12.04.2022).

4. **Мищенко Н.А.** Ирригационный комплект для подкронового орошения садов и питомников // Вестн. мелиоративной науки. – 2021. – Вып. 1. – С. 9-14.

5. Проведение исследований и разработка новой водосберегающей и экологически безопасной технологии и рекомендаций подкронового орошения садов, питомников, агроландшафтов специальным ирригационным оборудованием: науч.-техн. отчет / ФГНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2009.

6. **Ахмедов А.Д., Ветренко Е.А.** Оценка эффективности распространения влаги при локальном способе полива яблоневого сада // Строительство и природообустройство: проблемы и решения: матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Благовещенск: Дальневосточный гос. аграр. ун-т, 2019. – С. 106-108.

7. Сельскохозяйственные культуры: зерновые, овощные, технические культуры [Электронный ресурс]. – URL: https://strausenok.com/prorashhivanie/tehnicheskaya-kultura-vyrashhivaemaya-v-nechernozeme.html (дата обращения: 19.04.2022).

8. **Дубенок Н.Н., Майер А.В.** Система мелкоструйчатого внутрипочвенного орошения многолетних насаждений // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее проф. образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 157-164.

9. Поверхностное орошение [Электронный ресурс]. – URL: https://selskoe_hozyaistvo.academic.ru/2225/ (дата обращения: 19.04.2022).

10. Сельское хозяйство. Поверхностное орошение [Электронный ресурс]. – URL: https://selskoe_hozyaistvo.academic.ru/2225/поверхностное_орошение (дата обращения: 16.06.2022).

11. **Станков Н.В.** Корневая система полевых культур. – М.: Колос, 1964. – 280 с.

12. **Щедрин В.Н.** Стратегия использования орошаемых земель в современных условиях // Мелиорация и водное хоз-во. – 2003. – № 3. – С. 45-51.

13. Сравнительная оценка методов расчета испарения при орошении / А.С. Волков [и др.] // Мелиорация и водное хоз-во. – 1999. – № 4.

14. Способ полива дождеванием [Электронный ресурс]. – URL: http://k-a-t.ru/sxt/12-poliv_dogd/index.shtml?ysclid=l8r5et3q2g348272609 (дата обращения: 13.05.2022).

15. Системы автоматического полива [Электронный ресурс]. – URL: https://greendeco.ru/spravochniie-razdel/stroitelstvo/sistemi-avtomaticheskogo-poliva/?ysclid=l957isw480331107577 (дата обращения: 12.05.2022).

16. **Дубенок Н.Н., Майер А.В.** Разработка системы комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1 (49). – С. 9-19.

17. Преимущества и недостатки дождевания [Электронный ресурс]. – URL: https://studwood.net/522671/agropromyshlennost/preimuschestva_nedostatki_dozhdevaniya?ysclid=l9587fnaad44413061 (дата обращения: 12.05.2022).

18. **Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Фиапшев А.Г.** Технологии и техника синхронного импульсного дождевания // Символ науки: междунар. науч. журнал. – 2016. – № 4. – Ч. 3. – С. 41-43.

19. Импульсное орошение [Электронный ресурс]. – URL: https://vuzlit.com/542637/impulsnoe_dozhdevanie (дата обращения: 16.09.2022).

20. **Турапин С.С.** Рациональные технологии полива и технико-эксплуатационные параметры мобильных ирригационных комплектов с быстроразборными трубопроводами: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02. – Новочеркасск, 2007. – 171 с.

21. **Чичасов В.Я., Изюмов В.В., Носенко В.Ф., Штоколов Д.А.** Техника полива сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1970. – 288 с.

22. Способы орошения и техника полива культур [Электронный ресурс]. – URL: https://studme.org/259815/agropromyshlennost/sposoby_orosheniya_tehnika_poliva_kultur?ysclid=l8r7h9etw2664884739 (дата обращения: 14.07.2022).

23. **Штанько А.С., Шкура В.Н.** Поливные устройства капельного увлажнения почвы в междурядьях древесно-плодовых насаждений // Науч. журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 97-112. [Электронный ресурс]. – URL: http:www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=665 (дата обращения: 17.08.2022).

24. **Ясониди О.Е.** Капельное орошение. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

25. **Штанько А.С., Шкура В.Н.** Компоновочно-конструктивное решение оросительной сети модульного участка капельного орошения // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 2 (38). – С. 71-87. [Электронный ресурс]. – URL: http:www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=665 (дата обращения: 17.08.2022).

26. **Пат. 2713136 Российская Федерация, МПК[6] A 01 G 25/02, МПК[18] B 05 B 15/74, СПК A 01 G 01 25/02, B 05 B 15/74.** Устройство для капельного полива многолетних насаждений / Васильев С.М.,

Шкура В.Н., Штанько А.С.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2019116934; заявл. 31.05.19; опубл. 03.02.20, Бюл. № 4. – 11 с.

27. **Штанько А.С.** Поливные устройства для капельного орошения плодоносящих яблонь, культивируемых на черноземах Ростовской области / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 3 (35). – С. 50-67. – URL: http:www.rosniipm- sm.ru/archive?n=614&id=618. – (дата обращения: 14.04.2022).

28. Капельный полив: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. – URL: https://o-vode.net/rashod/poliv/kapelnyj/plyusy-i-minusy (дата обращения: 16.08.2022).

29. **Жирма В.В., Сивоконь А.Н.** Водные ресурсы в хозяйстве Краснодарского края [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vodnye-resursy-v-hozyaystve-krasnodarskogo-kraya/viewer (дата обращения: 16.08.2022).

30. Вода – стратегический ресурс XXI века [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/wall-79562295_1768?ysclid=l95hxi2ebq17421952 (дата обращения: 13.07.2022).

31. Климатология и метеорология: учеб. пособ. по курсу «Науки о Земле» для студентов, обучающихся по специальности 28020265 Инженерная защита окружающей среды; сост. В.А. Михеев. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 114 с.

32. **Аристов Э.Г., Селиванов В.Г., Краховецкий Н.Н.** К вопросу о возможности использования атмосферной влаги в хозяйственной деятельности // Тр. Крымской акад. наук. – Симферополь: Ариал, 2020. – С. 17-28.

33. Справочник химика / Под ред. Б.П. Никольского. – Т. 1: Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника. – М.-Л.: Химия, 1965. – 1008 с.

34. Справочник химика / Под ред. Б.П. Никольского. – Т. 3: Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы. – М.-Л.: Химия, 1965. – 1008 с.

35. **Лебедев А.Ф.** Почвенные и грунтовые воды. – М.-Л: Сельхозгиз,1930. – 278 с.

36. **Холин Н., Шендриков Г.** Воду можно добывать из воздуха // Техн. молодежи. – 1958. – № 7. – С. 10-11.

37. **Шульгин А.М.** Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 299 с.

38. Аэрация и воздушные свойства почв [Электронный ресурс]. – URL: https://studopedia.ru/2_22166_aeratsiya-i-vozdushnie-svoystva-pochv.html?ysclid=l95q20vsid692797209 (дата обращения: 10.08.2022).

39. **Голицын А.Н.** Инженерная геоэкология: учеб. для студентов учрежд. ср. проф. образования. – М.: Оникс, 2007. – 363 с.

40. Гидробур – полив растений и деревьев в сильную жару [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/media/id/5dae03b41e8e3f00b0deadc5/gidroburpoliv-rastenii-i-derevev-v-silnuiu-jaru-5db8271f3f548700ac216021 (дата обращения: 10.08.2022).

41. **Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н.** Исследование инновационной технологии подпочвенного орошения при возделывании плодово-ягодных культур и виноградников // Техника и оборуд. для села. – 2019. – № 12. – С. 17-22.

42. **Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н., Селиванов В.Г.** Исследование и разработка технологии и технических средств для реализации инновационного метода ультрамалообъемного полива виноградников и плодово-ягодных культур // XXVI Мичуринские чтения «Развитие научного наследия И.В. Мичурина в решении проблем современного садоводства»: матер. Всерос. науч. конф. с международным участием, посвященной 165-летию со дня рождения И.В. Мичурина. – СПб, 2021. – С. 29-35.

43. Расход сжатого воздуха при выдувании его через форсунки в атмосферу / ООО «Юг-привод» [Электронный ресурс]. – URL: yug-privod.ru (дата обращения: 25.09.2022).

44. Технологии и технические средства по выращиванию посадочного материала и закладка интенсивных насаждений плодо-

вых, ягодных культур и винограда / В.Ф. Воробьев, С.Е. Головин, В.В. Хроменко, Селиванов В.Г. и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 172 с.

45. **Коновалов С.Н.** Влияние удобрения на минеральное питание, рост, развитие и плодоношение яблони колоновидной // Плодоводство и виноградарство юга России: тематич. сетевой электрон. науч. журн. СКФНЦСВВ. – № 11 (5). – Дата публикации 15.09.2011. Шифр Информ- регистра: 0421100126/0069. – 13 с.

46. **Коновалов С.Н., Бобкова В.В.** Проблемы экологической безопасности технологий промышленного садоводства // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия культурных растений: матер. Междунар. науч.-метод. конф. (9-14 июня 2014 г., г. Махачкала, Республика Дагестан). – Махачкала: ДагНИИСХ, 2014. – Т. 1. – С. 66-99.

47. **Коновалов С.Н., Дебелова Д.Д.** Методы разработки адаптивных систем удобрения в интенсивных технологиях выращивания плодовых и ягодных насаждений // Плодоводство и ягодоводство России: сб. трудов Междунар. науч.-метод. конф. «Мониторинг и методика исследований в садоводстве в нестабильных экологических условиях» (24-25 ноября 2005 г., ВСТИСП). – Т. 14. – М., 2005. – С. 158-163.

48. **Коновалов С.Н., Петрова В.И.** Технологический регламент по использованию биопрепаратов на землянике, крыжовнике и смородине красной, обеспечивающий получение экологически безопасной продукции; под ред. И.М. Куликова. – М.: ВСТИСП, 2010. – 54 с.

49. **Кудрявец Р.П.** Энциклопедический словарь: справ. садовода. – М.: ГНУ ВСТИСП, 2007. – 605 с.

50. **Куликов И.М., Воробьев В.Ф., Хроменко В.В., Селиванов В.Г.** и др. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 120 с.

51. **Ковда В.А.** Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973. – 447 с.

52. **Куликов И.М., Воробьев В.Ф., Хроменко В.В., Селиванов В.Г.** и др. Перспективная ресурсосберегающая технология для садов интенсивного типа: метод. реком. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2008. – 72 с.

53. **Куликов И.М., Упадышев М.Т., Метлицкая К.В., Селиванов В.Г.** и др. Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: метод. реком. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 92 с.

54. Плодовые культуры: справ. – М.: ВО «Агропромиздат», 1991. – 384 с.

55. Промышленная технология возделывания интенсивных семечковых культур в Нечерноземной зоне: реком. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 64 с.

56. Типовые карты интенсивных технологий по производству посадочного материала плодовых и ягодных культур. – М.: ВСТИСП, 2001. – 152 с.

57. **Юдин Ф.А.** Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1980. – 305 с.

58. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 350 с.

59. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Мичуринск: ВНИИС им. И.С. Мичурина, 1973. – 491 с.

60. **Маслов Б.С.** и др. Справочник по мелиорации. – М.: Росагропромзидат, 1989. – 384 с.

61. **Кузнецова Е.И., Закабунина Е.Н., Снипич Ю.Ф.** Орошаемое земледелие: учеб. пособ. – М.: ФГБОУ ВПО РГАЗУ, 2012. – 117 с.

62. Основные преимущества и недостатки существующих способов автоматического полива [Электронный ресурс]. – URL: https://умныйполив.рфstati/dlja-chego-avtopoliv/osnovnye-preimuschestva-i-nedostatki-suschestvujuschih-sposobov-avtomaticheskogo-poliva.html (дата обращения: 10.08.2022).

63. Использование орошаемых земель в степных зонах. Подпочвенное орошение [Электронный ресурс]. – URL: http://www.comodity.ru/agriculturalplants/irrigatedlandssteppe/35.html (дата обращения: 10.08.2022).

64. **Штепа Б.Г.** Технический прогресс в мелиорации. – М.: Колос, 1983. – 237 с.

65. **Родг А.А.** Методы изучения водного режима почв. – М.: АН СССР, 1960. – 224 с.

66. Водный дефицит [Электронный ресурс]. – URL: https://biokem.ru/?p=327&ysclid=l972mckmki647775395 (дата обращения: 07.09.2022).

67. Гидрогель [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0% B4%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C (дата обращения: 08.09.2022).

68. Гидрогель для растений [Электронный ресурс]. – URL: https://dacha365.net/udobreniya/gidrogel-dlya-rastenij.html?ysclid=l6rqpew793555476175 (дата обращения: 08.09.2022).

69. Применение гидрогеля для растений [Электронный ресурс]. URL:https://sotkiradosti.ru/v-pomoshh-rasteniyam/primenenie-gidrogelya-dlya-rasteniy?ysclid=l973x828xg116125294 (дата обращения: 08.09.2022).

70. О гидрогеле [Электронный ресурс]. – URL:https://www.tdsinger.ru/thescience/ogidrogele/?ysclid=l973zj86pb291674986 (дата обращения: 08.09.2022).

71. Гидрогель для растений: свойства и способы применения [Электронный ресурс]. – URL: https://www.liveinternet.ru/users/4380194/post397103904 (дата обращения: 08.09.2022).

72. **Куликов И.М., Воробьев В.Ф., Хроменко В.В., Селиванов В.Г.** и др. Основные направления инновационного развития садоводства и питомниководства в России: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 132 с.

73. Селекция эфиромасличных культур: метод. ук. / под ред. А.И. Аринштейн / Науч.-произв. объединение по эфиромасличным

культурам и маслам. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т эфиромасличных культур. – Симферополь. 1977. – 151 с.

74. **Исиков В.П., Работягов В.Д., Хлыпенко Л.А., Логвиненко И.Е., Логвиненко Л.А., Кутько С.П., Бакова Н.Н., Марко Н.В.** Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений // Методологические и метод. аспекты. – Ялта: Никитский ботанический сад, 2009. – 110 с.

75. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел: сб. науч. трудов; сост. А.Н. Карпачева, К.Г. Персидская, Л.Н. Лиштванова / М-во сел. хоз-ва СССР, Науч.-произв. объединение по эфиромасличным культурам и маслам. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т эфиромасличных культур. – Симферополь, 1972. – 107 с.

76. **ГОСТ ISO 7609-2014.** Масла эфирные. Анализ методом газовой хроматографии на капиллярных колонках. Общий метод [Электронный ресурс]. – URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/58112/ (дата обращения: 08.07.2022).

77. **Зенкевич И.Г., Пименов А.И., Пожарицкая О.Н., Шиков А.Н., Макаров В.Г.** Сравнение хроматографических профилей как метод идентификации компонентов лекарственного растительного сырья в комплексных препаратах // Растительные ресурсы. – 2003. – Т. 39. – Вып. 3. – С. 143-152.

78. **Леонтьев В.Н., Шутова А.Г., Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Спиридович Е.В.** Газохроматографическая идентификация эфирных масел // Тр. Белорусского гос. ун-та. – 2006. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 261-267.

79. Методика полевых опытов по агротехнике эфиромасличных культур: сб. науч. трудов. – Симферополь: ВНИИЭМК, 1972. – 150 с.

80. **Лакин Г.Ф.** Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 350 с.

81. Климат Крыма [Электронный ресурс]. – URL: https://meteo.crimea.ru/?page_id=213&ysclid=l99n032g0749129831 (дата обращения: 08.07.2022).

82. Крым [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BC (дата обращения: 08.07.2022).

83. Крымский полуостров [Электронный ресурс]. – URL: https://bigenc.ru/geography/text/5870775?ysclid=l99n7d66r8141907746 (дата обращения: 08.07.2022).

84. **Савчук Л.П.** Климат предгорной зоны Крыма и эфироносы. – Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. – 76 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ 7

2. ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ ПРИ ПОДПОЧВЕННОМ ОРОШЕНИИ МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ....27

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОБУРА И ПНЕВМОГИДРОБУРА....43

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ ЯБЛОНИ И ВИНОГРАДА 57
4.1. Программа и методика исследований 57
4.2. Результаты исследований применения универсальных пневмогидробуров при выращивании подвоев яблони 67
4.3. Результаты хозяйственных исследований применения универсальных пневмогидробуров в виноградниках....68

5. ПОДПОЧВЕННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ 71
5.1. Программа и методика исследований 74
5.2. Результаты исследований технологии подпочвенного минерального питания растений яблони с использованием гидро- и порошкового гелей....90

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ 94
6.1. Программа, объекты и методика исследования 94
6.2. Физико-географические условия района проведения исследований.107
6.3. Результаты экспериментальных исследований подпочвенного орошения пневмогидробурами растений розы и лаванды....112

7. НАПРАВЛЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИДРО- И ПНЕВМОГИДРОБУРОВ 122

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 131

ЛИТЕРАТУРА 142

Николай Петрович Мишуров
(ФГБНУ «Росинформагротех»);
Вячеслав Филиппович Федоренко
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);
Виктор Григорьевич Селиванов,
(ФГБНУ «Росинформагротех»);
Эдуард Георгиевич Аристов
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);
Николай Николаевич Краховецкий
(ООО «НПФ ГУТА»);
Александр Александрович Давыдов
(ФГБНУ «Росинформагротех»);
Виктор Анатольевич Золотилов
(ФГБУН «НИИСХ Крыма»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОДПОЧВЕННОГО ПОЛИВА МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЙ

Научное издание

Редакторы: *И.С. Горячева, Л.Т. Мехрадзе*
Обложка художника *Т.Н. Лапшиной*
Компьютерная верстка *А.Г. Шалгинских*
Корректор *В.А. Белова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 01.12.2022 Формат 60×84/16
Печать офсетная Бумага офсетная Гарнитура шрифта «Times New Roman»
Печ. л. 9,75 Тираж 500 экз. Изд. заказ 139 Тип. заказ 304

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, Московская обл., г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60

ISBN 978-5-7367-1725-5