

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко

**СПОСОБЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ
ФАКЕЛА РАСПЫЛА ОТ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА
В КОНСТРУКЦИЯХ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ**

Минск
БГАТУ
2015

Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск : БГАТУ, 2015. – 284 с.: ил. – ISBN 978-985-519-726-4.

В монографии предложено решение проблемы рационального использования средств защиты растений и обеспечения качества их внесения в условиях ветреной погоды. В работе представлен обзор условий, способов, технических средств внесения пестицидов и причин их потерь. Обоснованы направления снижения потерь пестицидов вследствие сноса, предложены конструкции ветрозащитных устройств и классификация их по принципу действия.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению закономерностей движения капель в реальных условиях, взаимодействия воздушного и воздушно-капельного потоков и обоснованы технологические и конструктивные параметры ветрозащитных устройств.

Уделено внимание вопросам охраны труда при работе с пестицидами.

Издание предназначено для научных работников, специалистов АПК, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов.

Табл. 24. Ил. 110. Библиогр.: 148 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет» (протокол № 1 от 21.01.2015 г.)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
«Тракторы» Белорусского национального технического
университета *А.И. Бобровник*,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Безопасность жизнедеятельности» Учреждения образования
«Белорусский государственный аграрный технический
университет» *Л.В. Мисун*,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Теоретическая механика» Белорусского национального
технического университета *А.В. Чигарев*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ.....	7
1.1. Интегрированная система защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.....	7
1.2. Методы химической защиты растений.....	11
1.3. Техническое обеспечение технологий внесения пестицидов в растениеводстве.....	19
1.4. Требования к внесению пестицидов полевыми опрыскивателями.....	45
1.5. Потери пестицидов в растениеводстве.....	51
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ.....	58
2.1. Параметры установки распылителей.....	58
2.2. Закономерности падения капель рабочих растворов пестицидов в сопротивляющейся воздушной среде.....	62
2.3. Закономерности падения капель рабочих растворов пестицидов в подвижной воздушной среде.....	77
2.4. Обоснование силового воздействия капель рабочего раствора пестицида на обрабатываемую поверхность.....	87
3. НАПРАВЛЕНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ ПЕСТИЦИДОВ ИЗ-ЗА СНОСА. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ФАКЕЛА РАСПЫЛА ОТ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА.....	95
4. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ СНОСА РАБОЧЕГО РАСТВОРА ИЗ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ.....	112
4.1. Описание лабораторных установок и оборудования для проведения исследований работы распылителей и ветрозащитных устройств.....	112
4.2. Определение расхода рабочей жидкости.....	115
4.3. Критерии оценки качества выполнения опрыскивания в лабораторных условиях.....	118
4.4. Методика исследований работы ветрозащитных устройств.....	142

5. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ И ПАРАМЕТРОВ ИХ УСТАНОВКИ.....	151
5.1. Влияние рабочего давления в гидравлической системе на угол при вершине факела распыла.....	151
5.2. Количественная и качественная оценка эффективности локального опрыскивания.....	153
5.3. Выбор типа распылителей для использования в объемном опрыскивателе.....	179
6. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ.....	184
6.1. Теоретическое обоснование конструкционных параметров ветрозащитного устройства.....	184
6.2. Результаты экспериментальных исследований технологического процесса комбинированного жалюзийного ветрозащитного устройства.....	194
6.3. Влияние ветрозащитной решетки на распределение жидкости в зоне внесения пестицида.....	204
7. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	207
7.1. Обоснование параметров воздухораспределительной системы.....	207
7.2. Обоснование взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем.....	246
7.3. Обоснование диаметра выпускных насадков воздухораспределительных рукавов.....	250
7.4. Результаты исследования прохождения воздушного потока через растительный слой.....	252
7.5. Результаты экспериментальных исследований воздухораспределительного рукава.....	254
8. ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ПЕСТИЦИДАМИ. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	262
8.1. Обеспечение безопасности труда при проведении химзащитных работ в растениеводстве.....	262
8.2. Практическая реализация результатов исследований.....	267
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	268
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	269

ВВЕДЕНИЕ

Анализ тенденций развития и совершенствования способов ведения современного сельского хозяйства показывает, что повышение урожайности сельскохозяйственных культур немислимо без применения средств химизации. При этом роль пестицидов возрастает по мере роста урожайности. По данным ООН, вредители и болезни уничтожают ежегодно $\frac{1}{5}$ часть мирового производства сельскохозяйственной продукции. Из этого следует, что правильно организованная система защиты урожая является большим резервом повышения продуктивности земледелия.

Однако рост объемов использования пестицидов при несовершенстве технологий и технических средств, несоблюдении агротехнических и технологических требований приводит к избыточному накоплению их в почве, что влечет за собой загрязнение не только сельскохозяйственной продукции, но и повышение нагрузки на экологию окружающей среды (загрязнение водоемов, грунтовых вод, угнетение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, уничтожение полезной флоры).

Интегрированная система защиты растений включает агротехнические, биологические, химические, физико-механические методы и средства, из которых химический метод является самым распространенным и перспективным в нашей республике. По данным института защиты растений НАН Беларуси, один доллар, вложенный в эту сферу, дает чистого дохода около пяти долларов США. При рациональном использовании пестицидов эта цифра должна быть в 1,5–2 раза выше.

Эффективность применения пестицидов зависит от качества выполнения технологического процесса, определяемого равномерностью распределения препарата по обрабатываемому объекту, дисперсностью факела распыла, густотой покрытия обрабатываемой поверхности, которые, главным образом, определяются состоянием и эксплуатацией технических средств. В сельскохозяйственной отрасли широкое применение находят различные средства механизации, однако при проведении химических обработок все еще остро стоят вопросы неравномерного распределения пестицида по поверхности объекта, испарения и сноса капель ветром. Нарушение сроков проведения технологических операций химической защиты сказывается на их эффективности и величине получаемых урожаев культур. Одной из причин низкой эффективности химической защиты является ветреная погода.

Наличие ветра также может вызвать нарушение сроков проведения технологических операций.

Сложившаяся ситуация требует поиска новых технологий и технических средств для химической защиты растений при обработках в ветреную погоду. При этом принудительная доставка капель рабочих растворов пестицидов к объекту обработки воздушным потоком и установка ветрозащитных устройств являются наиболее приемлемыми направлениями.

Технические решения, применяемые в конструкциях известных объемных опрыскивателей, зачастую базируются не на объективных результатах исследований, а на интуиции конструктора. Это обуславливает необходимость проведения глубоких теоретических и экспериментальных исследований, которые позволят обосновать рациональные параметры воздухораспределительной системы и ее взаимное расположение с гидравлической системой, что в конечном итоге обеспечит высокое качество объемной обработки сельскохозяйственных культур.

Поэтому исследование и разработка технологий и средств механизации, позволяющих качественно и с наименьшими потерями выполнить технологические операции защиты растений, является важной задачей.

Сформулированные и полученные в работе результаты в совокупности с научными положениями вносят определенный вклад в развитие технологии и технического обеспечения внесения пестицидов в сложных климатических условиях.

Авторы выражают искреннюю благодарность своим научным руководителям-учителям: доктору технических наук, профессору, члену-корреспонденту НАН Беларуси, заслуженному деятелю науки Республики Беларусь Ловкису Зенону Валентиновичу, доктору технических наук, профессору Степуку Леониду Яковлевичу и доктору технических наук, профессору Клочкову Александру Викторовичу.

Отдельная благодарность рецензентам: доктору технических наук, профессору Бобровнику Александру Ивановичу, доктору технических наук, профессору Мисуну Леониду Владимировичу и доктору физико-математических наук, профессору Чигареву Анатолию Власовичу за существенные замечания и благие пожелания.

Монография издана в соответствии с планом издания научно-технической и научно-методической литературы по МСХП РБ на 2015 год от 13.03.2015 г.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

1.1. Интегрированная система защиты растений от вредителей, болезней и сорняков

Борьба с вредителями, болезнями и сорняками в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур основывается на профилактических и истребительных мерах. Первые направлены на недопущение их появления, вторые – на уничтожение уже появившихся вредителей, возбудителей болезней и сорной растительности. Истребительные меры основаны на агротехническом (культурно-хозяйственном), биологическом, физико-механическом и химическом методах [10, 15, 22, 31, 34, 48, 50, 67, 71, 75, 86, 96, 109, 111].

Агрохимический метод включает, главным образом, меры профилактического порядка и предусматривает использование организационно-хозяйственных мероприятий и агротехнических приемов с целью создания условий, наиболее благоприятных для развития культурных растений, и, в то же время, препятствующих появлению и размножению вредителей, возбудителей болезней и сорняков.

Биологический метод основан на использовании для борьбы с вредителями растений, болезнетворными микробами и вредоносными бактериями их естественных врагов: хищников, паразитов и микроорганизмов.

Физико-механический метод предусматривает применение различных приспособлений, орудий и механизмов для вылавливания, сбора и уничтожения вредителей, установку всевозможных заграждений, ловушек и капканов, а также изменение физических условий среды, зараженной вредителями и возбудителями болезней с целью их уничтожения (прогревание семян и почвы, просушка и промораживание зерновых продуктов, применение ультракоротких электроволн, ультразвуковых волн, токов высокого напряжения и радиоизлучения) [40].

Химический метод защиты растений на сегодняшний день остается самым распространенным по сравнению с другими методами благодаря ряду преимуществ: универсальности, высокой эффективности (технической, хозяйственной, экономической), производительности труда, индустриальности, рентабельности, высокому уровню механизации. Универсальность (как главное его преимущество) базируется на широком ассортименте средств химической защиты – пестицидов. Их применение позволяет не только улучшить качество и увеличить урожай сельскохозяйственной продукции, но и значительно сэкономить энергетические и трудовые ресурсы. При этом обеспечивается повышение урожая зерновых культур на 25,0 % (в том числе пшеницы – 49 %), картофеля – 31,5, сахарной свеклы – 24,5, овощных культур в среднем – на 27,0 % [31, 50, 67, 71].

Современные пестициды – это широкий спектр веществ, входящих в различные классы химических соединений. Их разнообразие определяется существованием большого количества видов сорняков, вредителей и болезней культурных растений. Все пестициды подразделяются на отдельные группы и подгруппы в зависимости от природы действующего вещества, производственного (практического) назначения, путей и способов проникновения в организм, спектра действия и пр. (рис. 1.1).

В зависимости от производственного назначения, препараты подразделяют на группы по объектам применения, каждая из которых контролирует (подавляет, уничтожает) те или другие виды вредных организмов. Производственная классификация насчитывает более 29 групп пестицидов, среди которых выделяют шесть основных: 1) гербициды – препараты для борьбы с нежелательной растительностью; 2) инсектициды – для борьбы с вредными насекомыми; 3) фунгициды – для борьбы с болезнями; 4) протравители – для обработки семян с целью предохранения их от вредителей и болезней; 5) зооциды – для борьбы с грызунами и другими вредными позвоночными; 6) дефолианты и десиканты – для химического удаления листьев и подсушивания растений на корню. Ежегодно производится более 2 млн т в год (по действующему веществу, из которых 44 % составляют гербициды, 30 – инсектициды, 20 – фунгициды, 6 % – прочие [67]).

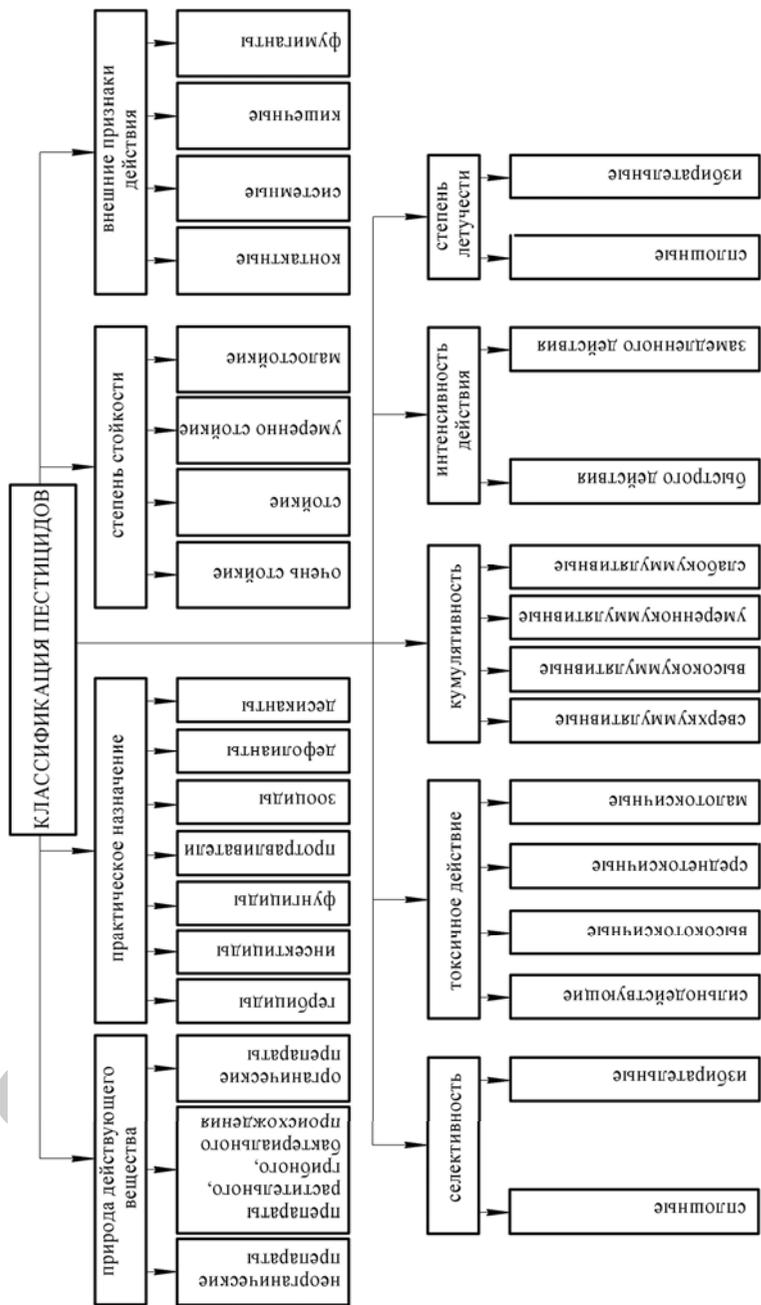


Рис. 1.1. Классификация пестицидов

Гербициды по характеру действия на растения делятся на избирательные, поражающие только одни виды растений, и сплошного действия, уничтожающие всю растительность. Однако следует отметить, что данное деление зачастую носит условный характер, так как избирательность препаратов сохраняется только в пределах определенных норм расхода, сроков и способов применения [7, 31, 47, 67, 68, 71]. По внешним признакам действия и особенностям применения гербициды делятся на контактные, системные и почвенные.

Инсектициды подразделяются на контактные, системные, кишечные и фумиганты. Контактные инсектициды вызывают гибель насекомых при контакте с любыми их частями. Системные – передвигаются по сосудистой системе растений и отравляют поедающих их насекомых. Кишечные инсектициды действуют при попадании яда в кишечник насекомых. Фумиганты действуют на насекомых через органы дыхания.

Фунгициды подразделяются на защитные и лечащие. Обе эти группы включают препараты контактного и системного действия.

Безусловно, оказывая существенное влияние на экономический эффект, пестициды отрицательно воздействуют на окружающую среду. Иногда негативные последствия применения пестицидов превышают на «весах экосистемы» ту пользу, которая выражается величиной полученного с их помощью дополнительного урожая. В настоящее время прилагается много усилий по рационализации и строгой регламентации применения химического метода, исключая негативные явления и сводящих к минимуму загрязнение окружающей среды и отрицательное влияние на полезные организмы, качество продукции.

Сельскому хозяйству поставляются пестициды в виде готовых к применению препаративных форм (масляные растворы для ультрамалообъемного опрыскивания, гранулированные препараты), водных растворов, концентратов эмульсий, водорастворимых концентратов, смачивающихся порошков, суспензий, растворимых кристаллических и порошковидных веществ, паст, предназначенных для приготовления рабочих жидкостей заданной концентрации, а также сухих порошковидных препаратов. Перечисленные препаративные формы пестицидов обладают характерными признаками, которые определяют техноло-

гию ведения химзащитных работ. Наиболее широкое применение находят жидкие пестициды, которые должны обеспечивать низкую летучесть, удерживающую капли препарата от быстрого испарения и сноса за пределы обрабатываемого участка, относительно хорошую текучесть без больших отклонений вязкости в условиях переменных температур, способствующей сохранению дозировок и удерживанию капли на обрабатываемой поверхности.

В системе мероприятий по защите растений пестициды могут вноситься различными способами.

1.2. Методы химической защиты растений

В зависимости от типа (внутрипочвенный, поверхностный, контактный) и физической формы (гранулы, пена, жидкость) пестицидов и площади, покрываемой за один проход агрегата, известны следующие технологические методы (рис. 1.2) их внесения [7, 31, 47, 67, 71, 119, 123, 137, 138]: сплошное опрыскивание, локальное опрыскивание, внесение в почву, внесение в форме гранул, в виде пены или при орошении (гербициация). Одним из самых распространенных методов внесения химических средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков является опрыскивание, при котором пестициды в виде распыленной рабочей жидкости наносятся на обрабатываемый объект. На долю этого метода приходится более 95 % химзащитных работ [31, 67, 71].

Известны два способа опрыскивания: штанговое (наземное и авиационное) и дистанционное [67].

Авиационное опрыскивание находило до недавнего времени достаточно широкое применение. К преимуществам этого способа можно отнести высокую производительность, отсутствие механических повреждений растений, проведение обработок без уплотнения почвы колесами тракторов, возможность проводить работы в условиях высокой влажности почвы, когда движение наземных машин затруднено. Однако значительный снос ветром распыленной жидкости за пределы обрабатываемого участка, достигающий в отдельных случаях нескольких километров, заставил отказаться от авиационного опрыскивания.

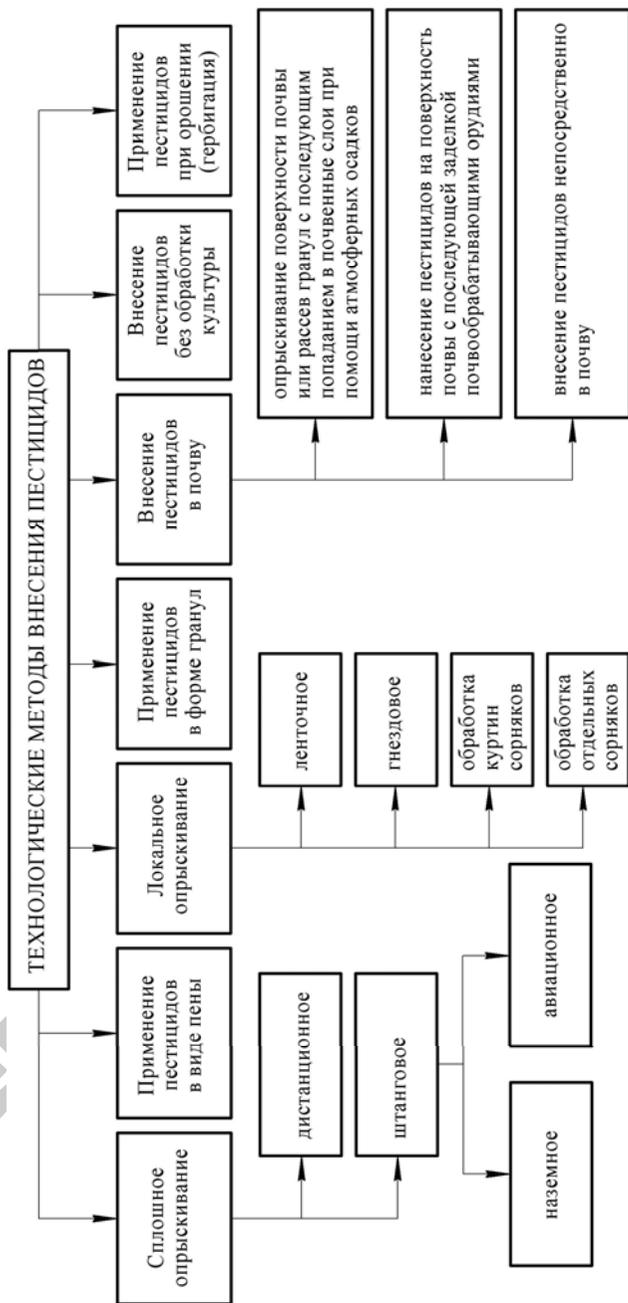


Рис. 1.2. Схема технологических методов внесения гербицидов

При авиационном опрыскивании не всегда возможно достичь необходимого качества обработки. Из-за большой высоты опрыскивания (самолеты и вертолеты не спускаются ниже 5...10 м) размер капель уменьшается со 100 до 50 мкм, и происходит их снос за пределы обрабатываемой зоны. Значительный снос ветром распыленной жидкости за пределы обрабатываемого участка, достигающий нескольких километров, обуславливает отказ от авиационного опрыскивания в пользу наземного. Многими исследованиями установлено, что потери гербицидов при сносе достигают 20...90 % [42]. До 70 % объема распыленной жидкости и до 80 % объема порошков вносимых пестицидов не достигают объекта обработки [111, 135]. Сносимое облако распыленной жидкости может переноситься на большие расстояния. Повреждения сельскохозяйственных культур иногда обнаруживаются на расстоянии 20 км.

Кроме того, авиационное опрыскивание при высокой температуре и небольшой влажности приводит к существенным потерям пестицидов и увеличению нагрузки на окружающую среду вследствие испарения капель.

Помимо низкого качества обработки и требований экологической безопасности, отказ от применения классической авиации (большие самолеты, вертолеты) для защиты растений в Беларуси обоснован мелкими контурами полей, насыщенностью воздушными линиями электропередач, необходимостью наличия взлетно-посадочных полос.

При дистанционном опрыскивании распыленную жидкость наносят на обрабатываемый объект воздушным потоком, в том числе и используя ветер. Во время обработок опрыскиватель движется перпендикулярно или под углом 45° к направлению движения ветра. Рабочим органом опрыскивателя является сопло, которое нагнетает воздух от вентилятора. Достоинство дистанционного опрыскивания состоит в простоте конструкции машины и ее обслуживания, высокой маневренности и большой ширине захвата, следовательно, в высокой производительности. Однако этому способу присущи недостатки, делающие его применение крайне нежелательным: существенный снос распыленной жидкости ветром и значительная неравномерность распределения препарата по ширине захвата. К тому же ширина захвата дистанционных опрыскивателей зависит от скорости и направления ветра и поэтому не является постоянной

величиной [25]. Поэтому при возделывании полевых сельскохозяйственных культур предпочтение отдается наземному штанговому опрыскиванию как наиболее эффективному и безопасному, при котором препарат в виде распыленной рабочей жидкости наносится на обрабатываемый объект. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что штанговые опрыскиватели имеют в 2...3 раза большую равномерность распределения рабочей жидкости на обрабатываемом объекте, чем дистанционные. Метод опрыскивания, при всей его кажущейся простоте, является сложнейшим технологическим процессом. Развитие данного метода основано на механике и физике образования и осаждения жидкостных полидисперсных систем с различной степенью диспергирования капель, размеры которых исчисляются от единиц и десятков микрометров до нескольких миллиметров [31, 67, 71].

Диаметр капель позволяет разделить опрыскивание на высокодисперсное (0,025...0,050 мм), мелкокапельное (0,051...0,150), крупнокапельное (более 0,15 мм) [31, 67, 71].

В зависимости от объема вносимой на единицу обрабатываемой площади рабочей жидкости различают ультрамалообъемное опрыскивание ($5 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ – полевые культуры и $5...25$ – многолетние насаждения), малообъемное ($10...50 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ – вентиляторные или авиационные опрыскиватели и $50...200$ – штанговые наземные), объемное ($200...300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$), многообъемное (более $300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$) [31, 67, 71]. Норма расхода действующего вещества при различных видах опрыскивания в большинстве случаев сохраняется на одном уровне, изменяются лишь концентрация и степень дисперсности рабочего раствора. С помощью данных методов вносится 75,5 % всех используемых в сельскохозяйственном производстве пестицидов: при полнообъемном опрыскивании – 30,0 %; при малообъемном – 45,0; при ультрамалообъемном опрыскивании – 0,5 %. Остальные 24,5 % средств защиты растений расходуются: при протравливании посевного и посадочного материала – 19,5; аэрозольной обработке – 2,0; внесении гранулированных препаратов – 1,0 и при опыливаниях – 2,0 % [10, 31].

Применение ультрамалообъемного опрыскивания (УМО) началось за рубежом в 60-х гг. XX в., в нашей республике – значительно позже. Для УМО не требуется растворитель (вода), а вследствие низких норм расхода рабочего раствора этот способ обработки

очень производителен и малотрудоемок. Наряду с этим технология УМО имеет и существенные недостатки: сильная зависимость качества обработки от метеорологических условий, значительный снос рабочей жидкости. При скорости ветра около $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ количество сносимой распыленной жидкости по отношению к осевшей на ширине захвата составляет от 20 до 50 % [42]. Возникают сложности в дозировании препарата, так как к каждому распылителю должны подаваться равные количества жидкости. Кроме того, расход жидкости через распылители зависит от ее вязкости, которая меняется в зависимости от температуры окружающей среды. Сложным является контроль работы распылителей из-за плохой видимости факела распыла. Вследствие высокой агрессивности препаратов для УМО требуется применение высококачественных коррозионно-стойких материалов при изготовлении узлов опрыскивателя. Все эти недостатки резко увеличивают стоимость машины и себестоимость работ по защите растений.

Малообъемное опрыскивание (МО) является одним из наиболее прогрессивных способов применения пестицидов и обладает рядом преимуществ. При его использовании отмечается возрастание производительности машин вследствие увеличения коэффициента использования рабочего времени смены, снижение затрат труда, достигается более высокое качество обработки, в частности лучшее проникновение капель в глубину растительного покрова и более высокая равномерность покрытия, отсутствие стекания рабочей жидкости с поверхности растений на почву, сокращение срока обработки. Осадок пестицидов, образовавшийся после испарения жидкости, дольше удерживается на растении, менее подвержен воздействию ветра, росы, дождя, солнечных лучей, сохраняя при этом токсичность к вредным организмам [67].

Суть малообъемного опрыскивания заключается в эффективном и рациональном использовании раствора рабочей жидкости, который диспергируется в капли оптимальных размеров и равномерно наносится на обрабатываемую поверхность. Поэтому малообъемное опрыскивание является экономически эффективным, энергоресурсосберегающим и более безопасным в экологическом отношении технологическим приемом. К недостаткам данного метода следует отнести необходимость точной дозировки препарата и повышенные

требования к техническому состоянию опрыскивающей аппаратуры. При невыполнении данных требований возможно не только повреждение растений (ожог листьев растений крупными каплями раствора высокой концентрации), но и загрязнение окружающей среды. Однако, несмотря на недостатки, МО нашло широкое распространение (по сравнению с полнообъемным).

Объемное опрыскивание (ОО) является более трудоемким и менее производительным приемом, хотя находит широкое применение в растениеводстве. Полнообъемное опрыскивание (ПО) необходимо отнести к наиболее консервативным и наименее производительным способам сплошного опрыскивания. Его основные недостатки: низкая производительность агрегатов из-за частых остановок для заправки рабочей жидкостью, в результате чего коэффициент рабочего времени смены в производственных условиях иногда имеет значение менее 0,5; большие удельные энергозатраты. Еще один недостаток данного способа – загрязнение почвы пестицидами, которые стекают с растений в результате их излишнего смачивания.

Массовое применение средств защиты растений в сельском хозяйстве создает значительные пестицидные нагрузки на окружающую среду и повышает вероятность накопления их остаточных количеств в конечной продукции и почве. Это требует совершенствования технологии применения пестицидов в направлении снижения расхода препаратов и защиты окружающей среды от загрязнения. В определенной степени решить эту задачу позволяют локальные методы внесения пестицидов, которые наиболее распространены при внесении гербицидов. Они включают следующие способы: ленточный, гнездовой, обработка отдельных сорняков и обработка куртин.

Ленточное внесение используется на полях пропашных культур, в садах [31, 71]. Его суть состоит в том, что гербициды наносятся только на те участки поля, которые не подвергаются механической обработке почвообрабатывающими орудиями (рис. 1.3). В результате чего происходит снижение стоимости химической прополки, так как гербицид вносится не при самостоятельной операции, а одновременно с посадкой или междурядными обработками за один проход агрегата.

Сокращение расхода пестицида в 2...3 раза ведет к существенному снижению себестоимости продукции и уменьшению опасности накопления остаточных количеств препаратов при интенсивном их использовании. Однако имеют место и недостатки: снижение производительности основной машины и большая вероятность непопадания рабочего раствора на обрабатываемый объект вследствие его сноса в междурядья [31, 71].

Гнездовое внесение применяется на пропашных культурах при посадке сажалками точного высева с помощью опрыскивателя пульсирующего типа.

Цель способа обработки куртин сорняков – снижение расхода гербицида за счет обработки им только мест наибольшего скопления сорняков. Существенными недостатками являются: грубый распыл жидкости, сложность изготовления оборудования, высокая неравномерность распределения рабочей жидкости. Этим методом производится обработка лугов и пастбищ.

Суть обработки отдельных сорняков заключается в покрытии гербицидом сорняков, высота которых превышает высоту возделываемой культуры. В конструкции опрыскивателя распылитель имеет шарнирно установленный щуп, который при встрече с сорняком отклоняется и открывает клапан подачи гербицида. Пестицид наносится на сорняк и, проникая через листья, губит его. Недостаток данного способа в том, что не обрабатываются сорняки, равные по высоте или ниже культурных растений. Данный метод нашел применение при обработке посевов многолетних трав.

Внесение гербицидов внутрипочвенного действия может осуществляться тремя путями: 1) опрыскивание поверхности почвы или рассев на нее гранул с последующим попаданием в почву при помощи осадков; 2) опрыскивание поверхности почвы с последующей заделкой гербицида в почвенные слои рабочими органами почво-

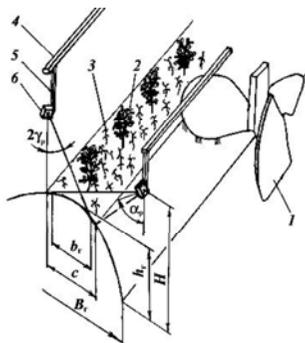


Рис. 1.3. Технологическая схема ленточного внесения гербицидов:
 1 – почвообрабатывающий рабочий орган; 2 – культурное растение;
 3 – сорняк; 4 – удлинитель;
 5 – подвеска, 6 – распылитель

обрабатывающих машин; 3) внесение препарата непосредственно в почву на определенную глубину в виде «горизонтального экрана». Наряду с достоинствами (возможность совмещения химической прополки с другими технологическими операциями, в меньшей степени проявляется снос ветром, низкая испаряемость пестицида, меньшая вероятность забивания системы содержащимися в рабочем растворе примесями) этот метод имеет и существенные недостатки: зависимость эффективности действия гербицида на сорняки от интенсивности выпадающих осадков, большие расходы препарата из-за применения крупнокапельного опрыскивания, некоторая неравномерность распределения гербицида в почве после механической заделки. Существенными недостатками непосредственного внесения гербицидов в почву являются: отсутствие визуального контроля за работой распылителей, сложность их замены и очистки, сложность конструкции оборудования.

Применение гербицидов в форме гранул обеспечивает более стабильную концентрацию препарата в почве, так как гранулы менее растворимы во влаге почвы, и это препятствует созданию избыточной концентрации; наименьший снос их ветром; снижение металлоемкости процесса; упрощение конструкции машин. Однако при этом на токсичное действие гранулированных гербицидов влияет влажность почвы, поэтому они эффективны только в определенных условиях, благодаря чему масштабы их применения значительно меньше, чем жидких препаратов; из-за малого содержания в гранулах действующего вещества нормы расхода их на гектар высоки, что влечет за собой увеличение стоимости химической прополки.

Применяют гербициды и в виде пены (2 типа): низкократная, увеличивающая объем жидкости в десятки раз, и высокократная, увеличивающая объем жидкости в сотни раз. Гербициды (в зависимости от типа применяемой пены) вносятся двумя способами: нанесение высокократной пены на обрабатываемый объект и опрыскивание сорняков хлопьями низкократной пены. Достоинства данного метода состоят в уменьшении сноса рабочей жидкости ветром; снижении расхода гербицида за счет хорошей растекаемости пены по обрабатываемой поверхности; повышения удерживаемости гербицида на растениях; высокой равномерности покрытия объекта; хорошей видимости обработанных полос. Недостатком

можно назвать меньшую эффективность при обработке пропашных культур, так как пена сдувается ветром или стекает по наклону гребня в борозду.

Применение гербицидов без обработки культурных растений (контактный метод) напоминает способ обработки отдельных сорняков. Суть его заключается в следующем: смачивающее полотно движется на некоторой высоте над культурными растениями и при контакте смачивает гербицидом высокостебельные сорняки. Достоинства этого метода: простота конструкции машины; отсутствие сноса гербицида ветром; низкий расход препарата, так как он наносится только на сорные растения. Недостатки: так как сорняки опережают рост культурных растений в разные периоды, то во время обработки не истребляются сорняки, равные по высоте или ниже культуры, что влечет за собой многократные химические прополки; обработка сорной растительности производится в период ее интенсивного развития, то есть после того, как она переросла культурные растения и взяла из почвы питательные вещества и влагу. Данный метод наиболее эффективен при химической обработке паров, обочин дорог, междурядий многолетних насаждений.

Борьбу с сорняками можно вести одновременно с орошением, что позволяет повысить производительность обработки, равномерность распределения гербицида; время проведения обработки не зависит от метеоусловий; при обработке не требуется использование тракторов; конструкция проста. Однако этот метод требует наиболее точной дозировки пестицида, так как передозировка может привести к загрязнению окружающей среды.

Эффективность химической защиты и степень ее воздействия на окружающую среду зависят от качества внесения пестицидов, которое, наряду с другими факторами, определяется конструкцией и состоянием технических средств химизации.

1.3 Техническое обеспечение технологий внесения пестицидов в растениеводстве

Борьба с вредителями, болезнями и сорняками в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур может осуществляться несколькими методами: механическим (многократные механические обработки), раздельно-комбинированным (механические

и химические операции выполняются разными агрегатами как отдельные технологические операции) и комбинированным (механическая и химическая обработки совмещаются в одну технологическую операцию, выполняемую комбинированным агрегатом за один проход по полю) [31, 71] (рис. 1.4). Разнообразие технологий применения пестицидов потребовало создания соответствующих средств механизации, которые можно условно разделить на три группы: агрегаты для борьбы механическим методом, агрегаты для борьбы химическим методом и комбинированные агрегаты, совмещающие за один проход по полю механическую и химическую обработки.

Несмотря на большое разнообразие опрыскивателей, проблема качественного выполнения технологического процесса опрыскивания, обеспечивающего эффективную защиту растений от вредителей, болезней и сорняков, остается достаточно острой.

1.3.1. Авиационное внесение пестицидов

Первые высказывания в печати о возможности применения авиации при внесении средств химизации в растениеводстве были в 1918 и 1920 гг., а первый полевой опыт опрыскивания был проведен в 1922 г. [110]. Широкое практическое использование самолетов для внесения средств защиты растений было начато в 1925 г. Первыми серийно выпускаемыми для авиационно-химических работ (АХР) стали самолеты По-2 (У-2), выполненные в сельскохозяйственном варианте.

В 1931 г. были созданы Управление сельскохозяйственной авиации и Всесоюзный НИИ сельскохозяйственной и лесной авиации. Проводилось большое количество исследований, направленных на изучение особенностей распределения средств химизации по обрабатываемой поверхности, безопасности их распыла с воздуха для человека и окружающей среды, условиям и технике пилотирования самолетов на сверхмалых высотах. Был разработан первый вращающийся распылитель жидкости. В конце 40-х гг. прошлого века в сельскохозяйственном производстве началось использование самолетов Ан-2 и Як-12, а в конце 50-х – вертолетов Ми-1 и Ка-15.

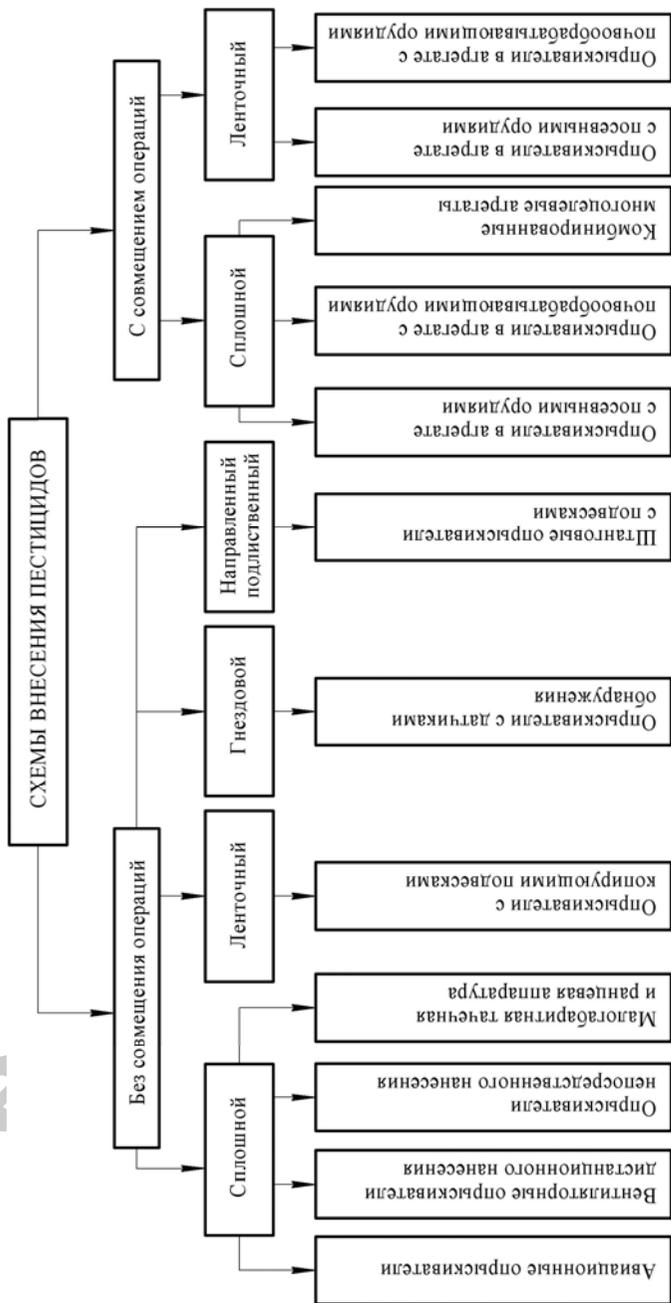


Рис. 1.4. Способы и устройства внесения пестицидов

Ежегодно возрастающий объем АХР в конце 70-х гг. XX в. достиг 100 млн га, из которых практически 30...35 % приходилось на самолеты и вертолеты [110], включенные в систему машин и механизмов для сельскохозяйственного производства. Спад в объемах проводимых АХР наметился в середине 80-х гг. и был вызван снижением финансирования сельскохозяйственного самолето- и вертолетостроения. С начала 2000-х гг. сельскохозяйственной авиации вновь начинает уделяться особое внимание.

Авиационным способом опрыскивания выполняются некорневые подкормки растворами минеральных удобрений, обработка гербицидами, инсектицидами, фунгицидами, десикантами, дефолиантами и регуляторами роста. Опрыскивание может проводиться растворами, а также суспензиями и эмульсиями, приготовленными из смачивающих порошков и эмульсионных концентратов. Для его реализации применялись преимущественно самолеты Як-12, Ан-2, Ан-2М, «Авиатика» и вертолеты Ми-1, Ми-2, Ка-15, Ка-26, (рис. 1.5, а, б), оборудованные аппаратурой для опрыскивания, рассева сыпучих и жидких материалов, средств химизации, а также энтомофагов биологического метода защиты растений [23, 97, 101, 104, 110, 113, 117, 118, 122, 124]. Их основные технико-эксплуатационные показатели приведены в табл. 1.1 [101, 104, 113, 122].

Отмеченные ранее недостатки использования самолетов и вертолетов при проведении авиационных химических обработок снижаются с применением сверхлегких летательных аппаратов (мотодельтапланов), оснащенных оборудованием для малообъемного опрыскивания (рис. 1.5, в). С 2003 г. в Беларуси для защиты растений начали использовать сверхлегкую авиацию (легкие самолеты и мотодельтапланы) с использованием метода ультрамалообъемного опрыскивания с нормой расхода рабочей жидкости менее $10 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ [117, 124]. Авиационная опрыскивающая техника нового класса позволяет обрабатывать посевы с высоты 1,5...3,0 м. Небольшой самолет может оснащаться малообъемным опрыскивателем, способным работать с дозировкой от 30 до $300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$. Высота полета самолета над обрабатываемым участком составляет от 5 до 50 м в зависимости от вида выполняемых работ. Ширина захвата при внесении минеральных удобрений и авиаопрыскивании составляет до 40 м.

Дневная производительность работ определяется видом самолета, качеством организации работ, удалением обрабатываемого участка от аэродрома, длиной гона обрабатываемого участка. При хорошей организации работ и соответствующих метеорологических условиях дневная наработка на один самолет может составлять от 800 до 1200 га (при средней норме расхода рабочего раствора $25 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$) [101].



Рис. 1.5. Технические средства для авиационного внесения пестицидов:
а – самолеты; б – вертолеты; в – мотodelьтaлет

Таблица 1.1. Технические эксплуатационные характеристики авиационных технических средств

Показатель	Единица измерения	Марка самолета			Марка вертолета						Мото-двигатель
		Як-12	Ан-2	Ан-2М	Апатика	Ми-1	Ми-1НХ	Ми-2	Ка-15	Ка-15М	
Максимальная взлетная масса	кг	1450	5250		540	2400	2470	1390	1410		400
Номинальная мощность двигателя	л.с.	240	820		80		430		280		
Емкость баков для химикатов	л	470	1400	1980	200-300	520	520	1200	320	800	
Максимальная загрузка химикатов	кг	260	1370	1500		290	300	700	200	700	
Длина пути при взлете/посадке	м	125/180	180/150	95/130	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	40-50/0
Рабочая скорость при АХР	км·ч ⁻¹	130-140	155-160	155-160	100	20-80	20-80	20-80	20-80	20-80	55-75
Максимальный расход жидкости у опрыскивателя	л·с ⁻¹ ; л·га ⁻¹	9,0	20,0	27,0	10-100	7,5	6,0	9,8	5,0	10,0	до 12,0
Максимальный расход порошка	кг·с ⁻¹ ; кг·га ⁻¹	3,5	6,0	8,0		4,0	3,0	4,0	1,5	4,0	
Рабочая ширина захвата при опрыскивании и опылывании	м	15-40	20-60	20-60		20-40	20-40	20-60	20-40	20-60	20-25
Количество распылителей	шт.		80			92		128	70		116
Размах шпанги	м		15,2			8,4			9,15		
Высота полета при обработках	м		2-50	2-50	от 2						1-2
Допустимая составляющая скорости ветра при обработках:	м·с ⁻¹										
ветренная		4	18	18	10	4	4	4	4	4	5
боковая		4	6	6	6	4	4	4	4	4	5
попутная		4	3	3	3	4	4	4	4	4	5

Использование легкой авиации при опрыскивании сельскохозяйственных культур методом УМО выгодно отличается от классической авиации тем, что для взлета и посадки не требуются специально подготовленные площадки. Легкие самолеты, мотодельтапланы и мотодельталеты способны работать с травяного покрытия, а в отличие от наземных опрыскивателей, их работа не зависит от влажности почвы и высоты обрабатываемых растений, поэтому достигается экономия энергоресурсов и воды.

Преимущества химической обработки культур с применением мотодельтапланов перед малыми самолетами заключаются в следующем:

- возможность безаварийной эксплуатации с плохо подготовленных площадок, межей, полевых дорог;
- не требуются сигнальщики, специальные взлетные площадки, вылет за пределы обрабатываемого участка;
- не допускается ухудшение экологических показателей окружающей среды;
- меньшее количество обслуживающих работников (МПД обслуживают 3 чел., звено (2 МПД) – 5 чел.);
- соблюдение оптимальных сроков обработки в сложных метеоусловиях;
- низкая высота полета – 1...2 м над землей;
- взлет и посадка на краю поля;
- возможность обработки небольших полей.

Все мотодельталеты отличаются простотой конструкции, что существенно сокращает время сборки и разборки (в среднем 15...20 мин) и обеспечивает возможность проведения осмотров всех его силовых элементов без демонтажа обшивки. Характеризуются высокой маневренностью, отличной управляемостью при полетах.

Мелкокапельное распыление препарата при использовании мотодельталета позволяет обеспечить хорошее проникновение препарата в междурядья даже загущенных посевов, высокую плотность покрытия растений, в том числе нижней части листьев, за счет турбулентного потока воздуха от винтов СЛА. Это позволяет снизить норму расхода рабочего раствора и дозу препарата на 20...30 %.

Авиационные средства механизации оборудуются специальными сетчатыми распылителями (рис. 1.6). Они снабжены лопастями с регулируемым углом установки, что позволяет устанавливать заданные обороты вращения распылителя.



Рис. 1.6. Авиационный распылитель [101]

Мнения ученых и производителей по вопросу эффективности и безопасности применения средств защиты растений, в том числе и гербицидов, методом авиационного ультрамалообъемного опрыскивания противоречивы. Одни авторы полностью отрицают возможность применения этого метода [6, 130]. Другие исследователи на основании проведенных экспериментальных работ утверждают, что при соблюдении технологических регламентов применения авиации в сельском хозяйстве и санитарно-экологических нормативов при применении пестицидов эффективное использование этого метода при защите растений возможно и безопасно.

К важным преимуществам и достоинствам авиационного метода УМО применения пестицидов большинство сторонников этого метода опрыскивания относят лучшее покрытие обрабатываемой поверхности растений и почвы каплями с меньшим диаметром, что обеспечивает более высокую биологическую эффективность даже при снижении нормы расхода препаратов, а также высокую производительность и оперативность работ по защите растений. Несмотря на столь явные экономические преимущества, применение сверхлегкой авиации имеет ряд существенных недостатков, касающихся в первую очередь условий труда пилотов:

- необычная пространственная ориентировка;
- повышенные профессиональные требования, связанные с незначительной высотой полета и нервно-эмоциональными нагрузками при запрограммированном темпе работы в отдельные периоды полета (взлет, посадка, прямолинейный полет) при дефиците времени его выполнения;
- работа в условиях воздействия ускорений и перегрузок;
- сложность управления летательным аппаратом;
- работа, связанная с риском для жизни;

– влияние на организм пилотов неблагоприятного микроклимата, высоких уровней шума.

В процессе работы возможно попадание пестицидов на незащищенные участки кожи операторов, загрязнение одежды. Также проблема сноса пестицидов остается актуальной и для сверхлегкой авиации.

1.3.2. Наземное внесение пестицидов

Одним из самых распространенных и перспективных способов применения химических средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков является наземное внесение, выполняемое полевыми сельскохозяйственными опрыскивателями. Они классифицируются (рис. 1.7) по технологическому способу опрыскивания, способу нанесения распыленной жидкости на обрабатываемый объект и др. Анализ технологий дистанционного и авиационного опрыскиваний позволил установить, что при использовании таких опрыскивателей отмечаются высокая неравномерность распределения рабочего раствора пестицида (коэффициент вариации вентиляторных опрыскивателей – более 40 %, авиационных – в 2 раза выше) и значительные потери препарата (до 60 % – у вентиляторных и до 90 % – у авиационных опрыскивателей) из-за сноса ветром, поэтому предпочтение отдается наземным опрыскивателям (рис. 1.8), в частности штанговым [67, 87, 145].

Общая мировая тенденция производителей опрыскивающей аппаратуры направлена на повышение унификации и совершенствование узлов производимой продукции. В последние годы тракторные навесные и прицепные гидравлические опрыскиватели подверглись большому конструктивному и технологическим изменениям. Коллекторы полевых штанг стали снабжать надежными отсекателями, позволяющими исключить подтекание рабочего раствора из распылителей после прекращения подачи рабочего давления [96]. Для удобства и безопасности заправки резервуаров объемом свыше 600 л современные полевые опрыскиватели комплектуются специальными устройствами (миксерами) для приготовления рабочего раствора вне основного бака, что предусматривает экологически безопасную утилизацию неиспользованного раствора.

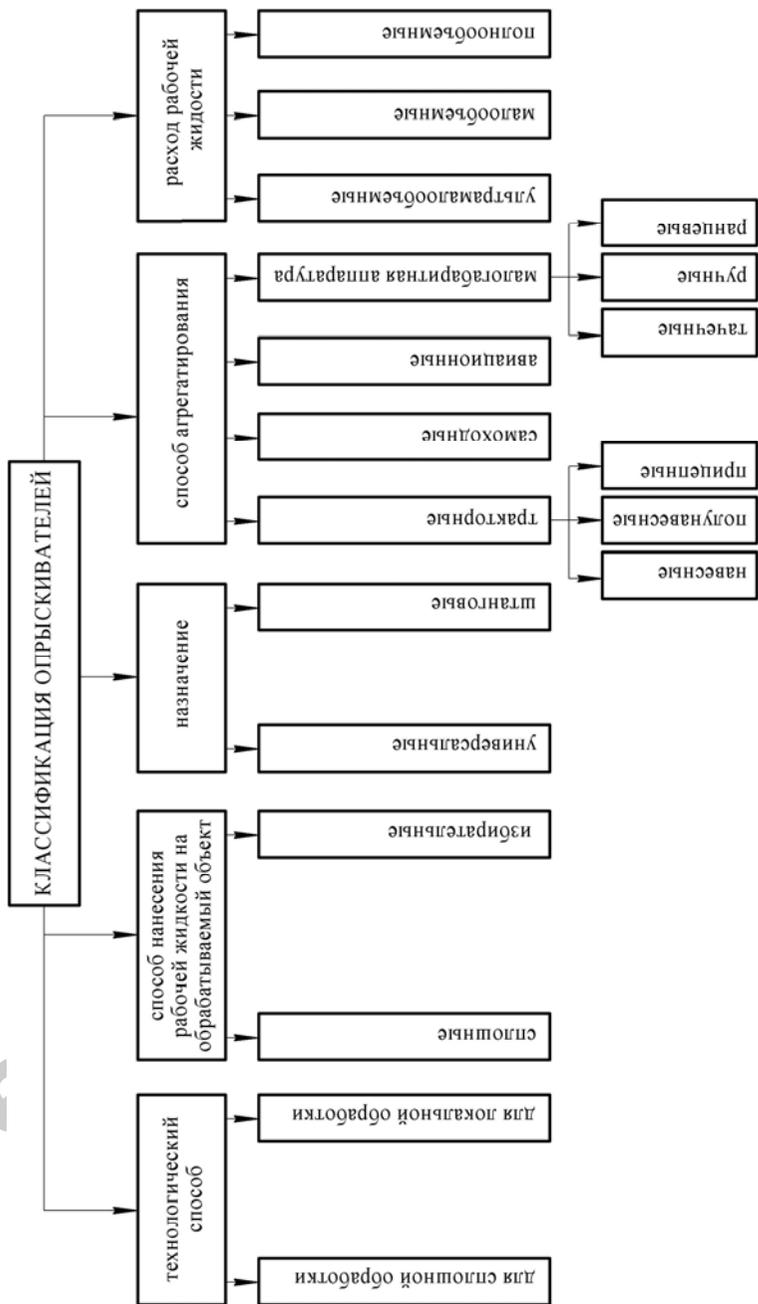


Рис. 1.7. Классификация опрыскивателей



a



б



в

Рис. 1.8. Штанговые опрыскиватели для наземного внесения пестицидов:
a – навесные; *б* – прицепные (полунавесные); *в* – самоходные

Существенные изменения претерпела система настройки и регулировки работы опрыскивателя. Она позволяет в случае нарушения технологического процесса отключать подачу жидкости в отдельные секции штанги, в автоматическом режиме поддерживать норму расхода жидкости при изменениях скорости движения опрыскивателя, что сказывается на повышении качества обработки и экологической безопасности. Штанги опрыскивателей снабжаются эффективной системой навески и стабилизации, позволяющей обеспечить надежность конструкции и качество выполняемого технологического процесса. Широко начала использоваться автоматика при вождении агрегата, контроле работы распылителей, при обеспечении постоянства расстояния между их выходными соплами и обрабатываемой поверхностью и пр.

Традиционные штанговые опрыскиватели также не удовлетворяют в полной мере требованиям, предъявляемым к опрыскивателям. Им присущи:

- высокая полидисперсность распыла (варьирование диаметров капель от 20 до 500 мкм);

- зависимость качества обработки от погодных условий: нельзя проводить опрыскивание при скорости ветра более $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а также в дневное время из-за восходящих потоков воздуха, обусловленных инверсией температуры, препятствующих осаждению капель рабочей жидкости, уносящих их за пределы обрабатываемых площадей и увеличивающих интенсивность их испарения [71];

- неравномерная обработка вегетирующих растений (неравномерная обработка верхнего, среднего, нижнего ярусов, наружной (адаксиальной) и внутренней (абаксиальной) поверхности листьев, стеблей).

При норме расхода рабочей жидкости $200 \dots 300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ на нижние ярусы растений препарат практически не попадает, оседая на верхних (более 80 %) [67]. Для проведения объемной обработки с помощью традиционных штанговых опрыскивателей для сплошной поверхностной обработки необходима норма вылива рабочей жидкости в $400 \dots 600 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ [67]. При такой норме может быть достигнут определенный эффект от обработки за счет перераспределения препарата на растения из-за стекания капель с обработанных поверхностей на необработанные. При этом часть жидкости, порядка $250 \dots 350 \text{ л}$, стекает на поверхность почвы, а на нижних листьях растений оседает меньше 10 % израсходованного пестицида [67].

Для улучшения проникновения препарата вглубь растения применяют специальные распределительные штанги, оборудованные подвесками, на которых крепятся дополнительные распылители. Выделяют ярусные, вертикальные и арочные штанги (рис. 1.9). Их применяют исключительно для опрыскивания рядковых культур, для культур сплошного сева они непригодны.

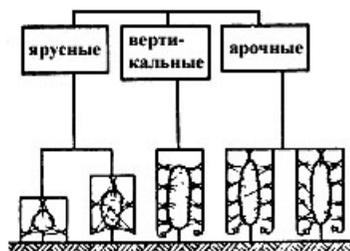


Рис. 1.9. Типы штанг

Для улучшения проникновения капель рабочего раствора в массив растений применяют также полевые штанги, оборудованные специальными механическими устройствами для отклонения растений, установки дополнительных или двусторонних распылителей (рис. 1.10).

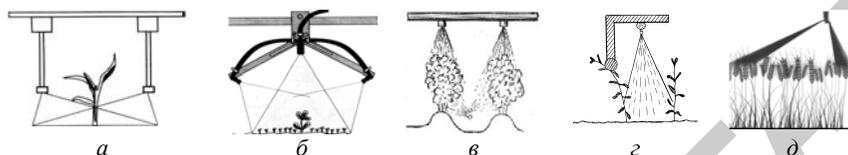


Рис. 1.10. Устройства для повышения качества объемной обработки растений:
а – подвески; б – аппликатор; в – дополнительные распылители;
г – штанга с отклоняющим устройством; д – двусторонний распылитель [71]

Отклоняющие устройства находятся спереди, по ходу движения агрегата, и несколько ниже штанги. Они отклоняют растения, а распылители обрабатывают их открывающиеся поверхности рабочей жидкостью. Следует отметить, что такие приспособления можно применять при обработке зерновых культур и растений, имеющих прямостоящий стебель. Они совершенно не годятся для лиственных культур. В этом случае применимы только штанги с подвесками и аппликаторами, которые, в свою очередь, совершенно непригодны для обработки зерновых культур [60, 67, 71].

Из сказанного следует, что важнейшим свойством опрыскивателя является универсальность, когда одним техническим средством можно качественно выполнить обработку плоских поверхностей (довсходовое внесение гербицидов) и объемную – растений.

Максимальный эффект проникновения пестицида в глубину растительного массива достигается сочетанием достаточно высокой дисперсности рабочей жидкости с устройством, отклоняющим растения и транспортирующим к ним капли воздушным потоком [67, 129].

В настоящее время химические обработки проводятся широкозахватными штанговыми опрыскивателями зарубежных фирм *Hardi, Moteska, Holder, RAU Agrotechnic, Jacto, Jacoby, Tecnomas, Seguip, Evrard, Caruelle, Fertyl* и отечественного производства – ОАО «Мекосан», ОАО «Дятловская СХТ», ОАО «Ралл», ООО «Ремком», ОАО «Белама Плюс», ОАО «СелАгро» и др. В общем

случае данные опрыскиватели состоят из следующих основных узлов: шасси, насоса, всасывающей и нагнетательной магистралей, привода насоса, системы очистки рабочей жидкости, емкости для рабочей жидкости, мешалки, контрольно-регулирующего оборудования, распределительной штанги с распылителями [31, 67, 71].

Ряд известных зарубежных фирм – производителей сельскохозяйственной техники: *Hardi* (Дания), *Kyndestoft* (Германия), *Dammann* (Германия), *RAU* (Германия), *Jacto* (Бразилия), *Degania Sprayers* (Израиль), *Tecnoma* (Франция), *Krukowiak* (Польша) и другие, – производят штанговые опрыскиватели для объемной обработки растений (рис. 1.11). Все объемные опрыскиватели аналогичны по конструкции: дооборудованы воздухораспределительной системой, включающей один-два вентилятора, воздухораспределительные рукава с проделанными в нижней части выпускными отверстиями или сплошной щелью. Вентилятор направляет воздух в воздухораспределительные рукава. Через выходные отверстия воздушный поток подается вниз на обрабатываемые растения, захватывая при этом капли распыленной рабочей жидкости и доставляя их к целевому объекту. Капли за счет завихрений, создаваемых воздушным потоком, проникают вглубь насаждений. Факел распыленной жидкости окончательно формируется под рукавами на расстоянии 20...30 см [67, 125].



Рис. 1.11. Объемные опрыскиватели зарубежных фирм:
а – *Kyndestoft* (Германия); б – *Hardi* (Дания); в – *RAU* (Германия)

Объемные опрыскиватели в наибольшей степени соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству опрыскивания. Прежде всего, они универсальны – пригодны для обработки всех сельскохозяйственных культур, высокопроизводительны, позволяют более чем на 25...30 % снизить дозу внесения препарата, обеспечивают мелкокапельное опрыскивание (воздушный поток дополнительно дробит капли рабочей жидкости), равномерное распределение

рабочей жидкости по ширине захвата машины и по объему обрабатываемых культур. Образующийся при распыливании воздушно-капельный поток, обладая высокой кинетической энергией, в наименьшей степени подвержен сносу, что позволяет производить опрыскивание при ветреной погоде [67, 125].

Вместе с тем известные объемные опрыскиватели имеют конструктивные отличия, касающиеся взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем. В одних опрыскивателях выходные отверстия воздухораспределительной системы направлены либо вертикально вниз, либо под углом и располагаются выше, чем гидравлические распылители, а в других – наоборот. Поскольку схемы взаимного расположения основных рабочих систем объемных опрыскивателей существенно отличаются, и очевидное обоснование этому отсутствует, возникают сомнения в том, что и те и другие обеспечивают одно и то же качество объемной обработки.

Хозяйственные испытания опрыскивателя фирмы *RAU* подтвердили сделанный вывод. При обработке растений водным раствором нигрозина было обнаружено, что карточки на верхней стороне листьев растений были обработаны каплями размером 200...400 мкм с плотностью покрытия 30...150 шт.·см⁻², на нижней стороне листьев 40 % карточек оказались необработанными, остальные имели плотность покрытия менее 30 шт.·см⁻² каплями размером менее 50 мкм [67]. Опыскиватель не обеспечивал необходимое качество объемной обработки.

Равномерное распределение капель рабочей жидкости на растениях (осуществление объемной обработки) возможно в случае, когда их доставка осуществляется равномерным воздушно-капельным потоком по всей ширине захвата опрыскивателя.

Качество объемной обработки вегетирующих культур и энергоемкость этого процесса зависят от угла вхождения воздушного потока в растения. При ориентации воздушного потока вертикально вниз происходит прижимание листьев к стеблям растений (облицирование), значит, эффекта объемной обработки не достигается, так как капли оседают только на верхней стороне листьев. Следовательно, воздушный поток должен быть направлен под углом и должен обеспечивать поворот и активное шевеление листьев обрабатываемых растений.

Рассмотрим опрыскиватели объемного действия *Air Plus* фирмы *RAU* и *Kyndestoft*. В них выпускные отверстия воздухораспределительной системы ориентированы вертикально вниз и размещены выше выходной плоскости гидравлических распылителей. Гидравлические распылители направлены под углом к отверстиям воздухораспределительных рукавов (рис. 1.12, *а*).



Рис. 1.12. Схемы взаимного расположения рабочих систем объемных опрыскивателей:
а – *Air Plus* фирмы *RAU*; *б* – *Twin Stream* фирмы *Hardi* [65]

При воздействии на растения воздушного потока, ориентированного вертикально вниз, наблюдается облицирующий эффект. В результате, основная часть рабочего раствора распределяется на адаксиальной стороне листьев, стебли и абаксиальная поверхность листьев обрабатываются слабо. Эффект объемной обработки не достигается.

Общий главный недостаток рассмотренных объемных опрыскивателей заключается в том, что влияние воздушно-капельного и воздушного потоков неодинаково по длине штанги, что не позволяет обеспечить необходимое качество обработки растений по ширине захвата опрыскивателя.

В опрыскивателе объемного действия *Twin Stream* фирмы *Hardi*, наоборот, гидравлические распылители ориентированы вертикально вниз и размещены выше по отношению к выходной плоскости отверстий воздухораспределительных рукавов, которые, в свою очередь, направлены под углом к вертикальной плоскости (рис. 1.12, *б*).

К недостаткам данного опрыскивателя, как и ранее рассмотренных, следует отнести высокую неравномерность обработки вегетирующих культур по ширине захвата машины. Это объясняется тем,

что гидравлическая штанга (ось расположения распылителей) в горизонтальной плоскости размещена параллельно близлежащей боковой стенке воздухораспределительного рукава (рис. 1.13).

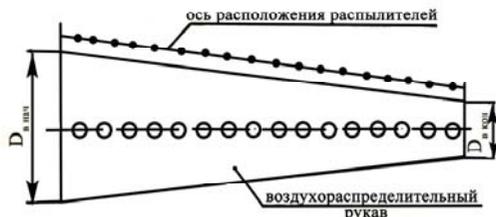


Рис. 1.13. Схема взаимного расположения рабочих систем объемного опрыскивателя фирмы *Hardi* (вид сверху)

При таком расположении не соблюдается условие равномерного вхождения воздушного потока в воздушно-капельный поток от распылителей по длине штанги. На начальном участке, где диаметр воздухораспределительного рукава наибольший, воздушный поток до встречи с воздушно-капельным потоком проходит большее расстояние, чем на конечном участке при наименьшем диаметре рукава. При этом нарушается равномерность скоростного поля: суммарный поток неодинаково воздействует на растения в начале и в конце штанги, капли распределяются по объему растений неравномерно [125, 128].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что известные зарубежные объемные опрыскиватели значительно различаются взаимным расположением гидравлической и воздухораспределительной систем, не обеспечивают необходимое качество обработки сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что наряду с повышением качества объемной обработки растений данный тип опрыскивателей при правильной работе может эффективно использоваться при неблагоприятных погодных условиях, вызванных ветреной погодой.

Обоснованием выбора рациональной схемы объемного опрыскивателя, основных конструктивных и технологических параметров можно получить равномерный поток, когда два независимых потока (воздушный – от воздухораспределительной системы и воз-

душно-капельный – от гидравлической) к моменту их слияния будут сплошными и равномерными.

Правильный выбор распыливающих рабочих органов и параметров их работы обеспечит требуемое качество выполнения технологической операции, следовательно, эффективность использования средств химизации.

1.3.3. Распыливающие рабочие органы опрыскивателей

Эффективность применения пестицидов зависит не только от технического состояния опрыскивателя, умелой его эксплуатации, но и от работы распылителей, которая определяет техническую, биологическую и экономическую эффективность проводимой химической обработки и эксплуатационные показатели сельскохозяйственной машины. Основная функция распылителя – дробление потока жидкости на капли заданных пределов дисперсности. Принципиальная схема дробления потока жидкости на капли с помощью распылителей закрытого типа представлена на рис. 1.14.

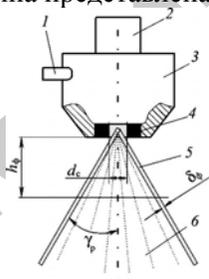


Рис. 1.14. Принципиальная схема дробления потока жидкости распылителем:

1 – штуцер для подвода жидкости; 2 – штуцер для подвода воздуха;

3 – корпус распылителя; 4 – корпус сопла распылителя; 5 – поток жидкости в виде тонкой пленки; 6 – факел распыленной жидкости

Принцип работы распылителя состоит в том, что поток жидкости по трубопроводу 1 подводится к корпусу 3 и через сопло 4 диаметра d_c распылителя выбрасывается в атмосферу в виде полой конической струи с углом конусности (распыла) $2\gamma_p$. На расстоянии h_f от среза сопла образующие конуса представляют собой сплошной тонкий волнообразный слой жидкости в виде пленки 5. Под действием множества факторов пленка распадается на отдельные капли.

Число и размер капель в факеле распыла определяются толщиной пленки и условием ее распада на выходе из сопла распылителя. Условия распада тонкой пленки, закрученных струй, соударяющихся потоков исследовали А.С. Лышевский, Ю.Ф. Дитяткин, В.Ф. Дунский, А.В. Тишин [31, 36, 44, 67, 71] и др. Их работы составили фундамент теории распада струй на капли, которая положена в основу конструирования множества типов форсунок для распыливания самых разнообразных жидкостей в разных условиях эксплуатации (подача топлива в цилиндры дизельных ДВС, полив лугов и пастбищ, опрыскивание растений и т. д.).

Соответствующими изменениями внутренней полости корпуса 3 можно повлиять не только на условия истечения жидкости из сопла 4 распылителя, но и придать ей определенные нужные свойства. Так, если через штуцер 1 в корпус 3 подводить жидкость, а через штуцер 2 – воздух, то на выходе из распылителя получим аэрозвеси [88]. Если в корпус 3 наряду с потоком жидкости через штуцер 2 подвести раствор пенящегося или поверхностно-активного вещества, то капли жидкости, достигнув целевого объекта, могут лучше распределяться и удерживаться на обрабатываемой поверхности. Если поток жидкости в корпусе 3 направить через электромагнитное поле, то распыленные капли будут обладать электростатическим зарядом [42].

Величина и форма конуса факела распыла определяются количеством, диаметром и формой выходного отверстия, толщиной корпуса сопла 4 распылителя. В соответствии с этим распылители получили различные названия: одно- или многодырочные, кольцевые, щелевые, узко- и широкофакельные [17, 134]. Располагая сопло 4 под углом к оси корпуса 3, можно направить распыливаемую жидкость в требуемую зону обработки [71]. Эта же цель может быть достигнута с помощью специального шарнирного быстросъемного крепления корпуса 3 распылителя на штангах опрыскивателей. Изменением площади «живого» сечения выходного отверстия можно изменять расход жидкости и толщину пленки в факеле распыла. При диаметре отверстия распылителя менее 1 мм сопло может забиваться, что приведет к нарушению требований качества опрыскивания.

В зависимости от способа диспергирования жидкости распыливающие рабочие органы можно классифицировать на гидравличе-

ские, пневматические (газовые, воздушоструйные), механические (ротационные), электрические, ультразвуковые, пульсационные, акустические с подводом энергии через газ и комбинированные (рис. 1.15) [15, 22, 37, 67, 81, 86, 100, 102, 114, 131, 133].

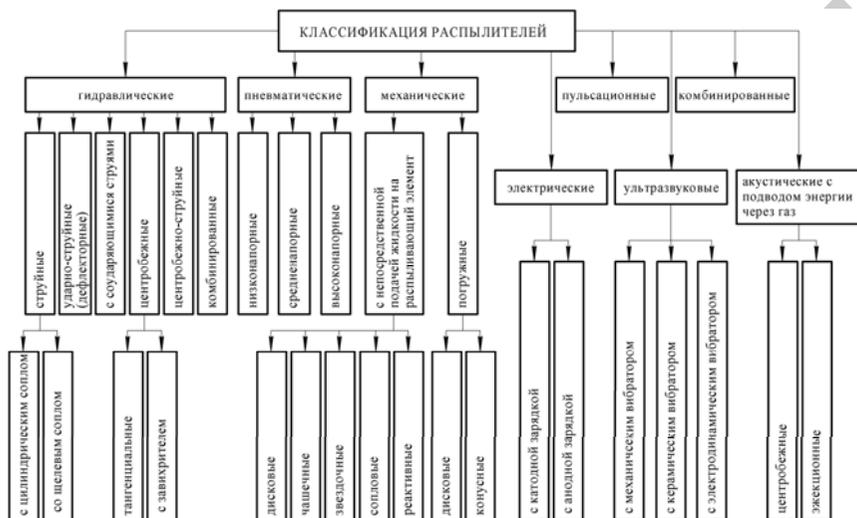


Рис. 1.15. Классификация распылителей

При защите растений эффект, получаемый от опрыскивания, существенно зависит от размера капель, генерируемых распылителем. В зависимости от метода распыления жидкости, получают капли различных классов дисперсности, различающиеся по диаметру, массе и объему (аэрозоли): термические – с диаметром капли по миделеву сечению ($d_k < 20$ мкм); механические ($d_k = 20...50$ мкм); мелкодисперсные ($d_k = 50...150$ мкм); среднедисперсные ($d_k = 150...300$ мкм) и крупнодисперсные ($d_k > 300$ мкм) [65].

В спектре факела гидравлических распылителей закрытого типа, при любых условиях распыла, присутствуют капли всех классов дисперсности (до 7,5 % капель диаметром 0...50 мкм;

85 % капель диаметром 50...150 мкм и 7,5 % капель диаметром более 150 мкм) [31, 67, 71].

Гидравлические распылители вследствие простоты конструкции и отсутствия использования дополнительного оборудования, усложняющего конструкцию агрегата, нашли широкое применение в полевых опрыскивателях.

В гидравлических распылителях диспергирование происходит за счет кинетической энергии движущейся жидкости или энергии ее удара об отражательную поверхность. При этом энергоёмкость распыливания составляет $2...4 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ жидкости [71,103]. В зависимости от принципа работы они подразделяются на струйные (щелевые), центробежные и дефлекторные (рис. 1.16).

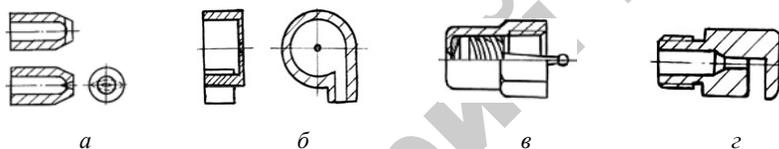


Рис. 1.16. Виды гидравлических распылителей:

a – струйный, *б* – центробежный без завихрителя (тангенциальный);
в – центробежный с завихрителем, *г* – дефлекторный

При работе щелевых струйных распылителей (рис. 1.16, *a*) происходит образование неустойчивой плоской жидкой пленки, распадающейся на капли различных размеров. Струйные щелевые распылители являются наиболее универсальными, поскольку обеспечивают частично регулируемый, более тонкий распыл рабочей жидкости, пригодный для внесения всех видов пестицидов. Вторым их преимуществом является более равномерное распределение рабочей жидкости по ширине конуса распыла. В настоящее время щелевые распылители применяются наиболее широко.

В плоскоструйных (щелевых) распылителях рабочая жидкость формируется в виде веерообразной струи, которая затем, сужаясь, дробится на капли. В зависимости от конструкции распылителя

образуется факел распыла с углом при вершине 80, 110, 120°, который постепенно расширяется от сопла, поэтому оптимальная высота установки распылителей над обрабатываемой поверхностью колеблется от 0,5 до 0,7 м. Двойные плоскофакельные распылители обеспечивают проникновение жидкости в толщу листьев и создают (в сравнении с другими распылителями) более мелкие капли. Плоскоструйные распылители имеют один существенный недостаток – небольшой размер выходного сопла, что требует предельно тщательной очистки рабочего раствора, постоянного контроля работы распылителей.

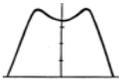
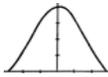
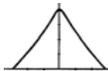
С данной точки зрения наиболее рациональным является использование центробежных и дефлекторных распылителей, у которых размеры выходных сопел большие. Кроме того, неравномерность распределения препарата по ширине захвата полевых опрыскивателей, укомплектованных щелевыми распылителями, достигает 40...50 % [31, 44], а укомплектованных центробежными распылителями – 20...40 % [9, 31, 133].

В центробежных распылителях (рис. 1.16, б, в) жидкость под углом подается в камеру закручивания, имеющую цилиндрическую форму, и начинает вращаться по периферии камеры. Вследствие этого жидкость проходит через сопло пустотелой струей, которая, расширяясь, образует полый конус, состоящий из тонкой пленки у входа, распадающейся затем на мелкие капли, величина которых зависит от интенсивности завихрения перед соплом и размеров камеры закручивания. В зависимости от способа закручивания используют центробежные распылители с завихряющим сердечником и без него (рис. 1.16, б, в). В дефлекторных распылителях (рис. 1.16, г) струя жидкости, ударяясь в наклонную отражательную поверхность, принимает веерообразную форму и затем, уменьшаясь, дробится на капли.

Проведем анализ наиболее часто используемых при опрыскивании полевых культур гидравлических распылителей: центробежного, центробежно-струйного, щелевого и дефлекторного. Основные характеристики распылителей приведены в табл. 1.2.

Многочисленные опыты показали, что наиболее высокое качество покрытия поверхности достигается при распыливании рабочей жидкости на капли размером 50...250 мкм.

Таблица 1.2. Характеристика гидравлических распылителей различных типов

Тип распылителя	Характеристика распылителей				
	Область применения	Факел распыла	Размер капель, мкм	Рекомендуемый угол факела распыла	Эпюра распределения жидкости по факелу распыла [22, 37, 60, 71]
Центробежный (вихревой)	Обработка полевых культур инсектицидами и фунгицидами		мелкие (50...150)	80°	
Центробежно-струйный	Сплошное поверхностное внесение гербицидов с одновременной их заделкой в почву		средние (150...300) и крупные (свыше 300)	80°	
Щелевой	Довсходовая и послевсходовая обработка гербицидами, фунгицидами, инсектицидами		мелкие (50...150), средние (150...300) и крупные (свыше 300)	110°	
Дефлекторный	Внесение почвенных гербицидов и жидких минеральных удобрений		крупные (свыше 300)	120...170°	

Чем мельче капли, тем меньший расход жидкости необходим для получения минимальной плотности перекрытия. Кроме того, мелкие капли обладают лучшей проникающей способностью, чем крупные, которые, имея прямолинейную траекторию, сталкиваются с препятствием, находящимся на их пути, дробятся при ударе на более мелкие и оседают на поверхности. Возможен случай, когда крупные капли, не имея запаса кинетической энергии, при ударе о поверхность не дробятся, а скатываются с нее. Мелкие капли, имея

меньшую кинетическую энергию, вместе с воздушным потоком обтекают листья и проникают внутрь растительного массива.

Несмотря на преимущества (простота конструкции, возможность комплектования широкозахватных агрегатов, опрыскивание с большим диапазоном расхода рабочей жидкости), гидравлические распылители имеют и существенные недостатки: небольшие выходные отверстия, требующие тщательной очистки жидкости, зависимость дисперсности распыла от давления в напорной магистрали, а следовательно, расхода жидкости, затруднено получение монодисперсного распыла, так как в спектре факела присутствуют капли всех классов дисперсности. Кроме того, при использовании гидравлических распылителей при максимально допустимой агротехнической скорости ветра снос препарата достигает 80 %.

Эти недостатки устраняются использованием пневматических (рис. 1.17, *а*, *б*), ротационных (рис. 1.17, *в*), электрических (рис. 1.18, *а*), ультразвуковых (рис. 1.18, *б*, *в*, *г*) и комбинированных распылителей (рис. 1.19), в которых изменение диаметра капель в факеле распыла происходит при постоянном давлении в жидкостной магистрали.

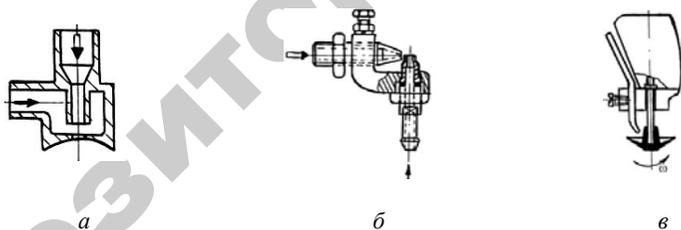


Рис. 1.17. Виды распылителей жидкости:

а – газовый центробежный; *б* – газовый эжекционный; *в* – ротационный

В пневматических распылителях диспергирование жидкости происходит за счет кинетической энергии струи воздуха. При этом энергоемкость распыливания составляет $50 \dots 60 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ жидкости [71, 103]. Струя газа, имея высокую скорость движения, засасывает жидкость из магистрали и дробит ее на капли. Достоинства распылителей данной конструкции: надежность в эксплуатации, большее

выходное отверстие (более 2 мм), подводимая жидкость низкого давления, размер капель регулируется скоростью воздушного потока ($80 \dots 200 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), более тонкий распыл, снижение расхода рабочего раствора.

Дробление жидкости в ротационных распылителях (рис. 1.17, *в*) основано на использовании кинетической энергии вращающихся деталей, которые выполнены в виде дисков или сетчатых барабанов. При этом энергоёмкость распыливания составляет $15 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ жидкости (при дроблении капель с 0,120 до 0,110 мм необходимо увеличить энергию на $150 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ жидкости [71, 103]. Струя жидкости, непрерывно поступающая в виде тонкой пленки с кромок диска или сетки барабана, вращающегося с постоянной угловой скоростью $200 \dots 1000 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, дробится на капли, размеры которых регулируются путем изменения скорости вращения рабочих органов.

Недостатками данного типа распылителей можно назвать высокую точность изготовления и регулировок, быстрый износ, сложность конструкции, необходимой для привода электродвигателей или гидромоторов [37].

Снос капель рабочего раствора пестицидов практически исключен при использовании сил электрического поля (рис. 1.18, *а*) [92]. Данный способ включает следующие стадии: зарядка материала, его распыливание, образование факела распыла, движение получившихся заряженных капель к обрабатываемому объекту, осаждение материала на обрабатываемом объекте. Однако широкое распространение электростатических распылителей сдерживается необходимостью использования дорогостоящего, громоздкого и сложного оборудования, которое работает от источников высокого напряжения.

Принцип работы ультразвуковых распылителей (рис. 1.18, *б, в, г*) основан на использовании ультразвука – сообщении жидкости высокочастотного колебательного движения, в результате которого она находится под динамическим напряжением переменного знака, которое ведет к нарушению молекулярных сил сцепления и дроблению ее на капли [71].

Существенный недостаток этих распылителей, из-за которого он не находит применения в сельском хозяйстве, заключается в высокой стоимости оборудования.

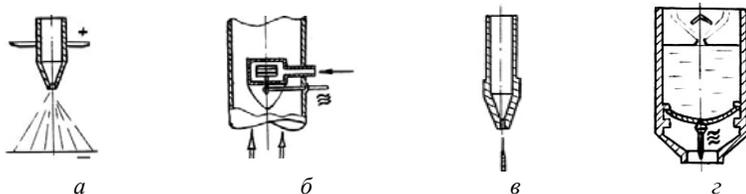


Рис. 1.18. Виды распылителей жидкости:
электрический (а); ультразвуковой с механическим (б), керамическим (в),
электродинамическим (z) вибратором

Распылители, в которых применяются два и более способов дробления жидкости, относятся к комбинированным (рис. 1.19, а, б). К достоинству этой группы распылителей относится возможность в широких пределах регулировать производительность без ухудшения качества распыла, а к недостаткам, кроме указанных для каждого способа, добавляется усложнение конструкции.

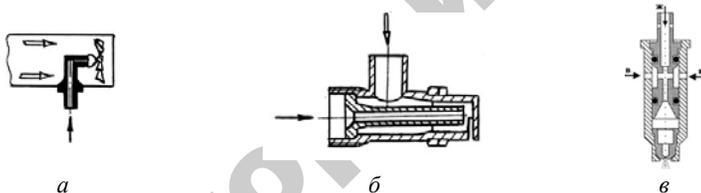


Рис. 1.19. Виды распылителей жидкости:
а, б – комбинированные; в – инжекторный

В настоящее время широкое распространение получили инжекторные распылители (рис. 1.19, в), работа которых основана на принципе *Ventury*. Данные распылители состоят из корпуса и вставленного в него эжектора. Принцип работы распылителя заключается в том, что рабочий раствор пестицида поступает в инжектор через калиброванное отверстие. Его диаметр определяет производительность распылителя. Инжектор имеет радиально расположенные отверстия в зоне самого узкого сечения канала. Рабочая жидкость, проходя это сечение на высокой скорости, создает разрежение, что вызывает подсос воздуха через каналы в корпусе распылителя. Диаметр канала инжектора постепенно увеличивается, жидкость в нем смешивается с воздухом и поступает в корпус

распылителя. Сопло корпуса имеет щелевидную форму и обеспечивает формирование факела распыла в виде плоского веера с необходимым углом при вершине.

При использовании данных распылителей в процессе образования капель в них добавляются пузырьки воздуха, что приводит к увеличению их размеров. Такие капли меньше подвержены сносу и при соударении с обрабатываемой поверхностью распадаются на мелкие, полностью ее покрывая. При этом исключаются потери пестицидов вследствие скатывания больших капель с обрабатываемой поверхности листьев. При использовании данного типа распылителей мелких капель (менее 80 мкм) в факеле распыла практически не бывает.

Режимы работы и конструкции распылителей позволяют получать различные параметры факела распыла, которые для различных обработок определяются агротехническими требованиями.

1.4. Требования к внесению пестицидов полевыми опрыскивателями

Мировые тенденции современного сельскохозяйственного производства связаны с увеличением объемов производства пестицидов, которые являются потенциально опасными веществами. Пестициды, используемые в растениеводстве, постоянно совершенствуются. За последние тридцать лет ассортимент разрешенных к использованию увеличился со 103 до 670 наименований препаративных форм (365 по действующему веществу).

В Республике Беларусь интенсивность сезонной нагрузки составляет 1,6 кг действующего вещества пестицида на 1 га обрабатываемой площади, что, несомненно, дает немалый хозяйственный эффект [65].

Решающее влияние на эффективность использования пестицидов оказывают сроки обработки, равномерность распределения препарата по объекту обработки, норма расхода рабочей жидкости и ее экологическая безопасность. Опрыскивание считается эффективным, когда проводится в нужный момент и обеспечивает мак-

симальное покрытие целевого объекта необходимым количеством препарата, безопасным для человека, животных и окружающей среды.

Большой ассортимент пестицидов выдвигает требования универсальности технологического процесса опрыскивания с регулируемым диапазоном параметров: нормы расхода рабочей жидкости, распределения распыленной жидкости, пределов диспергирования, густоты и полноты покрытия обрабатываемой поверхности растений каплями рабочей жидкости.

Сроки проведения технологических операций. Сроки обработки важны настолько, что ошибки при их выборе не компенсирует даже современная опрыскивающая аппаратура и самые эффективные препараты. Несвоевременная обработка не только снижает эффективность, но и влечет необходимость проведения повторных, что приводит к непроизводительным потерям и повышенной нагрузке на экологию окружающей среды.

Норма расхода рабочей жидкости. В зависимости от нормы расхода рабочей жидкости опрыскивание делится на ультрамалообъемное, малообъемное и полнообъемное. При ультрамалообъемном опрыскивании расход рабочей жидкости на полевых культурах составляет от 1 до 5 л·га⁻¹, при малообъемном – от 10 до 200 л·га⁻¹, при полнообъемном – свыше 300 л·га⁻¹ [67, 93].

Распределение распыленной рабочей жидкости. Распределение рабочей жидкости по объекту обработки зависит от ряда причин: неравномерности распределения в продольном и поперечном направлениях движения опрыскивателя, скорости ветра, состояния воздуха.

При опрыскивании полевых культур очень важно обеспечить как можно более равномерное распределение рабочей жидкости по объему обрабатываемых растений: по всем ярусам – верхнему, среднему, нижнему, наружной и внутренней поверхностям листьев, стеблям. Необходимость обработки всего растения продиктована биологическими особенностями большинства полевых сельскохозяйственных культур. Эта особенность состоит, прежде всего, в том, что вредные организмы и возбудители болезней обитают и размножаются не только на поверхности, но и во внутренней зоне растения, где формируются наиболее благоприятные условия для их жизнедеятельности.

Равномерное распределение рабочей жидкости позволяет снизить расход пестицидов без уменьшения технической эффективности. Так как стоимость пестицидов составляет более половины затрат на защиту растений, то уменьшение расхода дает значительный экономический эффект.

Неравномерность распределения по ширине захвата зависит от типа опрыскивателя, постоянства рабочего захвата, типа, конструкции и расположения распылителей.

Штанговые опрыскиватели обеспечивают наиболее низкую неравномерность по ширине захвата. Неравномерность распределения рабочей жидкости штанговыми опрыскивателями в 4,3 раза меньше, чем вентиляторными (рис. 1.20) [15, 67].

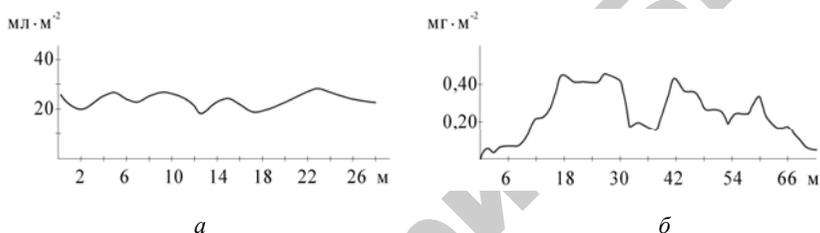


Рис. 1.20. Графики распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателей различного типа: *а* – штанговый; *б* – вентиляторный

Для штанговых опрыскивателей неравномерность распределения рабочей жидкости включает в себя две составляющие:

- неравномерность продольного распределения рабочей жидкости по ходу движения опрыскивателя;
- неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя (ширине захвата).

Неравномерность продольного распределения зависит от постоянства оборотов двигателя и скорости движения опрыскивателя по полю, наличия и конструкции системы стабилизации штанги в горизонтальной плоскости. Немаловажное значение имеет и состояние поверхности поля, наличие неровностей. При соблюдении требуемых технологических режимов работы эту составляющую неравномерности внесения можно свести к минимуму.

Неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя характеризуется коэффициентом вариации.

На каждый процент неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4 % (по объему) его непроизводительного использования, то есть если опрыскиватель распределяет рабочую жидкость с коэффициентом вариации 20 %, то около 8 % раствора пестицида теряется.

Если избежать указанных выше потерь, можно значительно снизить дозировку пестицида на единицу площади. На рис. 1.21 представлена зависимость эффективности применения пестицидов от неравномерности их внесения, выявленная в результате исследований шведских ученых.

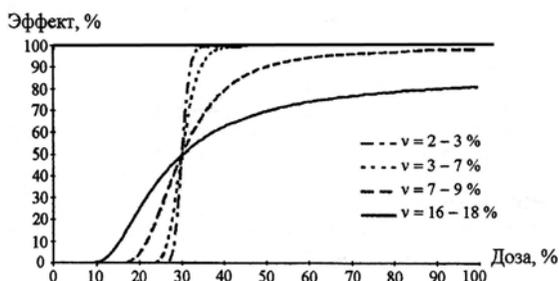


Рис. 1.21. Графические зависимости эффективности применения пестицидов при различной неравномерности их распределения

Анализ графиков (рис. 1.21) показывает, что при коэффициенте вариации менее 7 % достигается 100%-ная эффективность при снижении дозы внесения более чем в 2 раза. В случае высокой неравномерности (более 16 %) невозможно достичь приемлемой эффективности даже при полной дозе применения препарата. Приведенные данные позволяют рассматривать неравномерность распределения как один из важнейших показателей качества опрыскивания.

Коэффициент вариации распределения жидкости по обрабатываемой поверхности не должен превышать: в США – 5 %, в Германии и Англии – 7, во Франции – 10, в Российской Федерации – 15 %. В соответствии с существующими для условий нашей республики агротехническими требованиями неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата машины не должна превышать 15 %, неравномерность расхода рабочей жидкости между распылителями не должна превышать 5 % [15].

Степень покрытия. Для получения хороших биологических результатов важной является степень покрытия обрабатываемого объекта отдельными каплями распыла. Степень покрытия – это отношение площади поверхности, покрытой рабочей жидкостью пестицида, к общей площади поверхности объекта обработки. Степень покрытия поверхности объекта обработки определяется не только физическими свойствами капель пестицида (плотность, прилипаемость, смачивание, поверхностное натяжение и т. д.), но и состоянием окружающей среды, физиологическими свойствами объекта. Соударение капель с поверхностью листьев растений – сложный, еще малоизученный процесс. Он определяется размером и скоростью движения капель, свойствами жидкости, свойствами и состоянием поверхности, скорости ветра, наличием росы и т. д. При этом частицы пестицида могут скатываться или смываться с листьев, испаряться, растекаться и перераспределяться по их поверхности. Однако во всех случаях капли растворов пестицида диаметром менее 400 мкм оказывают больший эффект, чем более крупные.

В результате анализа большого экспериментального материала установлено, что для различных видов пестицидов степень покрытия должна быть не менее 0,5...1,0 % для гербицидов, 2,0...3,0 % – для инсектицидов и фунгицидов. Указанные значения степени покрытия являются критическими, так как их уменьшение ведет к резкому снижению эффективности применения пестицидов.

Степень покрытия зависит от двух параметров: густоты покрытия и размеров капель.

Густота покрытия. Густота покрытия, или количество капель на целевом объекте, зависит от препарата, культуры, вредителей, сорняков и их чувствительности.

Для большинства довсходовых гербицидов достаточно 20 капель на 1 см² целевого объекта. Для послевсходового применения гербицидов рекомендуется 30...40 капель на 1 см² целевого объекта [31, 67, 71]. Для получения хорошего биологического эффекта при обработке фунгицидами и инсектицидами, обладающими контактным действием, требуется 50...70 капель на 1 см². Общее требование к штанговым опрыскивателям – покрытие каплями 80 % верхней и 60 % нижней листовой поверхности [67].

Пределы диспергирования рабочей жидкости (размер капель). Для каждого вида опрыскивания характерен определенный размер

капель факела распыла. По этому показателю опрыскивание делится: на аэрозольное – со средним диаметром капель до 50 мкм, мелкокапельное – от 50 до 150 мкм, среднекапельное – от 150 до 300 мкм, крупнокапельное – свыше 300 мкм [67].

Размер капель раствора рабочей жидкости – существенный фактор, влияющий на эффективность применения пестицидов. Чем больше капель попало на единицу площади, тем лучший эффект. Необходимо отметить, что для каждого конкретного случая существует свой оптимальный размер капель, зависящий от многих факторов: вида растения, его состояния, применяемого препарата, интенсивности сноса частиц ветром, рассеивания их в приземном слое атмосферы, испаряемости рабочей жидкости, смачиваемости листовой поверхности, размеров обрабатываемого участка и пр.

Препараты преобладающего контактного действия вносят методом крупнокапельного опрыскивания. Предельными считаются капли диаметром 0,4 мм, так как они, стекая с листьев сорняков, не дают нужного эффекта. При обработке системными гербицидами преобладающего листового действия рекомендуется диаметр капель 0,1...0,2 мм, так как капли меньшего размера более равномерно покрывают обрабатываемую поверхность, хоть и увеличивают опасность сноса и потери препарата. Почвенные гербициды вносятся в виде капель диаметром 0,3...0,5 мм.

Кроме перечисленных параметров физической и биологической эффективности, существенное влияние оказывают и такие показатели, как рабочая скорость опрыскивателей, ширина захвата, определяющие производительность опрыскивания.

Рабочая ширина захвата штанговых опрыскивателей должна быть кратной ширине захвата посевных и посадочных агрегатов. Диапазон рабочих скоростей – 4...12 км·ч⁻¹.

Состояние окружающей среды. Все работы с пестицидами в жаркую пору (выше +27 °С) должны вестись в ранние утренние часы и вечером при отсутствии восходящих потоков воздуха. Это вызвано увеличением концентрации пестицидов в воздухе вследствие испарения капель, затруднениями использования средств индивидуальной защиты и спецодежды, увеличением опасности отравления. В пасмурную и прохладную погоду работа может проводиться в дневные часы за 2 ч до начала дождя.

Установлено, что из зоны обработки сносятся все капли диаметром менее 80 мкм при скорости ветра до $0,25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и менее 250 мкм – до $0,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [71]. При движении по полю тракторного агрегата в безветренную погоду со скоростью $10 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ за ним создается турбулентный след возмущенных воздушных масс, движущихся в поперечном направлении со скоростью до $0,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [31, 39]. Это также приводит к выносу пестицидов из зоны обработки и насыщению ими воздуха. Воздействие ветра на каплю рабочего раствора будет сопровождаться от момента ее вылета из сопла распылителя до момента оседания. Поэтому существует ограничение на проведение химзащитных работ в ветреную погоду: опыливание растений наземной аппаратурой допускается при скорости ветра не более $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; опрыскивание с использованием полевых штанговых опрыскивателей – не более $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; вентиляторных – не более $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

При проведении технологических операций химической защиты растений в случае несоблюдения агротехнических требований возникают потери пестицидов.

1.5. Потери пестицидов в растениеводстве

В силу природы химизма действующего вещества пестициды обладают различной скоростью разложения в биологических средах и различной стойкостью. Стойкость препаратов во внешней среде накладывает отпечаток на структуру севооборота будущего сезона, особенности хранения пестицидов и т. д. Так, пестициды, обладающие ничтожной летучестью, отличаются повышенной стойкостью, и наоборот, летучие препараты – малостойкие соединения.

При работе сельскохозяйственных опрыскивателей могут возникать ситуации, приводящие к потере пестицидов: неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине штанги опрыскивателя; снос препаратов ветром; испарение мелких капель; скатывание с обрабатываемой поверхности крупных капель; огрехи и перекрытия соседних проходов [16, 28, 31, 48, 49, 55, 56, 57, 67, 70, 71, 74, 79, 108, 115, 139].

Степень влияния каждого из перечисленных факторов определяется физико-механическими свойствами распыляемого препарата (вязкость, поверхностное натяжение, концентрация и др.), биологическими особенностями объекта обработки, а также аэродинамическим состоянием окружающей среды в момент обработки.

Равномерность распределения пестицидов по ширине захвата обеспечивается соблюдением заданной нормы внесения при изменении скорости движения опрыскивателя, своевременным отключением штанги (секций штанги) при выезде опрыскивателя на разворотную полосу или на ранее обработанные участки, правильным подбором, установкой распылителей, качественной их работой, соблюдением технологических параметров во время движения агрегата, использованием маркеров и электроники.

Испарение капель в условиях полевого опрыскивания – сложный физический процесс. Он происходит на трех этапах полета капель: при формировании факела распыленной жидкости; при их падении и осаждении и во время нахождения на поверхности обрабатываемого объекта. Первый и третий этапы характерны для опрыскивателей любых типов. Второй этап – только для опрыскивателей, работающих методом волн. Опытами установлено, что при тонком распыле процесс испарения идет значительно быстрее, чем при крупном, так как меньшие капли обладают большей удельной поверхностью. Стандартных, рекомендованных для практики методов расчета испарения капель пестицида не существует. Слишком мелкие капли, испаряясь и превращаясь в сухие микроостатки пестицида, всегда либо угнетают растения, либо распространяются в биосфере, загрязняя среду обитания. Расчеты показывают, что испарением капель водных препаратов, генерируемых гидравлическим опрыскивателем с поперечной штангой и распылителями, направленными вниз, во время пребывания их в воздухе можно пренебречь.

На испарение влияют температура и влажность воздуха, а также высота установки распылителя по отношению к обрабатываемому объекту (табл. 1.3).

При типичных условиях работы опрыскивателей (скорость ветра $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, высота установки штанги 0,5 м, относительная влажность воздуха 65 %, температура воздуха $+20 \text{ }^\circ\text{C}$) до 30...40 % капель достигают объекта обработки [48].

Таблица 1.3. Продолжительность жизни капель различного диаметра и пройденный ими путь в зависимости от температуры и влажности воздуха [61]

Диаметр капель, мкм	Температура +20 °С, влажность 80 %		Температура +30 °С, влажность 50 %	
	Продолжительность жизни, с	Пройденный путь, м	Продолжительность жизни, с	Пройденный путь, м
50	14	0,5	4	0,15
100	57	8,5	16	2,4
200	227	136,5	65	39,0

Соударение капель с поверхностью листьев растений – сложный и малоизученный процесс, который определяется размером и скоростью движения капель, физико-механическими свойствами жидкости и обрабатываемого объекта, его состоянием. В результате соударения капли могут распадаться на более мелкие, прилипать к поверхности листа, отскакивать или скатываться с нее. Для обеспечения эффективного ленточного опрыскивания необходимо создать условия полного прилипания 100 % капель, осевших на обрабатываемую поверхность. Этот процесс успешно регулируется с помощью разнообразных поверхностно-активных веществ (ПАВ). При взаимодействии с поверхностью растений капли раствора с ПАВ действуют как смачивающие вещества, увеличивая площадь контакта между каплей и листовой поверхностью. Придавая водным растворам пестицидов некоторые свойства масел, ПАВ и эмульгаторы значительно понижают поверхностное и межфазовое натяжение, повышают способность раствора смачивать обрабатываемые поверхности и помогают вступить в контакт с водной фазой листа. Наибольшее снижение поверхностного натяжения водных растворов обеспечивается при концентрациях ПАВ в пределах 0,01...0,10 %. Растворы пестицидов с ПАВ эффективны в том случае, если они достигнут поверхности объекта обработки. Это возможно только при проведении опрыскивания в стабильную безветренную погоду.

Состояние стабильности приземного атмосферного слоя оказывает влияние не только на процент эффективного использования препарата, но и на снос частиц распыленного препарата за пределы обрабатываемой площади. Аэродинамическим состоянием воздуха определяются не только процент целевого использования пестицидов, но и снос распыленного раствора за пределы обрабатываемой площади. Снос рабочего раствора пестицидов – это «доля расходуемого количества раствора, который во время опрыскивания

горизонтальными или вертикальными атмосферными воздушными потоками сносится с обрабатываемой площади и оседает вне ее или переносится во взвешенном состоянии на большие расстояния (доля атмосферного сноса)» [48].

Ветер (перемещение воздушных масс в горизонтальном направлении) – важнейший фактор, оказывающий влияние на распределение распыленной рабочей жидкости. Основные характеристики ветра – скорость и направление – зависят от распределения атмосферного давления на данной территории (барический рельеф). Для Беларуси, расположенной в умеренном поясе северного полушария, главными факторами, определяющими режим ветров, являются азорский максимум и исландский минимум давлений, сибирский антициклон и обширные области повышенного давления над Арктикой. Летом наиболее развитый азорский максимум с давлением 766...768 мм рт. ст. обуславливает потенциальное направление ветра с юга на север [31, 56].

В Беларуси наблюдения за режимом ветров ведутся на 50 метеостанциях. Результаты обработки многолетних данных по всем метеостанциям позволяют сделать вывод о том, что среднегодовая скорость ветра на территории республики колеблется в пределах от 3,6 до 5,6 м · с⁻¹, при средней скорости 4,6 м · с⁻¹. Около 60 % площади территории Беларуси характеризуется средней многолетней скоростью ветра от 4 до 5 м · с⁻¹. Данная площадь охватывает юг и юго-восток республики, включая значительную часть Могилевской области со средней скоростью ветра от 4,0 до 4,5 м · с⁻¹, северную часть и узкую полосу запада Витебской области со скоростью 4,5...5,0 м · с⁻¹. Наиболее высокие средние скорости ветра, от 5,0 до 5,6 м · с⁻¹, отмечены в центральной и северо-восточной частях Беларуси. Характер изменения сезонного движения воздушных масс по данным всех метеостанций страны примерно одинаков (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Показатели изменения средней скорости ветра в течение года (по месяцам)

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя скорость, м · с ⁻¹	6,2	5,9	5,9	5,7	5,1	4,5	4,4	4,2	4,5	5,5	6,1	6,1

Интенсивное использование средств химической защиты растений в растениеводстве приходится на апрель–июль. В этот период среднемесячная скорость ветра весьма близка среднегодовой и находится в пределах $4,4 \dots 5,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а количество дней с безветренной погодой составляет в месяц от 7 до 12 (в среднем 9,5).

Суточное изменение скорости ветра обусловлено атмосферно-термическими колебаниями местного порядка. С восходом солнца интенсивность ветра увеличивается, достигая своего максимума в полдень, и убывает к закату. Отношение средней дневной к средней суточной скорости ветра в теплое время года находится в соотношении, близком к $1,5:1,0$. В мае, июне, июле и частично в августе вероятность ветра со скоростью более $6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ в полдень может быть больше в четыре раза, чем ночью.

Таким образом, с апреля по август среднедневные скорости ветра превышают допустимые пределы при малообъемном опрыскивании в $1,5 \dots 2$ раза и при ультрамалообъемном опрыскивании – в $2 \dots 3$ раза. Поскольку трудовым законодательством предусмотрено выполнение сельскохозяйственных работ по уходу за растениями химическим способом только в светлое время суток, то и вероятность сноса капель рабочей жидкости пестицида также возрастает в $1,5 \dots 3$ раза. Особенно актуальны вопросы сноса рабочего раствора из зоны обработки при уходе за растениями, возделываемыми по гребневой технологии.

Анализ климатических условий Республики Беларусь показывает, что в период интенсивного ухода за посевами (посадками) ежедневно можно определить не более $2 \dots 3$ ч, соответствующих агротехническим условиям химической защиты растений.

В факеле распыленной жидкости всегда присутствуют от $7,5$ до $15,0\%$ капель диаметром менее 80 мкм . Капли данного класса легко сносятся из зоны обработки даже при скорости ветра менее $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Проблема сноса обостряется при низкой относительной влажности воздуха, когда интенсивно испаряется вода, являющаяся наиболее распространенным растворителем препаратов пестицидов. Это приводит к уменьшению размеров капель, и они более длительное время остаются в воздухе. При этом даже минимальное количество пестицида может привести к существенным негативным последствиям.

Снос капель рабочего раствора из зоны обработки зависит от способов и средств внесения пестицидов. Потери пестицида из-за сноса иногда достигают 90 %. При работе опрыскивателей величина сноса определяется не только размером капель, но и скоростью и направлением ветра, высотой установки распылителей над обрабатываемым объектом [31, 71]. Величины сноса капель (расстояние падения от края обрабатываемой полосы) зависимости от их диаметра и скорости ветра приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Величина сноса капель жидкости с высоты падения 0,5 м в зависимости от их диаметра и скорости ветра [48]

Диаметр капель, мкм	Скорость оседания капель, м · с ⁻¹	Скорость ветра, м · с ⁻¹		
		333,0	500,0	833,3
10	0,003	333,0	500,0	833,3
20	0,012	83,3	225,0	208,0
40	0,046	21,7	32,6	54,2
60	0,100	10,0	15,0	25,0
80	0,170	5,9	8,8	14,7
100	0,250	4,0	6,0	10,0
120	0,340	2,9	4,4	7,4
140	0,430	2,3	3,5	5,8
200	0,720	1,4	2,1	3,5
250	0,900	1,1	1,7	2,8
300	1,150	0,9	1,3	2,2
400	1,600	0,6	0,9	1,6
500	2,200	0,5	0,7	1,1

Особенно важно предотвратить снос при ленточном опрыскивании, поскольку незначительное смещение факела за пределы защитной зоны растений в междурядье оказывает существенное влияние на эффективность проводимых мероприятий. Несовершенством методов доставки определяются и рекомендации по назначению допустимой величины сноса пестицидов из зоны обработки. Некоторые ученые не рекомендуют проводить химическую обработку растений на полях, расположенных ближе 2000 м от населенных пунктов и 800 м от животноводческих помещений. Такие рекомендации для большинства районов Беларуси неприемлемы, потому что расстояние между соседними населенными пунктами во многих случаях не превышает 3...4 км. В инструкциях по применению пестицидов рекомендуется проводить опры-

скивание на полях, расположенных не ближе 5 м от участков с чувствительными к пестицидам растениями, или оставлять защитные зоны по краям обрабатываемых полей шириной 15...20 м. Среднее хозяйство Беларуси имеет около 20 % полей площадью 2...6 га со сложной конфигурацией границ. Чаще всего такие поля используют в хозяйствах для возделывания пропашных и овощных культур. На этих полях защитные полосы превращаются в «инкубаторы» для сорняков, вредителей и возбудителей болезней возделываемых культур. В большинстве случаев рекомендации по определению допустимых величин защитных полос не подкреплены методикой измерения сноса капель рабочего раствора из зоны обработки.

Совершенно не логично и противоречиво утверждение, что «если скорость ветра равна или выше скорости оседания капель, то они далеко уносятся ветром». Ветер – это силовой фактор, действующий на каплю со стороны подвижной сопротивляющейся среды. Действие этого фактора на каплю будет сопровождаться от момента ее вылета из сопла распылителя до момента оседания на землю, растение, вредителя и т. д. Наблюдениями установлено, что облако капель жидкости с диаметром капель менее 50 мкм, движущееся со скоростью $1...2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, быстро рассеивается воздушным потоком, движущимся со скоростью менее $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Поэтому снос происходит не при равенстве скоростей ветра и капель, а скорость капли и траектория ее полета определяются скоростным напором ветра [31, 71].

Значит, ограничивающими климатическими факторами, определяющими эффективность химической защиты растений и величину потерь, следует отметить значительную скорость ветра (более $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), выпадение значительных атмосферных осадков (длительность более 2 ч в сутки или количество более 5 мм в сутки) и температуру воздуха (свыше $+20...+22 \text{ }^\circ\text{C}$). Исходя из этих условий, профессор А.В. Ключков определил суммарное время для эффективного использования средств защиты растений за май–июль, которое составило 353...371 ч [56].

Одним из резервов увеличения возможного времени использования опрыскивателей является качественное выполнение технологического процесса в ветреную погоду. Поэтому важными направлениями являются исследования закономерностей сноса капель ветром и разработка технических средств для снижения или исключения потерь препаратов при обработках в ветреную погоду.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

2.1. Параметры установки распылителей

Параметры установки распылителей на штанге определяются расстоянием b_p между ними и высотой H установки относительно обрабатываемой поверхности. При этом в зависимости от метода обработки распылители могут устанавливаться непосредственно над обрабатываемым объектом (рис. 2.1, а) или под углом к нему (рис. 2.1, б)

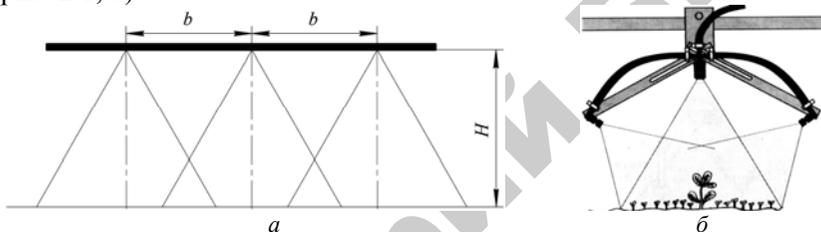


Рис 2.1. Схемы установки распылителей относительно объекта обработки

Установка распылителей при ленточном внесении гербицидов на полях пропашных культур определяется относительно почвообрабатывающих рабочих органов и обрабатываемой поверхности.

Минимальное расстояние при установке распылителей перед почвообрабатывающими рабочими органами (заделка гербицидов) определяется из условия полного оседания капель рабочего раствора до начала воздействия почвообрабатывающих рабочих органов на почву.

Минимальное расстояние выноса распылителей относительно почвообрабатывающих рабочих органов при установке позади него определяется из условия полного оседания частиц почвы, которым была передана энергия движения рабочих органов, до нанесения пленки гербицида: то есть в момент соприкосновения капель рабочей жидкости с обрабатываемой поверхностью частицы почвы должны находиться в неподвижном состоянии, их конечная скорость равна нулю.

При установке распылителя на меньшем расстоянии от рыхлителя капли, вылетев, столкнутся с движущимися частицами почвы,

что приведет к нарушению закономерности их движения и ухудшению качества выполнения технологического процесса, следовательно, к снижению его эффективности. Возрастание расстояния установки распылителя повлечет необоснованное увеличение конструктивной длины агрегата, значит, и материалоемкости конструкции.

Расстояние выноса распылителей относительно почвообрабатывающих рабочих органов также зависит от параметров их установки относительно обрабатываемых поверхностей, которые определяются граничными условиями. Нижний предел соответствует началу разрушающего воздействия, когда воздушно-жидкостная струя повреждает растения и нарушает структурные связи почвы.

Верхний предел установки определяется совокупностью следующих параметров: размерами гребня $B_r \times b_r \times h_r$, шириной обрабатываемой полосы гребня c_r , углом наклона оси распылителя к вертикали α_p и углом при вершине факела распыла $2\gamma_p$ (рис. 2.2) [87].

То есть

$$H_{\min} \leq H \leq H_{\max}, \quad (2.1)$$

или

$$H \{ [F_{\text{разр}}] \} \leq H \leq H \{ c_r, 2\gamma_p, \alpha_p \}, \quad (2.2)$$

где $[F_{\text{разр}}]$ – допустимая сила воздействия воздушно-капельной струи.

Определим максимально возможную высоту установки распылителя над поверхностью гребня.

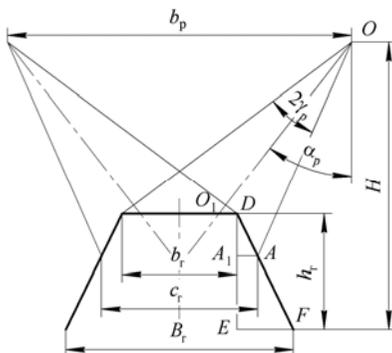


Рис. 2.2. Схема к обоснованию высоты установки распылителей относительно гребня

Дальность полета капель зависит от высоты установки распылителя над обрабатываемой поверхностью (в данном случае – над поверхностью гребня):

$$h = H - h_{\Gamma}, \quad (2.3)$$

где H – высота установки распылителя над центром междурядья;

h_{Γ} – высота гребня.

Для расчетов принимаем образующую конуса – отрезок OA , угол наклона к оси факела распыла которого γ_p .

Длина отрезка OA будет равна:

– в выражении через ширину междурядья:

$$l_{OA} = \frac{\frac{b_{\Gamma} - c_{\Gamma}}{2}}{\cos(90 - (\alpha_p - \gamma_p))} = \frac{b_{\Gamma} - c_{\Gamma}}{2 \sin(\alpha_p - \gamma_p)}, \quad (2.4)$$

где c_{Γ} – ширина обрабатываемой полосы;

– в выражении через высоту установки распылителя над поверхностью гребня:

$$l_{OA} = \frac{H - (h_{\Gamma} - l_{A_1D})}{\sin(90 - (\alpha_p - \gamma_p))} = \frac{H - h_{\Gamma} + l_{A_1D}}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)}. \quad (2.5)$$

Длину отрезка A_1D можно найти из условия подобия треугольников A_1DA и EDF . Поэтому можно записать следующее отношение:

$$\frac{l_{A_1D}}{l_{ED}} = \frac{l_{A_1A}}{l_{EF}}. \quad (2.6)$$

Учитывая, что $l_{ED} = h_{\Gamma}$ и

$$l_{EF} = \frac{B_{\Gamma} - b_{\Gamma}}{2}, \quad (2.7)$$

$$l_{A_1A} = \frac{c_{\Gamma} - b_{\Gamma}}{2}, \quad (2.8)$$

зависимость (2.6) примет следующий вид:

$$\frac{l_{AD}}{h_r} = \frac{\frac{c_r - b_r}{2}}{\frac{B_r - b_r}{2}}. \quad (2.9)$$

Откуда

$$l_{AD} = \frac{h_r(c_r - b_r)}{B_r - b_r}. \quad (2.10)$$

Тогда

$$l_{OA} = \frac{H - h_r + \frac{h_r(c_r - b_r)}{B_r - b_r}}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)} = \frac{H}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)} - \frac{h_r}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)} \frac{B_r - c_r}{B_r - b_r}. \quad (2.11)$$

Приравнивая правые части (2.4) и (2.11), получим:

$$\frac{b_r - c_r}{2 \cdot \sin(\alpha_p - \gamma_p)} = \frac{H}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)} - \frac{h_r}{\cos(\alpha_p - \gamma_p)} \frac{B_r - c_r}{B_r - b_r}. \quad (2.12)$$

Откуда высота установки распылителя:

– над междурядьем:

$$H = \frac{b_r - c_r}{2} \operatorname{ctg}(\alpha_p - \gamma_p) + h_r \frac{B_r - c_r}{B_r - b_r}; \quad (2.13)$$

– над поверхностью гребня:

$$h = \frac{b_r - c_r}{2} \operatorname{ctg}(\alpha_p - \gamma_p) - h_r \frac{c_r - b_r}{B_r - b_r}. \quad (2.14)$$

При установке распылителя непосредственно над гребнем (то есть $\alpha_p = 0$) зависимость (2.14) примет следующий вид:

$$h = \frac{c_r}{2} \operatorname{ctg} \gamma_p - h_r \frac{c_r - b_r}{B_r - b_r}, \quad (2.15)$$

а при установке на штанге над обрабатываемой поверхностью:

$$h = \frac{c_{\Gamma}}{2} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{p}}.$$

2.2. Закономерности падения капель рабочих растворов пестицидов в сопротивляющейся воздушной среде

В зависимости от степени учета аэродинамических сил кинематические характеристики движения капель могут быть определены по одной из трех расчетных моделей:

- полет капель осуществляется под действием сил тяжести без учета сил сопротивления среды;
- полет капель осуществляется под действием сил тяжести в неподвижной сопротивляющейся окружающей среде;
- полет капель осуществляется под действием сил тяжести в подвижной сопротивляющейся окружающей среде.

Теоретические основы движения тел по каждой из перечисленных выше моделей изложены в классической механике. Так, движение материальных тел под действием сил тяжести изложено в работе [13], где рассмотрено частное решение задачи о падении твердого тела на землю с заданной высоты без начальной скорости. Решение баллистической задачи о движении тяжелого материального тела, движущегося с большой начальной скоростью под произвольным углом к горизонту без учета сил сопротивления, представлено в работе [53], а с учетом сил сопротивления – в работе [81]. Анализ приведенных источников позволяет сделать вывод о том, что механический перенос результатов исследования полета тяжелых твердых тел на движение мелкодисперсных капель распыленной жидкости может привести к ошибкам не только количественного, но и качественного характера.

В качестве исходных предпосылок, сформулированных в результате анализа многочисленных исследований [2, 8, 9, 36, 61, 84, 85, 144], могут быть обосновано приняты следующие:

- расчетная форма капли в виде шара;
- возможности использования (на различных этапах исследований) подвижных и неподвижных осей координат;

- силы сопротивления полету капель в воздушной среде пропорциональны квадрату скорости и зависят от ряда параметров воздуха и жидкости.

Механизм осаждения капель рабочего раствора пестицидов на обрабатываемой поверхности сложен и многообразен. Капля, оторвавшись от выброшенной из сопла распылителя струи жидкости, обладая запасом кинетической энергии, замедленно движется под действием движущей силы (силы тяжести) и силы сопротивления среды. Спустя некоторое время, когда эти силы взаимно уравниваются, она достигает конечной скорости и движется по определенной траектории, параметры которой определяются начальными условиями истечения жидкости из сопла и состоянием окружающей среды.

Исследование закономерностей движения капель в воздушной среде позволяет определить скорость и координаты падения на обрабатываемую поверхность, обосновать конструкцию, размеры, оптимальные режимы работы и параметры установки распылителей, что особенно важно на стадии проектирования конструкций полевых опрыскивателей и распылителей.

Для изучения закономерностей движения капель в воздушной среде примем следующие допущения: расчетная форма капли – в виде шара, силы сопротивления ее полету пропорциональны квадрату скорости и она не меняет своей массы и формы на протяжении всей траектории движения.

2.2.1. Исследование закономерностей движения капель в неподвижной системе координат

Капля жидкости M массой m_k , выброшенная из сопла распылителя в окружающую среду со скоростью v_{k0} под углом γ_{p0} к вертикали, совершает дальнейшее движение под действием сил тяжести G_k и лобового сопротивления воздуха F_c [87]. Сила лобового сопротивления направлена по касательной к траектории полета в сторону, противоположную направлению движения, и является заданной функцией скорости капли v_k :

$$F_c = -k_\lambda v_k^2,$$

где k_λ – приведенный коэффициент сопротивления, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1}$.

Сила тяжести, действующая на каплю, определяется по формуле:

$$G_k = m_k g,$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Закономерности движения каплей рабочего раствора пестицида можно получить, используя принципы интегрирования и дифференцирования [87].

Для исследования закономерностей движения капли свяжем с ней неподвижную (декартову) систему координат – xOz , начало которой поместим в точку вылета капли из сопла распылителя O (рис. 2.3).

Уравнения движения капли вдоль осей будут иметь вид:

$$Ox: m_k \frac{dv_{kx}}{dt} = -k_\lambda v_{kx}^2, \quad (2.16)$$

$$Oz: m_k \frac{dv_{kz}}{dt} = m_k g - k_\lambda v_{kz}^2, \quad (2.17)$$

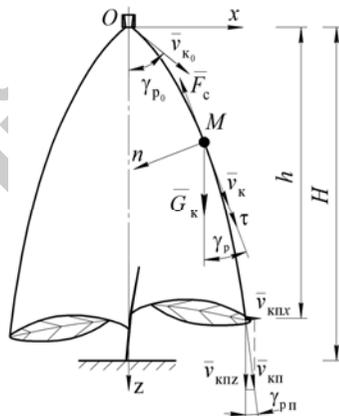


Рис. 2.3. Расчетная схема падения капли жидкости в воздушной среде

где v_{kx}, v_{kz} – проекции скорости движения капли соответственно на ось Ox и Oz :

$$v_{kx} = v_k \cdot \sin \gamma_p;$$

$$v_{kz} = v_k \cdot \cos \gamma_p.$$

Разделив левую и правую части уравнений на m_k , получим:

$$\frac{dv_{kx}}{dt} = -\frac{k_\lambda}{m_k} v_{kx}^2 = -C_T v_{kx}^2; \quad (2.18)$$

$$\frac{dv_{kz}}{dt} = g - \frac{k_\lambda}{m_k} v_{kz}^2 = g - C_T v_{kz}^2, \quad (2.19)$$

где C_T – отношение приведенного коэффициента сопротивления движению капли к ее массе, 1/м [72]:

$$C_T = \frac{k_\lambda}{m_k} = \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot S_k \cdot \rho_\Gamma,$$

где ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления движению капли в окружающей среде (для тел сферической формы $\xi = 0,5$) [72];

S_k – площадь миделева сечения капли, м²;

ρ_Γ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг·м⁻³.

Найдем решение уравнения (2.18), удовлетворяющее начальным условиям вылета капли из сопла распылителя (при $v_{kx} = v_{kx_0}$, $t_0 = 0$). Для этого проинтегрируем левую и правую части уравнения:

$$\int \frac{dv_{kx}}{v_{kx}^2} = -C_T \int dt,$$

или

$$-\frac{1}{v_{kx}} = -C_T t + C_1 = -C_T t - \frac{1}{v_{kx_0}}, \quad (2.20)$$

где C_1 – постоянная интегрирования. При начальных условиях ($v_{kx} = v_{kx_0}$, $t_0 = 0$) $C_1 = -\frac{1}{v_{kx_0}}$.

Тогда

$$-\frac{1}{v_{kx}} = -C_T t - \frac{1}{v_{kx_0}}, \quad (2.21)$$

откуда

$$v_{\text{кx}} = \frac{1}{C_T t + \frac{1}{v_{\text{кx}_0}}} = \frac{v_{\text{кx}_0}}{C_T v_{\text{кx}_0} t + 1}. \quad (2.22)$$

Для определения координаты капли на горизонтальной оси Ox уравнение (2.22) представим в следующем виде:

$$v_{\text{кx}} = \frac{dx}{dt} = \frac{v_{\text{кx}_0}}{1 + C_T v_{\text{кx}_0} t},$$

или

$$dx = \frac{v_{\text{кx}_0}}{1 + C_T v_{\text{кx}_0} t} dt. \quad (2.23)$$

Проинтегрируем левую и правую части уравнения (2.23) и получим

$$\int dx = \int \frac{v_{\text{кx}_0}}{1 + C_T v_{\text{кx}_0} t} dt,$$

$$\text{или} \quad x = \frac{v_{\text{кx}_0}}{C_T v_{\text{кx}_0}} \ln |1 + C_T v_{\text{кx}_0} t| + C_2 = \frac{1}{C_T} \ln |1 + C_T v_{\text{кx}_0} t|, \quad (2.24)$$

где C_2 – постоянная интегрирования. При начальных условиях ($t_0 = 0$, $x = 0$) $C_2 = 0$.

Представим зависимость (2.24) в следующем виде:

$$e^{C_T x} = 1 + C_T v_{\text{кx}_0} t$$

и определим время t :

$$t = \frac{e^{C_T x} - 1}{C_T v_{\text{кx}_0}}. \quad (2.25)$$

Запишем уравнение (2.19) в следующем виде:

$$\frac{dv_{\text{kz}}}{dt} = C_T \left(\frac{g}{C_T} - v_{\text{kz}}^2 \right) = C_T (j^2 - v_{\text{kz}}^2), \quad (2.26)$$

где $j^2 = \frac{g}{C_T}$.

Проинтегрируем левую и правую части выражения (2.26) (для условия $v_{kz}^2 < j^2$), получим

$$\int \frac{dv_{kz}}{j^2 - v_{kz}^2} = C_T \int dt,$$

или

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{kz}}{j - v_{kz}} = C_T t + C_3 = C_T t + \frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{kz_0}}{j - v_{kz_0}}, \quad (2.27)$$

где C_3 – постоянная интегрирования. При начальных условиях ($v_{kz} = v_{kz_0}$, $t_0 = 0$) $C_3 = \frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{kz_0}}{j - v_{kz_0}}$.

Обозначим $\eta = \frac{j + v_{kz_0}}{j - v_{kz_0}}$, тогда уравнение (2.27) примет вид:

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{kz}}{j - v_{kz}} = C_T t + \frac{1}{2j} \ln \eta. \quad (2.28)$$

Запишем зависимость (2.28) в следующем виде:

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{kz}}{\eta(j - v_{kz})} = C_T t,$$

или

$$\ln \frac{j + v_{kz}}{\eta(j - v_{kz})} = 2jC_T t. \quad (2.29)$$

Преобразуем зависимость (2.29), получим:

$$\frac{j + v_{kz}}{j - v_{kz}} = \eta e^{2jC_T t},$$

или

$$j + v_{kz} = \eta j e^{2jC_T t} - \eta v_{kz} e^{2jC_T t}.$$

$$v_{kz} (\eta e^{2jC_T t} + 1) = j (\eta e^{2jC_T t} - 1).$$

Откуда скорость капли вдоль оси Oz равна

$$v_{kz} = \frac{j(\eta e^{2jC_T t} - 1)}{\eta e^{2jC_T t} + 1}. \quad (2.30)$$

Для определения координаты капли на оси Oz уравнение (2.30) представим в следующем виде:

$$v_{kz} = \frac{dz}{dt} = \frac{j(\eta e^{2jC_T t} - 1)}{\eta e^{2jC_T t} + 1}. \quad (2.31)$$

Проинтегрируем левую и правую части зависимости (2.31), получим

$$\int dz = \int \frac{j(\eta e^{2jC_T t} - 1)}{\eta e^{2jC_T t} + 1} dt = \int \frac{j\eta e^{2jC_T t}}{1 + \eta e^{2jC_T t}} dt - \int \frac{j}{1 + \eta e^{2jC_T t}} dt. \quad (2.32)$$

Используя формулы интегрирования [11], получим

$$\begin{aligned} z &= \frac{j\eta}{2jC_T \eta} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| - j \left[\frac{t}{1} - \frac{1}{2jC_T} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| \right] + C_4 = \\ &= \frac{j\eta}{2jC_T \eta} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| - jt + \frac{j}{2jC_T} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| + C_4 = \\ &= \frac{1}{C_T} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| - jt + C_4, \end{aligned} \quad (2.33)$$

где C_4 – постоянная интегрирования.

При начальных условиях ($z_0 = 0$, $t_0 = 0$) постоянная интегрирования равна

$$C_4 = -\frac{1}{C_T} \ln|1 + \eta|. \quad (2.34)$$

Тогда выражение (2.32) примет вид:

$$z = \frac{1}{C_T} \ln|1 + \eta e^{2jC_T t}| - jt - \frac{1}{C_T} \ln|1 + \eta|, \quad (2.35)$$

или

$$z = \frac{1}{C_T} \ln \left| \frac{1 + \eta e^{2jC_T t}}{1 + \eta} \right| - jt. \quad (2.36)$$

Зная начальные условия вылета капли из сопла распылителя и состояние окружающей среды, используя зависимости (2.22), (2.24), (2.30) и (2.36), можно определить координаты положения капли и величину скорости ее движения.

2.2.2. Исследование закономерностей падения капли с использованием естественной и неподвижной системы координат

Единственный, но существенный недостаток уравнений (2.16), (2.17) состоит в том, что в левых частях записаны производные по времени от проекций скорости на координатные оси, а в правых – произведение квадрата полной скорости на косинус (синус) угла между вектором скорости и одной из перечисленных осей, то есть произведение двух независимых переменных в разных степенях. Методы решения задачи о движении материальной точки под действием сил, зависящих от квадрата скорости, являются приближенными.

Положение материальной точки в инерционной системе отсчета может описываться дифференциальными уравнениями относительно неподвижных (декартовых) или подвижных (естественных) осей координат. При этом на различных этапах проведения исследований можно использовать как подвижные, так и неподвижные оси координат. Из теоретической механики [53, 81] известны методы точного решения поставленной задачи.

Для исследования закономерностей движения капли свяжем с ней естественную (подвижную) систему координат τMn , а неподвижную (декартову) – xOz – поместим в точку вылета O (см. рис. 2.3).

Уравнения движения точки M в естественной системе координат будут иметь вид [43, 89, 91]:

$$m_k \frac{dv_k}{dt} = m_k g \cdot \cos \gamma_p - k_\lambda v_k^2; \quad (2.37)$$

$$m_k \frac{v_k^2}{r} = m_k g \cdot \sin \gamma_p, \quad (2.38)$$

где r – радиус кривизны траектории точки M в заданный момент времени, м;

γ_p – угол, который образует вектор скорости точки M в данный момент времени с осью Oz .

Разделим левую и правую части уравнений m_k :

$$\frac{dv_k}{dt} = g \cdot \cos \gamma_p - \frac{k_\lambda}{m_k} v_k^2 = g \cdot \cos \gamma_p - C_T v_k^2; \quad (2.39)$$

$$\frac{v_k^2}{r} = g \cdot \sin \gamma_p. \quad (2.40)$$

Замечая, что бесконечно малому перемещению ds точки M по траектории соответствует бесконечно малый угол $d\gamma_p$, который образуется между касательными в двух смежных точках (угол смежности [107]), выразим кривизну кривой через угол смежности:

$$k = \frac{1}{r} = -\frac{d\gamma_p}{ds} = -\frac{d\gamma_p}{dt} \frac{dt}{ds} = -\frac{1}{v_k} \frac{d\gamma_p}{dt}. \quad (2.41)$$

В зависимости (2.41) знак « \rightarrow » указывает, что угол γ_p убывает с возрастанием дуги ds . Подставив выражение (2.41) в уравнение (2.40), после соответствующих преобразований получим:

$$\frac{d\gamma_p}{dt} = -\frac{g \cdot \sin \gamma_p}{v_k}. \quad (2.42)$$

Из уравнения (2.42) определим время перемещения точки M по дуге длиной ds :

$$dt = -\frac{v_k d\gamma_p}{g \cdot \sin \gamma_p}. \quad (2.43)$$

Подставив (2.43) в уравнение (2.39), исключим из него параметр t и получим:

$$\frac{dv_k}{d\gamma_p} = -\frac{v_k \cdot \cos \gamma_p}{\sin \gamma_p} + \frac{C_T v_k^3}{g \cdot \sin \gamma_p}. \quad (2.44)$$

Разделив в уравнении (2.44) переменные и приведя его к общему знаменателю, получим:

$$\frac{dv_k}{d\gamma} \cdot \sin \gamma_p + v_k \cdot \cos \gamma_p = \frac{C_T v_k^3}{g}. \quad (2.45)$$

Левая часть выражения (2.45) представляет собой производную сложной функции вида $\Phi = UV$, следовательно, ее можно представить в виде:

$$\frac{dv_k}{d\gamma_p} \cdot \sin \gamma_p + v_k \cdot \cos \gamma_p = \frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{d\gamma_p}. \quad (2.46)$$

С учетом выражения (2.46) уравнение (2.45) примет вид:

$$\frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{d\gamma_p} = \frac{C_T v_k^3}{g}. \quad (2.47)$$

Для разделения переменных, левую и правую часть уравнения (2.47) разделим на произведение $v_k^3 \cdot \sin^3 \gamma_p$:

$$\frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^3} = \frac{C_T}{g} \frac{d\gamma_p}{\sin^3 \gamma_p}. \quad (2.48)$$

Найдем решение уравнения (2.48), удовлетворяющее начальным условиям вылета капли из сопла распылителя (при $v_k = v_{k0}$; $\gamma_p = \gamma_{p0}$). Для этого левую и правую части уравнения проинтегрируем в заданных пределах:

$$\int_{v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0}}^{v_k \cdot \sin \gamma_p} \frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^3} = \frac{C_T}{g} \int_{\gamma_{p0}}^{\gamma_p} \frac{d\gamma_p}{\sin^3 \gamma_p}. \quad (2.49)$$

В соответствии со свойствами интеграла, левая часть выражения (2.49) представляет собой табличный интеграл от степенной функции, а правая – табличный интеграл от степенной тригонометрической функции. После интегрирования выражения (2.49) в заданных пределах получим:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2 \cdot v_k^2 \cdot \sin^2 \gamma_p} + \frac{1}{2 \cdot v_{k0}^2 \cdot \sin^2 \gamma_{p0}} = \\ & = \frac{C_T}{g} \left[\left(-\frac{\cos \gamma_p}{2 \cdot \sin^2 \gamma_p} + \frac{1}{2} \ln \operatorname{tg} \left| \frac{\gamma_p}{2} \right| \right) - \right. \\ & \left. - \left(-\frac{\cos \gamma_{p0}}{2 \cdot \sin^2 \gamma_{p0}} + \frac{1}{2} \ln \operatorname{tg} \left| \frac{\gamma_{p0}}{2} \right| \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.50)$$

Из зависимости (2.50) определим решение уравнения (2.39) относительно скорости полета капли в сопротивляющейся среде:

$$v_k = \frac{v_{k_0} \cdot \sin \gamma_{p_0}}{\sin \gamma_p \sqrt{1 + \frac{C_T}{g} v_{k_0}^2 \sin^2 \gamma_p \left[\frac{\cos \gamma_p}{\sin^2 \gamma_p} - \frac{\cos \gamma_{p_0}}{\sin^2 \gamma_{p_0}} - \ln \left| \frac{\operatorname{tg}(0,5\gamma_p)}{\operatorname{tg}(0,5\gamma_{p_0})} \right| \right]}}. \quad (2.51)$$

Следует отметить, что дальнейшее решение задачи по определению текущих координат $x = f(t)$ и $z = f(t)$, а также траектории полета капли $x = f(x)$ не представляется возможным (по причине сложности разделения переменных v_k и γ_p в выражении (2.51)) без существенных упрощений в обосновании модели полета капли в сопротивляющейся среде [73].

Сделаем упрощение не в модели полета капли, а в решении дифференциального уравнения (2.48).

При опрыскивании сельскохозяйственных культур штанговым опрыскивателем наименьшее расстояние между соплом распылителя и обрабатываемой поверхностью составляет 0,5 м. Вылет капель жидкости из распылителя характеризуется начальной скоростью $v_{k_0} = 2 \dots 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, направленной под углом $\gamma_{p_0} = 20 \dots 25^\circ$ к вертикали. В момент соприкосновения капли с обрабатываемой поверхностью угол между вектором скорости и вертикалью уменьшается не более чем на $5 \dots 7^\circ$ [31]. Пользуясь тем, что с изменением угла в этих пределах $\sin \gamma$ изменяется незначительно, принимаем в знаменателе правой части уравнения (2.48) следующее приближенное равенство:

$$\sin^3 \gamma_p \approx \sin \gamma_{p_0} \cdot \sin^2 \gamma_p. \quad (2.52)$$

С учетом принятого приближения уравнение (2.48) примет вид:

$$\frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^3} = \frac{C_T}{g \cdot \sin \gamma_{p_0}} \frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p}. \quad (2.53)$$

В результате интегрирования уравнения, с учетом начальных условий ($v_k = v_{k_0}$; $\gamma_p = \gamma_{p_0}$) и последующих преобразований, получим:

$$v_k = \frac{v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0}}{\sin \gamma \sqrt{1 + \frac{2C_T}{g} v_{k0}^2 \sin^2 \gamma_{p0} (\operatorname{ctg} \gamma_p - \operatorname{ctg} \gamma_{p0})}}. \quad (2.54)$$

Формула (2.54) определяет приближенное значение скорости полета капли жидкости в сопротивляющейся среде. Сравнение результатов расчета скорости падения капли по формулам (2.51) и (2.54) показывает, что отличие составляет 2,6 % [31].

Достаточно высокая степень точности расчетов по формуле (2.54) позволяет использовать исходное уравнение (2.53) для определения траектории движения капли в сопротивляющейся среде и ее координат в требуемый момент времени. Для определения перемещения точки вдоль оси Ox перепишем данное уравнение в следующем виде:

$$\frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p} = \frac{g \cdot \sin \gamma_{p0}}{C_T} \frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^3}. \quad (2.55)$$

Легко увидеть, что проекция скорости точки M на ось Ox связана с ее перемещением вдоль этой оси соотношением

$$v_{kx} = v_k \cdot \sin \gamma_p = \frac{dx}{dt}, \quad (2.56)$$

где dx – проекция перемещения точки M на ось Ox .

Выражение (2.56) приведем к следующему виду:

$$dx = v_k \cdot \sin \gamma_p dt. \quad (2.57)$$

В данную зависимость подставим значение параметра dt , определяемого выражением (2.43). После соответствующих преобразований, получим

$$dx = v_k \cdot \sin \gamma_p \left(-\frac{v_k d\gamma_p}{g \cdot \sin \gamma_p} \right) = -\frac{v_k^2 d\gamma_p}{g}. \quad (2.58)$$

Правую часть выражения (2.58) умножим и разделим на $\sin^2 \gamma_p$, приведя уравнение к виду:

$$dx = -\frac{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^2}{g} \frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p}. \quad (2.59)$$

Заметив, что множитель $\frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p}$ выражения (2.59) равен правой части уравнения (2.55), после преобразований получим

$$dx = -\frac{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^2}{g} \frac{g \cdot \sin \gamma_{p0}}{C_T} \frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{(v_k \cdot \sin \gamma_p)^3} = -\frac{\sin \gamma_{p0}}{C_T} \frac{d(v_k \cdot \sin \gamma_p)}{v_k \cdot \sin \gamma_p}. \quad (2.60)$$

После сделанных преобразований, можно определить величину перемещения капли вдоль оси Ox при начальных условиях ($v_k = v_{k0}$; $\gamma_p = \gamma_{p0}$):

$$x = -\frac{\sin \gamma_{p0}}{C_T} [\ln(v_k \cdot \sin \gamma_p) - \ln(v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0})]. \quad (2.61)$$

Зависимость (2.61) можно представить в следующем виде:

$$x = -\frac{\sin \gamma_{p0}}{C_T} \ln \left| \frac{v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0}}{v_k \cdot \sin \gamma_p} \right|, \quad (2.62)$$

или

$$v_k \cdot \sin \gamma_p = v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0} e^{-\frac{x \cdot C_T}{\sin \gamma_{p0}}} = v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0} e^{-\eta}, \quad (2.63)$$

где $\eta = \frac{x C_T}{\sin \gamma_{p0}}$.

Для определения закона изменения угла γ_p , подставим в равенство (2.53) вместо $v_k \cdot \sin \gamma_p$ его значение из выражения (2.63). После преобразований получим:

$$\frac{d(v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0} e^{-\eta})}{(v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0} e^{-\eta})^3} = \frac{d(e^{-\eta})}{(e^{-\eta})^3} \frac{v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0}}{(v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0})^3} = \frac{C_T}{g \cdot \sin \gamma_{p0}} \frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p}, \quad (2.64)$$

или

$$\frac{d\gamma_p}{\sin^2 \gamma_p} = \frac{g}{C_T v_{k_0}^2 \cdot \sin \gamma_{p_0}} \frac{d(e^{-\eta})}{(e^{-\eta})^3}. \quad (2.65)$$

После интегрирования выражения, с учетом начальных условий ($v_k = v_{k_0}$; $\gamma_p = \gamma_{p_0}$), получим

$$-\operatorname{ctg} \gamma_p = -\operatorname{ctg} \gamma_{p_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{C_T v_{k_0}^2 \cdot \sin \gamma_{p_0}} (e^{2\eta} - 1),$$

или

$$\operatorname{ctg} \gamma_p = \operatorname{ctg} \gamma_{p_0} - \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{C_T v_{k_0}^2 \cdot \sin \gamma_{p_0}} (e^{2\eta} - 1). \quad (2.66)$$

Уравнение (2.66), наряду с (2.62), показывает, что капля жидкости, выброшенная из сопла распылителя со скоростью v_{k_0} под углом γ_{p_0} к вертикали, не может падать вертикально вниз ($\gamma_p \neq 0$, и координата x не имеет максимума), а будет двигаться по параболе ускоренно до того момента времени, пока скорость ее движения не достигнет предельного значения. Его мы можем определить из уравнения (2.19), приравняв его правую часть к нулю:

$$v_k^* = \sqrt{\frac{g \cdot \cos \gamma_p}{C_T}}. \quad (2.67)$$

Дальнейшее движение (после достижения предельной скорости) капли по траектории будет равномерным, то есть $v_k = v_k^* = \text{const}$.

Из данного уравнения видно, что каплям жидкости различного диаметра будут соответствовать строго определенные значения предельных скоростей, векторы которых образуют с вертикалью различные предельные углы γ_p^* .

Введем в уравнение (2.66) следующие обозначения:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{C_T v_{k0}^2 \cdot \sin \gamma_{p0}}; \quad a = \frac{-2 \cdot C_T}{\sin \gamma_{p0}}; \quad -2\eta = \frac{-2 \cdot C_T x}{\sin \gamma_{p0}} = ax,$$

получим

$$\operatorname{ctg} \gamma_p = \operatorname{ctg} \gamma_{p0} - A(e^{-2\eta} - 1) = \operatorname{ctg} \gamma_{p0} - A(e^{ax} - 1). \quad (2.68)$$

Заменим в данном уравнении $\operatorname{ctg} \gamma_p$ на $\frac{dz}{dx}$, получим

$$\int_0^z dz = \int_0^x \operatorname{ctg} \gamma_{p0} \cdot dx - A \cdot \int_0^x (e^{ax} - 1) dx. \quad (2.69)$$

После интегрирования данного выражения с учетом начальных условий $z = 0$, $x = 0$, получим уравнение траектории полета капли в сопротивляющейся среде вдоль оси Oz :

$$z = x \cdot \operatorname{ctg} \gamma_{p0} - A \left[\frac{1}{a} (e^{ax} - 1) - x \right]. \quad (2.70)$$

Представим член уравнения e^{ax} как

$$e^{ax} \approx 1 + \frac{a \cdot x}{1} + \frac{(a \cdot x)^2}{1 \cdot 2} + \frac{(a \cdot x)^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots,$$

или

$$e^{ax} \approx 1 + a \cdot x + \frac{1}{2} (a \cdot x)^2 + \frac{1}{6} (a \cdot x)^3 + \dots.$$

Тогда уравнение (2.70) примет вид:

$$z = x \cdot \operatorname{ctg} \gamma_{p0} - \frac{A}{a} \left(\frac{1}{2} (a \cdot x)^2 + \frac{1}{6} (a \cdot x)^3 \right),$$

или

$$z = x \cdot \operatorname{ctg} \gamma_{p0} - \frac{A}{2} \cdot a \cdot x^2 - \frac{A}{2} \frac{a^2 \cdot x^3}{3}. \quad (2.71)$$

Подставляя ранее принятые обозначения, получим уравнение кубической параболы с вершиной в точке вылета капли из сопла распылителя:

$$z = x \cdot \operatorname{ctg} \gamma_{p_0} + \frac{g x^2}{2 \cdot v_{k_0}^2 \cdot \sin^2 \gamma_{p_0}} - \frac{1}{3} \frac{g x^3 C_T}{v_{k_0}^2 \cdot \sin^3 \gamma_{p_0}}. \quad (2.72)$$

Совокупность первых двух членов, определяемых координатой x и начальными параметрами вылета капли из сопла и не зависящих от параметра C_T , показывает, что они могут описывать траекторию движения капли без учета сил сопротивления окружающей среды. Третий член уравнения дает поправку на траекторию полета, обусловленную влиянием сопротивления среды, геометрии и массы капли.

Преобразовав зависимости (2.51), (2.61), (2.66), (2.72), с учетом всех принятых обозначений, получим:

$$v_k = \frac{v_{k_0} \cdot \sin \gamma_{p_0}}{\sin \gamma_p \sqrt{1 + \frac{\xi S_k \rho_r}{2 \cdot g m_k} v_{k_0}^2 \sin^2 \gamma_p \left[\frac{\cos \gamma_p}{\sin^2 \gamma_p} - \frac{\cos \gamma_{p_0}}{\sin^2 \gamma_{p_0}} - \ln \left| \frac{\operatorname{tg}(0,5 \gamma_p)}{\operatorname{tg}(0,5 \gamma_{p_0})} \right| \right]}} \quad (2.73)$$

$$x = - \frac{2 \cdot m_k \cdot \sin \gamma_{p_0}}{\xi S_k \rho_k} [\ln(v_k \cdot \sin \gamma_p) - \ln(v_{k_0} \cdot \sin \gamma_{p_0})]; \quad (2.74)$$

$$\gamma = \operatorname{arccctg} \left(\operatorname{ctg} \gamma_{p_0} - \frac{m_k g}{\xi S_k \rho_r \cdot v_{k_0}^2 \cdot \sin \gamma_{p_0}} \left(e^{\frac{x \xi S_k \rho_r}{m_k \cdot \sin \gamma_{p_0}}} - 1 \right) \right); \quad (2.75)$$

$$z = x \cdot \operatorname{ctg} \gamma_{p_0} + \frac{g x^2}{2 \cdot v_{k_0}^2 \cdot \sin^2 \gamma_{p_0}} - \frac{1}{6} \frac{g x^3 \xi S_k \rho_r}{m_k v_{k_0}^2 \cdot \sin^3 \gamma_{p_0}}. \quad (2.76)$$

2.3. Закономерности падения капель рабочих растворов пестицидов в подвижной воздушной среде

Задачи о падении тел, выброшенных в подвижную сопротивляющуюся среду, с начальной скоростью, направленной под углом к вертикали, в механике не рассматриваются. Известные решения подобных прикладных задач основаны на существенных упрощениях [13, 19, 22, 37, 51, 53, 81], иногда принимаемых без учета физической сущности решаемой задачи.

При обработках в ветреную погоду на протяжении всего процесса падения (с момента вылета из сопла и до оседания на обрабатываемой поверхности) капля подвержена воздействию направленного воздушного потока – ветра. Если скорость ветра существенно превосходит скорость падения капли, то она сносится воздушным потоком и не попадает на объект обработки. С одной стороны, это приводит к снижению качества выполняемого технологического процесса, а с другой – к загрязнению среды обитания людей, животных и растений.

Определение закономерностей движения капель в направленном воздушном потоке является важной задачей при исследовании процесса сноса препарата ветром из зоны обработки и проектировании ветрозащитных устройств. Для изучения закономерностей движения капель в подвижной воздушной среде примем следующие допущения [92]: расчетная форма капли – в виде шара, капля не меняет свою массу и форму на протяжении всей траектории движения, силы сопротивления ее полету пропорциональны квадрату скорости и величина скорости подвижного воздушного потока на протяжении всего движения капли постоянна и не меняет своего направления.

Капля жидкости M массой m_k выброшена из сопла распылителя со скоростью v_{k0} под углом γ_{p0} к вертикали в подвижную среду, движущуюся со скоростью $u = \text{const}$, вектор которой образует с вертикалью угол 90° (рис. 2.4). Капля совершает дальнейшее движение под действием сил тяжести G_k , лобового сопротивления воздуха F_c и воздействия направленного воздушного потока F_B .

Сила воздействия направленного потока равна

$$F_B = k_f u^2,$$

где k_f – приведенный коэффициент сопротивления, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1}$.

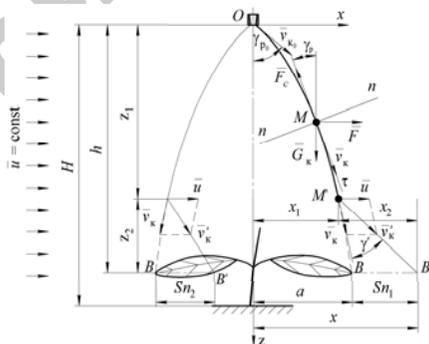


Рис. 2.4. Схема к определению кинематических параметров падения капли в подвижной сопротивляющейся среде

С учетом того, что вектор силы воздействия ветра направлен горизонтально, уравнения движения капли в подвижных осях координат имеют вид:

$$m_{\kappa} \frac{dv_{\kappa}}{dt} = m_{\kappa} g \cos \gamma_p + k_f u^2 \sin \gamma_p - k_{\lambda} v_{\kappa}^2; \quad (2.77)$$

$$m_{\kappa} \frac{v_{\kappa}^2}{r} = m_{\kappa} g \sin \gamma_p - k_f u^2 \cos \gamma_p. \quad (2.78)$$

В уравнениях (2.77) и (2.78) разделим каждое слагаемое на m_{κ} . После преобразований получим:

$$\frac{dv_{\kappa}}{dt} = g \cos \gamma_p + C_f u^2 \sin \gamma_p - C_T v_{\kappa}^2; \quad (2.79)$$

$$\frac{v_{\kappa}^2}{r} = g \sin \gamma_p - C_T u^2 \cos \gamma_p, \quad (2.80)$$

где $C_f = \frac{k_f}{m_{\kappa}}$ – отношение приведенного коэффициента сопротивления к массе капли, 1/м.

Если каплю жидкости принять за шар, то $k_{\lambda} = k_f$ и $C_T = C_f$, и с учетом принятых обозначений уравнения (2.79) и (2.80) примут вид:

$$\frac{dv_{\kappa}}{dt} = g \cos \gamma_p + C_T u^2 \sin \gamma_p - C_T v_{\kappa}^2; \quad (2.81)$$

$$\frac{v_{\kappa}^2}{r} = g \sin \gamma_p - C_T u^2 \cos \gamma_p. \quad (2.82)$$

Анализ уравнений (2.81) и (2.82) показывает, что капля жидкости, выброшенная в подвижную сопротивляющуюся среду со скоростью v_{κ_0} под углом γ_{p_0} к вертикали, будет двигаться так, что на начальном участке траектории OM' ускорение ее будет монотонно уменьшаться, а скорость – возрастать, стремясь

к предельной величине, определяемой из уравнения (2.81) при условии, что $\frac{dv_k}{dt} = 0$:

$$v_k' = \sqrt{\frac{1}{C_T} (g \cos \gamma_p + C_T u^2 \sin \gamma_p)}. \quad (2.83)$$

В момент времени, когда

$$g \sin \gamma_p = C_T u^2 \cos \gamma_p, \quad (2.84)$$

траекторией капли будет прямая линия, образующая с вертикалью угол γ_p' , тангенс которого определяется из уравнения (2.82) при условии, что $\rho = \infty$:

$$\operatorname{tg} \gamma_p' = \frac{C_T u^2}{g}. \quad (2.85)$$

Начиная из точки перехода криволинейного участка траектории OM' в прямолинейный (рис. 2.4) и до момента соприкосновения с поверхностью объекта обработки, капля будет двигаться равномерно со скоростью v_k' , которая определяется из совместного решения уравнений (2.83) и (2.84):

$$v_k' = \sqrt{\frac{\sin \gamma_p'}{C_T^2 u^2} (g^2 + C_T^2 u^4)}. \quad (2.86)$$

Таким образом, траектория полета капли в подвижной сопротивляющейся среде может быть представлена как состоящая из криволинейного OM' и прямолинейного $M'B'$ участков (рис. 2.4). Положение капли в точке перехода криволинейного участка в прямолинейный (точка M') определяется координатами x_1 и y_1 и проекциями вектора предельной скорости на неподвижные оси координат:

$$v_{kx}' = v_k' \sin \gamma_p'; \quad (2.87)$$

$$v_{ky}' = v_k' \cos \gamma_p'. \quad (2.88)$$

Движение капли жидкости относительно неподвижной системы координат описывается дифференциальными уравнениями (рис. 2.4):

$$m_{\kappa} \frac{dv_{\kappa x}}{dt} = F_{\text{в}} - F_{\text{с}} \sin \gamma_{\text{п}}; \quad (2.89)$$

$$m_{\kappa} \frac{dv_{\kappa z}}{dt} = m_{\kappa} g - F_{\text{с}} \cos \gamma_{\text{п}}. \quad (2.90)$$

Используем зависимости $\frac{1}{\rho} = -\frac{d\gamma_{\text{п}}}{ds} = -\frac{d\gamma_{\text{п}}}{dt} \frac{dt}{ds} = -\frac{1}{v_{\kappa}} \frac{d\gamma_{\text{п}}}{dt}$ [107] и

$\frac{dv_{\kappa z}}{dt} = g$ [31], и уравнения примут вид:

$$\frac{dv_{\kappa x}}{dt} = \frac{k_{\lambda}}{m_{\kappa}} u^2 - \frac{k_{\lambda}}{m_{\kappa}} v_{\kappa}^2 \sin \gamma_{\text{п}}; \quad (2.91)$$

$$\frac{dv_{\kappa z}}{dt} = g - \frac{k_{\lambda}}{m_{\kappa}} v_{\kappa}^2 \cos \gamma_{\text{п}}, \quad (2.92)$$

или

$$\frac{dv_{\kappa x}}{dt} = C_{\text{т}} u^2 - C_{\text{т}} v_{\kappa}^2 \sin \gamma_{\text{п}}; \quad (2.93)$$

$$\frac{dv_{\kappa z}}{dt} = g - C_{\text{т}} v_{\kappa}^2 \cos \gamma_{\text{п}}. \quad (2.94)$$

Из данных уравнений исключим параметр времени t , переписав их в виде:

$$\frac{dv_{\kappa x}}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv_{\kappa x}}{dx} v_{\kappa x} = C_{\text{т}} u^2 - C_{\text{т}} v_{\kappa}^2 \sin \gamma_{\text{п}}; \quad (2.95)$$

$$\frac{dv_{\kappa z}}{dz} \frac{dz}{dt} = \frac{dv_{\kappa z}}{dz} v_{\kappa z} = g - C_{\text{т}} v_{\kappa}^2 \cos \gamma_{\text{п}}. \quad (2.96)$$

Преобразуем последние слагаемые уравнений к виду:

$$C_{\text{т}} v_{\kappa}^2 \sin \gamma_{\text{п}} = C_{\text{т}} \frac{(v_{\kappa} \sin \gamma_{\text{п}})^2}{\sin \gamma_{\text{п}}} = C_{\text{т}} v_{\kappa x}^2 \frac{1}{\sin \gamma_{\text{п}}} = C_{\text{т}} k_x v_{\kappa x}^2; \quad (2.97)$$

$$C_T v_k^2 \cos \gamma_p = C_T \frac{(v_k \cos \gamma_p)^2}{\cos \gamma_p} = C_T v_{kz}^2 \frac{1}{\cos \gamma_p} = C_T k_z v_{kz}^2, \quad (2.98)$$

где k_x и k_z – коэффициенты пропорциональности, зависящие от положения капли на участке OM' траектории неустановившегося движения:

$$k_x = \frac{1}{\sin \gamma_p}; \quad (2.99)$$

$$k_z = \frac{1}{\cos \gamma_p}. \quad (2.100)$$

Заметив, что коэффициенты k_x и k_z являются непрерывными функциями изменения угла γ_p в пределах от начального γ_{p0} до предельного γ_p' значений, их среднее значение определим как среднеинтегральное на этом интервале. Приведем уравнение (2.100) к виду:

$$k_z d\gamma_p = \frac{d\gamma_p}{\cos \gamma_p}. \quad (2.101)$$

Проинтегрируем выражение (2.101) в заданных пределах:

$$k_z (\gamma_p' - \gamma_{p0}) = \int_{\gamma_{p0}}^{\gamma_p'} \frac{d\gamma_p}{\cos \gamma_p} = \frac{1}{2} \left[\ln \left| \frac{1 + \sin \gamma_p'}{1 - \sin \gamma_p'} \right| - \ln \left| \frac{1 + \sin \gamma_{p0}}{1 - \sin \gamma_{p0}} \right| \right]. \quad (2.102)$$

Из уравнения (2.102) определим среднее значение коэффициента k_z на участке неравномерного движения капли по траектории:

$$k_z = \frac{1}{2(\gamma_p' - \gamma_{p0})} \ln \left| \frac{(1 + \sin \gamma_p') (1 - \sin \gamma_{p0})}{(1 - \sin \gamma_p') (1 + \sin \gamma_{p0})} \right|. \quad (2.103)$$

Для определения коэффициента k_x , уравнения (2.99) и (2.100) приведем к виду:

$$\sin \gamma_p = \frac{1}{k_x}; \quad (2.104)$$

$$\cos \gamma_p = \frac{1}{k_z}. \quad (2.105)$$

Полученные уравнения возведем в квадрат, просуммируем их левые и правые части, получив зависимость:

$$\sin^2 \gamma_p + \cos^2 \gamma_p = \frac{1}{k_x^2} + \frac{1}{k_z^2} = 1,$$

или

$$k_x = \frac{k_z}{\sqrt{k_z^2 - 1}}. \quad (2.106)$$

С учетом зависимостей (2.103) и (2.106), уравнения (2.95) и (2.96) примут вид:

$$\frac{dv_{kx}}{dx} v_{kx} = C_T u^2 - C_T k_x v_{kx}^2, \quad (2.107)$$

$$\frac{dv_{kz}}{dz} v_{kz} = g - C_T k_z v_{kz}^2. \quad (2.108)$$

В отличие от исходных уравнений (2.93) и (2.94), уравнения (2.107) и (2.108) являются приближенными, но с разделяющимися переменными, что позволяет их проинтегрировать в заданных пределах и получить расчетные формулы для определения координат капли на участке траектории с неустановившимся движением.

Решение данных уравнений (2.93) и (2.94) сводится к определению скоростей движения капель вдоль координатных осей в зависимости от времени. Интегрирование этих уравнений сводится к нахождению табличных интегралов вида [11]:

$$dt = \int \frac{dv_{kx}}{C_T (u^2 - k_x v_{kx}^2)}; \quad (2.109)$$

$$dt = \int \frac{dv_{kz}}{g - C_T k_z v_{kz}^2}. \quad (2.110)$$

Проинтегрировав уравнения (2.109) и (2.110) с учетом начальных условий ($t = 0$, $v_{kx} = v_{kx0}$, $v_{kz} = v_{kz0}$), получим

$$t = \frac{\sqrt{C_T k_z}}{2C_T k_z \sqrt{g}} \ln \left| \frac{(\sqrt{g} + v_{kz} \sqrt{C_T k_z})(\sqrt{g} - v_{kz0} \sqrt{C_T k_z})}{(\sqrt{g} - v_{kz} \sqrt{C_T k_z})(\sqrt{g} + v_{kz0} \sqrt{C_T k_z})} \right|; \quad (2.111)$$

$$t = \frac{\sqrt{k_x}}{2C_T u \sqrt{k_x}} \ln \left| \frac{(u + v_{kx} \sqrt{k_x})(u - v_{kx0} \sqrt{k_x})}{(u - v_{kx} \sqrt{k_x})(u + v_{kx0} \sqrt{k_x})} \right|. \quad (2.112)$$

Решение же уравнений (2.107) и (2.108) сводится к нахождению координат капель на траектории неустановившегося движения в зависимости от проекций скоростей. Решение этих уравнений сводится к нахождению табличных интегралов вида [11]:

$$x = \int \frac{v_{kx} dv_{kx}}{C_T (u^2 - k_x v_{kx}^2)}; \quad (2.113)$$

$$z = \int \frac{v_{kz} dv_{kz}}{g - C_T k_z v_{kz}^2}. \quad (2.114)$$

Интегрирование полученных уравнений с учетом начальных условий ($t = 0$, $x = x_0 = 0$, $z = z_0 = 0$, $v_{kx} = v_{kx0} = v_{k0} \sin \gamma_0$, $v_{kz} = v_{kz0} = v_{k0} \cos \gamma_0$) приводит к выражениям:

$$x = -\frac{1}{2C_T k_x} \ln \left| \frac{u^2 - k_x v_{kx}^2}{u^2 - k_x v_{kx0}^2} \right|; \quad (2.115)$$

$$z = -\frac{1}{2C_T k_z} \ln \left| \frac{g - C_T k_z v_{kz}^2}{g - C_T k_z v_{kz0}^2} \right|, \quad (2.116)$$

где v_{kx0} и v_{kz0} – проекции вектора скорости вылета капли жидкости из сопла распылителя на неподвижные оси координат, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$v_{kx0} = v_{k0} \sin \gamma_{p0}; \quad (2.117)$$

$$v_{kz_0} = v_{k_0} \cos \gamma_{p_0}. \quad (2.118)$$

Выразив из полученных уравнений общий коэффициент $2C_T$ и приравняв полученные выражения, после преобразований получим уравнение траектории полета капель в подвижной сопротивляющейся среде:

$$x = z \frac{k_z}{k_x} \frac{\ln \left| \frac{u^2 - k_x v_{kx}^2}{u^2 - k_x v_{kx_0}^2} \right|}{\ln \left| \frac{g - C_T k_z v_{kz}^2}{g - C_T k_z v_{kz_0}^2} \right|}. \quad (2.119)$$

Используя уравнение (2.119) для определения скорости полета капли вдоль оси Oz на участке неустановившегося движения, получим

$$v_{kz} = \sqrt{\frac{1}{C_T k_z} \left[g - (g - C_T k_z v_{kz_0}^2) e^{-2C_T k_z z} \right]}. \quad (2.120)$$

Решая уравнение (2.112) относительно v_{kx} , получим закон изменения горизонтальной составляющей скорости капель под действием ветра:

$$v_{kx} = \frac{u[(u + v_{kx_0} \sqrt{k_x}) e^{2C_T u t \sqrt{k_x}} - (u - v_{kx_0} \sqrt{k_x})]}{\sqrt{k_x} [(u + v_{kx_0} \sqrt{k_x}) e^{2C_T u t \sqrt{k_x}} - (u - v_{kx_0} \sqrt{k_x})]}. \quad (2.121)$$

При этом зависимость для определения скорости движения капли примет окончательный вид [92]:

$$v_k = \sqrt{v_{kx}^2 + v_{kz}^2} = \left[\left(\frac{u[(u + v_{kx_0} \sqrt{k_x}) e^{2C_T u t \sqrt{k_x}} - (u - v_{kx_0} \sqrt{k_x})]}{\sqrt{k_x} [(u + v_{kx_0} \sqrt{k_x}) e^{2C_T u t \sqrt{k_x}} - (u - v_{kx_0} \sqrt{k_x})]} \right)^2 + \frac{1}{C_T k_z} \left[g - (g - C_T k_z v_{kz_0}^2) e^{-2C_T k_z z} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.122)$$

С достаточной для практических расчетов точностью начальная скорость вылета жидкости из сопла распылителя определяется по упрощенной формуле [9]:

$$v_{к0} = \sqrt{\frac{2p}{\rho_{ж}}},$$

где p – давление в напорной магистрали, Па;

$\rho_{ж}$ – плотность распыливаемой жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Приведенные выше аналитические зависимости позволяют определить траекторию движения каплей любой дисперсности, при условии постоянства массы капли, в подвижной сопротивляющейся среде, а также координаты капли в любой момент времени на этой траектории. Так, для определения координат x_1 и y_1 точки перехода криволинейного участка траектории падения капли в прямолинейный M' (см. рис. 2.4) в формулы (2.115) и (2.116) следует подставить параметры, определяемые зависимостями (2.87), (2.88), (2.117) и (2.118). После преобразований получим:

$$x_1 = -\frac{1}{2C_{\Gamma}k_x} \ln \left| \frac{u^2 - k_x v_{кx}^2}{u^2 - k_x v_{кx0}^2} \right|, \quad (2.123)$$

$$z_1 = -\frac{1}{2C_{\Gamma}k_z} \ln \left| \frac{g - C_{\Gamma}k_z v_{кz}^2}{g - C_{\Gamma}k_z v_{кz0}^2} \right|. \quad (2.124)$$

Из уравнения (2.124) следует, что скорость воздушного потока не оказывает влияния на движение капли в вертикальной плоскости. Если в результате расчетов по данной формуле окажется, что $z_1 \geq h$ (капля жидкости достигает обрабатываемой поверхности раньше или в момент наступления режима прямолинейного установившегося движения, «что характерно для крупных капель»), то движение капли от момента вылета из сопла распылителя до момента соприкосновения с обрабатываемой поверхностью будет происходить по траектории неустановившегося движения. В момент падения капли на обрабатываемую поверхность ее координаты определятся из уравнений (2.115)–(2.121), при условии, что $z = h$. Участок траектории

с равномерным движением капли характеризуется координатами x_2 и z_2 . Расстояние z_2 от точки M' траектории до обрабатываемой поверхности определяется (см. рис. 2.4) из соотношения $z_2 = H - z_1$. Координата x соприкосновения капли с обрабатываемой поверхностью определяется по зависимости:

$$x = x_1 + x_2 = x_1 + z_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma_p'.$$

Расстояние, на которое будет снесена капля пестицида относительно обрабатываемого объекта, определяется зависимостью $SN = x - a$.

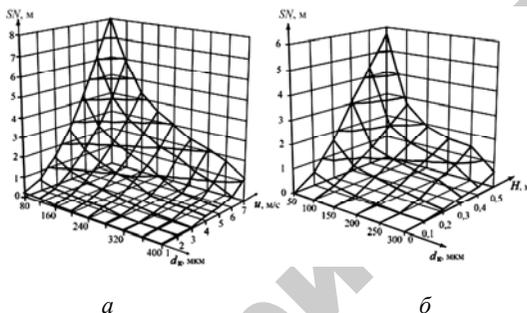


Рис. 2.5. Графики изменения величины сноса капель в зависимости: от диаметра каплей d_k и скорости u воздушного потока при фиксированной высоте ($H = 0,4$ м) установки распылителя (а); от диаметра каплей d_k и высоты H установки распылителя при фиксированной скорости воздушного потока ($u = 0,4$ м·с⁻¹) (б)

На основе полученных теоретических выражений были построены графики (рис. 2.5) изменения величины сноса капель в зависимости от исследуемых параметров.

2.4. Обоснование силового воздействия капель рабочего раствора пестицида на обрабатываемую поверхность

Факел распыла пестицидов представляет собой направленное движение воздушно-капельной струи, состоящей из капель различного диаметра и массы. Наименьшая высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью соответствует такому расстоянию, когда осуществляется двойное перекрытие факелов распыла в момент падения капель и при этом не повреждается объект обработки. В растениеводстве методом опрыскивания осуществ-

вляется как довсходное, так и послевсходное внесение средств химизации. Поэтому при установке распылителя необходимо учитывать воздействие факела распыла как на растение (стебли и листья), так и на почву.

Предельно допустимая сила $[F]_1$, не приводящая к повреждению растений, зависит от биологических особенностей и принимается наименьшей из допустимых сил на повреждение стеблей и листьев растения. Величина допустимого усилия, не приводящего к повреждению растений, уменьшается при увеличении расстояния до точки его приложения от основания кверху и зависит от диаметра стебля у основания (рис. 2.6) [132].

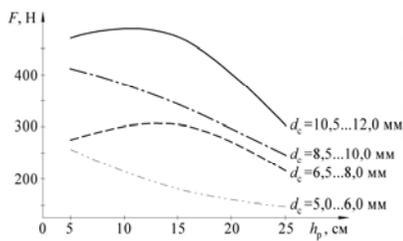


Рис. 2.6. Изменение допустимого усилия $[F]$, не приводящего к повреждению стеблей ботвы картофельного куста в зависимости от расстояния до точки приложения относительно основания h_p и диаметра стебля у основания d_c

Допустимая сила повреждения почвы $[F]_2$ зависит от ее физико-механических свойств и состояния во время обработки.

Для того чтобы воздействие воздушно-капельной струи на почву стало разрушающим, ей необходимо преодолеть связность почвы, характеризуемую временным сопротивлением сжатию и определяемую молекулярными силами притяжения мелких минеральных частиц между собой и частицами воды. Ее значения зависят от почвенно-климатических условий и находятся в широких пределах. Так, для супесчаных и пылеватых почв, в зависимости от их влажности, она составляет до 0,7 МПа, для суглинистых – 1,0–1,5 МПа, а глинистых – до 10,0 МПа [132]. При определении разрушающего воздействия струи необходимо учитывать не только механический состав почвы и ее состояние, но и совокупность действия сил струи на площадь, охватываемую факелом распыла, то есть совокупное воздействие всех капель.

Примем следующие предпосылки: капля имеет шаровидную форму, которая в процессе удара не изменяется; ее масса до и после удара также не изменяется; сила поверхностного напряжения капли больше сил межмолекулярных связей обрабатываемой поверхности.

Предположим, что капля жидкости (диаметр d_k и масса m_k) падает на поверхность со скоростью v_k . Из теоремы изменения количества движения имеем:

$$m_k v_k = F_k t_y, \quad (2.125)$$

где F_k – сила удара капли, Н;

t_y – время, в течение которого длится удар, с. Время определяется характером удара [51]:

– для неупругого:

$$t_{yH} = k_k \frac{d_k}{v_k}; \quad (2.126)$$

– упругого:

$$t_{yY} = \frac{2 \cdot d_k}{v_{yB}}, \quad (2.127)$$

где k_k – коэффициент пропорциональности, характеризующий степень деформации капли, при которой она изменит направление движения так, что воздействие ее на поверхность прекратится. На основании результатов опытов Михайловской [51], $k_k = 0,5$;

v_{yB} – скорость распространения упругих волн в капле или скорость распространения звука в воде, $m \cdot c^{-1}$.

При проведении операций химической защиты методом опрыскивания после появления всходов одним из условий качества обработок является нескатывание капель с листьев и стеблей, поэтому для нашего случая следует рассматривать вариант неупругого удара.

Подставив зависимость (2.126) в равенство (2.125), получим:

$$F_k = \frac{m_k v_k^2}{k_k d_k}. \quad (2.128)$$

Учитывая, что

$$m_k = \rho_{ж} V_k, \quad (2.129)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;
 $V_{\text{к}}$ – объем капли, м^3 ;

$$V_{\text{к}} = \frac{4}{3} \pi r_{\text{к}}^3 = \frac{\pi}{6} d_{\text{к}}^3; \quad (2.130)$$

получим

$$F_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} v_{\text{к}}^2 d_{\text{к}}^2. \quad (2.131)$$

Анализируя зависимость (2.131), приходим к выводу, что для определения силового воздействия капли на обрабатываемую поверхность необходимо либо непосредственно измерить силу, либо определить размер и конечную скорость падения капли.

На практике используются распылители, установленные как вертикально (рис. 2.7, а), так и под углом $\alpha_{\text{р}}$ к вертикальной оси (рис. 2.7, б). В случае, когда факел распыла наклонен к обрабатываемой поверхности, зависимость (2.131) можно записать в следующем виде:

$$F_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} v_{\text{к}}^2 d_{\text{к}}^2 (\cos \gamma_{\text{р}} \sin \alpha_{\text{р}} + \sin \gamma_{\text{р}} \cos \theta), \quad (2.132)$$

где θ – угол между осью Ox и проекцией силы факела распыла на плоскость xOy , рад.

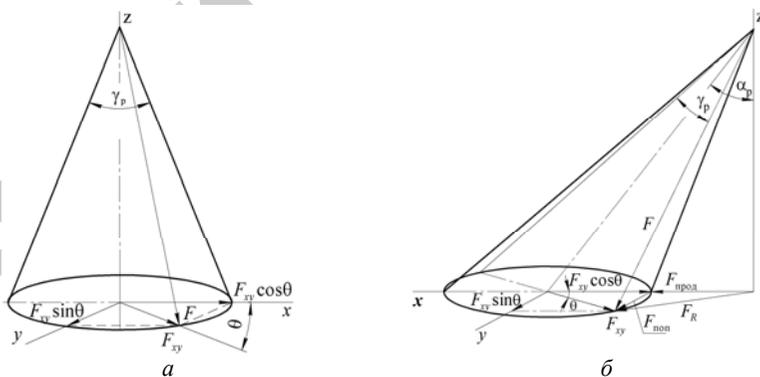


Рис. 2.7. Эпюры сил при установке распылителя:

а – над обрабатываемым объектом; б – под углом $\alpha_{\text{р}}$ к вертикальной оси

Капле для достижения предела повреждения поверхности необходимо преодолеть силы упругости и инерции объекта обработки. Учитывая различную прочность объекта по направлениям, В.П. Горячкин предложил математические зависимости для определения критических скоростей удара, приводящих к разрушению [26]:

$$[v_{\text{прод}}] = \sigma_1 \sqrt{\frac{g}{E \gamma_0}}; \quad (2.133)$$

$$[v_{\text{поп}}] = \sigma_2 \sqrt{\frac{g}{G \gamma_0}}, \quad (2.134)$$

где σ_1, σ_2 – соответственно предельные напряжения в продольном и поперечном направлениях, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$;

E – модуль упругости, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$;

G – модуль сдвига, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$;

γ_0 – удельный вес обрабатываемой поверхности, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-3}$.

Учитывая условие, что для предотвращения сноса капель рабочего раствора ветром их конечная скорость падения должна быть больше или равна скорости ветра u [31, 67, 71, 96, 120, 121, 127], будут справедливы следующие зависимости:

$$\bar{u} \leq \bar{v}_k \leq [\bar{v}_{\text{прод}}] + [\bar{v}_{\text{поп}}], \quad (2.135)$$

или

$$u \leq v_k \leq \sqrt{[v_{\text{прод}}]^2 + [v_{\text{поп}}]^2}. \quad (2.136)$$

Поэтому для определения высоты установки распылителя и разрушающего воздействия струи достаточно знать критические скорости повреждения почвы и растений, скорости падения капель в момент соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. Однако в справочной литературе приведены не критические скорости, а силы и давление, вызывающие повреждение почвы и растения. Поэтому необходимо представить зависимость (2.136) в силовом виде.

Учитывая зависимости (2.132), (2.133), (2.134) и убеждение, что проекция силы F_k в плоскости xOy с течением времени меняет направление (рис. 2.7), можно записать равенства для определения

допустимых сил на повреждение от воздействия одной капли в продольном и поперечном направлениях [69]:

$$\left[F_{\text{кпрод}} \right] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k_{\text{к}}} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_1^2 g}{E \gamma_{\text{O}}} (\cos \gamma_{\text{p}} \sin \alpha_{\text{p}} + \sin \gamma_{\text{p}} \cos \theta); \quad (2.137)$$

$$\left[F_{\text{кпоп}} \right] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k_{\text{к}}} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2 g}{G \gamma_{\text{O}}} \sin \gamma_{\text{p}} \sin \theta. \quad (2.138)$$

Обозначим

$$(\cos \gamma_{\text{p}} \sin \alpha_{\text{p}} + \sin \gamma_{\text{p}} \cos \theta) = J. \quad (2.139)$$

С учетом зависимости (2.132) и выражения $\gamma_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} g$, выражения (2.137) и (2.138) можно представить в следующем виде:

$$\left[F_{\text{кпрод}} \right] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k_{\text{к}}} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_1^2 g}{E \gamma_{\text{O}}} J = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k_{\text{к}} E \rho_{\text{O}}} d_{\text{к}}^2 \sigma_1^2 n J; \quad (2.140)$$

$$\left[F_{\text{кпоп}} \right] = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k_{\text{к}} \rho_{\text{O}}} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2}{G} \sin \gamma_{\text{p}} \sin \theta. \quad (2.141)$$

Угол между направлениями распространения продольного и поперечного ударов составляет 90° , поэтому допустимая результирующая сила при воздействии капли будет равна

$$\left[F_{\text{кR}} \right] = \sqrt{\left[F_{\text{кпрод}} \right]^2 + \left[F_{\text{кпоп}} \right]^2}. \quad (2.142)$$

Тогда, подставляя зависимости (2.140) и (2.141) в (2.142), получим

$$\left[F_{\text{кR}} \right] = \sqrt{\left(\frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k_{\text{к}} E \rho_{\text{O}}} d_{\text{к}}^2 \sigma_1^2 J \right)^2 + \left(\frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k_{\text{к}} \rho_{\text{O}}} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2}{G} \sin \gamma_{\text{p}} \sin \theta \right)^2}, \quad (2.143)$$

или, с учетом равенства (2.139):

$$\left[F_{\text{кR}} \right] = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k_{\text{к}} \rho_{\text{O}}} d_{\text{к}}^2 \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} (\cos \gamma_{\text{p}} \sin \alpha_{\text{p}} + \sin \gamma_{\text{p}} \cos \theta)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \gamma_{\text{p}} \sin^2 \theta}. \quad (2.144)$$

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что сила воздействия капли на обрабатываемую поверхность должна быть меньше допустимой силы удара на повреждение, то есть

$$\bar{F}_K \leq [\bar{F}_{KR}], \quad (2.145)$$

или, с учетом зависимостей (2.132) и (2.144):

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_{ж}\pi}{6k} v_K^2 d_K^2 (\cos \gamma_p \sin \alpha_p + \sin \gamma_p \cos \theta) \leq \\ & \leq \frac{\pi \rho_{ж}}{6k \rho_O} d_K^2 \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} (\cos \gamma_p \sin \alpha_p + \sin \gamma_p \cos \theta)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \gamma_p \sin^2 \theta}. \end{aligned} \quad (2.146)$$

Исходя из того, что при рассмотрении вопроса о повреждении почвы необходимо определять допустимое давление капли, условие (2.146) можем записать в следующем виде:

$$p_{KH} = \frac{F_{KH}}{S_{сл}} \leq [p_K], \quad (2.147)$$

где $S_{сл}$ – площадь следа, оставляемого каплей, m^2 . Так как при расчетах принимается, что $d_K \approx \frac{2}{3} d_{сл}$ [51] ($d_{сл}$ – диаметр следа, оставляемого каплей), то

$$S_{сл} = \frac{9\pi}{16} d_K^2.$$

Используя неравенство (2.146), получим

$$\begin{aligned} p_{KH} &= \frac{\rho_{ж}\pi}{6k_k S_{сл}} v_K^2 d_K^2 (\cos \gamma_p \sin \alpha_p + \sin \gamma_p \cos \theta) \leq \\ & \leq \frac{\pi \rho_{ж}}{6k_k \rho_O S_{сл}} d_K^2 \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} (\cos \gamma_p \sin \alpha_p + \sin \gamma_p \cos \theta)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \gamma_p \sin^2 \theta}, \end{aligned}$$

или

$$p_{\text{кн}} = \frac{8\rho_{\text{ж}}}{27k_{\text{к}}} v_{\text{к}}^2 (\cos \gamma_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + \sin \gamma_{\text{п}} \cos \theta) \leq \frac{8\rho_{\text{ж}}}{27k_{\text{к}}\rho_{\text{О}}} \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} (\cos \gamma_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + \sin \gamma_{\text{п}} \cos \theta)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \gamma_{\text{п}} \sin^2 \theta}. \quad (2.148)$$

Используя неравенство (2.146) или (2.148), можно получить выражение для определения предельной скорости падения капли:

$$v_{\text{к}} \leq \sqrt{\frac{\sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} (\cos \gamma_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + \sin \gamma_{\text{п}} \cos \theta)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \gamma_{\text{п}} \sin^2 \theta}}{\rho_{\text{О}} (\cos \gamma_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + \sin \gamma_{\text{п}} \cos \theta)}}}. \quad (2.149)$$

При данной скорости не происходит повреждение обрабатываемой поверхности.

3. НАПРАВЛЕНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ ПЕСТИЦИДОВ ИЗ-ЗА СНОСА. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ФАКЕЛА РАСПЫЛА ОТ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА

Эффективность применения пестицидов определяется качеством выполнения технологического процесса, характеризующегося равномерностью распределения препарата по обрабатываемому объекту, дисперсностью факела распыла, густотой покрытия обрабатываемой поверхности, которые во многом зависят от метеорологических условий и стабильной работы распылителей. При этом распылители должны обеспечивать качественную обработку с наименьшими потерями, к которым относятся испарение и снос капель рабочего раствора ветром за пределы рабочей зоны опрыскивания.

При движении в безветренную погоду (рис. 3.1, *a*) капля массой m_k , полученная в результате распада струи жидкости, движется по заданной траектории, определяемой начальными условиями истечения и параметрами распылителя. При этом ширина основания факела распыла L определяется типом распылителя и расстоянием между ним и обрабатываемым объектом. Капля, обладая запасом кинетической энергии, движется в неподвижной воздушной среде под действием силы тяжести \vec{G}_k и силы сопротивления самой среды \vec{F}_c и через небольшой промежуток времени достигает конечной скорости падения $\vec{v}_{кп}$ [100, 114, 121].

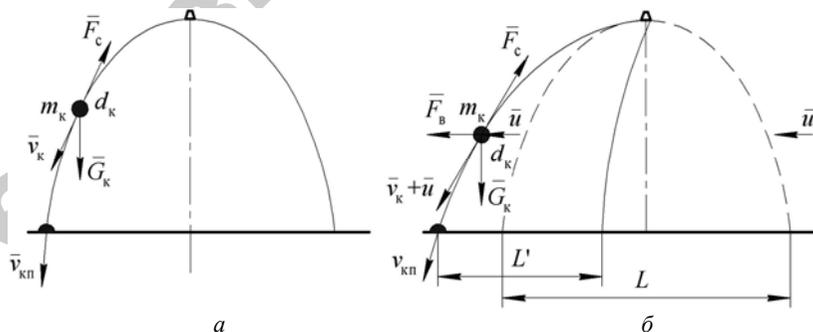


Рис. 3.1. Траектории движения капли в факеле распыла:
a – в идеальных условиях; *б* – при воздействии ветра

Снос капель может наблюдаться и в безветренную погоду. Установлено, что при движении тракторного агрегата в безветренную погоду по полю со скоростью $10 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ за ним создается турбулентный след возмущенных воздушных масс, движущихся в поперечном направлении со скоростью до $0,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [31].

Агротехникой возделывания допускается проведение опрыскивания сельскохозяйственных культур при скорости ветра до $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. При воздействии направленного воздушного потока (рис. 3.1, б) условия полета капли будут изменены, так как действие ветра будет сопровождать каплю на протяжении всего ее полета – с момента отрыва от сопла распылителя до полного оседания на объекте. В этих условиях закономерности полета капли, определяемые силами тяжести и сопротивления окружающей среды, нарушаются силой ветра $\bar{F}_в$, которая изменяет траекторию движения, следовательно, геометрию факела распыла в целом. При этом изменяются направление и величина скорости движения капли (рис. 3.1, б), и она сносится. Это приводит к нарушению условий протекания технологического процесса и изменению ширины основания факела распыла L' . Постоянное, на протяжении всего движения капель от сопла распылителя до обрабатываемого объекта, воздействие ветра на факел распыла влечет додрабливание капель, снижение дисперсности, уменьшение конечной скорости падения капель и существенное увеличение проходимого ими расстояния до полного оседания, следовательно, возрастания количественного показателя потерь и дальности сноса препарата (выноса из зоны обработки). Количественный показатель сноса определяется наличием в факеле распыла капель, имеющих скорость меньше скорости ветра. Дальность сноса определяется величиной разности между скоростью ветра и конечной скоростью падения капель. Проведение обработок в таких условиях, с одной стороны, влечет снижение качества выполняемого технологического процесса, а с другой – приводит к несоблюдению дозы внесения, возникновению очагов с передозировкой препарата и появления его в местах, не предназначенных для обработки.

Из вышесказанного следует, что для уменьшения сноса рабочей жидкости необходимо обеспечить монодисперсный распыл, увели-

чивать массу капель m_k в факеле распыла или оградить его от прямого воздействия ветра (рис. 3.2).

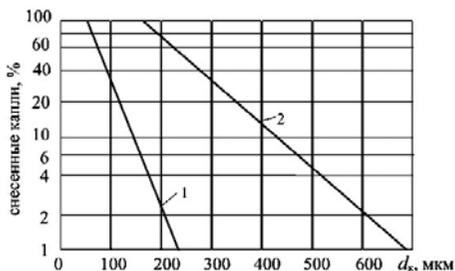


Рис. 3.2. График зависимости доли снесенных капель рабочей жидкости [96]:
 1 – при скорости ветра до $0,25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, когда все капли диаметром меньше 80 мкм сносятся;
 2 – при скорости ветра до $0,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, когда все капли диаметром меньше 250 мкм сносятся

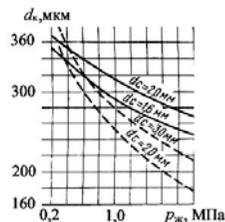


Рис. 3.3. График зависимости массового медиального диаметра капель от давления гидравлических распылителей [71]:
 — плоскофакельные;
 --- центробежные

Сравнительно небольшое увеличение размера частиц вызывает резкое увеличение скорости и сокращение времени их оседания (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Скорость и время оседания водяных капель в неподвижной среде [65]

Класс дисперсной системы	Скорость оседания, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Время оседания
Высокодисперсные	0,00075...0,075	4,63 сут...1,12 ч
Среднедисперсные	0,075...1,9	1,12 ч...2,6 мин
Низкодисперсные	1,9...27	2,6 мин...11,1 с
Мелкокапельные	27...95	2,6 мин...11,1 с
Крупнокапельные	95...162	11,1 с...3,2 с
500 мкм	210	3,2 с...1,9 с
1000 мкм	400	—

В обычных условиях даже при полном штиле наблюдается снос капель, обусловленный восходящими и нисходящими потоками, высотой опрыскивания и другими факторами (табл. 3.2).

Увеличение размера капель в факеле распыла при использовании гидравлических распылителей можно достичь изменением

диаметра выходных отверстий и снижением давления в напорной жидкостной магистрали. Для этого необходимо иметь в наличии несколько комплектов различных распылителей. Регулировкой давления в гидравлической системе опрыскивателя изменяется не только дисперсность распыла, но и расход рабочего раствора (рис. 3.3), следовательно, и доза внесения. Кроме того, в спектре факела присутствуют капли всех классов дисперсности, поэтому затруднено получение монодисперсного распыла [67].

Таблица 3.2 *Характеристика водяных капель разного размера [67]*

Диаметр капль, мкм	Число капль на 1 см ² при дозе 1 л·га ⁻¹	Снос капль (м) ветром 1,33 м·с ⁻¹ с высоты 6,2 м	Время падения капель с высоты 6,2 м при штиле
5	2 642 000	11 160,0	2 ч
33	8 454	248,0	3 мин
100	302	30,2	22 с
200	36	11,5	8 с
500	2	4,2	2 с

Несмотря на преимущества, гидравлические распылители не обеспечивают монодисперсный распыл и не позволяют качественно выполнить опрыскивание в ветреную погоду (сносится до 80 % жидкости).

Эти недостатки устраняются использованием пневматических, ротационных, ультразвуковых и комбинированных распылителей, в которых изменение диаметра капль в факеле распыла происходит при постоянном давлении в жидкостной магистрали (см. раздел 1.3) [71, 100, 114, 121].

В пневматических распылителях увеличение диаметра капль возможно путем изменения скорости воздушной струи, то есть давления в пневматической магистрали. При этом у данных распылителей большее выходное отверстие (более 2 мм), и скорость воздушного потока может регулироваться в пределах 80...200 м·с⁻¹.

В ротационных распылителях это достигается сменой рабочих органов или изменением угловой скорости вращения. Однако их использование не обеспечивает монодисперсный распыл, вследствие чего существует проблема потерь мелких капль из-за сноса ветром.

В ультразвуковых распылителях изменение диаметра капель осуществляется частотой колебаний.

Частичное решение проблемы сноса заключается в использовании комбинированных распылителей.

В настоящее время все более востребованными становятся инжекторные распылители, работа которых основана на принципе *Ventury*. При использовании данных распылителей в процессе образования капель в них добавляются пузырьки воздуха, что приводит к увеличению их размеров. При использовании данного типа распылителей наличие мелких капель (менее 80 мкм) в факеле распыла практически не бывает, что существенно уменьшает величину потерь от сноса ветром.

Несостоятельность традиционного опрыскивания в сложных климатических условиях требует изыскания новых технологий химической защиты растений, разработки и модернизации технических средств внесения пестицидов. Для повышения качества обработки сельскохозяйственных культур предлагается ряд конструкторских решений: применение электрической зарядки частиц, использование пенного опрыскивания, применение пестицидно-полимерных нитей, установка дополнительных распылителей и специальных отклоняющих устройств, принудительная доставка капель к объекту обработки воздушным потоком.

Одним из известных способов повышения качественных показателей процесса опрыскивания является применение электрических полей для электризации и осаждения диспергируемого жидкого пестицида на обрабатываемые растения. Раствор пестицида искусственно заряжается в сильном электрическом поле, после чего дробится на капли. Дальнейшее осаждение аэрозоля происходит с участием электрических сил, которые по своей величине могут быть соизмеримы и в несколько раз превосходить силы гравитации и воздушной среды. Силы внешнего электрического поля оказывают воздействие на всем пути движения частиц от зарядного устройства до растения. Они заставляют двигаться заряженные частицы от источника аэрозоля к обрабатываемому растению вдоль линий напряженности электрического поля. Эти линии имеют криволинейную форму и замыкаются на различных поверхностях растений, поэтому движущиеся по ним частицы могут распространяться по всем поверхностям [3, 67].

В реальных условиях под действием инерционных, гравитационных, центробежных сил заряженные капли при движении отклоняются от направления силовых линий электрического поля, и часть из них не достигает объектов обработки [92, 127].

Опрыскиватели с использованием электрической зарядки капель дорогостоящи, сложны в изготовлении и эксплуатации, предъявляют повышенные требования безопасности и поэтому не находят широкого применения в сельскохозяйственном производстве.

В настоящее время известна принципиально новая технология использования связанного аэрозоля, получаемого путем добавления к пестициду незначительного (1,4...3,0 %) количества экологически нейтральной нитеобразующей добавки и наполнителя (технического ксилола). Радикальное уменьшение сноса связано с различием процессов распыления жидкости и прядения нитей. Сокращение доз пестицида обусловлено повышенной долей попадания пестицидно-полимерных нитей непосредственно на обрабатываемые объекты. В силу специфики процесса попадания пестицида в почву и ее загрязнение сокращаются по сравнению с обычным опрыскиванием. Однако наиболее сложными аспектами новой технологии являются получение длинных тонких нитей (20...60 мкм) и нанесение их на обрабатываемые объекты. При скорости современных опрыскивателей $6...10 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ необходимо производить около 4000 м нити в секунду [67].

Удерживаемость пестицидов и их проникновение вглубь растения можно повысить применением рабочих жидкостей в виде пены. Добавление небольшого количества поверхностно-активных веществ к раствору пестицида обеспечивает ряд преимуществ в сравнении с обычным опрыскиванием. Основные достоинства пенного опрыскивания: уменьшение степени сноса, экономия препарата за счет лучшего проникновения и осаждения на обрабатываемый объект, меньшая опасность повреждения соседних культур, чувствительных к вносимым пестицидам, возможность работы машины при более сильном ветре, четкая фиксация границ обработки [67].

Несмотря на это, пенное опрыскивание не находит широкого применения. Основные причины: большие затраты на изготовление специальных опрыскивателей и эксплуатацию. При этом пенное опрыскивание не решает в полной мере проблему объемной обработки: пена хорошо распределяется на наружной стороне листьев,

практически не оседа на внутренней. Кроме того, пенное опрыскивание не является универсальным и неприемлемо для ряда сельскохозяйственных культур.

На величину потерь по причине сноса существенным образом оказывают влияние расстояние до обрабатываемой поверхности, скорость и направление ветра [31, 71], поэтому необходимо ограждать факел распыла от прямого воздействия ветра.

Одним из направлений является применение ветрозащитных устройств [146]. По принципу действия их можно разделить на три группы: 1) пассивные, 2) активные, 3) комбинированные [100, 114, 121].

К ветрозащитным устройствам пассивного действия (рис. 3.4) относятся различные конструкции козырьков или щитков [109], которые полностью или частично на стадии формирования факела исключают воздействие на него ветра. При этом происходит перенаправление воздушного потока вверх так, что он проходит над распылителем, не воздействуя на капли. Данный тип устройств нашел применение в опрыскивателях фирмы *Jon Deere*, *Lemken* и др.

Недостатком конструкций данных ветрозащитных устройств является невозможность полной защиты факела распыла от ветра вследствие наличия зазора между нижними краями козырька и обрабатываемой поверхностью. Это вызвано недопущением повреждения последней вследствие возникновения колебаний несущих конструкций, на которых закреплены ветрозащитные устройства (например, штанга опрыскивателя). При этом в пространство между нижними краями козырька и поверхностью проникает направленный воздушный поток, обладающий, вследствие уменьшения пространства, большой скоростью. Это приводит к повышенному боковому воздействию на оседающие капли, изменению траекторий их движения, следовательно, к небольшому сносу рабочего раствора и повышению неравномерности распределения пестицидов по обрабатываемому объекту. Кроме того, увеличение рабочих поверхностей козырьков, с одной стороны, позволяет снизить степень воздействия ветра на капли пестицида. А с другой – вследствие большой площади щитков, воспринимающих своей поверхностью давление встречного воздушного потока, приводит к увеличению аэродинамической нагрузки, влекущей за собой возрастание сопротивления движению агрегата, следовательно, увеличение энергзатрат на выполнение технологического процесса,

повышенное воздействие на несущую конструкцию штанги, возникновение ее колебаний, что может привести к повреждению растений и неравномерности распределения рабочего раствора в продольном направлении.

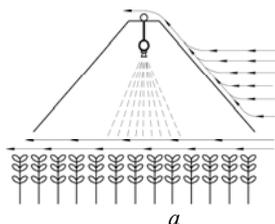


Рис. 3.4. Ветрозащитные устройства пассивного действия:
а – схема; б – конструкция опрыскивателя с защитой факела распыла

Ветрозащитные устройства активного действия основаны на использовании дополнительных устройств, создающих воздушный поток, который осаждает капли на объект обработки. Он позволяет проводить опрыскивание при скорости ветра до $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (простое опрыскивание – до $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) [67], при этом практически сводя к минимуму снос мелких капель и обеспечивая экономию препаратов до 25...30 %, а также создавая условия для качественного покрытия всего обрабатываемого растения за счет проникающей способности направленной воздушной струи. Образующийся при распыливании воздушно-капельный поток, обладая высокой кинетической энергией, в наименьшей степени подвержен сносу, что позволяет производить опрыскивание при ветреной погоде, удлинняя время дневной работы. Одновременно снижается испарение воды, что обеспечивает работу при более высоких дневных температурах. Потребление воды можно снизить до $100 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ (вместо $150 \dots 300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$), что снижает себестоимость обработки. Кроме того, появляется возможность до 50 % увеличить рабочую скорость агрегата, следовательно, и производительность [67].

Ветрозащитные устройства данного типа используются в конструкциях объемных опрыскивателей (рис. 3.5). Они в наибольшей степени соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству опрыскивания. Прежде всего, они универсальны – пригодны для обработки всех сельскохозяйственных культур, высокопроизводительны, позволяют более чем на 25...30 % снизить дозу внесения

препарата, обеспечивают мелкокапельное опрыскивание (воздушный поток дополнительно дробит капли рабочей жидкости), равномерное распределение рабочей жидкости по ширине захвата машины и по объему обрабатываемых культур.

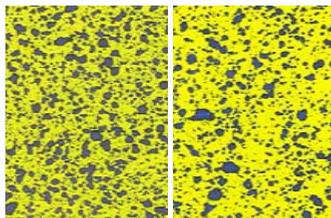


Рис. 3.5. Объемные опрыскиватели с ветрозащитными устройствами активного действия

Ряд известных зарубежных фирм – производителей сельскохозяйственной техники: *Hardi* (Дания), *Kyndestoft* (Германия), *Dammann* (Германия), *RAU* (Германия), *Jacto* (Бразилия), *Degania Sprayers* (Израиль), *Tecnoma* (Франция), *Krukowiak* (Польша) и другие, – выпускают штанговые опрыскиватели, в конструкциях которых использованы ветрозащитные устройства активного действия, основанные на создании потока сжатого воздуха для принудительного осаждения капель. Данные опрыскиватели аналогичны по конструкции: дооборудованы воздухораспределительной системой, включающей один или два вентилятора, воздухораспределительные рукава с выпускными отверстиями или сплошной щелью. Вентилятор направляет воздух в воздухораспределительные рукава, который через выходные отверстия подается вниз, на обрабатываемые растения, захватывая при этом капли распыленной рабочей жидкости и доставляя их к целевому объекту. Факел распыленной жидкости окончательно формируется под рукавами на расстоянии 20...30 см [67]. Капли за счет завихрений, создаваемых воздушным потоком, проникают вглубь насаждений. Однако использование ветрозащитных устройств активного действия наряду с достоинствами имеет и существенные недостатки: увеличение энергоемкости выполняемого технологического процесса, усложнение и удорожание конструкции опрыскивателя.

Совместное использование ветрозащитных устройств активного действия и инжекторных распылителей позволяет на 13 % повысить качество покрытия обработанной поверхности (рис. 3.6) [121].

Ветрозащитное устройство активного действия может быть изготовлено и без воздухораспределительных рукавов. При этом каждый распылитель снабжается вентилятором с приводом [97, 119] (рис. 3.7)



а *б*
Рис. 3.6. Качество обработки при использовании инжекторного распылителя с принудительным осаждением (*а*) и без него (*б*)

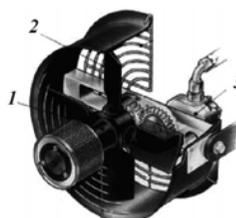


Рис. 3.7. Ветрозащитное устройство активного действия:
1 – распылитель, 2 – вентилятор, 3 – привод вентилятора

Конструкции ветрозащитных устройств комбинированного действия основаны на положительных сторонах предыдущих групп. Они позволяют использовать энергию ветра для защиты факела распыла. Конструкции рабочих органов ветрозащитных устройств подобраны так, что обеспечивают перенаправление потока ветра, который не только транспортирует капли к обрабатываемому объекту, но и, взаимодействуя с основным воздушным потоком, защищает факел распыла от его прямого воздействия. Условиями правильной работы таких ветрозащитных устройств являются рациональное использование энергии ветра, наименьшее аэродинамическое сопротивление движению агрегата и недопущение оседания капель рабочего раствора на их рабочие элементы (в любой момент времени траектория движения капли в факеле распыла не должна пересекать оси рабочих элементов).

Нами предложены несколько конструкций ветрозащитных устройств комбинированного действия.

Устройство 1 [140]

Штанга опрыскивателя (рис. 3.8) состоит из несущей конструкции 1, на которой закреплены (симметрично в направлении движения при помощи кронштейнов 4 и 5) распределительная штанга 2 с распылителями 3 и ветрозащитные устройства, каждое из которых

содержит наружный 8 и внутренний 7 щитки, имеющие одинаковый радиус кривизны и закрепленные между собой при помощи кронштейнов 9 и 10. Внутренний щиток 7 в верхней части имеет козырек 6, наклоненный под положительным углом к горизонтальной плоскости.

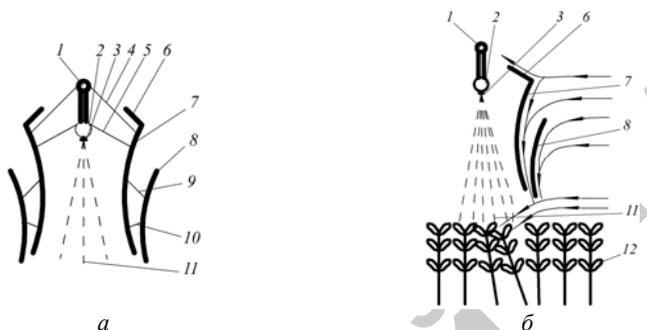


Рис. 3.8. Ветрозащитное устройство комбинированного действия:

- а* – схема; *б* – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4, 5, 9, 10 – кронштейны; 6 – козырьки; 7 – внутренние щитки; 8 – наружные щитки; 11 – факел распыла; 12 – посевы сельскохозяйственной культуры

Ветрозащитное устройство работает следующим образом (рис. 3.8, б). Создаваемый ветром воздушный поток встречается с поверхностью наружного щитка 8 и скользит по ней вниз. Сходя с ее нижнего края, взаимодействует с движущимся вниз прямым воздушным потоком ветра, снижает его скорость. Прямой воздушный поток, проходящий над верхним краем наружного щитка 8, воздействуя с выступающей поверхностью внутреннего щитка 7, делится на два потока. Первый скользит по поверхности расположенного в верхней части внутреннего щитка козырька 6, отклоняется вверх и проходит над распылителем 3, не оказывая воздействия на факел распыла 11. Второй поток, скользя вниз по криволинейной поверхности внутреннего щитка 7, попадает в межщитковое пространство, где, в результате постепенного его сужения, ускоряется и сходит с нижнего края щитка по касательной к его поверхности под углом к потоку ветра, движущемуся с измененной скоростью после встречи с потоком, сошедшим с плоскости наружного щитка 8. Расположенный ниже края внутреннего щитка 7 нижний

край наружного щитка 8 позволяет защитить ускоренный воздушный поток, выходящий из межщиткового пространства, от прямого воздействия ветра, тем самым избежать дополнительных потерь скорости воздушной струи из-за трения о поверхность щитка.

Последовательное воздействие сходящего с наружного щитка и выходящего из межщиткового пространства воздушных потоков на прямой поток ветра, изменяют его направление движения в сторону обрабатываемой поверхности растений 12. При этом перенаправленный поток ветра, воздействуя на капли рабочего раствора, доставляет их к обрабатываемой поверхности растений 12, что снижает потери пестицидов из-за сноса, увеличивает равномерность распределения его по обрабатываемой поверхности, следовательно, повышается качество внесения пестицидов. Перенаправленный поток ветра, входя под углом в растительный слой, обеспечивает проникновение капель внутрь растительного слоя и обработку нижней части листьев растений, что способствует повышению равномерности распределения пестицидов по объему растения, следовательно, повышается не только качество внесения пестицидов, но и эффективность химической защиты растений. Защита факела распыла при помощи перенаправленных струй воздушного потока позволяет увеличить высоту установки ветрозащитных устройств над обрабатываемым объектом и избежать их взаимодействия с растениями при колебаниях штанги.

При перемене направления ветра на противоположное рабочий процесс протекает аналогично с другим ветрозащитным устройством.

Устройство 2 [141]

Штанга опрыскивателя (рис. 3.9) состоит из несущей конструкции 1, на которой закреплены распределительная штанга 2 с распылителями 3 и симметрично относительно распылителя при помощи кронштейна 4 ветрозащитные устройства, каждое из которых состоит из набора пластин (жалюзи) 5, установленных между боковыми сторонами четырехугольной рамки 6.

Ветрозащитное устройство работает следующим образом (рис. 3.9, б). Перед началом работы выбирается распылитель 3, в соответствии со значением угла при вершине факела распыла которого устанавливается угол наклона пластин 5 на четырехугольной рамке 6.

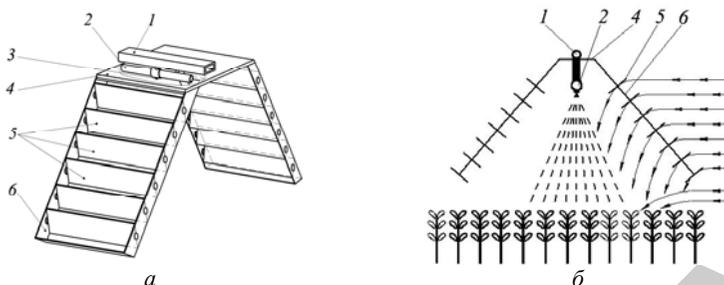


Рис. 3.9. Ветрозащитное устройство комбинированного действия:
а – схема; *б* – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция;
 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4 – кронштейн;
 5 – прямоугольные пластины (жалюзи); 6 – рамка

Создаваемый ветром воздушный поток встречается с нижними поверхностями пластин 5 и делится на потоки, количество которых определяется числом установленных пластин. Каждый поток, вследствие скольжения по нижней поверхности соответствующей пластины, меняет направление своего движения и, сходя с ее поверхности, движется в направлении обрабатываемой поверхности, увлекая за собой капли раствора пестицида. При этом потоки, изменившие свое направление, благодаря нижним пластинам, удаленным от факела распыла, воздействуют на воздушный поток, проходящий между ветрозащитным устройством и обрабатываемой поверхностью, и отклоняют его в направлении обрабатываемой поверхности. Это обеспечивает снижение потерь раствора из-за сноса, проникновение пестицидов внутрь обрабатываемого слоя и обработку подлиственной части растений. Вследствие прохождения потока воздуха между пластинами и их установки под углом к встречному потоку осуществляется только воздействие на пластины по причине скольжения по их нижним поверхностям потока, что позволяет снизить встречное давление на ветрозащитное устройство, следовательно, аэродинамическое и тяговое сопротивление, что обеспечивает снижение затрат энергии на выполнение технологического процесса внесения пестицидов.

Установленные под углом к боковым сторонам четырехугольной рамки пластины уменьшают площадь поверхностей, подверженных прямому воздействию встречного воздушного потока, что обеспечивает снижение аэродинамического давления, следовательно,

сопротивление движению агрегата и энергозатраты на выполнение технологического процесса.

При установке пластин под углом к боковым сторонам четырехугольной рамки, вследствие скольжения воздушного потока по их внутренним поверхностям, реакция силы воздействия направляется под углом к горизонту, следовательно, уменьшается горизонтальная ее составляющая и, как следствие, амплитуда колебаний несущей конструкции штанги при резких изменениях скорости ветра, что обеспечивает повышение ее надежности и качества выполнения технологического процесса.

Устройство 3 [143]

Штанга опрыскивателя (рис. 3.10) состоит из несущей конструкции 1, на которой закреплены распределительная штанга 2 с распылителями 3. Ветрозащитное устройство установлено на несущей конструкции 1 с помощью двух боковых рамок 4, закрепленных на ней симметрично вертикальной плоскости симметрии, проходящей через распределительную штангу 2 опрыскивателя и распылители 3 перпендикулярно направлению движения штанги. Каждая боковая рамка 4 образована металлическим прокатным профилем, изогнутым по контуру боковых сторон и меньшего верхнего основания равнобочной трапеции, причем боковые рамки 4 расположены по бокам распределительной штанги 2 в вертикальных, совпадающих с направлением движения штанги, плоскостях симметрично вертикальной продольной, совпадающей с направлением движения штанги, ее плоскости симметрии. Ветрозащитное устройство выполнено в виде набора пластин, установленных на боковых рамках 4 с возможностью вращения относительно расположенных над их верхними поверхностями горизонтальных осей симметрии и вращения их шарнирного крепления, расположенного продольно и симметрично поверхностям пластин. Каждая пластина выполнена в виде части цилиндрической трубы 5, обращенной выпуклостью кверху, с наружными гранями, ограниченными образующими наружной и внутренней цилиндрических поверхностей, причем обе проходящие через грани плоскости пересекаются по оси симметрии цилиндрической трубы, и расстояния между нижними ребрами граней всех цилиндрических труб равны между собой, а радиусы кривизны цилиндрических поверхностей каждой верхней цилиндрической трубы меньше радиуса кривизны цилиндрических

поверхностей цилиндрической трубы, расположенной ниже ее радиуса кривизны. Горизонтальные оси симметрии и вращения их шарнирного крепления расположены на боковых сторонах равнобоочных трапеций контуров боковых рамок 4 с шагом, равным расстоянию между нижними ребрами граней цилиндрических труб 5.

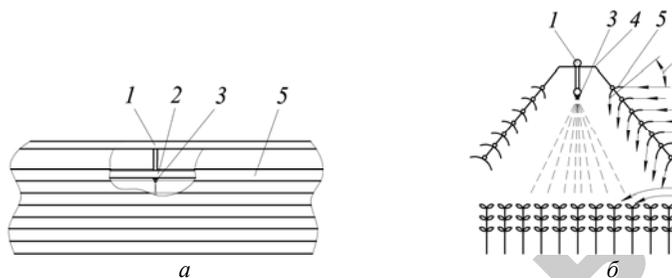


Рис. 3.10. Ветрозащитное устройство комбинированного действия: а – схема (вид спереди), б – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4 – боковая рамка; 5 – изогнутая пластина (часть цилиндрической трубы)

Устройство работает следующим образом (рис. 3.10, б).

Перед началом работы выбирается распылитель 3 и в соответствии со значением угла при вершине факела его распыла устанавливается угол α наклона плоскостей, проходящих через нижние грани цилиндрических труб 5, на боковых рамках 4. Создаваемый ветром воздушный поток встречается с внутренней цилиндрической поверхностью цилиндрических труб 5 и делится на потоки, количество которых определяется числом установленных цилиндрических труб. Воздушный поток, скользя по внутренней поверхности цилиндрических труб 5, изменяет траекторию своего движения в большей степени для верхних и в меньшей – для нижних цилиндрических труб. Это обеспечивает минимальное равномерное воздействие ветра на факел распыла, что повышает равномерность внесения пестицидов.

Устройство 4 [142]

Штанга опрыскивателя (рис. 3.11) состоит из несущей конструкции 1, на которой закреплены распределительная штанга 2 с распылителями 6 и симметрично (в направлении движения), при помощи кронштейнов 5 и 7, ветрозащитные устройства (щитки) 8. Сверху

распределительную штангу закрывает козырек 4 с установленными на нем вентиляторами 3, создающими направленные воздушные потоки.

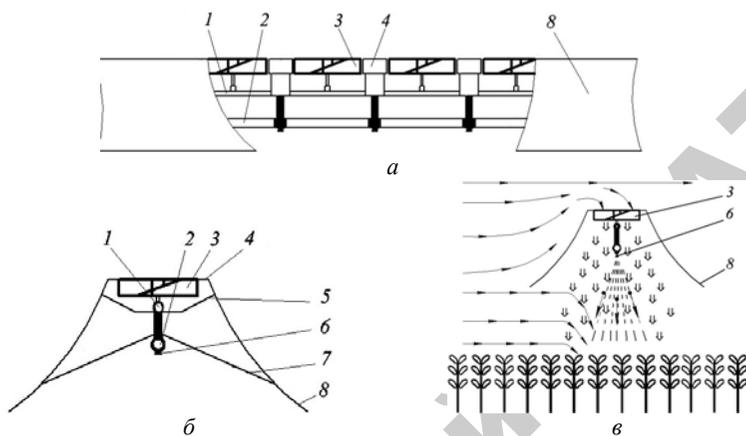


Рис. 3.11. Ветрозащитное устройство комбинированного действия:

- а, б – схемы; в – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция;
 2 – распределительная штанга; 3 – вентиляторы; 4 – козырек;
 5, 7 – кронштейны; 6 – распылитель; 8 – ветрозащитные устройства (щитки)

Ветрозащитное устройство работает следующим образом (рис. 3.11, в). Создаваемый ветром воздушный поток встречается со щитком 8 и скользит по его поверхности вверх, далее встречается с воздушным потоком, проходящим над козырьком 4, и, не оказывая никакого воздействия на факел распыла, проходит над ним. За счет наклона поверхности щитка к вертикали и уменьшения его длины обеспечивается уменьшение поверхности, подверженной встречному воздействию ветра, что снижает аэродинамическое сопротивление ветрозащитного устройства, следовательно, уменьшает сопротивление передвижению агрегата и энергоемкость процесса, значит, и расход топлива. Часть воздушного потока, проходящего над козырьком 4, засасывается в рабочую камеру вентилятора 3 и вылетает из нее вертикально вниз в межщитковое пространство по направлению к факелу распыла. Встречаясь с каплями рабочего раствора, образованными распылителем 6, направленный вниз воздушный поток, создаваемый вентилятором 3, сообщает им дополнительную энергию на начальной стадии движения и увеличивает

их скорость падения. Получив направленное движение, капли устремляются вниз и с возросшей скоростью вылетают из межщиткового пространства. Воздушный поток, создаваемый ветром и проходящий ниже щитка δ , пересекает траекторию полета капель, но за счет ускоренного их движения, полученного созданным вентилятором воздушным потоком, не оказывает существенного воздействия, что не приводит к их сносу и не снижает качество проведения химической обработки. За счет ускоренного движения, при падении на объект обработки, капли разбиваются на капли меньшего диаметра, что способствует обработке большей площади растений и повышает равномерность распределения препарата на них.

Установкой вентиляторов 3 обеспечивается увеличение скорости падения капель на начальной стадии движения, что позволяет уменьшить длину щитков, следовательно, и их площадь, что приводит к снижению аэродинамического сопротивления и энергоемкости выполняемого технологического процесса.

Сходящий с вентилятора 3 воздушный поток обладает вихревым движением, что позволяет проникнуть препарату вглубь массива и произвести обработку растений по всей их поверхности, в их подлиственной части, что не требует дополнительных обработок, повышает их качество и снижает энергоемкость процесса.

Кроме того, создаваемый вентилятором 3 направленный воздушный поток увеличивает скорость вылета капель из межщиткового пространства и транспортирует капли к объекту обработки, что снижает их потери из-за сноса. Недостатком комбинированных ветрозащитных устройств является необходимость их установки на распределительной штанге по всей ее длине. Это ведет к усложнению конструкции, увеличению массы штанги, следовательно, к необходимости модернизации систем ее навески, стабилизации и гашения колебаний.

4. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ СНОСА РАБОЧЕГО РАСТВОРА ИЗ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Для проверки достоверности результатов теоретических исследований, обоснования конструктивных, технологических и кинематических параметров технических средств следует проводить экспериментальные исследования. Они определяются на основании составления методики, под которую подбирается и изготавливается соответствующее оборудование, разрабатываются и изготавливаются соответствующие лабораторные установки и образцы.

Распределение капель жидкости по обрабатываемой поверхности и их снос из зоны обработки определяются высотой установки распылителя над обрабатываемой поверхностью, скоростью истечения жидкости из сопла распылителя, дисперсностью распыла, аэродинамическим состоянием окружающей среды [31, 48, 71].

4.1. Описание лабораторных установок и оборудования для проведения исследований работы распылителей и ветрозащитных устройств

Для обоснования рациональных режимов исследуемого технологического процесса может быть использована лабораторная установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 4.1.

При работе насос 8 засасывает жидкость из резервуара 4 через всасывающий фильтр 3 и нагнетает ее к пульта управления 1. От него через нагнетательный фильтр и открытые клапаны распределителя жидкость подается через распылители на обрабатываемую поверхность.

Избыток жидкости через регулятор давления поступает обратно в резервуар. От пульта управления 1 подача жидкости может осуществляться к гидромешалке 6 и в устройство для перемешивания заправляемых порошковидных препаратов. Секционная подача позволяет повысить стабильность создаваемого в распылителях давления и отключать отдельные секции в зависимости от требуемой ширины захвата.

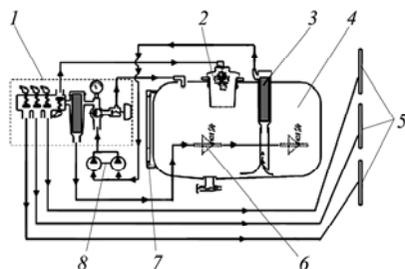


Рис. 4.1. Принципиальная схема лабораторной установки:

1 – пульт управления; 2 – заправочная горловина с фильтром и корзиной перемешивания; 3 – фильтр всасывающий; 4 – резервуар для рабочей жидкости; 5 – секции для ленточного внесения; 6 – гидромешалка; 7 – уровнемер; 8 – насосный агрегат

Для исследования распределения жидкости по обрабатываемому объекту изготовлен полнопрофильный макет (рис. 4.2), имеющий размеры реального гребня. На боковых и верхней поверхностях макета отфрезерованы, отполированы и покрыты водоотталкивающим составом приемные канавки глубиной и шагом в 0,01 м. Всего на поверхности макета имеются 64 канавки. Жидкость из приемных канавок через сливные отверстия и прозрачные гибкие шланги отводится в мерные цилиндры. Соответствие цилиндров и сливных канавок обеспечивается их нумерацией. Объем мерных цилиндров подобран так, чтобы время их заполнения жидкостью до контрольной отметки составляло не менее 30 с.

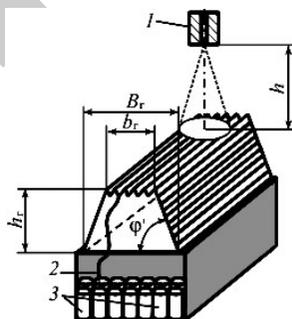


Рис. 4.2. Макет гребня с приемной поверхностью:

b_r – ширина верхней поверхности (0,2 м); h_r – высота макета (0,19 м);
 B_r – ширина основания (0,4м); φ – угол наклона боковой поверхности (60°);
 1 – распылитель; 2 – шланг; 3 – мерные цилиндры

С помощью кронштейнов и системы шарниров сопло распылителя *1* фиксируется на заданной высоте *h* над геометрическим центром макета с точностью ± 1 мм. Капли жидкости оседают на верхней и боковых поверхностях макета, собираются в приемных канавках и стекают по шлангам *2* в мерные цилиндры *3*.

Базовая лабораторная установка, оснащенная необходимым оборудованием и измерительными приборами, позволяет выполнять экспериментальные исследования по обоснованию конструктивных, технологических и кинематических параметров оборудования при сплошном и локальном внесении пестицидов как в ветреную, так и безветренную погоду.

При проведении экспериментов на базовой лабораторной установке имеется возможность регистрировать основные параметры, влияющие на распределение жидкости по объекту обработки. К ним относятся: расход рабочей жидкости на единицу обрабатываемой площади, дисперсность распыла жидкости, густота покрытия и равномерность распределения капель по обрабатываемой поверхности. Это позволяет при определении взаимосвязанных опытов использовать методику оптимального планирования.

При любом способе опрыскивания часть распыленной жидкости под действием воздушного потока сносится за пределы зоны обработки. Для проверки результатов теоретических исследований, выполнены лабораторные опыты по изучению влияния направленного воздушного потока на распределение жидкости по обрабатываемой зоне макета гребня и количественной оценке сноса капель за пределы зоны обработки. Исследования выполнены на лабораторной установке, дополнительно оборудованной вентиляторной установкой (рис. 4.3).

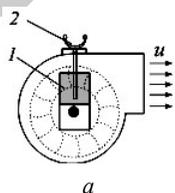


Рис. 4.3. Схема регулировки скорости направленного воздушного потока при помощи вертикально перемещаемой (а) и поворачивающейся (б) заслонки:

1 – заслонка; *2* – винтовой механизм

Направленный воздушный поток создается центробежным вентилятором с приводом от электродвигателя мощностью 1,5 кВт. Скорость воздушного потока регулируется дроссельным устройством, состоящим из заслонки и регулятора с ручным приводом. Данное устройство позволяет точно и плавно регулировать скорость выходящего воздушного потока от 0,5 до 10,0 м·с⁻¹. Скорость воздуха измеряется анемометрами.

Для количественной оценки параметров сноса жидкости лабораторная установка оборудована дополнительной приемной поверхностью 6 (рис. 4.4), которая установлена на одном уровне с приемной поверхностью макета гребня 5.

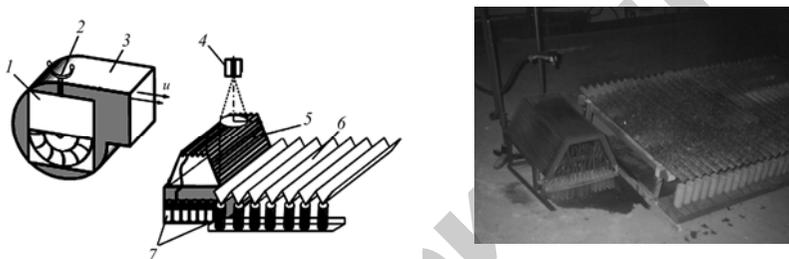


Рис. 4.4. Лабораторная установка для количественной оценки сноса жидкости: 1 – заслонка; 2 – регулятор; 3 – вентилятор; 4 – распылитель; 5 – макет гребня; 6 – дополнительная приемная поверхность; 7 – мерные цилиндры

Дополнительная приемная поверхность набрана из желобков, которые в поперечном сечении представляют собой равносторонние треугольники, изготовленные из оцинкованной стали. Ширина приемной поверхности изменяется путем установки дополнительных желобков.

4.2. Определение расхода рабочей жидкости

Минутный расход рабочей жидкости при сплошном опрыскивании определяется по формуле:

$$Q = \frac{v_p b_p q}{600}, \quad (4.1)$$

где q – норма расхода рабочей жидкости, л·га⁻¹.

Исходя из норм, принятых для сплошного опрыскивания (150...300 л·га⁻¹), норма расхода для ленточного опрыскивания рассчитывается по формуле:

$$Q_1 = Q \frac{l}{c}, \quad (4.2)$$

где Q – норма расхода рабочего раствора при сплошном опрыскивании, л·га⁻¹;

l – ширина междурядий, м;

c – ширина обрабатываемой полосы (защитная зона растений), м.

Для гребневой технологии возделывания культур ширину c защитной зоны (рис. 4.5) можно определить исходя из геометрических параметров гребня ($b_r = 0,2$ м; $h = 0,19$ м; $\varphi' = 60^\circ$):

$$c = 2 \left[a + \frac{h}{3} \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi') \right] \pm \Delta c, \quad (4.3)$$

где $\Delta c = 0,03$ (м) – допустимое отклонение фактической ширины защитной зоны от расчетной вследствие множества субъективных факторов (точность вождения агрегата и его настройка на заданную ширину междурядий, нарушение взаимного расположения распылителей и объема обработки, прямолинейность строчки посева и т. д.).

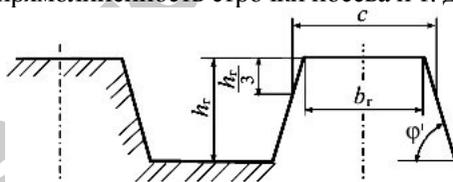


Рис. 4.5. Схема расчета ширины обрабатываемой ленты

Ширина защитной зоны, рассчитанная по формуле (4.3), составляет 0,23...0,30 м. В зависимости от ширины междурядий (0,45, 0,60 или 0,70 м) норма расхода рабочего раствора гербицидов для ленточного опрыскивания составит: $Q_1 = 60...180$ л·га⁻¹.

Для практических расчетов плотности покрытия и распределения капель по обрабатываемой поверхности, норму расхода рабочей жидкости (л·га⁻¹) отнесем к 1 см² обрабатываемой площади, выразив ее в мм³·см⁻² и в мл·см⁻² из соотношений:

$$Q_* = Q_1 \frac{10^6}{10^8} = Q_1 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2} \right); \quad Q_* = Q_1 \frac{10^3}{10^8} = Q_1 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{мл}}{\text{см}^2} \right), \quad (4.4)$$

где 10^6 и 10^3 – объем 1 л жидкости, соответственно выраженный в мм^3 и мл;

10^8 – площадь 1 га, выраженная в см^2 .

Минутная подача жидкости при проведении экспериментов определялась путем сбора и замера с точностью до 1 мл. Исходным критерием выбора распылителей для лабораторных исследований является норма расхода рабочей жидкости $Q_1 = 60 \dots 180 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$.

Расход жидкости на единицу обрабатываемой поверхности Q_1 связан с расходной характеристикой распылителя q_1 , скоростью движения агрегата v_p и суммарной шириной обрабатываемых лент B_p соотношением:

$$q_1 = \frac{Q_1 B_p v_p}{600 \cdot n_p} = \frac{Q_1 L v_p}{600}, \quad (4.5)$$

где q_1 – минутная подача жидкости через распылитель, $\text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$;

B_p – суммарная ширина обрабатываемых лент (рабочая ширина захвата агрегата), м;

v_p – рабочая скорость движения агрегата, $\text{км} \cdot \text{ч}^{-1}$;

$L = \frac{B_p}{n_p}$ – средняя ширина ленты, обрабатываемая одним распылителем, м;

n_p – число распылителей на штанге.

Средняя ширина ленты L (рис. 4.6) связана с высотой h установки распылителя (технологический параметр) и углом факела распыленной жидкости $2\gamma_p$ (геометрическая характеристика распылителя) соотношением:

$$L = 2h \cdot \text{tg} \gamma_p. \quad (4.6)$$

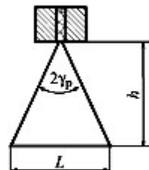


Рис. 4.6. Расчетная схема ширины ленты, обрабатываемой одним распылителем

Опыты проводились в четырехкратной повторности из условия надежности измерений $T = 0,99$. Результаты оценивались путем сравнения фактического минутного расхода жидкости с паспортными характеристиками.

4.3. Критерии оценки качества выполнения опрыскивания в лабораторных условиях

4.3.1. Коэффициент целевого использования рабочей жидкости

Отношение ширины защитной зоны c к ширине обработанной ленты L одним распылителем обозначим коэффициентом целевого использования распыленной жидкости K [31]:

$$K = \frac{c}{L}. \quad (4.7)$$

Из зависимости (4.7) выразим L и, подставив его значение в формулу (4.5), определяем коэффициент K :

$$K = \frac{Q_1 c v_p}{600 q_1}. \quad (4.8)$$

Из формулы (4.8) следует, что при настройке агрегата для ленточного опрыскивания на заданную норму внесения рабочей жидкости ($Q_1 = \text{const}$; $v_p = \text{const}$; $q_1 = \text{const}$) численное значение коэффициента K определяется только шириной защитной зоны, то есть этим коэффициентом определяется та часть распыленной жидкости, которая попадает в защитную зону растений. В соответствующих ситуациях возможны следующие соотношения c и L :

$K = 1$ – вся распыленная жидкость распределится по защитной зоне растений. В этом случае ширина защитной зоны будет равна ширине ленты, обрабатываемой одним распылителем;

$K < 1$ – ширина ленты, обрабатываемой распылителем, будет больше ширины защитной зоны. Часть распыленной жидкости будет оседать в междурядьях, которые обрабатываются механическим способом;

$K > 1$ – ширина защитной зоны окажется больше ширины ленты, обрабатываемой распылителем. Защитная зона растений окажется не полностью обработанной рабочим раствором.

Подставляя выражение (4.6) в формулу (4.7), получим

$$K = \frac{c}{2h \operatorname{tg} \gamma_p}. \quad (4.9)$$

Из выражения (4.9) следует, что коэффициент целевого использования распыленной жидкости зависит от высоты установки и угла при вершине факела распыла.

При использовании широкофакельных распылителей увеличение параметра h выше оптимального значения приведет не только к потерям рабочей жидкости на обработку междурядий, но и к уменьшению плотности покрытия обрабатываемой полосы. Ограничениями на параметр h служат биологическая эффективность и снос капель горизонтальным воздушным потоком.

Уменьшение высоты установки распылителя над поверхностью гребня при ориентации горизонтальной оси факела распыла перпендикулярно направлению движения приведет к возрастанию коэффициента целевого использования распыленной жидкости при одновременном увеличении плотности покрытия обрабатываемой поверхности, что может вызвать ожог обрабатываемых растений.

Зная расход жидкости через распылитель за время τ и суммарный ее объем, собравшийся в n_m мерных цилиндрах за это же время, коэффициент целевого использования раствора определим соотношением:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n_m} Q_i}{q_1 \tau},$$

где $\sum Q_i$ – количество жидкости, поступившей в мерные цилиндры из приемных канавок, мл;

i – номера приемных канавок в защитной зоне гребня (20 – на верхней поверхности макета и по 3 канавки на боковых сторонах, прилегающих к верхней поверхности);

q_1 – расход жидкости через распылитель, мл/с;
 τ – время воздействия факела жидкости на поверхность макета гребня, с.

Опыты проведены при номинальном давлении в системе $p_{ж}=0,2$ МПа и высоте установки распылителя $h = 0,15; 0,3; 0,5$ м над поверхностью макета гребня.

При использовании для ленточно-опрыскивания широкофакельных щелевых распылителей типа РЩ-110-1.0 рекомендуется ось факела повернуть под углом к продольной оси гребня (рис. 4.7). Это позволяет увеличить коэффициент использования рабочего раствора.

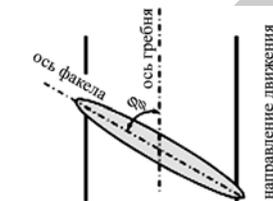


Рис. 4.7. Схема ориентации оси факела по отношению к продольной оси гребня

Следовательно, одной из задач экспериментальных исследований является выбор рациональных параметров пространственной ориентации распылителей по коэффициенту целевого использования распыленной жидкости и проверка их по качественным показателям работы.

4.3.2. Оценка распределения капель жидкости по обрабатываемой поверхности

При распыливании жидкости гидравлическими распылителями обычно образуется полидисперсная система капель. По величине диаметра и числу капель в единице объема их условно можно подразделить на классы дисперсности (табл. 4.1).

Опытами установлено, что на объекте обработки лучше осаждаются и удерживаются капли диаметром 80...360 мкм. Капли данного класса дисперсности обладают оптимальной концентрацией, близкой к постоянной применительно ко всем пестицидам.

Поэтому диаметры этих капель положены в основу расчета биологической эффективности препарата, норм расхода рабочей жидкости заданной концентрации, а также оценки качества обработки по густоте и степени покрытия обработанной поверхности.

Таблица 4.1. Классификация капель по классам дисперсности

Класс дисперсности	Диапазон изменения диаметра капель в классе, мкм	Средний диаметр капель в классе, мкм	Доля капель данного класса в факеле распыла $\Psi_i, \%$	Среднее значение капель данного класса в факеле распыла $\Psi_{cp}, \%$
Грубый	6...80	70	42,59...45,75	44,17
Тонкий	81...150	115	33,12...37,42	35,27
Средний	151...300	225	10,35...15,97	13,16
Крупный	301...720	360	5,30...9,50	7,40

Дисперсность капель определяется геометрическими характеристиками распылителя и давлением в системе опрыскивателя. Однако при любом сочетании этих факторов (в пределах заданных технологических условий на опрыскивание) границы классов дисперсности практически не меняются. Это подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями по дроблению потока жидкости на капли современными распылителями как отечественного, так и иностранного производства. Поэтому расчеты качественных показателей опрыскивания поверхности по средним данным классов дисперсности капель будут соответствовать реальным (с учетом допустимого отклонения расхода жидкости от заданной нормы на единицу обрабатываемой поверхности $\pm 10\%$ и допустимом отклонении расхода жидкости через распылитель $\pm 5\%$).

Стандартным показателем качества опрыскивания является густота покрытия, то есть число капель, приходящихся на 1 см^2 обрабатываемой поверхности. Для определения этого параметра выделим в факеле распыленной жидкости элементарный объем V_0 и, на основании данных табл. 4.1, определим среднее число капель каждого класса, содержащихся в этом объеме. Для расчетов воспользуемся формулой:

$$n_{ki} = \frac{V_0 \Psi_i}{V_{ki}}, \quad (4.10)$$

где n_{ki} – среднее число капель класса i , содержащихся в объеме V_0 , шт. $\cdot \text{мм}^{-3}$;

Ψ_i – доля капель данного класса в факеле распыленной жидкости;

V_{ki} – средний объем одной капли (принятой за шар) данного класса, определяемый по формуле:

$$V_{ki} = \frac{1}{6} \pi d_{ki}^3, \quad (4.11)$$

где d_{ki} – средний диаметр капли в данном классе, мм.

Число капель всех классов, содержащихся в объеме V_0 , равно:

$$n_k = \sum_{i=1}^{i=4} n_i = \frac{6V_0}{\pi} \left[\frac{\Psi_1}{d_{k1}^3} + \frac{\Psi_2}{d_{k2}^3} + \frac{\Psi_3}{d_{k3}^3} + \frac{\Psi_4}{d_{k4}^3} \right]. \quad (4.12)$$

Число элементарных объемов V_0 , которые необходимо распылить на единичную площадь, определим из соотношения:

$$\eta = \frac{Q_*}{V_0} = \frac{Q_1 \cdot 10^{-2}}{V_0}. \quad (4.13)$$

Густота покрытия (Γ) обрабатываемой поверхности определится как произведение числа капель N , содержащихся в объеме V_0 , на число таких объемов. С учетом зависимостей (4.12) и (4.13), густота покрытия определяется формулой (шт. \cdot см $^{-2}$):

$$\Gamma = N \eta = \frac{6}{\pi} Q_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=4} \frac{\Psi_i}{d_{ki}^3} \cdot 10^{-2}. \quad (4.14)$$

Вторым стандартным показателем качества опрыскивания является полнота покрытия обрабатываемой поверхности каплями. Количественным критерием этого показателя является отношение суммарных площадей следов всех осевших капель к площади, на которую они осели. Если принять, что след капли, осевшей на поверхности, имеет форму круга и равен ее диаметру d_{ki} , то полнота покрытия площади в 1 см 2 выразится через густоту покрытия (4.14) зависимостью:

$$\Pi = 1,5 \cdot Q_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=4} \frac{\Psi_i}{d_i} \cdot 10^{-2}, \quad (4.15)$$

где Π – полнота покрытия, %.

Если за характеристику полидисперсности капель принять среднестатистические данные (табл. 4.1), то зависимости (4.14) и (4.15) могут быть использованы как теоретические (отсутствие потерь рабочего раствора) и технологические (заданная норма расхода) оценки качества опрыскивания.

Результаты расчета этих параметров применительно к малообъемному ленточному опрыскиванию ($Q = 150 \dots 300 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$) приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Расчетные коэффициенты качества распределения капель жидкости по обрабатываемой поверхности

Средний диаметр капель в группе d_{ki} , мкм	Содержание в единице объема, ψ_i	Число капель в единице объема n_{ki} , шт.	Норма расхода, л·га ⁻¹			
			150		300	
			Γ_{i_1} шт.·см ⁻²	Π_{i_1} %	Γ_{i_2} шт.·см ⁻²	Π_{i_2} %
70	0,4417	2460,00	3690,0	22,08	7380,0	44,17
115	0,3527	443,0	664,5	6,9	1329,0	13,8
225	0,1316	22,15	33,2	1,32	99,6	2,63
360	0,0740	3,06	4,6	0,46	13,8	9,2
Результат	1,000	2928,21	4662,3	30,76	8822,4	61,5

Сравнивая сопоставимые параметры, нетрудно установить завышение густоты покрытия обрабатываемой поверхности в 1,5...2,5 раза при технических нормах расхода гербицидов по отношению к биологически эффективным. Такое расхождение объясняется технологическими параметрами опрыскивания и расходными характеристиками распылителей.

Выразим критерий густоты покрытия через минутный расход жидкости распылителем. Для этого из формулы (4.5) выразим параметр Q_1 и подставим в зависимость (4.14). После преобразований и с учетом формулы (4.7) получим:

$$\Gamma = \frac{3q_1}{h \operatorname{tg} \gamma v_p} \frac{6}{\pi} \cdot \sum \frac{\psi_i}{d_{ki}^3}. \quad (4.16)$$

Анализ зависимости (4.16) показывает, что при проведении эксперимента на качество опрыскивания может оказать влияние:

- изменение расхода жидкости q_1 через распылитель;
- изменение угла γ_p при вершине факела распыла (тип распылителя);
- высота h установки распылителя над обрабатываемой поверхностью;
- скорость v_p движения.

Предполагаем равномерное перемещение распылителя над обрабатываемой поверхностью (в лабораторных экспериментах – равномерное перемещение объекта обработки относительно распылителя) со скоростью

$$v_p = 3,6 \cdot \frac{l_{арп}}{t}, \quad (4.17)$$

где $l_{арп}$ – путь пройденный агрегатом, м;

t – время движения, с;

3,6 – коэффициент перевода размерностей.

Подставив выражение (4.17) в зависимость (4.16), получим:

$$\Gamma = \frac{3q_1}{htg \gamma_p \cdot 3,6 \cdot l_{арп}} \cdot \frac{6}{\pi} \cdot \sum \frac{\psi_i}{d_{ki}^3} t = \frac{3q_1 W}{3,6V}, \quad (4.18)$$

где $V = \frac{\pi}{6\tau} \cdot \sum \frac{d_{ki}^3}{\psi_i}$ – объем всех капель, осевших на обрабатываемую поверхность за время τ , $m^3 \cdot c^{-1}$;

$W = \frac{1}{htg \gamma_p l_{арп}}$ – величина, обратная площади поверхности гребня, обработанной за время τ , m^{-2} .

При изменении каждого из регулируемых параметров, отмеченных в формуле (4.17), объем V и время τ могут быть с заданной точностью определены на лабораторной установке.

4.3.3. Определение целевого использования растворов гербицидов при ленточном внесении

После истечения времени отбора пробы в мерный цилиндр (при определении минутного расхода жидкости через распылитель), он отводился в сторону, и факел распыленной жидкости оседал на приемную поверхность макета гребня. Вследствие коагуляции капель различной дисперсности в приемные канавки стекали струйки жидкости и попадали в пронумерованные мерные цилиндры емкостью 30 мл каждый (с ценой деления 0,5 мл). Время τ опыта выбиралось в зависимости от типа распылителя и давления в системе лабораторной установки, но составляло не менее 10 с.

В соответствии с расчетами по формуле (4.3), ширина обрабатываемой зоны составляет 23 см, что соответствует 26 приемным канавкам макета гребня. Вся жидкость, попавшая в эти канавки, является полезно использованной.

Равномерность распределения жидкости по ширине зоны обработки оценим объемом жидкости, поступившей в мерные цилиндры из приемных канавок макета гребня за время τ .

При заданном режиме работы распылителей и скорости движения агрегата v_p ($\text{км} \cdot \text{ч}^{-1}$) за время τ (с) будет обработан участок гребня, равный длине пути, пройденного агрегатом $l_{\text{агр}}$ (см):

$$l_{\text{агр}} = 100 \cdot \frac{v_p \tau}{3,6}. \quad (4.19)$$

Площадь обработанной полоски, ограниченной шириной приемной канавки $\Delta = 1$ см, равна S_1 (см^2):

$$S_1 = l_{\text{агр}} \Delta = \text{const}. \quad (4.20)$$

За время τ на площадь S_1 из распылителя прольется объем жидкости Q_i , численно равный объему жидкости, поступившей в мерный цилиндр с i -й приемной канавки гребня.

Объем жидкости, приходящейся на площадь в 1 см^2 , составит:

$$Q_i^{**} = \frac{Q_i}{S_1}. \quad (4.21)$$

Если зависимость (4.21) распространить на число канавок ($i = 26$), расположенных в зоне внесения гербицида, то получим характеристику распределения (по объему) жидкости по ширине ленты. Критерием оценки распределения жидкости приняты количественные параметры биологической эффективности, выраженные в мм^3 жидкости, прошедшей через распылитель, на 1 см^2 площади при заданном режиме обработки.

4.3.4. Определение угла при вершине факела распыла

Угол при вершине факела распыла $2\gamma_p$ является геометрической характеристикой распылителя. Величина угла определяется размерами, формой сопла и давлением жидкости на входе в распылитель.

Для щелевых гидравлических распылителей изменение давления на входе в пределах $0,2 \dots 0,6$ МПа оказывает незначительное влияние на величину угла при вершине факела. Поэтому для данного типа распылителей угол при вершине факела относится к параметрам, указываемым производителем в виде маркировки на распылителе, например, 03F110, LP03F80, РЩ-110-1,0 и т. д. (подчеркнуто значение угла $2\gamma_p$).

В паспортных характеристиках центробежных и вихревых распылителей значение угла $2\gamma_p$ не приводится. Настройка аппаратуры на ленточное внесение распылителями такого типа связана с трудностями, обусловленными резким откликом угла при вершине факела распыла на изменение давления, что приводит к изменению коэффициента целевого использования и качества распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности. Поэтому величину угла при вершине факела следует учитывать при выборе распылителей и настройке аппаратуры на заданную норму расхода рабочей жидкости при ленточном внесении. Теоретические и опытные данные по рассматриваемому вопросу в известных литературных источниках освещены недостаточно.

Для определения угла при вершине факела распылитель устанавливается на высоте $h = 0,15$ см над столиком с координатной сеткой 10×10 мм (рис. 4.8). Эта высота принята, если исходить из

предположения, что на этом участке движения капля траектория считается прямолинейной. С ориентацией по координатной сетке на столике крепились вплотную друг к другу индикаторные карточки размером 25×75 мм. После включения установки на карточках оставалось пятно. Радиус пятна факела определялся расстоянием от оси симметрии до крайних следов каплей на индикаторных карточках.

В процессе экспериментов диаметр сопла изменялся путем замены распылителей, а давление устанавливалось в пределах от 0,2 до 0,8 МПа с шагом 0,2 МПа. Контроль давления в системе осуществлялся с помощью манометра с ценой деления 0,1 Па.

Половина угла при вершине факела распыленной жидкости определялась из соотношения:

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{R_\phi}{h}, \quad (4.22)$$

где R_ϕ – радиус пятна факела распыла.

Так как на траекторию движения каплей оказывают влияние случайные, не учтенные экспериментом факторы, то надежность опытов принята равной 0,95. Такой надежности опытов соответствует трехкратная повторность по определению исследуемого параметра для каждого распылителя.

4.3.5. Определение дисперсности дробления жидкости

Для внесения рабочих растворов пестицидов имеется большое разнообразие распылителей. Почти все распылители генерируют полидисперсную систему каплей. Поэтому различен механизм взаимодействия каплей разного диаметра с объектом обработки. Факел распыленной жидкости, встречая на своем пути объект обработки, разделяется на струйки и обтекает его. Мелкие капли легко

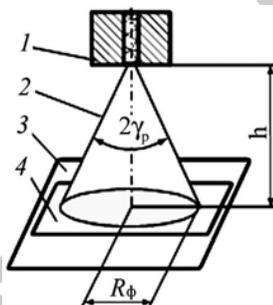


Рис. 4.8. Схема установки для определения угла при вершине факела распыла:

- 1 – распылитель; 2 – образующая конуса распыленной жидкости;
- 3 – координатный столик;
- 4 – индикаторные карточки

меняют направление, обходят крупные объекты и оседают на поверхностях, соизмеримых со своим диаметром (например, на волосках листьев растений). Крупные капли, соударяясь с поверхностями, могут прилипнуть к ним, отскочить, скатиться или раздробиться на более мелкие. Капли рабочего раствора пестицида, прилипшие к обрабатываемым поверхностям растений, обеспечивают эффективность обработки. В паспортных характеристиках распылителей отсутствуют сведения о дисперсном составе генерируемых капель.

В настоящее время известны множество методов, которые позволяют с определенной точностью определять качественные показатели работы распылителей. Эти методы по способу определения показателей можно разделить на две группы: прямого и косвенного измерений. Методы прямого измерения позволяют определить диаметр капель непосредственно или по величине следа, оставленного жидкостью на обрабатываемом объекте. К этой группе относятся методы: микроскопического измерения, осаждения капель в другой жидкости, затвердевания, визуального сравнения, использования в качестве рабочей жидкости расплавленного вещества с низкой температурой плавления и замораживания полученных капель в полете, отпечатков, скоростного микрокинематографирования. Во вторую группу вошли электрический, фотометрический, флюоресцентный, седиментометрический, оптический (дифракционный) и весовой методы, основанные на зависимости различных свойств аэрозолей, которые образуются при распыливании жидкости, от величины и количества капель [22, 31, 37, 67, 71].

Метод прямого микроскопического измерения позволяет определить диаметр капель от 0,001 мм и состоит в улавливании капель диспергированной жидкости на ровную поверхность, покрытую тонким слоем вязкого вещества, и определении размеров капель при помощи микроскопа. В качестве вязкого вещества используются минеральные и растительные масла и жиры, вазелин. Достоинствами метода являются простота, высокая точность, минимальное испарение препарата, несложная аппаратура. К недостатку можно отнести частую смену улавливающих пластинок.

Основу метода затвердевания (диаметр капль свыше 0,025 мм) составляет свойство жидкостей иметь разную температуру застывания. При проведении исследований с использованием данного метода капли улавливаются жидкостью, температура которой ниже температуры застывания капль изучаемого раствора. Поэтому капли, попадая в нее, затвердевают. Например, для воды в качестве улавливающей жидкости используются керосин, бензин и дизельное топливо, находящиеся при температуре $-15...-25$ °С. Достоинствами метода являются возможность сравнительного легкого отбора пробы, сохранение формы и размеров исходных частиц при анализе пробы, позволяющее организовать дополнительный контроль правильности проведения эксперимента и точности полученных данных. Недостаток – ограничение количества используемых для изучения процесса распыления жидкостей.

Некоторые вещества, нанесенные тонким слоем на поверхность, улавливая капли распыленной жидкости, оставляют в слое отпечаток, который по своему размеру примерно равен диаметру капли (метод отпечатков). К таким веществам относятся сажа, гипс и пр. При толщине слоя сажи, равном 1,5 диаметра капли, размер отпечатка равен диаметру капли. При этом методе могут возникать объемные и субъективные погрешности.

Метод осаждения капль в другой жидкости заключается в определении диаметра капль распыленной жидкости по скорости оседания их в другой жидкости, которые между собой являются взаимно нерастворимыми. К его недостаткам следует отнести большую погрешность из-за того, что капли распыленной жидкости имеют различный диаметр и осаждаются по разным законам движения с различными скоростями, и то, что при проведении исследований не учитываются гидродинамические условия движения.

Седиментометрический метод, являясь разновидностью метода осаждения капль в другой жидкости, сводится к определению скорости падения капль распыленной жидкости под действием силы тяжести в инертной среде (газе), причем капли при падении расслаиваются на зоны, содержащие капли одного размера. Поэтому в зоны падения помещают улавливающий элемент и определяют количество капль и их суммарный вес, через которые находят средний диаметр капли. Кроме недостатков, изложенных в предыдущем

методе, ему присущи малые пределы использования, искажение результатов, вызванное турбуляцией воздуха или неоднородностью температурного поля.

Фотометрический метод позволяет определять размеры и число капель в атмосфере, в камере с избыточным давлением и под вакуумом. В его основу положено свойство света изменять свою интенсивность при прохождении через слой жидкости. К недостаткам метода можно отнести неулавливание мелких капель, непросматривание всего факела распыла, сложность получения результатов, расплывчатое изображение капель, не попавших в фокус объектива, присутствие погрешности из-за отражения света. Хотя данный метод позволяет получить результаты в камерах с избыточным давлением и под вакуумом.

При изучении работы дождевальных машин находит место весовой метод, суть которого заключается в том, что капли улавливаются тонкими пластинками, которые затем взвешиваются, после чего определяется число осевших капель, их средний диаметр [71]. Его неоспоримым достоинством является простота методики проведения, однако она требует точной аппаратуры. При этом не улавливаются мелкие капли.

Разработанный Монзоном, а затем усовершенствованный Ю.Ю. Житковским электрический метод основан на измерении электрической емкости. Недостатками данного метода являются наличие сложной аппаратуры и проведение экспериментов в узких границах при определенных условиях.

Метод высушивания с последующим затвердеванием заключается в следующем: в кюветки ровным слоем укладывается просеянный гипс, который на небольшой промежуток времени помещается в факел распыла, и капли распыленной жидкости, попадая на этот слой, превращаются в шарики и затвердевают; затем по размерам их делят на фракции. Недостатками метода являются необходимость тарировочной кривой, устанавливающей зависимость между размерами капель и образовавшимися шариками; капли больших размеров не имеют шаровидной формы.

При исследовании дисперсности распыла также может использоваться метод скоростного микрокинематографирования, суть которого заключается в съемке летящих капель или оставляемых ими следов на прозрачной поверхности, за которой находится камера.

Для лучшего наблюдения в рабочую жидкость добавляется краситель, имеющий одинаковую с ней плотность. К недостаткам метода следует отнести сложность и высокую стоимость оборудования, большой временной интервал между проведением опытов и получением результатов.

Прохождение точечного источника света через факел распыла сопровождается появлением дифракционных колец Френкеля, по значению порядка которых, угла и длины волны света определяется средний диаметр капель. В этом и состоит основа оптического метода. При его использовании возможно получение разных результатов при повторных определениях. Также используется сложное оборудование.

При проведении исследований качества распыла химическим методом осадок пестицидов смывают с обработанной поверхности вымеренным количеством растворителя и при помощи нейтрализации или калометрического анализа определяют количество пестицида в растворе. Данный метод позволяет определить только степень покрытия поверхности, при этом результаты могут быть получены с высокой погрешностью.

Флюоресцентный метод основан на введении в рабочую жидкость флюоресцентного метчика, который под воздействием ультрафиолетовых лучей испускает лучи видимой части спектра. Данный метод отличается высокой точностью результатов в любых условиях проведения эксперимента, при этом используется сложное и дорогое оборудование.

Метод визуального сравнения заключается в сопоставлении полученных результатов с эталонными, в которых диаметр следов капель и степень покрытия уже подсчитаны. При простоте методики проведения экспериментов достоверность результатов зависит от навыков и способностей исследователей.

Несмотря на многообразие методов определения качественных характеристик работы распылителей их выбор – ответственная и сложная задача, потому что каждый метод, имея достоинства и недостатки, применяется в определенных условиях проведения эксперимента.

На основании вышесказанного была определена методика проведения лабораторных исследований и выбраны средства фиксации получаемых показателей.

Лабораторная установка (рис. 4.9) по исследованию дисперсности дробления жидкости различными типами распылителей, а также по изучению густоты и полноты покрытия обрабатываемой поверхности каплями рабочей жидкости состоит из неподвижной стойки 2, прикрепленной к раме 1 ленточного транспортера.

С помощью кронштейнов к стойке 2 крепится регулируемая по высоте штанга 4, на которой монтируется распылитель 5 над центром бесконечной ленты 7. С помощью шланга 3 распылитель соединяется с системой.

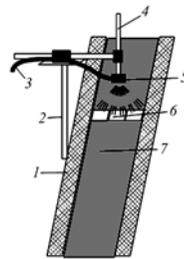


Рис. 4.9. Лабораторная установка по изучению дисперсности дробления капель:

- 1 – рама ленточного транспортера;
- 2 – стойка; 3 – шланг гидравлический; 4 – штанга; 5 – распылитель;
- 6 – водочувствительные карточки фирмы Novartis;
- 7 – лента транспортера

В качестве объекта обработки используются водочувствительные индикаторные карточки 6 фирмы Novartis. Они крепятся к бесконечной ленте транспортера 7 в виде трех полосок, размещенных по ширине ленты и имеющих по три индикаторных карточки. Шаг между полосками устанавливается исходя из условия, чтобы факелом распыленной жидкости одновременно не обрабатывались карточки двух соседних полосок.

Высота установки распылителя выбирается исходя из условия так, чтобы пятно факела распыленной жидкости соответствовало ширине зоны обработки. Выполнение этих условий позволяет определить за один опыт дисперсность распыла по ширине факела в нескольких повторностях. Перед проведением опытов определяется минутный расход жидкости через распылитель методом ее проливки в мерный цилиндр.

После включения транспортера лента перемещает индикаторные карточки с заданной скоростью v_n в направлении к пятну жидкости, образуемому распылителем. Время воздействия факела жидкости на индикаторные карточки определяется соотношением:

$$\tau = \frac{2h}{v_n} K_\phi \cdot \operatorname{tg} \gamma_p, \quad (4.23)$$

где τ – время обработки исследуемой поверхности, с;

K_{ϕ} – коэффициент сжатия пятна факела на обрабатываемой поверхности: для вихревых и центробежных распылителей $K_{\phi} = 1,0$; для щелевых распылителей $K_{\phi} = 0,4$.

Объем жидкости Q_1 , попавший на индикаторные карточки за время t , определяется из соотношения:

$$Q_1 = q_1 t. \quad (4.24)$$

После высыхания карточки укладываются во влагонепроницаемые пакеты и хранятся для последующего расчета диаметра капель и анализа дисперсности распыла.

Для определения размеров капель использован метод прямого микрофотографирования с помощью микроскопа «Биолам М», снабженного предметным столиком для координатного перемещения объекта. Микрофотографирование проводится с коэффициентом увеличения $\mu_M = 1:50$.

После установки индикаторной карточки на предметный столик просматриваются три произвольно взятых квадрата, ограниченные контурным шаблоном размером 10×10 мм. При просмотре фиксируются диаметры $d_{сл}$ следов капель в делениях сетки микроскопа и их число. Диаметр капель рассчитывается по формуле:

$$d_k = \frac{\mu_M d_{сл}}{K_r}, \quad (4.25)$$

где K_r – коэффициент растекания капли по поверхности индикаторной карточки.

Численное значение коэффициента K_r принимается исходя из диаметра следа капли по стандартной кривой растекания (рис. 4.10) [31]. Вся совокупность капель распределялась на размерные классы с шагом 80 мкм. Шаг деления совокупности на классы принят, исходя из минимального диаметра биологически эффективных капель. Для определения диаметра капель, их числа в каждом классе дисперсности и во всей совокупности к просмотру принималось 27 см^2 площади девяти индикаторных карточек, обработанных распылителем данного типа. Процентное содержание капель данного

класса, приходящих на единицу поверхности обрабатываемой индикаторной карточки, определялось из соотношения:

$$N_{ki} = \frac{1}{27} \frac{\sum n_{ki}}{N_k} \cdot 100, \quad (4.26)$$

где $\sum n_{ki}$ – число капель данного класса, зафиксированных на 27 см^2 площади девяти индикаторных карточек;

N_k – суммарное число капель на исследуемой площади.

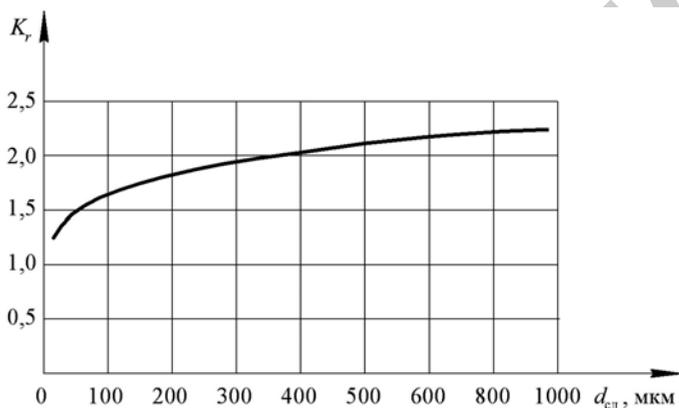


Рис. 4.10. График зависимости коэффициента растекания K_r от диаметра следа капли $d_{сл}$

Объем жидкости (%), содержащийся в каплях рассматриваемого класса дисперсности, определяется по формуле:

$$V_{ki} = \frac{\pi}{6} \sum n_{ki} d_{ki}^3. \quad (4.27)$$

Объем жидкости в каждом классе дисперсности, выраженный в процентах, определялся из соотношения:

$$N_{ki} d_{ki}^3 = \frac{V_{ki}}{V_{ср}} \cdot 100, \quad (4.28)$$

где $V_{ср}$ – среднее значение объема жидкости, приходящееся на единицу площади индикаторной карточки.

В качестве оценочных показателей дисперсности дробления жидкости принят медианно-численный (МЧД) $d_{к_N}$ и медианно-массовый (ММД) $d_{к_M}$ диаметр капель. Полидисперсность распыла, то есть степень неоднородности размера капель, оценивалась отношением ММД к МЧД.

4.3.6. Шаблоны для экспресс-анализа работы опрыскивателя

Метод экспресс-анализа удобно использовать для исследований работы опрыскивателей в полевых условиях, при оценке эффективности средств защиты факела распыленной жидкости от сноса ветром, для контроля использования распыленной жидкости. Метод предполагает сравнительную оценку образцов индикаторных карточек, полученных в полевых условиях, с карточками, полученными с помощью генераторов монодисперсных капель и обработанными в лабораторных условиях, то есть с шаблонами. Опыты по созданию шаблонов со следами капель биологически эффективного диаметра, оптимальной густоты и полноты покрытия выполнены на генераторе монодисперсных капель (рис. 4.11), который состоит из кулачкового механизма с коромысловым толкателем. Толкатель представляет собой двухплечий рычаг 2 (соотношение плеч 2:3), который может свободно вращаться вокруг оси стойки 3.

На короткой стороне рычага 2 в иглодержателе крепятся стандартные иглы 1 диаметром 0,2...3,0 мм. Конечной точкой длинное плечо рычага под действием силы тяжести и силы упругости пружины 5 прижимается к кулачку 4, который приводится во вращение двигателем-редуктором с регулятором частоты вращения.

Процесс образования монодисперсных капель рассмотрим на примере фаз движения толкателя за один оборот кулачка (рис. 4.11) [31].

Профиль кулачка 4 на участке (ab) выполнен по дуге окружности радиуса $R = \text{const}$. Поэтому при повороте кулачка на угол φ_1 с угловой скоростью ω_2 против часовой стрелки коромысло 2 остается неподвижным относительно стойки 3, а игла 1 погружена в сосуд б с жидкостью.

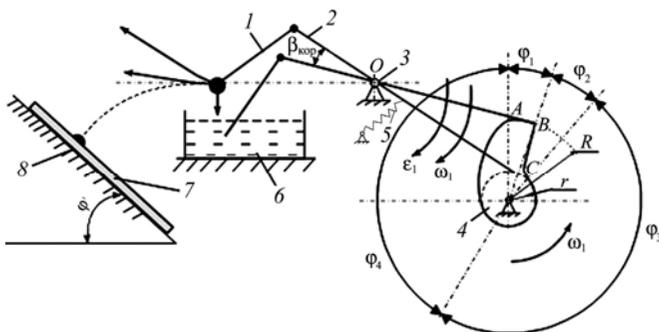


Рис. 4.11. Кинематическая схема механизма для получения монодисперсных капель:

1 – игла; 2 – коромысло; 3 – неподвижная стойка; 4 – кулачок; 5 – прижимная пружина; 6 – резервуар с жидкостью; 7 – объект обработки; 8 – поворотный экран

Повороту кулачка на фазовый угол φ_2 соответствует фаза разрыва контакта между кулачком и коромыслом. Коромысло 2 начинает ускоренно (с ускорением ε_1) вращаться из состояния покоя по часовой стрелке. Смоченная жидкостью игла 1 быстро выводится из сосуда 6. Под действием сил поверхностного натяжения и сил внутреннего давления тонкая пленка жидкости на игле сворачивается в каплю, которая под действием сил инерции и собственного веса перемещается на острие иглы. В момент отрыва капли с острия иглы силы поверхностного натяжения и силы внутреннего давления взаимно уравниваются. Дальнейшее движение капли, вплоть до соприкосновения с объектом обработки 7, осуществляется под действием сил тяжести и инерции.

Восстановление контакта между толкателем и кулачком осуществляется в ударном режиме, что вызывает колебательное движение иглы. Вследствие колебаний иглы капли жидкости распределяются на обрабатываемом объекте 7 согласно закону случайных величин. Для гашения колебаний иглы профиль кулачка на участке (cd) изготовлен по дуге окружности радиуса $r = \text{const}$. Поэтому повороту кулачка на фазовый угол φ_3 соответствует неподвижное состояние толкателя. На участке (da) профиль кулачка изготовлен по параболе. Повороту кулачка на фазовый угол φ_4 соответствует поворот коромысла вокруг неподвижной стойки (точки O) на угол $\beta_{\text{кор}}$ и плавное погружение иглы в резервуар с жидкостью.

Объект обработки (индикаторные карточки, листья растений) крепятся на экране 8, который можно устанавливать под углом $0 \dots 90^\circ$

к горизонту. В опытах в качестве обрабатываемой поверхности используются вышеуказанные индикаторные карточки размером 25×75 мм, покрытые слоем водочувствительного материала. Стандартный коэффициент растекания капель – 1,2. При попадании капли на поверхность бумаги ее цвет в месте контакта с жидкостью изменяется с желтого на синий. При обработке карточек под микроскопом предполагалось, что если пятно контакта капли с индикаторной карточкой имеет одинаковые размеры во всех направлениях, то такая капля считалась прилипшей к объекту обработки. Если пятно контакта имело асимметрию размера в каком-либо направлении или было нечетким, смазанным, то такие капли относились к скатывающимся или отскакивающим. При выявлении карточек с такими отпечатками опыты повторяются на натуральных образцах объектов (например, сорные растения). Опыты выполняются при частоте вращения кулачка в 5 и 10 об·мин⁻¹, что позволяет определить число ударов толкателя о кулачок, число капель, сброшенных с иглы на объект обработки, а также определить влияние частоты вращения кулачка и диаметра иглы на диаметр генерируемых капель.

4.3.7. Определение сноса капель жидкости из зоны обработки

Известно, что горизонтальному перемещению капель заданного диаметра на заданную величину соответствует определенная скорость воздушного потока. Из переменных величин, при прочих равных условиях, скорость воздушного потока является наиболее точно регулируемой и контролируемой величиной.

Для определения количества жидкости, расходуемой на образование капель заданного класса дисперсности, использован метод «просеивания» факела распыла направленным воздушным потоком. В опытах границы оседания капель различного класса дисперсности определяются с помощью индикаторных карточек, разложенных вдоль почвенного канала с интервалом в 1 м и на выступах приемной поверхности. Класс дисперсности определяется сравнением следов капель на индикаторных карточках с шаблонами. Объем жидкости, образовавшейся из капель данного класса дисперсности, определяется по показаниям мерных цилиндров, установленных вдоль дополнительной желобчатой поверхности. Объем жидкости, унесенный воздушным потоком за зону контроля, определяется как разность между объемом жидкости, пролитой через распылитель,

и суммарным объемом, собравшимся в мерных цилиндрах макета гребня и на дополнительной приемной поверхности.

Оценка влияния направленного воздушного потока на распределение жидкости по обрабатываемой поверхности макета гребня выполнена путем сравнения показаний мерных цилиндров в неподвижной и подвижной окружающей среде.

Дальность сноса капель из зоны обработки определена измерениями расстояния от центра макета гребня до границ оседания капель рассматриваемого класса дисперсности.

Последовательность проведения опытов:

- для капель исследуемого класса дисперсности регулировкой дроссельной заслонки на вентиляторе в заданном направлении создается скоростной напор воздушного потока u в пределах, указанных в табл. 4.3;

- в направленный воздушный поток исследуемым распылителем подается жидкость;

- путем сравнения отпечатков капель на индикаторных карточках с отпечатками капель на шаблоне устанавливается граница снежных капель исследуемого класса дисперсности и определяются номера мерных цилиндров, аккумулирующих капли жидкости данной дисперсности, осевшие на приемную поверхность.

Таблица 4.3. Распределение капель по обрабатываемой поверхности в зависимости от скорости воздушного потока (расчетная высота установки распылителя $h = 0,3$ м; давление распыла $p_{\text{жс}} = 0,3$ МПа)

Диаметр капель, мкм	1...80	81...160	161...240	241...320	321...400	401...700
Скорость воздушного потока, м·с ⁻¹	2	4	5	6	7	7
Граница оседания капель, м	0,95...0,45	1,3...1,0	1,20...0,85	1,0...0,7	0,6...0,4	0,25...0,10

Примечание. Границы оседания капель определены как расстояния от центра факела распыла до точки их оседания на горизонтальную плоскость.

Защита факела распыленной жидкости от воздействия воздушного потока – одно из условий проведения качественной химической обработки растений в биологически оптимальные сроки.

С помощью ветрозащитной решетки можно регулировать величину и направление воздушного потока в пределах, допускающих проведение химической защиты растений. При исследованиях ветрозащитных устройств оценочными критериями являются: направление, скорость и давление воздушного потока за ветрозащитной решеткой с аналогичными параметрами воздушного потока до решетки, а также воздействие данных параметров на объект обработки. Скорость направленного потока воздуха перед решеткой и ее горизонтальная составляющая за решеткой измеряются с помощью анемометра. Вертикальная составляющая скорости потока за ветрозащитной решеткой определяется динамическим давлением воздуха на поверхность макета гребня. При нормальных атмосферных условиях связь между динамическим давлением и скоростью потока воздуха определяется соотношением:

$$u = 1,29\sqrt{p_{\text{дин}}}, \quad (4.29)$$

где $p_{\text{дин}}$ – динамическое давление в контролируемой точке воздушного потока, Па.

Для измерения динамического давления воздушного потока за ветрозащитной решеткой использовался жидкостный лабораторный микроанометр и трубка Пито.

Схема расположения контрольных точек замера давления воздушного потока на поверхности макета гребня, установленного за ветрозащитной решеткой, представлена на рис. 4.12. Динамическое давление и скорость воздуха за ветрозащитной решеткой определялись при скоростном напоре потока, создаваемого вентилятором перед решеткой ($u = 4 \dots 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), при последовательном изменении установочных углов в пределах, указанных ранее.

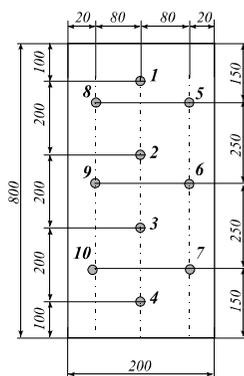


Рис. 4.12. Схема расположения контрольных точек замера давления воздушного потока на поверхности макета гребня, установленного за ветрозащитной решеткой

4.3.8. Определение давления распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность

Пневматические микроманометры оказались непригодными для измерения давления в потоке гидроаэроэсмеси по причине закупоривания калиброванного отверстия трубки Пито каплями жидкости.

В основу прибора для измерения давления распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность положен принцип механического воздействия факела распыла на консольную балку (рис. 4.13).

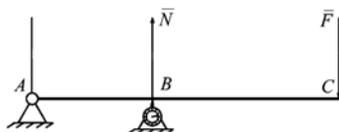


Рис. 4.13. Схема измерения давления факела распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность

Балка AC в точке A шарнирно крепится к неподвижному кронштейну, а в точке B свободно опирается на острие ножки индикатора. Если к консоли BC приложить нагрузку, то в точке B возникает реакция N , величина которой регистрируется измерительным прибором. Для измерения давления по сечению факела распыла балка в точке A шарнирно соединяется с кронштейном, к которому крепится корпус индикатора часового типа с ценой деления $0,01$ мм и пределом измерения $0 \dots 10$ мм.

Кронштейн жестко соединен с кареткой координатного столика ТММ-24. С помощью микровинтов координатный столик может перемещаться по направляющим станины в продольном направлении от 0 до 240 мм, в поперечном направлении от 0 до 100 мм, а также поворачиваться в горизонтальной плоскости на угол от 0 до 90° влево и вправо относительно продольной оси прибора. Это позволяет сканировать давление жидкости по сечению всего факела.

Длина плеч балки AB подбирается так, чтобы соотношение между силами, приложенными в точках B и C (рис. 4.13), удовлетворяла условию:

$$N = 3F. \quad (4.30)$$

Среднее давление факела распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность определяется из соотношения:

$$p_{\text{ф ср}} = \frac{F}{S_{\text{ф}}}, \quad (4.31)$$

где F – сила, определяемая по зависимости (4.30), Н;
 S_{ϕ} – площадь следа факела на рычаге AB , m^2 .

Пересчет линейного перемещения ножки индикатора в усилие, приложенное в точке B балки, осуществляется с помощью тарировочного графика (рис. 4.14).

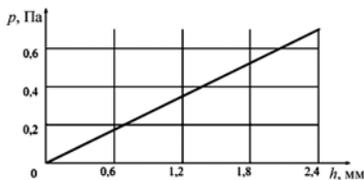


Рис. 4.14. Тарировочный график прибора для определения давления факела жидкости на обрабатываемую поверхность

График построен путем определения зависимости между показаниями стрелки индикатора и разновесами массой m при статическом нагружении балки в точке C (рис. 4.13). Для удобства пользования тарировочный график давления построен в функции линейного перемещения точки B ножки индикатора. При этом учитывалось, что перемещению точки B на 1 мм соответствует отклонение стрелки индикатора на 100 делений под действием давления, равного 0,292 Па.

Опыты проведены с распылителем $TP40015E$, установленным на высоте $h = 0,4$ м над поверхностью макета гребня при давлении распыла 0,3 МПа в неподвижной окружающей среде и при скорости воздушного потока перед ветрозащитной решеткой, соответственно равной 4,1; 5,7; 7,1; 8,5 и 10,1 $m \cdot c^{-1}$.

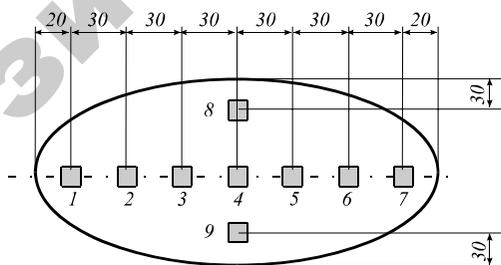


Рис. 4.15. Последовательность измерения давления по сечению факела распыла от распылителя $TP40015E$

Схема измерения давления по сечению факела распыла представлена на рис. 4.15.

4.4. Методика исследований работы ветрозащитных устройств

4.4.1. Влияние ветрозащитной решетки на распределение жидкости в зоне внесения пестицида

Опыты, позволяющие оценить влияние ветрозащитной решетки на отложение жидкости по ширине требуемой зоны внесения пестицидов в подвижной окружающей среде, выполнены с использованием распылителя *TP40015E* при следующих условиях:

- высота установки распылителя над поверхностью макета гребня $h = 0,4$ м;
- рабочее давление в системе опрыскивателя $p_{ж} = 0,3$ МПа;
- скорость направленного воздушного потока перед решеткой $u = 4 \dots 6$ м·с⁻¹;
- угол установки оси решетки к горизонту $\varphi_p = 45$ и 60° ;
- угол между осью решетки и жалюзи $\beta = 90^\circ$.

В качестве оценочного критерия определено распределение жидкости по поверхности гребня с использованием и без использования ветрозащитной решетки в подвижной окружающей среде

4.4.2. Определение показателей качества объемной обработки растений

В случае использования пестицидов для обработки вегетирующей части растений, в качестве объекта обработки выступает не профилированная поверхность, а листовая часть растений. В данном случае важно препарат равномерно распределить на верхней (адаксиальной) и нижней (абаксиальной) сторонах листьев, которые занимают различное пространственное положение. Опыты по изучению влияния ветрозащитной решетки на изменение направления движения воздушного потока, позволяют предположить турбулентный характер движения воздуха за решеткой. Это позволяет использовать комбинированное ветрозащитное устройство при объемной обработке растений. На каждой стороне кубика в качестве улавливающей поверхности крепится карточка из водочувствительной бумаги фирмы *Novartis*.

Методика изучения характера распределения рабочего раствора в пространственной зоне вероятного расположения листовых частей растений при проведении лабораторных исследований заключается в следующем. На подвижную ленту экспериментальной установки (см. рис. 4.9) помещается специальный штатив, на котором в трех уровнях (на высоте 5, 15 и 25 см) закреплены кубики размером $25 \times 25 \times 25$ мм с ориентацией сторон относительно системы координат, указанной на рис. 4.16.

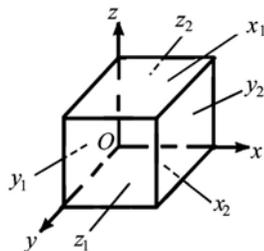


Рис. 4.16. Опытный кубик

Общее количество улавливающих поверхностей равно 18. При движении ленты со штативом со скоростью $v_p = 5 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ относительно распылителя, ветрозащитного устройства и вентилятора капли распыленной жидкости осаждаются на водочувствительной бумаге.

Опыты проводились с распылителем фирмы *Lurmark TP40015E*, установленным на высоте $h = 0,4$ м над поверхностью ленты при давлении жидкости $p_{ж} = 0,3$ МПа. В качестве изменяемого параметра принята скорость потока воздуха на выходе из вентилятора, которая в опытах составляла 0; 4 и $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Проведя микроскопию полученных образцов, определяли суммарное количество капель различного диаметра, осевших на каждую из 6-ти плоскостей каждого кубика. Относительная площадь поверхностей, покрытая этими каплями, определялась по формуле:

$$\Omega_j = \sum_{i=1}^n \frac{S_{kj}}{S_{\Pi j}}, \quad (4.32)$$

где Ω_j – относительная площадь пространственной плоскости j , покрытая каплями раствора;

S_{kj} – суммарная площадь следов капель осевших на j -й улавливающей поверхности;

$S_{\Pi j} = 2,5^2 \cdot n$ – площадь j -й улавливающей поверхности;

n – число поверхностей кубиков, образующих пространственную плоскость j ;

$j = x, y, z$ – рассматриваемая координатная плоскость пространства.

Качественным показателем равномерности распределения препарата в листовом пространстве является коэффициент объемной обработки, рассчитываемый по формуле (%):

$$v_{об} = \sqrt{\frac{\sum_{z=1}^6 (\bar{\Omega} - \Omega_j)^2}{\bar{\Omega}}} \cdot 100, \quad (4.33)$$

где $\bar{\Omega}$ – средняя относительная площадь пространства, покрытая каплями раствора.

4.4.3. Исследование работы ветрозащитных устройств активного действия

Для проведения исследований разработана и изготовлена экспериментальная установка.

Экспериментальная установка представляет собой модель воздухораспределительной системы разрабатываемого объемного опрыскивателя в уменьшенном виде. Она состоит (рис. 4.17) из рамы 2, вентилятора 5 с приводом от электродвигателя 4, конического воздухораспределительного рукава 3, пульта управления 1. Установка смоделирована на основе критериев подобия [65].

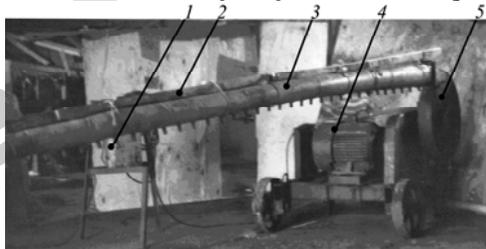


Рис. 4.17. Экспериментальная установка

Определение критериев подобия для моделирования воздухораспределительного рукава

Основными параметрами, влияющими на рабочий процесс задачи воздуха воздухораспределительным рукавом переменного сечения, являются следующие величины: $\frac{P_{в}}{g}$, $\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$; необходимый

расход воздуха через рукав Q_p , $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; скорость внутри воздухораспределительного рукава v_i (переменная величина), $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; динамическое давление внутри рукава $p_{\text{дин}i}$ (переменная величина), Па; диаметр воздухораспределительного рукава D_{vi} (переменная величина), м. В качестве определяющих примем начальные параметры воздухораспределительного рукава $v_{\text{нач}}$, $D_{\text{внач}}$, $p_{\text{диннач}}$, которые рассчитываются по методу удельных потерь на трение.

Функциональная зависимость между этими величинами может быть представлена в виде:

$$f\left(\frac{\rho_{\text{в}}}{g}, Q_p, p_{\text{диннач}}, v_{\text{нач}}, D_{\text{внач}}\right) = 0,$$

которая согласно π -теореме (основной теореме критериев подобия) представляется в виде зависимости между критериями подобия [112]. Для перехода к критериям подобия выбираем в качестве основных единиц $\frac{\rho_{\text{в}}}{g}$, $v_{\text{нач}}$, $D_{\text{внач}}$, для которых определитель $\Delta = (3 - 1) \neq 0$. Размерности остальных величин в новых единицах следующие: $[Q_p] = [D_{\text{внач}}]^2 [v_{\text{нач}}]$, $[p_{\text{диннач}}] = \left[\frac{\rho_{\text{в}}}{g}\right]^2 [v_{\text{нач}}]^2$.

Применив метод нулевых размерностей, получим:

$$f\left(1, 1, 1, \frac{Q_p}{D_{\text{внач}}^2 v_{\text{нач}}}, \frac{p_{\text{диннач}}}{\frac{\rho_{\text{в}}}{g} v_{\text{нач}}^2}\right) = 0 \quad \text{или} \quad \Phi(\pi_1, \pi_2) = 0,$$

$$\text{где } \pi_1 = \frac{Q_p}{D_{\text{внач}}^2 v_{\text{нач}}}; \pi_2 = \frac{p_{\text{диннач}}}{\frac{\rho_{\text{в}}}{g} v_{\text{нач}}^2}.$$

С учетом изложенного, критерии подобия для моделирования воздухораспределительного рукава определяются следующими зависимостями:

$$1) \frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} = \frac{v_{нач1}}{v_{нач2}} \text{ или } \frac{D_{в\ нач1}}{D_{в\ нач2}} = \left(\frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} \right)^2; 2) \frac{p_{дин\ нач1}}{p_{дин\ нач2}} = \left(\frac{v_{нач1}}{v_{нач2}} \right)^2.$$

Если уменьшить в 2 раза расход воздуха Q_p , то соответственно следует снизить в 2 раза начальную скорость воздуха внутри воздуховораспределительного рукава. Если необходимо снизить расход воздуха Q_p в 4 раза, не изменяя при этом начальную скорость воздуха внутри рукава, следует уменьшить в 2 раза его начальный диаметр. Чтобы уменьшить в 2 раза начальное динамическое давление $p_{дин\ нач}$, необходимо в 4 раза уменьшить начальную скорость воздуха внутри рукава.

Параметрами проектируемого воздуховораспределительного рукава являются также его длина l_p , количество выходных насадков n_n , диаметр выпускных насадков d_n , скорость истечения из них воздуха v_0 . Через d_n , v_0 , n_n размерность Q_p можно представить в виде:

$$[Q_p] = [d_n][v_0][n_n][l_p].$$

Критерии подобия определяются следующими зависимостями:

$$\frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} = \frac{n_{n1}}{n_{n2}} \text{ или } \frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} = \frac{v_{01}}{v_{02}}, \text{ или } \frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} = \frac{d_{n1}}{d_{n2}}, \text{ или } \frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} = \frac{l_{p1}}{l_{p2}}.$$

То есть если уменьшить в 2 раза количество насадков, то уменьшится в 2 раза и расход воздуха Q_p . Уменьшение в 2 раза скорости выхода воздуха из насадков повлечет за собой уменьшение в 2 раза расхода воздуха. Следует учесть, что в случае изменения одного из параметров, например v_0 , остальные (d_n , l_p , n_n) остаются неизменными. (*Насадком называют короткий патрубок (сопло), присоединенный к отверстию в тонкой стенке.*)

При проектировании модели воздуховораспределительной системы перед нами стоит задача сохранить скоростные характеристики воздушного потока такими же, как и в создаваемом объемном опырыскивателе. Это возможно при выполнении следующего условия:

диаметр насадков d_n , скорость воздушного потока внутри воздухо-распределительного рукава в начальном сечении $v_{нач}$, скорость выхода воздуха из насадков v_0 должны быть такими же, как и в объемном опрыскивателе.

Теоретические исследования показали, что для опрыскивателя, имеющего ширину захвата 18 м, необходимо два воздухо-распределительных рукава длиной 9 м с начальным диаметром 646 мм, с количеством выпускных насадков 178 шт. диаметром 38 мм.

Модель воздухо-распределительной системы с уменьшенными в два раза начальным $D_{внач}$ диаметром и в 4 раза – длиной рукава, рассчитанная и спроектированная в соответствии с критериями подобия, имела следующие параметры (с расчетом на один рукав): длина рукава – 2,25 м, начальный диаметр – 323 мм, количество выпускных насадков – 22 шт., диаметр насадков – 38 мм.

Для определения кинематических параметров воздухо-распределительной системы необходимо предварительно провести исследования прохождения воздушного потока через растительный слой и определить эффективную скорость воздействия воздушного потока на растения и коэффициент проницаемости конкретной культуры.

Исследование прохождения воздушного потока через растительный слой

Для обоснования необходимой скорости воздушного потока, обеспечивающей эффективное шевеление и поворот листьев растений, необходимо определить максимально допустимую скорость потока, при которой не происходит повреждение растений, и минимально эффективную скорость, при которой происходит поворот и шевеление листьев в нижней зоне растения.

Были проведены опыты по определению максимально допустимой скорости воздействия воздушного потока на растения, сходные по своим морфологическим признакам с картофелем в фазе средней облиственности. На растения направлялся воздушный поток со скоростями 10, 15, 17, 20 м·с⁻¹. Замеры производились с помощью индукционного анемометра. Растения размещали на расстоянии 40 см друг от друга по всей длине воздухо-распределительного рукава. Фиксировалось количество поврежденных листьев.

Для определения минимально эффективной скорости воздушного потока $v_{\min \text{ eff}}$ проводились замеры скоростей при прохождении потока сквозь растение по схеме, приведенной на рис. 4.18, при этом начальные скорости вхождения воздушного потока в растение v_{y_1} устанавливались соответственно 7, 9, 11, 13, 15 м·с⁻¹.

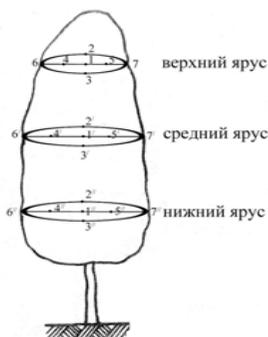


Рис. 4.18. Схема измерения скорости воздушного потока при прохождении через растение

В отмеченные точки замеров на длинной плоской штанге вводился анемометр. Замеры в каждой точке проводились в трехкратной повторности. При прохождении потока сквозь растение в каждом ярусе визуально фиксировался эффект поворота листьев. По полученным экспериментальным значениям скоростей определялся коэффициент проницаемости по формуле:

$$\xi = \frac{2,31g \left(\frac{v_{y_2}}{v_{y_1}} \right)}{\Delta \delta} \quad (4.34)$$

Влияние параметров воздухораспределительной системы на равномерность распределения воздуха

Задача сводится к определению неравномерности распределения воздушного потока по длине смоделированного воздухораспределительного рукава. Определялись скорости воздуха внутри воздухораспределительного рукава и скорости при истечении из насадков и отверстий.

Определение скоростей воздуха внутри воздухораспределительного рукава

Воздухораспределительный рукав разбивается на 10 равных участков длиной по 22,5 см. Замеры проводятся в середине каждого участка.

Измерение давления производится с помощью пневмометрической трубки (трубки Пито) с U -образным манометром с последующим расчетом по формуле:

$$p_{\text{дин}} = h_{\text{тр}} \rho_{\text{ж.тр}}, \quad (4.35)$$

где $h_{\text{тр}}$ – разность уровней в трубках (напор), м;

$\rho_{\text{ж.тр}}$ – плотность жидкости, залитой в трубку, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Скорость воздуха в любой точке поперечного сечения потока зависит от координат этой точки x и y и от времени, даже при постоянной угловой скорости вентилятора. Эти изменения вызываются наличием турбулентности потока и его завихренности под действием граничных условий. Однако с незначительной погрешностью можно принять, что в заданной точке поперечного сечения потока при постоянной угловой скорости вентилятора скорость не зависит от времени, и при обработке опытных данных можно взять среднее во времени значение высоты подъема жидкости в U -образном манометре. Средняя скорость может быть найдена в том случае, если производить замеры скорости воздуха в различных точках поперечного сечения потока по двум перпендикулярным осям.

Наиболее распространенным способом определения средней скорости является способ определения скорости по равновеликим кольцам. Поперечное сечение воздухораспределительного рукава по всей длине разбивалось на три равновеликих кольца (рис. 4.19). Затем каждое кольцо делилось окружностью (штрихпунктирная линия) на две равные части. Точки 1, 2, 3, расположенные на этих окружностях в местах пересечения их с перпендикулярными диаметрами воздухораспределительного рукава, являются средними точками равновеликих колец.



Рис. 4.19. Разбивка поперечного сечения воздухораспределительного рукава на равновеликие кольца

Скорости, замеренные в этих точках, являются средними скоростями для каждого кольца. Так как все кольцевые площадки равновелики по площади, то средняя скорость воздушного потока определяется как среднеарифметическое скоростей в указанных точках по формуле:

$$v_B = \sum \frac{v_{Bi}}{n_i}, \quad (4.36)$$

где n_i – общее число точек измерений.

Определение скоростей воздуха при истечении из воздухораспределительного рукава

Определение скоростей производится для двух случаев: 1) для отверстий без насадков; 2) для отверстий, снабженных насадками.

Замеры производятся у выходной плоскости отверстий и насадков с использованием трубки Пито с U-образным манометром и индукционного анемометра. По результатам полученных значений скоростей делается вывод о равномерности распределения воздуха по длине воздухораспределительного рукава.

Средняя скорость истечения воздуха определяется по формуле:

$$v_{0 \text{ ср}} = \frac{v_{0_1} + v_{0_2} + \dots + v_{0_n}}{n}, \quad (4.37)$$

где $v_{0_1}, v_{0_2}, \dots, v_{0_n}$ – скорости истечения воздуха из соответствующего отверстия (насадка), $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Для визуальной оценки явления настильности к отверстиям прикрепляются ленты. По их отклонению от вертикали делали вывод о равномерности распределения воздуха (о наличии или отсутствии настильности).

Для изучения характера изменения скорости воздушного потока по мере удаления от выходной плоскости отверстий и насадков и сравнения с теоретическими значениями проводили замеры скоростей воздуха на следующих расстояниях:

- 1) на расстояниях 10, 15 см от выходной плоскости отверстий и насадков;
- 2) на расстоянии, соответствующем зоне слияния отдельных независимых воздушных струй;
- 3) далее через каждые 5 см до точки, соответствующей вхождению воздушного потока в растительный слой.

Измерения проводили с использованием трубки Пито с U-образным манометром и индукционного анемометра.

5. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ И ПАРАМЕТРОВ ИХ УСТАНОВКИ

Качество опрыскивания сельскохозяйственных культур связано с объемом жидкости, пролитой через распылитель за одну минуту – расходной характеристикой распылителя. Соответствие эксплуатационных и паспортных характеристик распылителей является важным условием обеспечения требуемого качества выполняемого технологического процесса.

Правильный выбор распылителя во многом определяет качество опрыскивания, в частности такой показатель, как распределение рабочей жидкости. Правильно выбрав распылитель, можно прогнозировать количество рабочей жидкости на единице площади и густоту покрытия обрабатываемого объекта при заданных параметрах распыла.

На номинальном режиме работы распылителя отклонения в полученных и паспортных данных минутного расхода жидкости через распылитель не превышают нормы, установленные заводом изготовителем ($\pm 5\%$) [31]. При этом эффективность химической защиты растений определяется технологическими режимами работы, параметрами установки и типом распылителей.

5.1. Влияние рабочего давления в гидравлической системе на угол при вершине факела распыла

Идея конструирования сопла распылителя в виде пакета дисков с диаметром от 0,2 до 12,0 мм реализована в центробежных и вихревых распылителях с расходом жидкости от 0,072 до 7,0 л·мин⁻¹ (распылители фирм *Lurmark*, *Teejet*, *Hardi* и др.). Угол при вершине факела для таких распылителей в большей степени, чем для щелевых распылителей, зависит от рабочего давления в гидравлической системе.

Результаты опытов по определению угла при вершине факела, в зависимости от давления жидкости в напорной магистрали для типичных распылителей, представлены на рис. 5.1.

Из графиков видно, что при изменении давления от 0,2 до 0,8 МПа угол при вершине факела возрастает на 12...15°. При этом большее значение этого параметра соответствует распылителям с меньшим диаметром выходного отверстия сопла.

В распылителях типа РОК угол при вершине факела распыла в меньшей степени изменяется с возрастанием давления.

Схожесть данных, описывающих закономерность изменения угла при вершине факела от давления, позволяет аппроксимировать их уравнением, которое справедливо для всех типоразмеров вихревых и центробежных распылителей в диапазоне изменения давления от 0,2 до 0,8 МПа и диаметра выходного отверстия сопла распылителя от 0,2 до 7,0 мм.

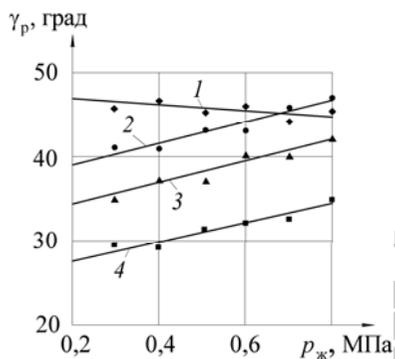


Рис. 5.1. График зависимости угла при вершине факела распыла от давления $p_{ж}$ на входе в распылитель:
1 – РОК-0.6; 2 – РЦ 96-1.2; 3 – РВ 80-1.2;
4 – Lurmark 30HCX3

$$\gamma_p = ap_{ж} + b, \quad (5.1)$$

где a , b – коэффициенты прямой линии, числовые значения которых для исследованных распылителей представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Числовые значения коэффициентов к уравнению (5.1)

Коэффициент	Марки исследуемых распылителей			
	РОК-0.6	РЦ 96-1.2	РВ 80-1.2	30HCX3
a	-3,5	12,5	12,3	11,2
b	47,5	36,5	32	25,4

Приведенная зависимость (5.1) может быть использована для определения угла при вершине факела, необходимого для расчета высоты установки распылителя.

5.2. Количественная и качественная оценка эффективности локального опрыскивания

Решающее влияние на эффективность и качество использования пестицидов при локальном их внесении оказывают объем жидкости, вылитой через распылитель и осевшей на обрабатываемой поверхности, равномерность распределения препарата по объекту обработки, что, в свою очередь, определяется типом применяемых распылителей, параметрами их установки и условиями эксплуатации.

5.2.1. Влияние параметров распылителя и его установки на подачу жидкости в зону обработки

Количество жидкости, осевшей за единицу времени на обрабатываемой поверхности, определяется типом распылителя, углом при вершине факела распыла и его расположением, а также высотой установки над обрабатываемой поверхностью. Критерием оценки этого процесса принято отношение объема жидкости, собравшейся в мерных цилиндрах за время τ , к объему жидкости, прошедшему через распылитель за это же время – коэффициент K целевого использования рабочего раствора.

Для проверки качественных показателей данных рекомендаций были проведены опыты со всеми щелевыми распылителями, принятыми к исследованию. Опыты проводились при величинах угла $\varphi_{\phi} = 30; 60$ и 90° .

По полученным данным построены графики изменения коэффициента целевого использования рабочего раствора в зависимости от высоты установки распылителя и ориентации факела распыла над обрабатываемой поверхностью гребня (рис. 5.2).

Из анализа диаграмм можно выделить общую закономерность изменения коэффициента целевого использования рабочего раствора: количество раствора, осевшего на обрабатываемую зону гребня, обратно пропорционально высоте установки распылителя. Например, при установке широкофакельных распылителей на высоте $h = 0,15$ м над верхней поверхностью гребня, коэффициент целевого использования распыленного раствора составляет $0,63...0,64$.

Увеличение высоты установки распылителя до 0,3...0,5 м приводит к уменьшению этого коэффициента соответственно до 0,225...0,190. При использовании широкофакельных распылителей для ленточной обработки коэффициент целевого использования можно увеличить путем изменения угла между осью факела распыла и продольной осью гребня. Так, при величине угла $\varphi_{\text{ф}} = 30^\circ$ и $h = 0,15$ м коэффициент целевого использования возрастет до значений, близких к единице. Эта зависимость характерна для всех щелевых широкофакельных распылителей. Следует отметить, что одновременно с ростом коэффициента целевого использования раствора возрастает густота покрытия зоны обработки каплями жидкости по сравнению со сплошным опрыскиванием гребневой поверхности.

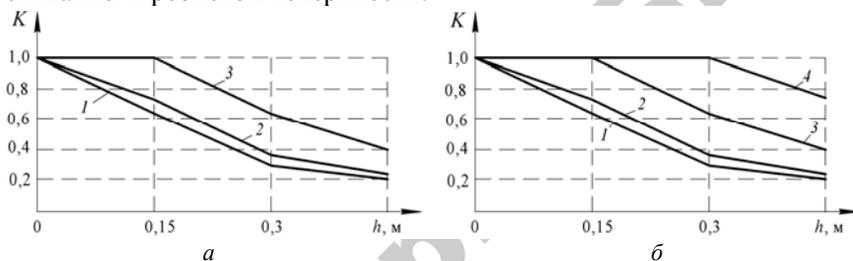


Рис. 5.2. Графики зависимости влияния высоты h установки распылителя и ориентации факела распыла по отношению к оси гребня $\varphi_{\text{ф}}$ на коэффициент K целевого использования рабочего раствора:

a – диаграмма распылителей РЦ110-1.0; РЦ110-0.6; b – диаграмма распылителей Lurmark 04F110 и Teejet TP40015E: 1 – $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$; 2 – $\varphi_{\text{ф}} = 60^\circ$; 3 – $\varphi_{\text{ф}} = 30^\circ$; 4 – $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$

Тенденция увеличения коэффициента целевого использования раствора наблюдается и при использовании узкофакельных распылителей для ленточного внесения (рис. 5.2, б, 4). При расположении распылителей вблизи от поверхности гребня ($h = 0,15 \dots 0,30$ м), ширина ленты оказывается меньше ширины верхней поверхности гребня. В центре ленты концентрируется основная масса жидкости, а периферийные участки остаются не обработанными. В данном случае ширину ленты целесообразно увеличивать до ширины защитной зоны за счет большей высоты установки распылителя над обрабатываемой поверхностью.

В распылителях с факелом распыла в виде кругового конуса, коэффициент целевого использования распыленной жидкости определяется только высотой установки над обрабатываемой поверхностью. Увеличение давления в пределах, рекомендуемых технологией ленточного опрыскивания, оказывает незначительное влияние на данный коэффициент (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Влияние параметров распыла на объем жидкости в зоне обработки и коэффициент целевого использования

Тип распылителя	Условия поведения опыта					
	Высота установки $H, \text{ м}$	Время опыта $\tau, \text{ с}$	Давление $P_{\text{жс}}, \text{ МПа}$	Секундный расход $q_1, \text{ мл}\cdot\text{с}^{-1}$	Объем жидкости в цилиндрах защитной зоны $\sum Q_i, \text{ мл}$	Коэффициент целевого использования $K = \sum Q_i / (q_1 \tau)$
Центробежный вихревой РВ80-1.2	0,16	30	0,2	9,0	270,0	1,000
	0,16	30	0,3	11,3	339,0	1,000
	0,30	30	0,3	11,3	184,0	0,540
Центробежный вихревой <i>Lurmark</i> <i>30НСХЗ</i>	0,12	60	0,3	3,32	99,5	1,000
	0,16	60	0,3	3,32	199,0	0,997
	0,16	60	0,4	3,82	215,6	0,940
	0,30	60	0,3	3,32	106,0	0,530
Центробежный шайбовый РЦ 96-1.2	0,12	20	0,2	10,3	206,0	1,000
	0,12	20	0,3	11,3	226,0	1,000
	0,20	20	0,2	10,3	124,6	0,603
Центробежный шайбовый 2-камерный РОК-0.9	0,15	20	0,2	9,7	186,0	0,960
	0,30	20	0,2	9,7	88,4	0,430
	0,15	20	0,3	12,7	228,0	0,900
Центробежный шайбовый 2-камерный РОК-0.6	0,15	20	0,2	8,0	154,4	0,965
	0,15	20	0,3	10,2	180,0	0,900
	0,30	20	0,2	8,0	77,2	0,480

Данные показывают, что при установке распылителей с факелом распыла в виде конуса на высоте 0,12...0,16 м коэффициент целевого использования жидкости близок к 1. Увеличение давления в напорной коммуникации до 0,4 МПа (распылитель *30НСХЗ*) практи-

чески не влияет на величину этого коэффициента. Увеличение высоты установки распылителей до 0,3 м приводит к снижению коэффициента целевого использования жидкости на 47...57 %. Следует иметь в виду, что высота установки распылителей 0,1...0,2 м, где коэффициент целевого использования стремится к 1, является опасной с точки зрения забивания (засорения) сопла.

На основании анализа данных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что для ленточного внесения пестицидов требованиям по высоте установки распылителей над поверхностью гребня и с учетом коэффициента целевого использования раствора наиболее полно удовлетворяют узкофакельные щелевые распылители типа *TP40015E*, двухкамерные распылители типа РОК и вихревые типа *30НСХ3*.

5.2.2. Распределение жидкости щелевыми распылителями по обрабатываемой зоне гребня

Коэффициент целевого использования распыленной жидкости по своей сущности является экономическим критерием. Он характеризует объем (массу) жидкости, осевшей на поверхность обрабатываемой зоны гребня к объему (массе) жидкости, прошедшей через распылитель. Количественная оценка распределения жидкости по ширине зоны обработки этим коэффициентом не отражается. Даже при высоком коэффициенте целевого использования жидкости качество опрыскивания может не удовлетворять технологическим требованиям ленточного внесения.

Исследования распределения жидкости по ширине зоны обработки являются основным этапом обоснования рекомендаций по выбору типа распылителей и параметров установки. Результаты этих исследований позволяют прогнозировать качество обработки принятыми распылителями.

Для пересчета объема жидкости, поступившей из приемной канавки макета гребня в мерные цилиндры за время τ , в стандартные единицы опрыскивания ($\text{л}\cdot\text{га}^{-1}$, $\text{мл}\cdot\text{см}^{-2}$, $\text{мм}^3\cdot\text{см}^{-2}$) приняты скорости движения агрегата при междурядной обработке, равная $v_p = 5 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ и $v_p = 6,13 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$. В этом случае площадь полосы

шириной в 1 см (ширина приемной канавки макета гребня) и длиной l соответственно составит $S_1 = 138,6 \cdot \tau$ (см²) и $S_1 = 170,3 \cdot \tau$ (см²).

Анализ полученных данных позволяет выделить основные факторы, определяющие закономерности распределения жидкости по ширине обрабатываемой ленты: производительность распылителя, ориентация оси факела распыла по отношению к продольной оси гребня, угол при вершине факела и высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью. Принимаем в качестве оценочного критерия относительный объем отложения жидкости по ширине ленты (%):

$$D_3 = \frac{V_i}{q_1 \tau} \cdot 100, \quad (5.2)$$

где V_i – объем жидкости (мл), поступившей из i -й приемной канавки в соответствующий мерный цилиндр за время τ (с);

q_1 – производительность распылителя, мл · с⁻¹.

На рис. 5.3 приведены данные о распределении жидкости по ширине ленты щелевыми широкофакельными распылителями, установленными на высоте $h = 0,15$ м над обрабатываемой поверхностью и давлении распыла $p_{ж} = 0,2$ МПа.

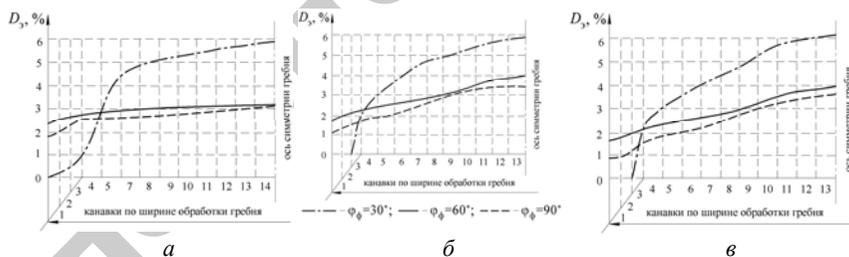


Рис. 5.3. Графики распределения жидкости по ширине ленты распылителями с высоты $h = 0,15$ м в зависимости от угла между осью факела и продольной осью гребня φ_{ϕ} :

a – Lurmark 04F110; b – РЦ-110-1.0; v – РЦ-110-0.6

Общей закономерностью полученных графиков является повышенное отложение жидкости в центре обрабатываемой ленты и уменьшение в 2...3 раза (по отношению к центру) на периферии.

Например, при секундном расходе жидкости через распылитель РЦ 110-1.0, равном 240 мл, и угле между осью факела и продольной осью гребня $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$, в центре ленты (13-я приемная канавка) оседает около 3,5 % распыленной жидкости. Это почти в 3 раза больше, чем по краям ленты (1-я приемная канавка макета гребня). При этом коэффициент целевого использования K определяется суммой процентного отложения жидкости по канавкам, расположенным в зоне обработки, и составляет для данного примера 0,64.

При неизменных прочих условиях, с уменьшением угла между осью факела и продольной осью гребня ($\varphi_{\text{ф}} = 60^\circ$), коэффициент целевого использования возрастает до 0,75, распределение жидкости по ширине ленты практически не меняется.

Если распылитель установить над обрабатываемой поверхностью так, чтобы угол между осью факела и осью гребня составлял 30° , то коэффициент целевого использования распыленной жидкости возрастает до 1,0. Однако картина распределения жидкости по зоне обработки резко меняется. В этом случае края (1-я и 2-я приемные канавки) практически не обрабатываются. Объем жидкости, осевшей в центре ленты, возрастает почти в 2 раза по сравнению со значениями при $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$.

Закономерность распределения жидкости распылителем РЦ-110-0.6 практически такая же, как и распылителем РЦ-110-1.0. Если в среднем на 1 см ширины защитной зоны при $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$ приходится 2,46 % распыленной жидкости, то в центре этот показатель почти в 4 раза выше, чем на периферии (1-я приемная канавка). В абсолютных единицах измерения ($\text{мл} \cdot \text{см}^{-1}$) среднее значение жидкости, внесенной распылителем РЦ-110-0.6 и осевшей на поверхности гребня, примерно в 2...3 раза ниже, чем при использовании распылителей РЦ-110-1.0. Это объясняется разностью в секундных расходах жидкости через рассматриваемые распылители.

Для широкофакельного распылителя *Lurmark 04F110* характерно более равномерное распределение жидкости по ширине обрабатываемой зоны гребня. Здесь разность в распределении жидкости между средним по ширине значением, в центре и на периферии при любом значении угла между осью факела и осью гребня ($\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$, $\varphi_{\text{ф}} = 60^\circ$, $\varphi_{\text{ф}} = 30^\circ$) составляет не более 60 %.

Динамика распределения жидкости по ширине обрабатываемой зоны гребня узкофакельным распылителем *Teejet TP40015E* представлена на рис. 5.4. Опытами установлено, что жидкость, внесенная при давлении 0,2 МПа распылителем *TP40015E*, установленным на высоте 0,15 м над верхней поверхностью макета гребня, почти полностью распределяется между десятью центральными приемными канавками. В мерных цилиндрах, связанных с этими канавками, за время опыта (30 с) собиралось примерно по 24 мл жидкости (около 10 % на каждую канавку). В 16 мерных цилиндрах (61,5 % от контроля) жидкости не оказалось совсем или собралось менее 0,5 мл.

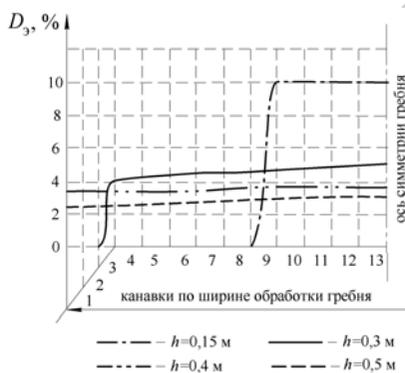


Рис. 5.4. График распределения жидкости по ширине обработки распылителем *Teejet TP40015E* с высоты h

Из приведенных данных можно сделать вывод, что при высоких значениях коэффициента целевого использования рабочего раствора распределение по ширине обработки гребня не всегда удовлетворительное. Улучшить распределение жидкости узкофакельными распылителями по обрабатываемой зоне гребня можно путем подбора высоты его установки над обрабатываемой поверхностью. При установке распылителя *Teejet TP40015E* на высоте $h = 0,4$ м вся зона обработки гребня полностью покрывается жидкостью. Разность в объеме жидкости, осевшей на периферии и в центре ленты, составляет не более 0,7 %. При этом коэффициент целевого использования составляет 0,975. Увеличение высоты установки распылителя с 0,4 до 0,5 м приводит к потерям до 8 % жидкости.

5.2.3. Распределение жидкости центробежными и вихревыми распылителями по обрабатываемой зоне гребня

Закономерности распределения жидкости, полученные при работе вихревых и центробежных распылителей, существенно отличаются от наблюдавшихся для щелевых распылителей. Отличия определяются ярко выраженным минимумом в центре ленты и двумя симметричными относительно центра максимумами в периферийных областях (рис. 5.5, 5.6).

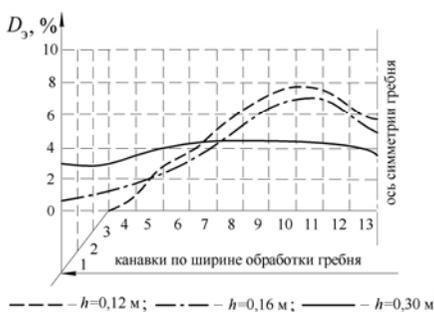


Рис. 5.5. График влияния высоты h установки вихревого распылителя 30НХС3 Lurmark на распределение жидкости по ширине ленты при давлении $p_{ж} = 0,3$ МПа



Рис. 5.6. График влияния высоты h установки и давления $p_{ж}$ на входе в вихревую распылитель РВ 80-1.2 на распределение жидкости по ширине ленты

Анализ данных графиков (рис. 5.5, 5.6) показывает, что с увеличением высоты установки вихревых распылителей над обрабатываемой поверхностью распределение жидкости по ширине защитной зоны становится более равномерным. Разность между объемами жидкости, собранной с 1-й и 13-й приемных канавок, составляет 0,1...0,2 %, а коэффициент целевого использования изменяется от 1,00 до 0,92.

Совместное влияние давления и высоты установки на распределение жидкости центробежным распылителем РЦ 96-1.2 по ширине обработки гребня представлено на рис. 5.7. Его анализ показывает, что увеличение давления незначительно влияет на распределение жидкости по ширине ленты. Так, при установке распылителя на высоте $h = 0,12$ м и изменении давления с 0,2 до 0,3 МПа, объем жидкости в центре защитной зоны отличается не более чем на 0,1 %.

На периферии эта разница достигает 0,2 %, а в объемах жидкости, собранных в центральных и периферийных мерных цилиндрах, уменьшается с 3,3 до 3,0 %. В обоих случаях коэффициент целевого использования раствора составляет 1,0. Увеличение высоты установки распылителя над поверхностью гребня с 0,12 до 0,20 м при постоянном давлении $p_{ж} = 0,2$ МПа приводит к заметному выравниванию отложения жидкости по ширине ленты. Разность объемов между центром и периферией составляет не более 0,3 %, однако коэффициент целевого использования распыленной жидкости снижается со 1,00 до 0,63.

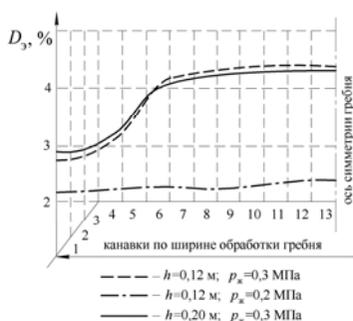
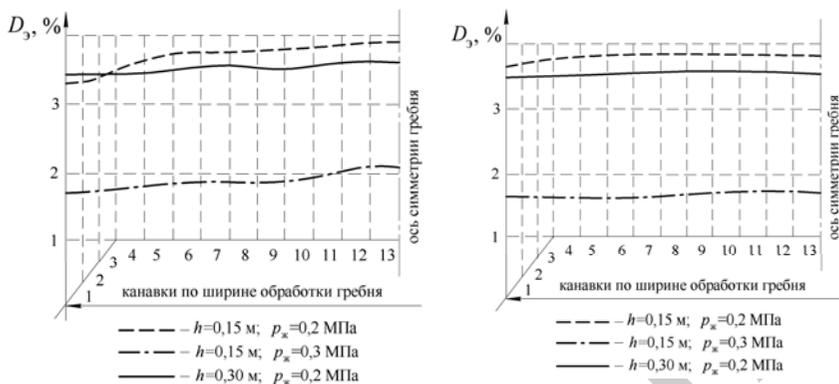


Рис. 5.7. График влияния давления h и высоты $p_{ж}$ установки распылителя РЦ-96-1.2 на распределение жидкости по ширине ленты

Характерной особенностью двухкамерных распылителей с открытой камерой закручивания потока РОК-0,9 и РОК-0,6 является существенное увеличение равномерности отложения жидкости по ширине факела распыла, независимо от давления и высоты установки (рис. 5.8).

Анализ кривых (рис. 5.8) показывает, что при установке распылителей на высоте $h = 0,15$ м и давлении $p_{ж} = 0,2$ МПа коэффициент целевого использования равен 0,96...0,97, отложение жидкости по ширине ленты относительно выровнено. Разность объемов в центре и по краям ленты не превышает 1...5 %. Увеличение давления с 0,2 до 0,3 МПа, при неизменной высоте установки распылителя, приводит к снижению коэффициента целевого использования до 0,9 и более равномерному отложению жидкости по ширине ленты. Разность объемов в центре и по краям ленты не превышает 0,5...2,0 %.



а б
 Рис. 5.8. Графики влияния давления $p_{ж}$ и высоты h установки распылителей на распределение жидкости по ширине ленты:
 а – РОК-0.6; б – РОК-0.9

Увеличение высоты установки распылителей с 0,15 до 0,30 м приводит к резкому уменьшению коэффициента целевого использования ($K = 0,40 \dots 0,48$), хотя отложение жидкости по ширине ленты носит выровненный характер.

5.2.4. Определение эффективного диаметра монодисперсных капель

Долю жидкости, осевшей на обрабатываемой поверхности, отнесенную к количеству всей жидкости, прошедшей через распылитель, принято считать эффективно используемой. Для конкретного вида и концентрации рабочего раствора гербицида этот параметр определяется углом падения и размером капель.

Для определения зависимости между диаметром качающей иглы и диаметром капли, поворотный экран вместе с индикаторными карточками устанавливался горизонтально (см. рис. 4.11). Опыты проводились при частоте вращения кулачка 5 и 10 об·мин⁻¹. Диаметр капли определялся путем деления диаметра отпечатка на стандартный коэффициент растекания. Результаты опытов представлены на рис. 5.9.

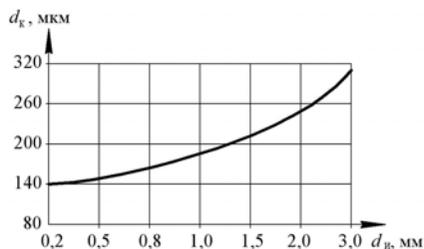


Рис. 5.9. График влияния диаметра иглы d_n на диаметр монодисперсных капель d_k

Анализ кривой (рис. 5.9) показывает, что диаметр иглы, генерирующий монодисперсные капли, находится в нелинейной зависимости с диаметром образующихся капель. Если диаметр иглы в опытах увеличивался в 15 раз, то диаметр капель возрастал в 2,2 раза. Увеличение частоты вращения кулачка в 2 раза практически не оказывает влияния на размер капель. Однако при этом резко изменяются дальность полета и рассеивание капель по карточкам. Это объясняется постоянством сил (сил тяжести плеч толкателя и силы упругости пружины), действующих на толкатель в процессе генерации капли. Дальность полета и разброс капель по карточке связаны с колебаниями иглы, вызванными ударами толкателя о кулачок в момент восстановления контакта.

Сопоставление экспериментальной кривой зависимости диаметра капель от диаметра иглы с известными математическими линиями [11] позволяет установить функциональную зависимость между этими параметрами:

$$d_k = 2,2 \cdot \sqrt[3]{d_n} . \quad (5.3)$$

Отпечатки капель на горизонтально расположенных индикаторных карточках имели одинаковые размеры во всех направлениях, независимо от диаметра иглы, генерирующей эти капли. Увеличение угла наклона экрана к горизонту до 10° также не сказалось на размерах пятен капель.

При угле наклона экрана в 30° на индикаторных карточках отмечена асимметрия в размерах пятен капель диаметром более 250 мкм. Отпечатки капель меньших диаметров практически не изменили своей формы. Это указывает на то, что монодисперсные капли диаметром 140...300 мкм хорошо удерживаются на поверх-

ностях, образующих с горизонтом угол менее 30° . При наклоне экрана на угол больше 30° на обрабатываемой поверхности удерживаются только капли диаметром менее 200 мкм.

На основании приведенных выше опытных и литературных [31, 95] данных можно утверждать, что на объекте обработки всегда осаждаются и хорошо удерживаются капли диаметром 80...360 мкм. Капли данного класса обладают оптимальной концентрацией, близкой к постоянной, применительно ко всем пестицидам. Поэтому диаметры этих капель положены в основу расчета биологической эффективности препарата, норм расхода рабочего раствора гербицидов заданной концентрации на единицу обрабатываемой поверхности, а также оценки качества обработки по густоте и степени покрытия поверхности.

Для качественной оценки работы опрыскивателей в полевых условиях и сравнительной оценки лабораторных опытов с распылителями различных типов на установке монодисперсных капель изготовлены шаблоны минимальной ($n_k = 30 \text{ шт.} \cdot \text{см}^{-2}$), средней ($n_k = 70 \text{ шт.} \cdot \text{см}^{-2}$) и максимальной ($n_k = 110 \text{ шт.} \cdot \text{см}^{-2}$) допустимой густоты покрытия объекта обработки каплями биологически эффективного диаметра.

5.2.5. Дисперсность дробления жидкости исследуемыми распылителями

Дисперсность дробления жидкости является важным фактором, влияющим на эффективность применения пестицидов. Связано это с биологической эффективностью капель различных размеров и влиянием размера капель на степень покрытия объекта обработки (поверхность листа, тело насекомого и т. д.) рабочей жидкостью. Размеры капель во многом определяют потери препарата. Известно, что капли диаметром менее 50 мкм практически не попадают на объект обработки, так как время их существования до полного испарения меньше времени гравитационного осаждения. Капли такого диаметра в большей степени подвержены сносу ветром и восходящими турбулентными потоками воздуха. Мелкие капли, перемещаясь ветром на значительные расстояния, могут нанести

ущерб окружающей среде. Для плохо смачиваемых поверхностей значительные потери рабочих растворов возникают при обработке каплями, диаметр которых превышает 400 мкм [44]. Данный диаметр определяет верхнюю границу биологически эффективных капель. Генератором капель различной дисперсности является распылитель. Обоснование рекомендаций по выбору распылителей для ленточного внесения пестицидов при возделывании овощных культур на гребнях невозможно без учета информации о дисперсности распыленной жидкости.

В опытах для генерации спектра полидисперсных капель использовали выделенные пять видов гидравлических распылителей с минутным расходом жидкости до 1 л, удовлетворяющих требованиям ленточного внесения гербицидов. Опыты проводились при давлении 0,3 МПа, гарантирующем изготовителем номинальный режим работы распылителя.

Наблюдением за процессом осаждения жидкости отмечено, что при проведении опытов в закрытом помещении большое количество мелких капель не достигает обрабатываемой поверхности, а осажается на предметах, окружающих объект обработки. Поэтому подсчет числа капель диаметром менее 80 мкм на индикаторных карточках, при любых условиях проведения опыта, будет не точен. Количественная оценка капель этого класса дисперсности получена расчетами, для чего из фиксированного объема распыленной жидкости вычтен суммарный объем капель диаметром более 80 мкм, следы которых четко видны на индикаторных карточках. Полученный объем разделен на средний объем одной капли данного класса дисперсности.

Количественная характеристика распределения капель жидкости по классам дисперсности приведена в табл. 5.3. Анализ ее данных показывает, что в факеле, образуемом распылителем *TP40015E*, содержится до 80 % капель биологически эффективного диаметра (80...400 мкм). В спектре распыленной жидкости масса этих капель составляет до 72 %. Относительное количество капель, имеющих размер менее 80 мкм, в среднем составляет около 19 %, то есть почти пятая часть капель, генерируемых этим распылителем, может быть снесена ветром. Однако эти капли содержат не более 1,5 % массы распыленной жидкости, поэтому их влияние на экономическую сторону потерь пестицидов незначительно. Число капель, диаметр кото-

рых превышает верхний предел (380...400 мкм) биологически эффективных размеров, составляет до 1 %. Масса этих капель в спектре факела распыла достигает 23 %, то есть при использовании распылителей данной марки по вегетирующим растениям возможны потери от скатывания крупных капель. Данные распылители можно использовать при внесении почвенных гербицидов.

Таблица 5.3. Характеристика дисперсности капель для распылителей различных марок при давлении жидкости $p_{ж} = 0,3$ МПа

Диаметр капель, мкм	Марка распылителя									
	Teejet TP40015E		РЦ110-0.6		Lurmark 30НСХЗ		РОК-0.9		РОК-0.6	
	Щелевой				Вихревой		Центробежный			
	$n_k, \%$	$Q_k, \%$	$n_k, \%$	$Q_k, \%$	$n_k, \%$	$Q_k, \%$	$n_k, \%$	$Q_k, \%$	$n_k, \%$	$Q_k, \%$
1...80	28,1	1,49	53,80	4,07	55,7	8,49	23,5	0,89	23,3	0,98
81...160	40,1	10,68	30,10	11,43	25,1	18,69	42,0	5,08	42,6	5,30
161...240	21,3	26,35	10,30	18,22	18,5	65,0	18,1	18,10	18,3	20,07
241...320	6,2	21,00	4,80	23,52	0,5	4,57	9,6	26,61	9,1	27,10
321...400	2,4	17,44	0,44	19,28	0,2	3,25	4,5	25,96	4,7	23,67
> 400	1,9	23,04	0,56	23,48	—	—	2,3	23,36	2,0	22,88
Общие характеристики внесения жидкости исследуемым распылителем										
$q, \text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$	0,60		0,58		0,20		0,77		0,62	
$d_{кN}, \text{мкм}$	101		90		89		101		101	
$d_{кM}, \text{мкм}$	124		123		117		184		171	
K	1,23		1,37		1,32		1,82		1,69	

Примечания: n_k – число капель, приходящихся на 1 см^2 поверхности, %; Q_k – объем жидкости в каждой фракции капель, %; q – расход жидкости через распылитель, $\text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$; $d_{кN}$ – медианно-числовой диаметр (МЧД) капель, мкм; $d_{кM}$ – медианно-массовый диаметр (ММД) капель, мкм; $K_{II} = \frac{d_{кM}}{d_{кN}}$ – коэффициент полидисперсности.

Спектр капель, генерируемых широкофакельным щелевым распылителем РЦ110-0.6, характеризуется большим содержанием капель диаметром до 80 мкм (около 43 % по числу капель и около 4 % по массе) и более равномерным распределением

по классам дисперсности в пределах, ограниченных биологически эффективными размерами. Общее число таких капель составляет около 56 %, и в них содержится до 72 % массы жидкости. Масса жидкости, содержащейся в каплях, превышающих верхний предел биологически эффективных размеров, достигает 23,5 %. Значит, использование таких распылителей для обработки вегетирующих сорняков будет не эффективно из-за большой потери пестицидов, связанной со скатыванием и отскакиванием крупных капель с объекта обработки.

Для обработки вегетирующих сорняков целесообразно использовать вихревой распылитель *Lurmark 30HCX3*. Спектр капель, генерируемых данным распылителем, почти полностью находится в пределах биологически эффективных размеров (около 51 % по общему числу капель и около 91 % по массе жидкости). Для данного распылителя характерно отсутствие в факеле распыла капель диаметром более 400 мкм и наличие значительного числа капель диаметром менее 80 мкм (около 46 % от общего числа капель, в которых содержится до 8,5 % массы распыленной жидкости). Поэтому следует использовать данные распылители или в безветренную погоду, или с устройством, защищающим факел от действия ветра.

Двухкамерные центробежные распылители РОК-0.9 и РОК-0.6 генерируют более однородный спектр капель, диаметр которых на 80 % совпадает с биологически эффективными размерами. Масса жидкости, сконцентрированная в этих каплях, составляет 75...77 % от всей распыленной жидкости. Процент капель, превышающих верхнюю границу биологически допустимых размеров, составляет 1,4...1,7 %. Однако в этих каплях содержится 22...23 % массы рабочего раствора.

Приведенный анализ показывает, что все распылители, дисперсная характеристика которых представлена ранее, генерируют капли со средним медианно-числовым диаметром 90...101 мкм и медианно-массовым – 120...180 мкм. При соответствующих параметрах установки распылителей над обрабатываемой поверхностью и стабильном аэродинамическом состоянии окружающей среды данные распылители могут быть рекомендованы для ленточного внесения гербицидов.

5.2.6. Сравнительная оценка распылителей по густоте покрытия обрабатываемой поверхности

Наибольший биологический эффект достигается ленточным опрыскиванием в том случае, если необходимая доза препарата равномерно распределяется по ширине ленты. Стандартным показателем неравномерности отложения препарата на эффективной ширине захвата является коэффициент вариации v (%):

$$v = \frac{\sigma_0}{\bar{X}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}} \cdot 100,$$

где σ_0 – среднеквадратическое отклонение случайной величины;

\bar{X} – среднее значение случайной величины, нормативное значение которого не должно превышать для штанговых опрыскивателей 25 % [31].

Распределение жидкости по ширине обрабатываемой зоны гребня является объективным, но не полным критерием оценки качества ленточного внесения пестицидов. Этим параметром не отражается общее требование к распылителям любых конструкций – обеспечение требуемой густоты покрытия и ее показателей – число капель ($30 < n_k < 110$ шт. · см⁻²) биологически эффективного диаметра ($80 < d_k < 360$ мкм · см⁻²), приходящихся на 1 см² обрабатываемой поверхности, или объем жидкости ($0,243 < Q_k < 5,38$ мм³ · см⁻²) находящийся в этих каплях (табл. 5.2). Нижняя граница густоты покрытия (30 шт. · см⁻², или 0,243 мм³ · см⁻²) пределяет минимальную дозу рабочего раствора оптимальной концентрации, необходимую для подавления объекта обработки. Верхняя граница (110 шт. · см⁻² или 5,38 мм³ · см⁻²) определяет предельное значение дозы рабочего раствора пестицида, превышение которой приводит к экологически опасным последствиям не только для возделываемой культуры, но и для окружающей среды.

Исходя из агротехнических требований по допустимым скоростям движения агрегата для ленточного внесения пестицидов с одновременной механической обработкой междурядий [31, 71], произведен пересчет параметров распределения жидкости, генерируемых распылителями, в объем жидкости, приходящийся на 1 см² обрабатываемой площади по ширине обработки гребня (табл. 5.4).

Таблица 5.4. Влияние параметров пространственной ориентации распылителей и технологических условий распыла на показатели качества ленточного внесения

Марка распылителя		Условия проведения опыта			Расход жидкости через распылитель q_l , л·мин ⁻¹	Коэффициент целевого использования K	Среднее значение густоты покрытия обрабатываемой поверхности, мм ³ ·см ⁻²	Коэффициент вариации по распределению жидкости v , %
		Высота установки распылителя h , м	Давление в напорной магистрали $P_{ж}$, МПа	Угол ϕ_ϕ (°) между осью факела и осью гребня				
1	2	3	4	5	6	7	8	
Вихревой	РВ 80-1.2	0,16	0,2	–	0,54	1,00	2,50	60,7
		0,16	0,3	–	0,68	1,00	3,10	48,5
		0,30	0,3	–	0,68	0,54	1,70	6,0
	Lurmark 30НСХЗ	0,12	0,3	–	0,199	1,00	0,92	70,6
		0,16	0,3	–	0,199	0,997	0,92	56,8
		0,16	0,4	–	0,229	0,94	0,99	53,1
	0,30	0,3	–	0,199	0,797	0,95	7,7	
Центробежный	РЦ 96-1.2	0,12	0,2	–	0,62	1,00	2,90	17,4
		0,12	0,3	–	0,68	1,00	3,10	15,7
		0,20	0,3	–	0,68	0,603	1,70	3,6
	РОК 0.9	0,15	0,2	–	0,58	0,96	2,60	1,3
		0,15	0,3	–	0,76	0,90	3,20	0,4
		0,3	0,2	–	0,58	0,40	1,20	1,7
	РОК 0.6	0,15	0,2	–	0,48	0,965	2,10	4,9
		0,15	0,3	–	0,60	0,90	2,50	2,0
		0,30	0,2	–	0,48	0,48	1,10	2,3
Щелевой	РЩ 110-1.0	0,15	0,2	90	0,72	0,64	2,80	78,0
		0,30				0,32	1,10	31,3
		0,50				0,19	0,60	21,9
	0,15	0,2	60	0,76		2,50	20,9	
	0,30			0,37		1,20	6,2	
	0,50			0,23		0,80	25,3	
	0,15	0,2	30	1,00		9,20	51,6	
	0,30			0,53		1,70	6,4	
	0,50			0,38		1,30	11,9	

Продолжение табл. 5.4

1		2	3	4	5	6	7	8	
Щелевой	РЩ 110-0.6	0,15	0,2	90	0,40	0,64	1,20	35,6	
		0,30				0,31	0,60	33,9	
		0,50				0,19	0,40	25,9	
		0,15	0,2	60		0,75	1,40	25,2	
		0,30				0,36	0,70	32,0	
		0,50				0,23	0,40	25,9	
		0,15	0,2	30		0,99	1,80	53,7	
		0,30				0,63	1,20	11,2	
		0,50				0,39	0,70	25,0	
	Lurmark 04F110	0,15	0,2	90	1,30	0,64	3,83	13,4	
		0,30				0,30	1,88	17,4	
		0,50				0,20	1,22	17,4	
		0,15	0,2	60°		0,73	4,41	9,4	
		0,30				0,37	2,22	14,3	
		0,50				0,24	1,44	14,9	
		0,15	0,2	30		0,99	5,99	56,8	
		0,30				0,63	3,71	10,6	
		0,50				0,41	2,44	5,4	
	Teejet TP40015E	0,15	0,2	90	0,48	0,996	2,22	129,0	
		0,30				0,978	2,20	44,0	
		0,40				0,925	2,05	3,0	
		0,40	0,3			0,60	0,92	2,55	2,7
		0,50	0,2			0,48	0,74	1,64	4,5

Густота покрытия обрабатываемой поверхности широкофакельными щелевыми распылителями

Щелевые распылители с углом при вершине факела в 110° широко используются в технологии защиты растений методом сплошного опрыскивания. Известны рекомендации [31] о применении этих распылителей для ленточного внесения гербицидов. Как отмечалось ранее, коэффициент целевого использования жидкости этими распылителями зависит от высоты их установки над обрабатываемым объектом и ориентации факела распыла к продольной оси обрабатываемой ленты. Влияние данных параметров на распределение жидкости распылителем *Lurmark 04F110* по ширине ленты представлено на рис. 5.10.

Сопоставляя кривые, приведенные на рис. 5.10, необходимо отметить некоторые особенности.

1. При постоянной высоте ($h = 0,15$ м) установки распылителя и ориентации факела перпендикулярно продольной оси гребня (тре-

тя кривая) густота покрытия верхней поверхности гребня находится в биологически эффективных пределах. Коэффициент вариации составляет 13,4 %. В то же время коэффициент целевого использования составляет 0,64, а 36 % распыленной жидкости оседают за пределами обрабатываемой зоны.

2. При ориентации факела по отношению к продольной оси гребня в 60° (вторая кривая) коэффициент целевого использования раствора возрастает до 0,73, а густота покрытия в центре ленты возрастает до биологически опасных норм (94 % от верхнего предела биологически эффективных норм).

3. Уменьшение угла между продольной осью гребня и факелом распыла до 30° приводит к повышению коэффициента целевого использования жидкости до 0,99. Однако в центре ленты (69...70 % ширины обрабатываемой зоны) густота покрытия превышает биологически эффективные нормы в 1,3...1,7 раза. В то же время, примерно на 20...25 % ширины ленты (на периферийных участках) густота покрытия ниже или близка к минимально-допустимым биологически эффективным нормам.

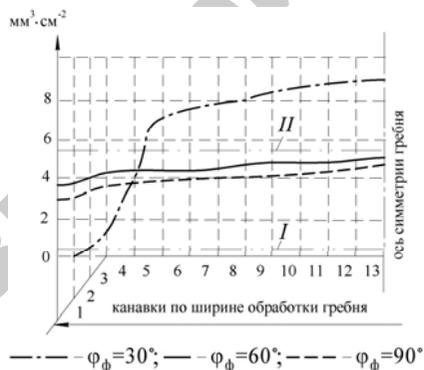


Рис. 5.10. График зависимости густоты покрытия поверхности гребня распылителем *Lurmark 04F110* при давлении $p_{\text{ж}} = 0,2$ МПа, при минутном расходе жидкости $q_1 = 1,3$ л·мин⁻¹, расчетной скорости движения $v_p = 5$ км·ч⁻¹, высоте установки распылителя $h = 0,15$ м (I, II — соответственно линии нижнего и верхнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

Анализ данных показывает, что густоту покрытия обрабатываемой зоны, при заданной норме внесения пестицидов, можно регулировать изменением скорости движения агрегата и высоты уста-

новки распылителя над обрабатываемой поверхностью. В первом случае неравномерность отложения жидкости по ширине ленты сохранится независимо от скорости движения. Изменится только абсолютное значение этого параметра. Скорость движения агрегата ограничена требованиями технологии междурядной обработки пропашных культур, возделываемых на гребнях.

Влияние высоты установки распылителя на густоту покрытия обрабатываемой зоны гребня (рис. 5.11) характеризуется тем, что увеличение высоты установки распылителя с 0,15 до 0,50 м приводит к более равномерному отложению жидкости по обрабатываемой поверхности ($v = 5,4 \%$). Однако коэффициент целевого использования снижается до 0,40, то есть 60 % рабочего раствора не попадает в требуемую зону.

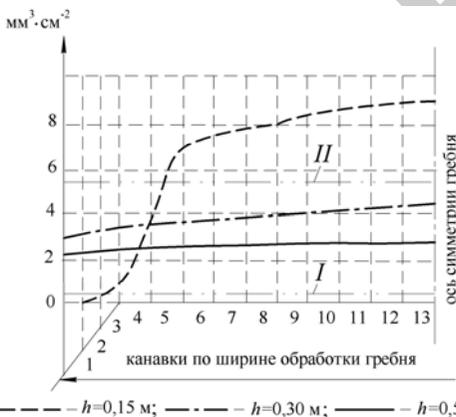


Рис. 5.11. График влияния высоты h установки распылителя *Lurmark 04F110* на густоту покрытия обрабатываемой зоны гребня при $p_{ж} = 0,2$ МПа; $v_p = 5$ км·ч⁻¹; $\varphi_{ф} = 30^\circ$ (I, II — линии нижнего и верхнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

Проведенный анализ показывает, что использование широкофакельного распылителя *Lurmark 04F110* для внесения растворов пестицидов ленточным способом по поверхности гребня связано с высокой густотой покрытия, вплоть до биологически опасных норм в центральной части зоны и ее недостаточностью на периферии.

Общая тенденция увеличения густоты покрытия в центре ленты до верхнего предела биологически эффективной нормы с уменьшением

высоты и угла $\varphi_{\text{ф}}$ ориентации факела к оси гребня и снижения коэффициента целевого использования с увеличением высоты установки и угла $\varphi_{\text{ф}}$ ориентации факела к оси гребня, при снижении густоты покрытия, сохраняется для всех широкофакельных распылителей.

Густота покрытия обрабатываемой зоны гребня узкофакельным щелевым распылителем Teejet TP40015E

Анализ результатов обработки данных по определению густоты покрытия поверхности гребня каплями жидкости, генерируемыми распылителем Teejet TP40015E, применительно к скоростям движения агрегата $v_p = 5,0$ и $6,13 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$, показывает, что основным параметром, определяющим густоту покрытия по ширине ленты, является высота установки распылителя. Изменение густоты покрытия (рис. 5.12), позволяет отметить равномерное отложение жидкости на обрабатываемой поверхности при любой высоте установки распылителя. Однако ширина ленты не всегда совпадает с требуемой шириной зоны обработки. При установке распылителя на высоте $0,15 \text{ м}$ над поверхностью гребня обрабатывается только 40% ее центральной части.

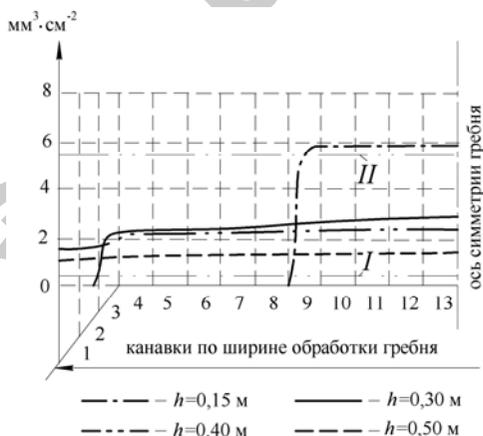


Рис. 5.12. График густоты покрытия поверхности гребня узкофакельным распылителем Teejet TP40015E при $p_{\text{ж}} = 0,2 \text{ МПа}$; $v_p = 5 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$; $\varphi_{\text{ф}} = 90^\circ$ (I, II – линии нижнего и верхнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

При этом густота покрытия превышает верхний предел биологически эффективных норм на 5...7 %. При установке распылителя на высоте 0,4 м разность в показателях густоты покрытия центрального и периферийных участков составляет не более 8...9 %. Коэффициент целевого использования близок к единице, а коэффициент вариации по распределению жидкости по ширине ленты составляет 3 %.

При увеличении высоты установки распылителя до 0,5 м коэффициент целевого использования жидкости снижается до 0,74, а густота покрытия поверхности гребня близка к нижнему биологически эффективному пределу. Увеличение давления распыла жидкости с 0,2 до 0,3 МПа незначительно сказывается на густоте покрытия.

Таким образом, узкофакельные щелевые распылители наиболее полно удовлетворяют требованиям качественного внесения пестицидов в зону гребня ленточным способом. Для оценки влияния подвижности окружающей среды (ветра) на качество внесения пестицидов при гребневом возделывании овощных культур из всех щелевых распылителей к дальнейшим исследованиям приняты узкофакельные распылители типа *Teejet TP40015E*.

Густота покрытия обрабатываемой зоны гребня вихревыми распылителями

В исследованиях по определению густоты покрытия обрабатываемой зоны гребня использованы вихревые распылители *Lurmark 30НСХЗ* и *PВ 80-1.2* с расходом жидкости до 1 литра в минуту. Характерной особенностью этих распылителей является повышенная чувствительность к перепадам рабочего давления. В результате существенно изменяется угол при вершине факела и ширина ленты обрабатываемой поверхности. Поэтому опыты с распылителями данного типа выполнялись при давлении 0,2...0,4 МПа и высоте их установки над обрабатываемой поверхностью 0,12...0,30 м. По результатам обработки данных по густоте покрытия при расчетных скоростях движения $v_p = 5,0$ и $6,13$ км·ч⁻¹ построены кривые изменения густоты покрытия обрабатываемой зоны гребня в функции от рабочего давления (рис. 5.13) и высоты установки распылителя *Lurmark 30НСХЗ* над обрабатываемой поверхностью (рис. 5.14) при расчетной скорости движения агрегата 5 км·ч⁻¹.

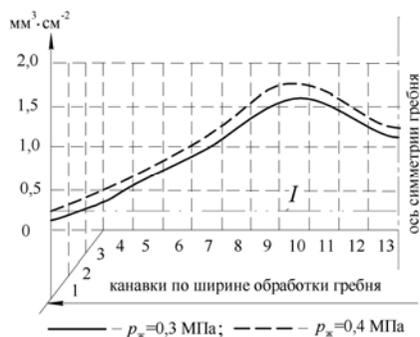


Рис. 5.13. График влияния рабочего давления $p_{ж}$ в распылителе *Lurmark 30HCX3* на густоту покрытия обрабатываемой поверхности при высоте установки $h = 0,16$ м (I – линия нижнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

Анализ данных, приведенных на рис. 5.13, показывает, что при всех режимах эксплуатации распылителя *30HCX3* густота покрытия зоны обработки в 4...4,5 раза ниже верхнего предела и в 2...2,5 раза выше нижнего предела биологически эффективных норм. Вместе с тем необходимо отметить высокую неравномерность густоты покрытия по ширине ленты ($v = 53,1...56,8$ %). Так, при рабочем давлении 0,3 МПа и высоте установки распылителя $h = 0,16$ м густота покрытия центральной части и периферийных участков отличается в 5...6 раз. При этом наибольшая густота покрытия наблюдается на расстоянии $1/3...1/4$ от центра гребня (9...11 – приемные канавки макета гребня) (рис. 5.13). При постоянной высоте установки распылителя и увеличении давления от 0,3 до 0,4 МПа общая тенденция распределения жидкости по ширине факела не меняется. В этом случае на 5...10 % возрастает абсолютное значение густоты покрытия по ширине ленты.

Высота установки распылителя существенно изменяет параметры густоты покрытия по ширине зоны обработки. При установке распылителя на высоте 0,12 м над обрабатываемой поверхностью (рис. 5.14) коэффициент целевого использования составляет 100 %, однако около 20 % периферийных участков защитной зоны не обрабатываются вообще. Увеличение высоты установки распылителя до 0,16 м обеспечивает 100%-ю обработку требуемой зоны гребня. Коэффициент целевого использования распыленной жидкости равен 0,997, однако по ширине ленты неравномерность отложения жидкости превышает допустимые пределы ($v = 56,8$ %). Увеличение высоты установки распылителя до 0,3 м приводит к более равномерной густоте покрытия

($v = 7,7\%$), однако коэффициент целевого использования жидкости уменьшается до 0,797.

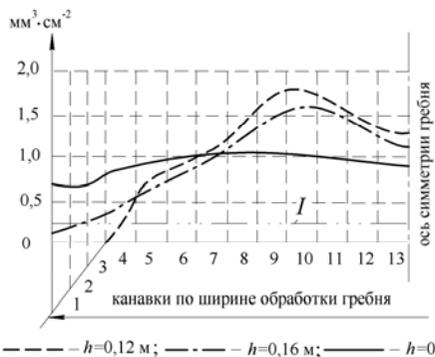


Рис. 5.14. График влияния высоты h установки распылителя *Lurmark 30HCX3* на густоту покрытия обрабатываемой поверхности при $p_{ж} = 0,3$ МПа:
 I – линия нижнего биологически эффективного предела густоты покрытия

Аналогичная картина качества обработки гребня наблюдается и при использовании вихревого распылителя РВ 80-1.2 (рис. 5.15). Отличия в абсолютных значениях густоты покрытия различных участков по ширине ленты определяются производительностью распылителя при различных режимах эксплуатации.

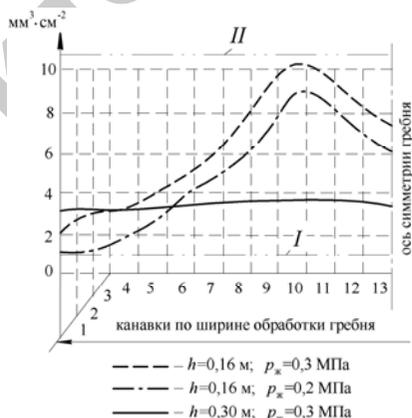


Рис. 5.15. График густоты покрытия поверхности гребня распылителем РВ 80-1.2 при $v_p = 5$ км·ч⁻¹ (I, II – линии нижнего и верхнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

Густота покрытия обрабатываемой зоны при использовании центробежных распылителей

Исследована густота покрытия зоны обработки каплями от центробежных распылителей двух типов: РЦ 96-1.2 с закрытой и РОК-0.6 с открытой камерами закручивания потока жидкости. Результаты обработки данных представлены в табл. 5.3.

Изменение густоты покрытия (рис. 5.16) обрабатываемой поверхности по ширине требуемой зоны построены в зависимости от высоты установки распылителей над поверхностью макета гребня и давления жидкости при расчетной скорости движения агрегата $v_p = 5 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Сопоставляя данные, приведенные на рис. 5.16, следует отметить высокую равномерность покрытия поверхности гребня каплями жидкости, которые генерирует на всех режимах распылитель РОК-0.6 ($v = 2,3 \dots 4,9 \%$). Густота покрытия удовлетворяет требованиям биологически эффективных норм, однако увеличение высоты установки распылителя с 0,15 до 0,30 м снижает коэффициент целевого использования с 0,96 до 0,48.

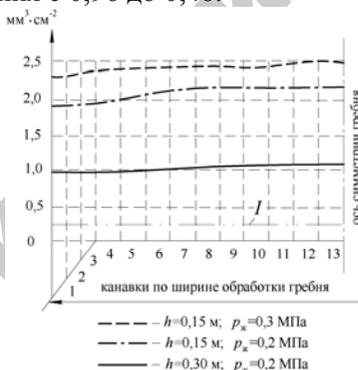


Рис. 5.16. График густоты покрытия обрабатываемой зоны распылителем РОК-0.6 в зависимости от высоты h установки и давления $p_{ж}$ в напорной магистрали при $v_p = 5 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ (I — линия нижнего биологически эффективного предела густоты покрытия)

Общая характеристика обработки гребня каплями жидкости, которые генерирует распылитель РОК-0.9, в относительных единицах практически совпадает с параметрами обработки, которые характерны для распылителя РОК-0.6. Различия в абсолютных значениях густоты покрытия определяются разницей в производительности распылителей РОК-0.9 и РОК-0.6.

Обобщая результаты опытов с распылителями типа РОК, следует отметить, что максимальное значение густоты покрытия обрабатываемой поверхности этими распылителями в 2...2,5 раза ниже верхнего предела и в 4...4,5 раза выше нижнего предела биологически эффективных норм. При установке распылителей на высоте 0,15 м над поверхностью гребня наиболее равномерно по ширине ленты распределяется 90...96 % распыленной жидкости, обеспечивая густоту покрытия в пределах биологически эффективных норм. Учитывая то, что распылители с открытой камерой имеют большой диаметр сопла (до 7 мм), можно сделать предположение о безотказной их работе на высоте 0,15 м при давлении 0,2 МПа.

Распределение жидкости центробежным распылителем РЦ 96-1.2 (рис. 5.17) характеризуется высокой неравномерностью. При установке распылителя на высоте 0,12 м и рабочем давлении 0,2 МПа густота покрытия каплями жидкости центрального участка в 1,5...1,6 раза выше, чем периферийных. Увеличение высоты установки распылителя с 0,12 до 0,20 м при постоянном давлении снижает этот показатель до 1,1. Одновременно снижается и коэффициент целевого использования жидкости со 1,00 до 0,63.

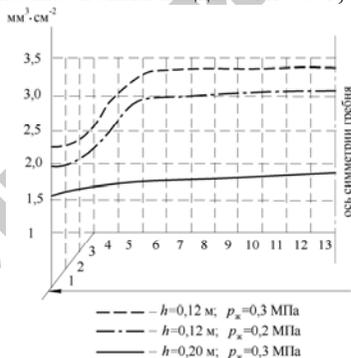


Рис. 5.17. График густоты покрытия рабочей жидкостью по ширине ленты распылителем РЦ 96-1.2 в зависимости от высоты h установки и давления $p_{ж}$ в напорной магистрали

Увеличение давления с 0,2 до 0,3 МПа не вносит существенных изменений в густоту покрытия зоны обработки каплями жидкости. По коэффициенту целевого использования и густоте покрытия оптимальной следует считать высоту установки распылителя над поверхностью гребня 0,12 м. Однако вероятность сбоев в работе этих распылителей велика из-за возможности забивания сопла.

5.3. Выбор типа распылителей для использования в объемном опрыскивателе

Исследования показали, что на верхних листьях 90 % всех капель имели диаметр меньше 220 мкм, причем ни одна из капель размером более 150 мкм не проникла к нижнему ярусу листьев.

Вследствие своего небольшого размера проникающие капли обладают малой способностью оседания, поэтому качественной обработки можно добиться только с помощью воздушного потока, являющегося транспортером капель к обрабатываемому объекту.

Анализируя данные по размеру капель, следует отметить, что для объемного опрыскивания дефлекторный распылитель не подходит, так как из рассматриваемых типов распылителей он обеспечивает самый грубый распыл каплями преимущественно крупного размера (свыше 300 мкм).

В соответствии с существующими рекомендациями для покрытия верхних частей растений необходима доза внесения рабочей жидкости 75...200 л·га⁻¹. Для обработки нижних частей растений при традиционном опрыскивании требуется 400...600 л·га⁻¹. Воздушный поток, способствующий максимальному проникновению капель внутрь растительного массива, позволяет использовать дозы, рекомендуемые для обработки верхних частей растений.

Определим для остальных трех типов распылителей (центробежно-струйного, центробежного и щелевого) расход на единицу площади и возможную густоту покрытия обрабатываемой поверхности при дозе внесения рабочей жидкости $Q = 150 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ [31].

При шаге расстановки распылителей 0,50 м на ширину захвата опрыскивателя $B_p = 18 \text{ м}$ приходится $n_p = 36$ распылителей. При рабочей скорости движения опрыскивателя $v_p = 10 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ расход через один распылитель составит:

$$q_1 = \frac{B_p Q v_p}{600 \cdot n_p} = \frac{18 \cdot 150 \cdot 10}{600 \cdot 36} = 1,25 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1} = 0,021 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Радиус основания факела распыла определяем по формуле:

$$R_{\phi} = h \cdot \text{tg } \gamma_p. \quad (5.4)$$

В качестве h примем расстояние, соответствующее двухкратному смыканию факелов распыла. При таком расположении распылителей над объектами обработки обеспечивается наиболее равномерное покрытие [67].

В соответствии с этим требованием щелевые распылители с углом факела распыла $2\gamma_p = 110^\circ$ при шаге расстановки 0,5 м необходимо размещать на высоте 0,35 м над обрабатываемым объектом, вихревые и центробежно-струйные распылители с углом факела распыла $2\gamma_p = 80^\circ$ – на высоте 0,5 м.

Тогда для щелевых распылителей $R_{\text{ф}} = 0,35 \cdot \text{tg} \frac{110^\circ}{2} = 0,5$ м, для вихревых и центробежно-струйных распылителей $R_{\text{ф}} = 0,5 \cdot \text{tg} \frac{80^\circ}{2} = 0,42$ м.

Определить возможную густоту покрытия обрабатываемых растений (шт. · см⁻²) можно по формуле:

$$n_{\text{к}} = \frac{10^{-7} Q_{\text{С}}(x)}{V_{\text{к}}} = \frac{6 \cdot 10^{-7} Q_{\text{С}}(x)}{\pi d_{\text{к}}^3}, \quad (5.5)$$

где $Q_{\text{С}}(x)$ – расход рабочего раствора на единицу площади, л · м⁻²;
 $V_{\text{к}}$ – объем капли шаровидной формы, м³.

Расход на единицу площади (л · м⁻²) для всех типов распылителей находим по формуле:

$$Q_{\text{С}}(x) = \frac{q_n(x)}{h v_{\text{к}_0}}, \quad (5.6)$$

где $q_n(x)$ – расход рабочего раствора пестицида на элемент площади, л · с⁻¹.

Начальная скорость капель $v_{\text{к}_0}$, или скорость истечения из гидравлического распылителя, определяется по формуле [65]:

$$v_{\text{к}_0} = k_{\text{ф}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (5.7)$$

где k_{ϕ} – коэффициент скорости;

$\Delta p_{\text{ж}}$ – перепад давления жидкости на распылителе, МПа.

Определим расход рабочего раствора пестицида на элемент площади для вихревого, центробежно-струйного и щелевого распылителей (рис. 5.18).

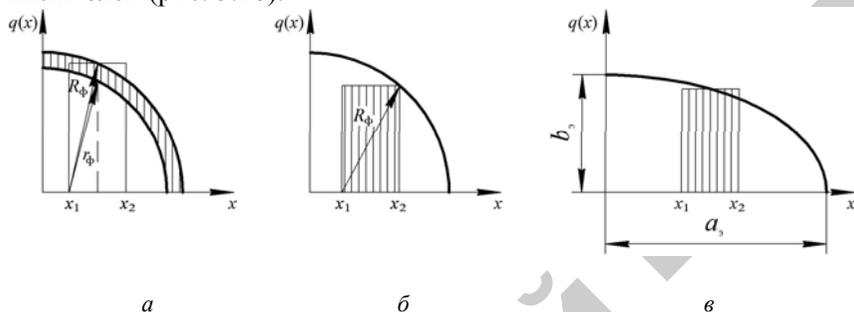


Рис. 5.18. Схемы к определению расхода рабочего раствора на элемент площади при распыливании вихревым (а), центробежно-струйным (б) и щелевым (в) распылителями

Расход рабочей жидкости на элемент площади для вихревого распылителя (рис. 5.18, а) определяем по формуле:

$$\begin{aligned}
 q_1(x) &= \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi(R_{\phi}^2 - r_{\phi}^2)} \left[\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{(R_{\phi}^2 - x^2)} dx - \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{(r_{\phi}^2 - x^2)} dx \right] = \\
 &= \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi(R_{\phi}^2 - r_{\phi}^2)} \left[\left(\frac{x_2 \sqrt{R_{\phi}^2 - x_2^2}}{2} + \frac{R_{\phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_2}{R_{\phi}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{x_1 \sqrt{R_{\phi}^2 - x_1^2}}{2} + \frac{R_{\phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_1}{R_{\phi}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{x_2 \sqrt{r_{\phi}^2 - x_2^2}}{2} + \frac{r_{\phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_2}{r_{\phi}} \right) - \left(\frac{x_1 \sqrt{r_{\phi}^2 - x_1^2}}{2} + \frac{r_{\phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_1}{r_{\phi}} \right) \right], \quad (5.8)
 \end{aligned}$$

где r_{ϕ} – внутренний радиус кольца, м.

Расход рабочей жидкости на элемент площади для центробежно-струйного распылителя (рис. 5.18, б) определяем по формуле:

$$q_2(x) = \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi R_{\Phi}^2} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{R_{\Phi}^2 - x^2} dx = \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi R_{\Phi}^2} \left[\left(\frac{x_2 \sqrt{R_{\Phi}^2 - x_2^2}}{2} + \frac{R_{\Phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_2}{R_{\Phi}} \right) - \left(\frac{x_1 \sqrt{R_{\Phi}^2 - x_1^2}}{2} + \frac{R_{\Phi}^2}{2} \arcsin \frac{x_1}{R_{\Phi}} \right) \right] \quad (5.9)$$

Расход рабочей жидкости на элемент площади для щелевого распылителя (рис. 5.18, в) определяем по формуле:

$$q_3(x) = \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi a_3 b} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{\frac{b_3}{2} (a_3^2 - x^2)} dx = \frac{Q_{\text{ж}}}{\pi a_3 b_3} \left[\left(\frac{b_3 x_2 \sqrt{a_3^2 - x_2^2}}{2 a_3} + \frac{a_3 b_3}{2} \arcsin \frac{x_2}{a_3} \right) - \left(\frac{b_3 x_1 \sqrt{a_3^2 - x_1^2}}{2 a_3} + \frac{a_3 b_3}{2} \arcsin \frac{x_1}{a_3} \right) \right] \quad (5.10)$$

где a_3, b_3 – соответственно большой и малый радиусы эллипса, м.

Задавшись конкретными значениями, определили по полученным формулам общий расход пестицида на единицу обрабатываемой площади (табл. 5.5).

В результате расчета густоты покрытия обрабатываемых объектов по формуле (5.2) было установлено, что при использовании центробежно-струйного распылителя с минимально возможным диаметром капель 150 мкм густота покрытия обрабатываемого объекта составила 39 шт. · см⁻², установленная агротребованиями минимальная густота покрытия 20 шт. · см⁻² достигается при диаметре капель 185 мкм. Использовать его целесообразно только при обработке гербицидами, при обработке фунгицидами и инсектицидами он не обеспечивает требуемую густоту покрытия (50...70 шт. · см⁻²).

Вихревой распылитель при диаметре капель 50...155 мкм позволяет получить густоту покрытия 20...596 шт. · см⁻². Щелевой распылитель при диаметре капель 50...175 мкм позволяет получить густоту покрытия 20...871 шт. · см⁻².

Таблица 5.5. Результаты расчета общего расхода пестицида на единицу обрабатываемой площади для распылителей различных типов

Исходные данные для расчета	Тип распылителя		
	Вихревой	Центробежно-струйный	Щелевой
Расход через распылитель $Q_{ж}$, л·с ⁻¹	0,0105	0,0105	0,021
Эффективный угол факела распыла $2\gamma_p$, град.	80	80	110
Наружный радиус кольца R_{ϕ} , м	0,42	0,42	
Внутренний радиус кольца r_{ϕ} , м	0,34		
Большой радиус эллипса a_3 , м			0,50
Малый радиус эллипса b_3 , м			0,10
Перепад давления жидкости на распылителе $\Delta p_{ж}$, МПа	0,2	0,2	0,3
Плотность рабочей жидкости $\rho_{ж}$, кг·м ⁻³	1100	1100	1100
Коэффициент скорости k_{ϕ}	0,98	0,98	0,98
Расход пестицида $Q_{ж}$, л·м ⁻²	0,00039	0,00068	0,00057

Проведенный анализ распылителей позволяет сделать вывод о том, что в объемном опрыскивателе целесообразно использовать вихревой (центробежный) и щелевой распылители, так как они способны обеспечить необходимую густоту покрытия обрабатываемых растений при работе с основными видами пестицидов, применяемыми при обработке вегетирующих полевых культур (гербицидами, фунгицидами, инсектицидами) при минимальных дозах вылива рабочей жидкости. Капли, образующиеся при распыливании ими, преимущественно мелкого и среднего размера, что способствует их глубокому проникновению вглубь растительного массива.

6. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

6.1. Теоретическое обоснование конструкционных параметров ветрозащитного устройства

Обоснуем параметров комбинированного ветрозащитного устройства, выполненного в виде жалюзийной решетки (рис. 6.1). Решетка представляет собой систему пластинок, конгруэнтно смещенных вдоль прямой, называемой осью решетки [141].

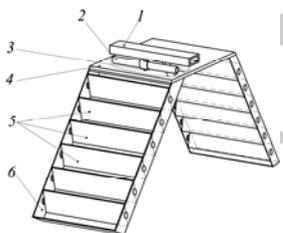


Рис. 6.1. Ветрозащитное устройство комбинированного действия:
1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель;
4 – кронштейн; 5 – прямоугольные пластины (жалюзи); 6 – рамка

Для нашего случая применим следующие термины: *шаг пластин решетки* $h_{пл}$ (расстояние по оси решетки между двумя смежными пластинками) (рис. 6.2) [80]; *угол установки пластин* β (угол между линией поперечного сечения пластинки и осью решетки) [80]; *угол выноса пластин* θ (угол между пластинкой и перпендикуляром к оси решетки) [80].

В отличие от одиночной пластинки или заслонки, скорость воздушного потока впереди и позади решетки различна как по величине, так и по направлению [46]. Решетка не только меняет скорость набегающего на нее воздушного потока, но и перенаправляет его на угол установки пластинок к оси решетки β .

Обозначим вектор скорости воздушного потока перед решеткой через \bar{u}_1 , давление – через p_1 , а за решеткой соответственно – \bar{u}_2 и p_2 . Плотность воздуха до и после решетки одинакова и равна ρ_v .

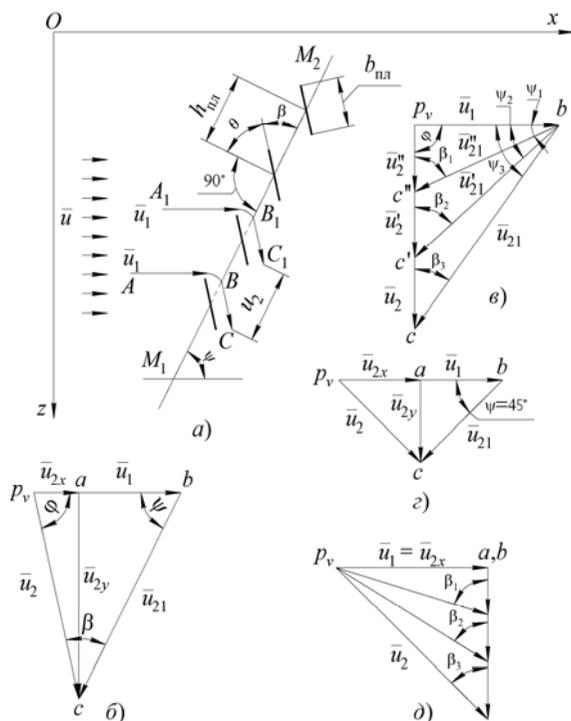


Рис. 6.2. Схема воздействия решетки на величину и направление воздушного потока [31, 99]:

а) – схема установки решетки; б) – общий вид плана скоростей воздушного потока; в) – влияние угла установки решетки на величину горизонтальной составляющей скорости ветра за решеткой; г) – влияние угла установки пластин на величину горизонтальной составляющей скорости ветра за решеткой; д) – влияние угла установки пластин на составляющие скоростей за решеткой при установке решетки перпендикулярно направлению движения воздушного потока

Рассмотрим в плоскости рисунка трубку тока (рис. 6.2, а), образованную двумя какими-либо линиями тока ABC и $A_1B_1C_1$, сдвинутыми по отношению друг к другу в направлении к оси решетки на расстояние, равное шагу $h_{пл}$. Весь поток можно разбить на такие равные между собой трубки тока, так как обтекание пластинок потоком воздуха обладает свойством периодичности с периодом, равным шагу [2]. Обтекание решетки пластин представляется в виде суммы продольного, поперечного и циркуляционного потоков [46]. Количественная характеристика каждого из этих видов обтекания

определяется скоростью u_1 набегающего воздушного потока и геометрическими параметрами решетки.

Характер изменения скорости воздушного потока при поперечном обтекании пластин решетки определяется теоремой сложения скоростей при плоском движении трубки тока [2]:

$$\bar{u}_2 = \bar{u}_1 + \bar{u}_{21}, \quad (6.1)$$

где \bar{u}_1 и \bar{u}_2 – вектора скоростей линий тока воздушного потока перед и за решеткой;

\bar{u}_{21} – вектор отклонения (поворота [46], девиации [80]) скоростей линий тока от первоначального направления, вызванного поперечным обтеканием пластин решетки. Этот вектор направлен параллельно оси решетки.

Взаимосвязь между векторами уравнения (6.1) нетрудно установить по теореме синусов, представив его решение графически в виде плана скоростей с полюсом p_v (рис. 6.2, б):

$$u_2 = u_1 \frac{\sin \psi}{\sin \beta}; \quad (6.2)$$

$$u_{21} = u_1 \frac{\sin(\psi + \beta)}{\sin \beta}. \quad (6.3)$$

где ψ – угол наклона оси M_1M_2 решетки к горизонтальной оси;

β – угол установки пластин относительно оси M_1M_2 решетки.

Из уравнений (6.2) и (6.3) следует, что для уменьшения ветровой нагрузки на факел распыленной жидкости за решеткой, необходимо:

– уменьшить угол ψ наклона решетки к горизонту до допустимой величины;

– увеличить угол установки пластин до максимально возможного значения $\beta = \frac{\pi}{2}$.

Для оценки воздействия воздушного потока, сформировавшегося за решеткой, на факел распыленной жидкости, разложим вектор

скорости \bar{u}_2 , определяемый уравнением (6.1) по координатным осям Ox и Oz (рис. 6.2, б):

$$u_{2x} = u_2 \cdot \cos \varphi = u_1 \left[1 - \frac{\sin(\psi + \beta)}{\sin \beta} \cdot \cos \psi \right]; \quad (6.4)$$

$$u_{2y} = u_2 \cdot \sin \varphi = u_1 \frac{\sin(\psi + \beta)}{\sin \beta} \cdot \sin \psi, \quad (6.5)$$

где φ – угол между векторами скоростей \bar{u}_1 и \bar{u}_2 .

По физической сущности проекция вектора скорости \bar{u}_{2y} , определяемая уравнением (6.5), направлена перпендикулярно поверхности гребня и способствует проникновению распыленного рабочего раствора вглубь растительного покрова. Снос капель жидкости из зоны обработки происходит под действием горизонтальной составляющей вектора скорости \bar{u}_{2x} , определяемой уравнением (6.4). Анализ данного уравнения показывает, что если:

1) $\varphi = 180 - (\psi + \beta) = \frac{\pi}{2}$, то $u_{2x} = 0$. Следовательно, условие движения капель жидкости в горизонтальной плоскости за ветрозащитной решеткой будут соответствовать условию движения капель в неподвижной сопротивляющейся среде (снос капель из зоны обработки будет отсутствовать). Этому условию соответствует бесчисленное множество значений углов α и β , сумма которых может быть равна $\frac{\pi}{2}$ (рис. 6.2, в);

2) $\varphi = 180 - (\psi + \beta) < \frac{\pi}{2}$, то $u_{2x} > 0$. За ветрозащитной решеткой капли жидкости будут сноситься из зоны обработки в сторону движения воздушного потока. Интенсивность сноса определится разностью слагаемых, заключенных в скобки правой части уравнения (6.4); (рис. 6.2, г);

3) $\varphi = 180 - (\psi + \beta) > \frac{\pi}{2}$, то $u_{2x} < 0$. Снос капель жидкости происходит в сторону ветрозащитной решетки;

4) $\psi = \frac{\pi}{2}$ (ось решетки установлена перпендикулярно направлению движения воздушного потока), то $u_{2x} = u_1$ при любых значениях угла β установки пластин (рис. 6.2, д). Эффективность ветрозащитной решетки равна нулю;

5) $\beta = \frac{\pi}{2}$ (пластины установлены перпендикулярно оси решетки), то $u_{2x} = u_1 \cdot \sin^2 \psi < u_1$. Интенсивность сноса капель из зоны обработки будет определяться только углом наклона оси решетки ψ .

Приведенный анализ показывает, что при определенном соотношении между углами ψ и β за ветрозащитной решеткой можно создать условия для распыливания жидкости, близкие к оптимальным даже при большой скорости ветра перед решеткой. Во всех случаях следует обратить внимание на то, что при уменьшении угла ψ снос капель из зоны обработки снижается, а габариты ветрозащитной решетки возрастают до конструктивно неприемлемых размеров. Уменьшение угла β установки пластин приводит к резкому возрастанию вертикальной составляющей скорости воздушного потока за решеткой, что может привести к повреждению не только растений (культурных и сорных), но и поверхности самого гребня.

Для определения минимального соотношения между составляющими воздушного потока найдем отношение левых и правых частей уравнений (6.3) и (6.4):

$$\Delta = \frac{u_{21}}{u_2} = \frac{\sin(\psi + \beta)}{\sin \psi}. \quad (6.6)$$

Приравняв первую производную уравнения (6.6) к нулю, определим минимальное значение угла α установки решетки:

$$\frac{d\Delta}{d\psi} = \frac{\cos(\psi + \beta) \cdot \sin \psi - \sin(\psi + \beta) \cos \psi}{\sin^2 \psi} = 0. \quad (6.7)$$

Уравнение (6.7) обращается в ноль только в случае, если числитель равен нулю:

$$\cos(\psi + \beta) \sin \psi - \sin(\psi + \beta) \cos \psi = 0. \quad (6.8)$$

Используя формулы преобразования тригонометрических функций и свойства нечетных функций, уравнение (6.8) приведем к виду:

$$\operatorname{tg}^2(-\psi) = 1, \text{ или } \operatorname{tg}^2(-\psi) = \pm 1. \quad (6.9)$$

Единственным корнем уравнения (6.9), удовлетворяющим физической сущности поставленной задачи, является значение угла:

$$\psi = \frac{\pi}{4} = 45^\circ. \quad (6.10)$$

При угле установки пластин $\beta = 90^\circ$ и угле наклона оси решетки $\psi = 45^\circ$ составляющие скорости воздушного потока за решеткой будут численно равны:

$$u_{21} = u_2 = 0,71 \cdot u_1, \quad (6.11)$$

$$u_{2x} = u_{2y} = 0,5 \cdot u_1. \quad (6.12)$$

Расчеты по формулам (6.11) и (6.12) показывают, что при скорости ветра $u_1 = 7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ установкой ветрозащитной решетки снос капель распыливаемой жидкости из зоны обработки уменьшится более чем в 5 раз, а горизонтальная составляющая скорости воздушного потока, вызывающая снос, снизится до $3,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что удовлетворяет агротехническим требованиям по химической защите растений в ветреную погоду [31].

Аэродинамические показатели ветрозащитной решетки определяются не только базовыми углами ψ и β , но и геометрическими параметрами пластин, их числом и шагом установки по оси решетки. Взаимосвязь между шагом $h_{\text{пл}}$ решетки и шириной $b_{\text{пл}}$ пластин установим на основании геометрических соотношений между сторонами треугольников E_0E_1E и ED_0F , полученными методом проецирования точки E_1 пластины E_0E_1 на пластину D_0D_1 в направлении действия воздушного потока (рис. 6.3).

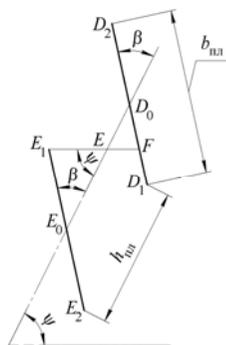


Рис. 6.3. К расчету густоты ветрозащитной решетки

За критерий качества примем густоту решетки, численно равную

$$\delta_{\text{пл}} = \frac{b_{\text{пл}}}{h_{\text{пл}}}. \quad (6.13)$$

Из треугольника E_0E_1E , по теореме синусов, находим

$$E_0E = \frac{0,5 \cdot b_{\text{пл}} \cdot \sin(\psi + \beta)}{\sin \psi}, \quad (6.14)$$

где $b_{\text{пл}} = E_0E_1$.

Обозначим расстояние между точками E_0 и D_0 через шаг решетки $h_{\text{пл}}$. Тогда отрезок ED_0 определится из соотношения:

$$ED_0 = h_{\text{пл}} - E_0E. \quad (6.15)$$

Если отрезок D_0F принять за критерий оценки степени перекрытия двух смежных пластин, то из подобия треугольников E_0E_1E и ED_0F , с учетом зависимостей (6.13) и (6.14), находим

$$\chi = D_0F = \frac{h_{\text{пл}} \cdot \sin \psi}{\sin(\psi + \beta)} - 0,5 \cdot b_{\text{пл}}. \quad (6.16)$$

Для анализа зависимости припишем параметру χ положительное значение, если точка F занимает любое из положений на отрезке D_0D_1 (рис. 6.3). Если же точка F находится на отрезке D_0D_2 , то параметру χ приписываем знак « \leftarrow ». Анализируя зависимость (6.16), нетрудно установить, что:

– если $\chi = 0$ (точки F и D_0 совпадают), то $h_{\text{пл}} = 0,5b_{\text{пл}}$. Густота решетки $\delta_{\text{пл}} = 2$. Решетка называется *густой*;

– если $\chi = -0,5b_{\text{пл}}$ (точки F и D_2 совпадают), то $h_{\text{пл}} = 0$. Густота решетки $\delta_{\text{пл}} = \infty$. Решетка называется *предельно густой*;

– если $\chi = 0,5b_{\text{пл}}$ (точка F и D_1 совпадают), то $h_{\text{пл}} = b_{\text{пл}}$. Густота решетки $\delta_{\text{пл}} = 1$. Решетка называется *нормальной*;

– если $\chi > 0,5b_{\text{пл}}$ (точка F расположена на отрезке D_0D_1), то $h_{\text{пл}} > b_{\text{пл}}$. Густота решетки $\delta_{\text{пл}} < 1$. Решетка называется *редкой*.

Предельно густые решетки способствуют возникновению эффекта аэродинамической трубы. Редкие решетки оказывают весьма незначительное влияние на изменение величины и направления скорости воздушного потока. Следовательно, для изготовления ветрозащитного устройства могут быть использованы нормальные и густые решетки. Экспериментальными исследованиями [106] установлено, что жалюзийные решетки сельскохозяйственных машин с густотой решетки $\delta_{пл} = 1,00 \dots 1,07$ обладают наилучшими аэродинамическими свойствами по равномерности распределения воздушного потока за решеткой и наименьшего давления набегающего потока на пластины.

Густоте решетки, определяемой формулой (6.13), соответствует бесчисленное множество конструктивных решений. Для однозначного решения задачи необходимо согласовать размеры решетки с технологическим процессом, габаритными размерами гребня и конструктивными размерами сельскохозяйственной машины. Применительно к технологии химической обработки задача может быть сформулирована в следующем виде: *как расположить ось ветрозащитной решетки по отношению к траектории полета капель, чтобы в безветренную погоду они не оседали на поверхности пластин*. Если это условие не соблюдается, то капли, попадая на поверхность пластин, образуют пленку, которая, стекая с пластин в виде тонких струй, приводит к снижению качества обработки (неравномерному распределению рабочего раствора по целевому объекту). Решение этой задачи сводится к обоснованию расстояния между точкой на траектории полета капли в вертикальной плоскости и прямой, проведенной определенным образом в этой плоскости. Положение точек на оси решетки определим относительно системы координат, связанной с точкой вылета капли из сопла распылителя (рис. 6.4).

При известной высоте H установки распылителя над обрабатываемой поверхностью высота решетки определится из соотношения:

$$H_1 = (h - h'') + h', \quad (6.17)$$

где h'' – технологический критерий (высота установки решетки над обрабатываемой поверхностью). Пределы этого параметра должны находиться в интервале $0,05 \dots 0,10$ м.

Пределы изменения параметров a_1 и h' (рис. 6.4) определяются конструктивно, из условий удобства монтажа распылителя в корпусе ветрозащитного устройства. Для узкофакельных распылителей ориентировочно можно принять $a_1 = 0,02...0,03$ м, $h' = 0,02...0,03$ м.

В принятой координатной системе положение узловых точек M_1 и M_2 решетки определяются координатами:

$$M_1 \left[x_1 = - \left(a_1 + \frac{h_r}{\operatorname{tg}\psi} \right); z_1 = (h - h'') \right]; \quad M_2 [x_2 = -a_1; z_1 = -h']. \quad (6.18)$$

Расположение оси решетки в системе xOy описывается уравнением прямой, проходящей через две точки [11]:

$$Ax + Bz + C = 0, \quad (6.19)$$

где A, B, C – коэффициенты, определяемые по зависимостям:

$$A = 1; \quad B = \operatorname{tg}\psi; \quad C = (a_1 \cdot \operatorname{tg}\psi + h'). \quad (6.20)$$

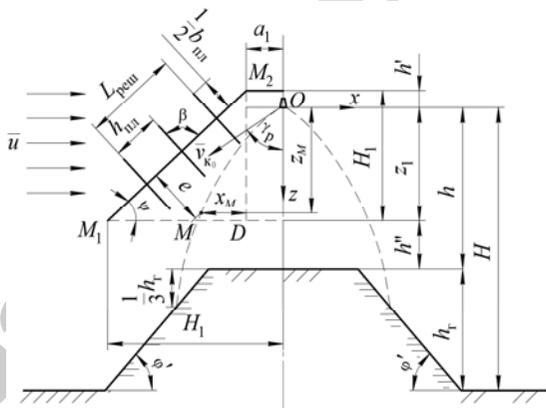


Рис. 6.4. Расчетная схема геометрических параметров ветрозащитной решетки

Общее уравнение прямой приводится к нормальному виду путем умножения всех членов зависимости (6.19) на нормирующий множитель:

$$k_{\text{нм}} (Ax + Bz + C) = 0, \quad (6.21)$$

где $k_{\text{нм}}$ – нормирующий множитель, определяемый по формуле:

$$k_{\text{нм}} = -\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = -\frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi}}. \quad (6.22)$$

Решая уравнение (2.72) без учета третьего члена $(\frac{1}{3} \frac{g x^3 C_T}{v_{\kappa_0}^2 \cdot \sin^3 \gamma_{p_0}})$ относительно параметра x (решение приведено только в отношении координат точек, расположенных на левой ветви параболы), получим

$$x = -\frac{v_{\kappa_0} (-v_{\kappa_0} \cdot \text{ctg} \gamma_{p_0} + \sqrt{(v_{\kappa_0}^2 + 2 \cdot g z) \text{ctg}^2 \gamma_{p_0} + 2 \cdot g z})}{g (1 + \text{ctg}^2 \gamma_{p_0})}. \quad (6.23)$$

Уравнение (6.23) позволяет определить координату x на любой высоте z , отсчитываемой от сопла распылителя.

Расстояние e от данной точки параболы до оси решетки определяется путем подстановки координат x_M и z_M точек параболы в уравнение (6.21):

$$e = -\frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi}} [z_M + x_M \cdot \text{tg} \psi + a_1 \cdot \text{tg} \psi]. \quad (6.24)$$

Непосредственно из расчетной схемы (рис. 6.3) находим ширину пластины ветрозащитной решетки:

$$b_{\text{пл}} = 2e. \quad (6.25)$$

Задавшись густотой решетки в пределах

$$\delta_{\text{пл}} = 1,00 \dots 1,07, \quad (6.26)$$

по зависимости (6.13) определим шаг решетки:

$$h_{\text{пл}} = \frac{b_{\text{пл}}}{\delta_{\text{пл}}}. \quad (6.27)$$

Число пластин определяется из соотношения:

$$n_{\text{пл}} = \frac{L_{\text{реш}}}{h_{\text{пл}}}, \quad (6.28)$$

где $L_{\text{реш}}$ – расстояние между точками M_1 и M_2 оси решетки. Этот параметр определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника M_1DM_2 :

$$L_{\text{реш}} = \frac{H_1}{\sin \psi}. \quad (6.29)$$

Таким образом, формулы (6.27)–(6.29) позволяют определить геометрические параметры ветрозащитной решетки для уменьшения сноса капель из зоны обработки при химической защите растений в ветреную погоду.

6.2. Результаты экспериментальных исследований технологического процесса комбинированного жалюзийного ветрозащитного устройства

6.2.1. Воздействие ветрозащитной решетки на горизонтальный воздушный поток

Для исследования возможностей изменения горизонтального воздушного потока в требуемом направлении с помощью жалюзийной решетки использован метод наблюдения за движением струи дыма в этом потоке (рис. 6.5). Контур дымового шлейфа указывает на хаотичное движение частиц дыма в окружающей среде.

При включении вентилятора движение частиц дыма приобретает струеобразный характер перед решеткой. После прохождения воздушного потока через решетку, траектории движения частиц дыма изменяются, а струя дыма рассеивается над макетом гребня в виде дымовой завесы.



Рис. 6.5. Воздействие ветрозащитной решетки на изменение направленного потока дыма

Опытами установлено, что дымовая завеса наиболее полно покрывает макет гребня, если сумма установочных углов (см. рис. 6.2) находится в пределах $135^\circ \leq (\psi + \beta) \leq 150^\circ$. Плотность

дыма над поверхностью макета гребня оказывается ниже, чем непосредственно за ветрозащитной решеткой. Это объясняется различием расстояний, проходимых струйками дыма от пластин решетки до поверхности макета гребня. Столкнувшись с пластинами решетки, струйки дыма образуют нисходящий воздушный поток. Ниже расположенные струйки, достигнув поверхности гребня раньше, отражаются от нее и образуют восходящий поток. Соударение нисходящего потока от вышерасположенных пластин с восходящим потоком приводит к снижению общей энергии воздушного потока за решеткой и образованию турбулентного движения частиц дыма. Данное наблюдение позволило сделать предположение о возможности использования ветрозащитной решетки и энергии воздушного потока для объемной обработки вегетирующих растений.

6.2.2. Исследования давления воздушного потока на поверхность гребня

Ранее отмечалось, что изменением установочных углов ветрозащитной решетки можно в широких пределах изменять направление и величину воздушного потока в зоне факела жидкости, обеспечив тем самым минимальный снос капель из зоны обработки. Отмечено, что с уменьшением горизонтальной составляющей возрастает динамическое давление (вертикальная составляющая) воздушного потока на обрабатываемую поверхность, что может привести не только к повреждению вегетативной части возделываемых культур, но и к повреждению поверхности гребня.

Из анализа данных, приведенных на рис. 6.6, следует, что динамическое давление, полученное в результате опытов, ниже расчетных данных в 2...3 раза. Это объясняется тем, что в расчетах не учитывались потери давления:

- на трение воздуха о пластины решетки;
- изменение направления потока;
- турбулентность потока, отраженного от поверхности гребня.

Опытами установлено (рис. 6.6), что даже при скорости воздушного потока перед решеткой $10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ динамическое давление воздуха на обрабатываемую поверхность за решеткой не превышает

$5,5 \cdot 10^{-6}$ МПа, что ниже твердости почвы в свеженарезанном гребне [71] или в свежевспаханной почве [132] в 15...20 раз.

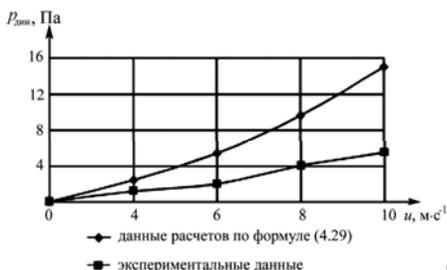


Рис. 6.6. График давления воздушного потока на поверхность гребня в зависимости от скорости ветра перед решеткой (угол установки пластин $\beta = 90^\circ$ и угол наклона оси решетки $\psi = 45^\circ$)

Откуда следует, что изменение величины и направления воздушного потока с помощью ветрозащитного устройства не приведет к разрушению поверхности гребня.

6.2.3. Исследования давления распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность

Давление распыленной жидкости на обрабатываемую поверхность определяется вертикальной составляющей скорости капель в момент соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. В теоретических расчетах определяется скорость отдельных капель и средняя величина для капель заданного класса дисперсности. При проведении исследований по существующим методикам разложить факел распыленной жидкости по классам дисперсности невозможно. Однако экспериментально можно определить давление распыленной жидкости (воздушно-капельной струи) в различных точках обрабатываемой поверхности и среднее значение этого давления в неподвижной и подвижной окружающей среде. Установлено, что в неподвижной воздушной среде факел жидкости, полученный при давлении $0,3$ МПа, с высоты $h = 0,4$ м оказывает на поверхность макета гребня давление около $9,4 \cdot 10^{-6}$ МПа, что эквивалентно вертикальной составляющей скорости в $3,95$ м·с⁻¹ в момент соприкосновения капель с обрабатываемой поверхностью.

Влияние направленного воздушного потока на давление факела распыленной жидкости на поверхность макета гребня, установленного за ветрозащитной решеткой, представлено на рис. 6.7.

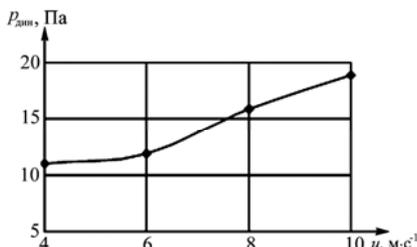


Рис. 6.7. График зависимости между средним давлением воздушно-капельной струи на поверхность макета гребня, установленного за ветрозащитной решеткой, и скоростью u воздушного потока перед решеткой (распылитель Teejet TP40015E, давление в магистрали $p_{ж} = 0,3$ МПа, высота установки распылителя $h = 0,4$ м)

Сопоставляя давление распыленной жидкости в неподвижной и подвижной воздушной среде на поверхность макета гребня, установленного за ветрозащитной решеткой, следует отметить, что:

- при скорости воздушного потока $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ прирост давления составляет около 17 %;
- увеличение скорости воздушного потока до $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ приводит к увеличению давления факела распыла на обрабатываемую поверхность более чем в 2 раза по сравнению с давлением в неподвижной среде.

Следует отметить, что даже в этих условиях давление воздушно-капельной струи на обрабатываемую поверхность не превышает $20 \cdot 10^{-6}$ МПа, что в 5...10 раз ниже твердости почвы на поверхности гребня [31, 71, 132].

6.2.4. Количественная и качественная оценка сноса капель жидкости из зоны обработки без ветрозащитных устройств

Вопросы качественной оценки воздействия ветра на снос капель жидкости из зоны обработки достаточно изучены и известны специалистам, занимающимся проблемой защиты растений и охраны окружающей среды. Количественная оценка этого явления обычно приводится при возникновении чрезвычайных ситуаций, когда тонны

вносимых пестицидов сносятся ветром на десятки и сотни километров. Вопросы количественной оценки сноса капель жидкости ветром из зоны обработки на незначительные расстояния, измеряемые долями метра, актуальны при защите растений, высеянных или посаженных широкорядным способом. Сведения по сносу жидкости в междурядья в известных публикациях отсутствуют.

Распределение жидкости по обрабатываемой поверхности при воздействии на факел распыла направленного воздушного потока

Исследования распределения и сноса жидкости, распыленной в подвижной воздушной среде над объектом обработки, проведены с распылителями *Teejet TP40051E*; *Lurmark 30HCX3* и *РОК-0.6*.

По полученным результатам построены графики распределения жидкости по приемной поверхности макета гребня, распыленной в неподвижную и подвижную окружающую среду распылителем *Teejet TP40015E* (рис. 6.8).

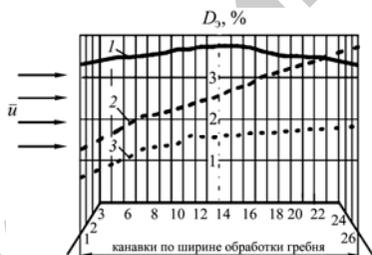


Рис. 6.8. График распределения жидкости по верхней поверхности гребня распылителем *TP40015E* при высоте установки $h = 0,4$ м, давлении $p_{ж} = 0,3$ МПа и скорости воздушного потока:

$$1 - u = 0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}; 2 - u = 4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}; 3 - u = 6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$$

Объем жидкости, осевшей в приемные канавки контролируемой зоны при неподвижной воздушной среде, принят за эталон для сравнения с аналогичным параметром, полученным в опытах с подвижной средой.

Сопоставляя данные (рис. 6.8), следует отметить, что:

- 1) в неподвижной среде распыленная жидкость распределяется симметрично относительно продольной оси макета гребня;
- 2) на каждый сантиметр ширины ленты приходится около 4,55 % жидкости, прошедшей через распылитель в единицу времени;

3) распределение жидкости по ширине гребня примерно равномерное ($v = 3,1\%$);

4) при неизменных условиях работы наличие подвижной воздушной среды приводит не только к уменьшению объема жидкости, приходящейся на 1 см ширины приемной поверхности гребня, но и к асимметрии ее распределения относительно продольной оси гребня.

При скорости воздушного потока (скорость измерялась в зоне расположения распылителя) $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ на обрабатываемую поверхность оседает около 71 % жидкости. Отложение жидкости смещается в сторону направления воздушного потока. В периферийных канавках эти показатели изменяются незначительно (с 3,47 до 3,67 %).

Увеличение скорости воздушного потока до $4 \dots 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ приводит к уменьшению объема жидкости, осевшей на обрабатываемую поверхность, соответственно до 52 и 30 %. При этом объем жидкости, осевший в центре макета гребня, уменьшился с 3,75 % (в неподвижной среде) до 1,6 % при скорости воздушного потока $6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Одновременно с этим в периферийных канавках собирается жидкости в 5...10 раз больше, чем в канавках, расположенных ближе к вентилятору.

Воздействие направленного воздушного потока на факел вихревого *Lurmark 30HCX3* и двухкамерного центробежного распылителей с открытой камерой закручивания РОК-0,6, представлено в виде графиков (рис. 6.9 и 6.10).

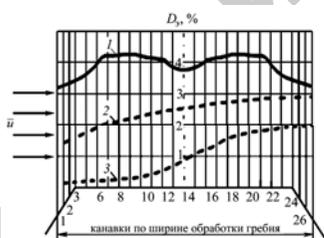


Рис. 6.9. График распределения жидкости по верхней поверхности гребня распылителем 30HCX3 при высоте установки $h = 0,3 \text{ м}$, давлении $p_{ж} = 0,3 \text{ МПа}$ и скорости воздушного потока:
 $1 - u = 0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; $2 - u = 4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; $3 - u = 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

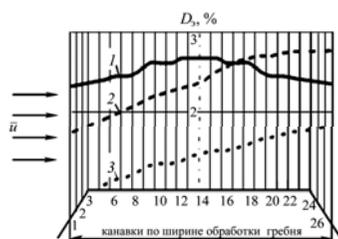


Рис. 6.10. График распределения жидкости по верхней поверхности гребня распылителем РОК-0,6 при высоте установки $h = 0,15 \text{ м}$, давлении $p_{ж} = 0,3 \text{ МПа}$ и скорости воздушного потока:
 $1 - u = 0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; $2 - u = 4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; $3 - u = 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

Анализ этих графиков указывает на сохранение закономерности в асимметрии распределения жидкости по приемной поверхности макета гребня под действием направленного воздушного потока. Отличия в объемах жидкости, осевшей в центральных и периферийных канавках приемной поверхности гребня, обусловлены различием в производительности распылителей и высоте их установки над обрабатываемой поверхностью.

Распределение жидкости за пределами зоны обработки

Разность между объемами жидкости, прошедшей через распылитель и осевшей на приемную поверхность макета гребня, определяет ее снос из зоны обработки. В опытах величина сноса условно разделена на две зоны: зона, контролируемая по дисперсности капель и объему осевшей жидкости; зона, контролируемая только по дисперсности капель. Первая зона условно разбита на 3 участка: 0,1...0,2 м – участок боковой поверхности гребня, обрабатываемый механическим способом; 0,2...0,5 м – участок соседнего гребня с зонами механических и химических обработок; 0,5...1,0 м – участок обрабатываемой поверхности третьего гребня. Ширина второй зоны – 10 м, с контролируемыми точками через 1 м.

Исследованиями установлено, что:

- при номинальных условиях эксплуатации границы оседания капель всех классов дисперсности превышают расчетные на 20...40 % (табл. 6.1);

- на индикаторных карточках до 10...12 % составляют следы капель смежных классов дисперсности;

- на расстоянии 0,1...0,2 м вглубь от прогнозируемых границ следы капель данного класса дисперсности постепенно уменьшаются от большего диаметра к меньшему. Количественная оценка распределения жидкости за пределами зоны обработки представлена в табл. 6.1.

Анализ данных таблицы показывает, что при воздействии направленного воздушного потока происходит перераспределение жидкости по объекту обработки. В опытах отмечено, что при номинальных условиях опрыскивания и скорости направленного воздушного потока $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, свыше 10 и 19 % жидкости, распыленной соответственно распылителями *TP4005E* и *30HCX3*, сносятся из зоны обработки на расстояние до 0,1 м и около 0,1 % – на расстояние более 1 м. Свыше 5 %

жидкости, прошедшей через щелевой распылитель *TP4005E*, оседает на боковой поверхности макета гребня. Около 4 % распыленной жидкости оседает на расстоянии 0,2...0,5 м и около 2 % распыленной жидкости сносится на расстояние более 0,5 м.

Таблица. Параметры сноса рабочей жидкости за пределы требуемой зоны обработки

Марка распылителя	Высота установки распылителя, м	Давление распыла, МПа	Время опыта, мин	Объем жидкости, прошедшей через распылитель за время опыта, мл	Скорость воздушного потока, м·с ⁻¹	Количество жидкости (мл/%), снесенной воздушным потоком от оси симметрии гребня на расстояние в пределах границ, м:			
						0,1...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0	> 1,0
<i>Teejet TP4005E</i>	0,40	0,3	30	6000	2	327/5,45	239/3,98	97/1,62	6/0,1
					3	364/6,06	486/8,1	640/10,7	103/1,72
					4	504/8,4	782/13,03	844/14,07	412/1,86
					5	625/10,4	804/13,4	1014/16,9	1403/23,4
					6	742/12,37	883/14,72	1258/20,97	1719/28,65
					7	782/13,03	953/15,88	1320/22,0	2347/39,1
					<i>Lurmark 30HCX3</i>	0,30	0,3	30	5970
3	811/14,0	826/14,26	285/4,92	143/2,47					
4	976/16,85	904/15,61	576/9,95	428/7,4					
5	1439/24,85	1074/18,55	742/12,81	692/11,95					
6	1586/27,39	1210/20,9	1160/20,03	833/14,38					
POK-0.6	0,15	0,3	10	4800					
					4	576/12	369/7,7	266/5,5	56/1,17
					5	872/18,2	720/15,0	56/11,8	322/6,7
					6	1138/23,7	980/20,4	560/11,7	416/8,7
					7	1360/28,3	958/20,0	760/15,8	580/12,1

Дальнейшее увеличение скорости воздушного потока приводит к резкому увеличению объема жидкости, сносимой за пределы зоны, контролируемой по объему. Например, при скорости воздушного потока $u = 7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ из зоны обработки сносится до 76 % капель жидкости, генерируемых распылителем *TP40015E*. При этом снос за пределы контролируемой зоны (далее 1 м от оси макета гребня) возрастает с 0,1 % (при $u = 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) до 39,1 % (при $u = 7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$).

Объем жидкости, прошедший через распылитель *30НСХЗ* и снеженный воздушным потоком ($u = 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) на расстояние 0,1...0,2 м и 0,2...0,5 м от центра макета гребня, соответственно составляет 10,4 и 6,73 %. Снос жидкости на расстояние более 1 м составляет около 0,1 %. С увеличением скорости воздушного потока до $6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ снос капель жидкости возрастает до 83 %. При этом около 17 % жидкости сносится на расстояние более 1 м. Это примерно в 2 раза меньше объема жидкости, снесенной воздушным потоком с аналогичными параметрами, воздействующим на факел распылителя *ТР40015Е*.

Данное явление объясняется двумя причинами:

- различием высоты установки распылителей над поверхностью макета гребня;
- различием в формах факела распыла (многократно отмечено при проведении опытов): плоский факел распылителя *ТР4005Е* менее устойчив к воздействию воздушного потока, чем конусообразный факел распылителя *30НСХЗ*.

Экспериментально установлено, что воздействие воздушного потока ($u \leq 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) на факел распылителя РОК-0.6 практически не приводит к перераспределению жидкости, оседаемой на поверхность макета гребня. Заметные изменения в распределении жидкости по поверхности макета гребня наступают при скорости воздушного потока более $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Из данных, приведенных в табл. 6.1, видно, что при скорости воздушного потока $u = 4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ с обрабатываемой поверхности сносится около 5 % жидкости, прошедшей через распылитель РОК-0.6, что примерно в 5...7 раз меньше, чем при использовании распылителей *ТР40015Е* и *30НСХЗ* в аналогичных условиях работы. Увеличение скорости воздушного потока с 4 до $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ приводит к увеличению сноса жидкости из зоны обработки до 24...75 %. Из приведенного анализа следует, что факел жидкости распылителя РОК-0.6 более устойчив к воздействию воздушного потока, чем факелы распылителей *ТР40015Е* и *30НСХЗ*.

Качественная оценка сноса капель из зоны обработки

Для определения дальности сноса капель под действием направленного воздушного потока принят распылитель *ТР40015Е*, предназначенный для ленточного внесения пестицидов. Высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью макета

гребня – 0,4 м; давление жидкости – 0,3 МПа. Скорость воздушного потока изменялась от 2 до 7 м·с⁻¹. Дальность сноса определялась для капель различного класса дисперсности. Класс дисперсности снесенных капель определялся путем сравнения следов капель на индикаторных карточках, размещенных в контрольных точках вдоль направления дрейфа, с отпечатками монодисперсных капель на шаблонах.

Результаты обработки полученных данных представлены на рис. 6.11. Для сравнения, на этом же рисунке приведены теоретические кривые, определяющие снос капель первого и второго классов дисперсности (40...80 мкм и 81...160 мкм).

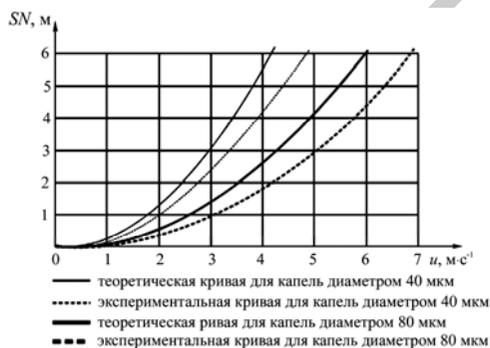


Рис. 6.11. График сноса капель жидкости в зависимости от скорости воздушного потока u (распылитель TP40015E, высота установки $h = 0,4$ м)

Общей закономерностью сноса капель направленным воздушным потоком из зоны обработки является непрерывная последовательность распределения следов капель на индикаторных карточках. При любой скорости потока воздуха дальше сносятся мелкие капли, ближе к распылителю оседают крупные капли.

Сопоставлением следов капель на контрольных индикаторных карточках, закрепленных на выступах желобчатой приемной поверхности, со следами капель, принятыми за шаблон, установлено, что при скорости воздушного потока 2 м·с⁻¹ на расстоянии 0,4...0,5 м от центра распыла оседают капли диаметром 40...80 мкм. С удалением от центра распыла в направлении движения воздушного потока на расстояние 0,5...1,0 м диаметр следов капель уменьшается до 10...50 мкм.

Увеличение скорости воздушного потока от 2 до 3 м·с⁻¹ характеризуется смещением границ оседания капель всех классов дисперсности. Например, при скорости воздушного потока $u = 3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ на расстоянии 0,4...0,6 м от центра распыла оседают капли диаметром 150...170 мкм. Капли диаметром 40...80 мкм сносятся потоком воздуха до 2,8 м, что близко к расчетной величине ($SN = 3 \text{ м}$).

Дальнейшее увеличение скорости воздушного потока приводит к более значительному отклонению в величине сноса капель из зоны обработки с теоретическими расчетами. Расхождение в опытных и теоретических данных достигает 30...40 %. Это объясняется тем, что в расчетах принималась скорость ветра на бесконечном промежутке постоянной. В лабораторных условиях с удалением от вентилятора энергия направленного воздушного потока уменьшается за счет расширения этого потока во всех направлениях и за счет трения между слоями воздуха.

6.3. Влияние ветрозащитной решетки на распределение жидкости в зоне внесения пестицида

Сопоставляя полученные результаты, отметим, что, воздействуя ветрозащитной решеткой на воздушный поток, можно повысить коэффициент целевого использования жидкости даже при скорости ветра 6 м·с⁻¹. Так, при установке оси решетки под углом $\psi = 45^\circ$ к горизонту и скорости воздушного потока 4 м·с⁻¹ коэффициент целевого использования жидкости повышается с 52,0 % (без решетки) до 70,4 %. Хотя по сравнению с неподвижной средой этот показатель меньше на 1,2 %. При увеличении скорости воздушного потока с 4 до 6 м·с⁻¹, неизменных параметрах распыла и установки решетки коэффициент целевого использования жидкости повышается с 29,7 % (без ветрозащитного устройства) до 61,0 %, что на 10,6 % меньше, чем в неподвижной среде. Увеличение угла наклона оси решетки ψ с 45 до 60° приводит к незначительному уменьшению коэффициента целевого использования на 6,4 и 10,0 % соответственно при скорости воздушного потока 4 и 6 м·с⁻¹. Следует также отметить, что при изменении угла установки решетки в пределах $\psi = 45 \dots 60^\circ$ и скорости воздушного потока 4...6 м·с⁻¹ асимметрия

отложения жидкости по поверхности гребня, характерная при распыле жидкости без защиты факела, заметно снижается.

Таким образом, экспериментально установлено, что с помощью ветрозащитной решетки можно увеличить коэффициент целевого использования и равномерность отложения жидкости при необходимости внесения пестицидов в ветреную погоду.

Исследования обработки вегетирующей части растений проводились с распылителем *Lurmark TP40015E*, установленным на высоте $h = 0,4$ м над поверхностью ленты при давлении жидкости $p_{ж} = 0,3$ МПа. В качестве изменяемого параметра принята скорость потока воздуха на выходе из вентилятора, которая в опытах составляла 0; 4; 7 м·с⁻¹. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 6.12.

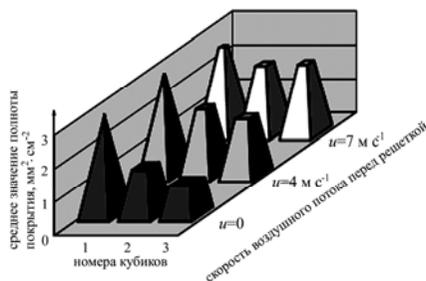


Рис. 6.12. Диаграмма полноты покрытия поверхностей кубиков следами капель жидкости в зависимости от скорости воздушного потока перед жалюзийной решеткой (распылитель *Lurmark TP40015E*; высота установки $h = 0,4$ м; рабочее давление жидкости $p_{ж} = 0,3$ МПа)

Отметим, что в неподвижной среде средняя полнота покрытия следами капель всех граней первого кубика составляет 3,1 мм²·см⁻². Неравномерность распределения следов капель по поверхностям кубика оценивается коэффициентом вариации и составляет 16,1 %. При этом полнота покрытия верхней горизонтальной грани x_1 выше среднего значения на 74 %, а нижней грани x_2 – ниже на 16 %. Полнота покрытия всех вертикальных граней (y_1, y_2, z_1, z_2) отличается от средней величины на 8...17 %. Увеличение скорости воздушного потока перед решеткой до 4 и 7 м·с⁻¹ приводит к снижению средней полноты покрытия всех граней данного кубика до 3,0 и 2,58 мм²·см⁻². Снижение коэффициента вариации с 16,1 % до 9,0 и 15,0 % при скорости воздушного потока соответственно 4 и 7 м·с⁻¹

указывает на более равномерное распределение капель жидкости в пространстве. Если в неподвижной среде полнота покрытия верхней x_1 и нижней x_2 граней отличалась в 2 раза, то при скорости воздушного потока 4 и $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ этот показатель снизился соответственно в 1,5 и 1,3 раза.

При скорости воздушного потока 4 и $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ средняя густота покрытия всех граней ($x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$) второго кубика возросла соответственно на 38 и 39 % по отношению к аналогичному параметру в неподвижной среде. Коэффициент вариации снизился с 19,0 до 7,8 %.

В неподвижной среде среднее значение полноты покрытия всех граней третьего кубика составляет $0,99 \text{ мм}^2 \cdot \text{см}^{-2}$, что более чем в 3 и 1,5 раза ниже, чем у первого и второго кубиков. При увеличении скорости воздушного потока перед решеткой до 4 и $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ среднее значение контролируемого параметра возрастает на 75 и 110 %. Неравномерность распределения капель по плоскостям в пространстве для данного кубика практически не изменилась. Коэффициент вариации составил: 17,1 % – в неподвижной среде и соответственно 15,7 и 18,9 % – при скорости воздушного потока перед решеткой 4 и $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Применение ветрозащитной решетки на агрегате для междурядной обработки и ленточного внесения пестицидов позволяет:

- выдержать требования по срокам химической обработки посевов овощных культур (даже при скорости ветра до $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) и тем самым обеспечить наиболее благоприятные условия развития растений на протяжении вегетационного периода;

- значительно уменьшить снос капель распыливаемой жидкости из зоны обработки, тем самым снизить непроизводительные потери пестицида;

- повысить качество обработки (густоту покрытия целевого объекта), при этом обеспечив требования по защите окружающей среды.

Приведенный анализ показывает, что ветрозащитное устройство, изготовленное по принципу жалюзийной решетки, позволяет не только предотвратить снос капель из зоны внесения пестицидов, но и повысить качество объемной обработки вегетативной части растений.

7. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Широкое распространение ветрозащитные устройства факела распыла активного действия нашли в конструкциях объемных опрыскивателей. Принципы их действия заключаются в следующем. При включенном насосе рабочая жидкость подается через регулятор расхода под определенным давлением к гидравлическим распылителям, установленным на штанге, которые в виде воздушно-капельных струй выбрасывают ее в атмосферу. Одновременно, при включенном вентиляторе, воздух нагнетается в воздуховодные рукава, откуда вылетает струями через выпускные насадки. Воздушный поток, формирующийся после слияния независимых струй, вступает во взаимодействие со сплошным воздушно-капельным потоком от распылителей, подхватывает распыленные частицы рабочей жидкости и, преодолевая воздействие ветра, с ускорением доставляет вглубь растений, обрабатывая не только всю листовую поверхность, но и стебли растений мелкой дисперсной средой. Поэтому при изучении работы ветрозащитных устройств активного действия необходимо исследовать не только процесс транспортировки капель рабочего раствора, но и качество его распределения по обрабатываемому объекту.

Опрыскиватели объемного действия основаны на взаимной работе гидравлической и воздуховодной системы.

Гидравлическая система – это система, предназначенная для распыливания рабочей жидкости на капли требуемого размера.

Воздуховодная система – это система, предназначенная для создания направленного воздушного потока, осуществляющего транспортирование капель рабочей жидкости к обрабатываемым растениям, отклонение стеблей, шевеление листьев, обеспечивая доступ к труднодоступным для обработки поверхностям и снижающего потери рабочих растворов пестицидов из-за сноса.

7.1. Обоснование параметров воздуховодной системы

Вопросами изучения воздуховодных систем занимались Г.Н. Абрамович, В.Н. Талиев, В.Ф. Федоров, В.И. Эльтерман,

В.К. Батурина, А.Л. Альштуль и др. Применительно к системе воздухораспределения в объемном опрыскивателе наибольший интерес представляют работы Г.Н. Абрамовича, В.Н. Талиева, В.К. Батурина. Рассмотрим основные положения теории раздачи воздуха и расчета воздухораспределительных систем.

7.1.1. Основы теории расчета воздухораспределительных систем

Выделяют два вида воздухораспределительных систем: с равномерной и неравномерной раздачей воздуха.

Главное требование, предъявляемое к воздухораспределительной системе объемного опрыскивателя, заключается в равномерном распределении воздуха по длине воздухораспределительного рукава и создании равномерного скоростного поля. Поэтому выполним анализ систем только равномерной раздачи воздуха.

В таких воздухораспределительных системах равномерное распределение воздуха достигается путем устройства ряда отверстий или непрерывной щели вдоль всего воздухораспределительного рукава. При этом воздухораспределительные рукава бывают трех типов: 1) переменного (конусного) сечения с шириной щели изменяющейся или постоянной по длине; 2) постоянного сечения со щелью постоянной или переменной ширины по длине; 3) постоянного или переменного сечений с отверстиями различной площади по длине рукава [38].

При работе объемного опрыскивателя необходимо создать равномерное скоростное поле воздушного потока, следовательно, по всей длине воздухораспределительного рукава скорость и направление воздушных струй должны быть одинаковыми. При выполнении ряда отверстий одинакового диаметра в воздухораспределительных рукавах постоянного сечения не удастся обеспечить равномерное распределение воздуха. Объяснить это можно неодинаковым статическим давлением по их длине. Кроме того, благодаря влиянию сравнительно больших скоростей потока на начальном участке воздухораспределительного рукава воздух из первых отверстий вытекает под небольшим углом к оси рукава, настилаясь на последний, и только по мере приближения к концу воздуховода принимает нормальное положение (рис. 7.1), обуславливая так называемое «явление настильности» [5, 38].

Угол φ_v , образуемый вектором абсолютной скорости с продольной осью воздухораспределительного рукава, определяется соотношением динамического и статического давлений в рассматриваемом сечении и в общем случае является переменным по длине рукава. Направление скорости определяется как равнодействующая, построенная на двух векторах скоростей, соответствующих динамическому и статическому давлениям. Скорость v_x равна скорости потока внутри воздухораспределительного рукава, скорость v_z вызывается статическим давлением внутри рукава (рис. 7.1).

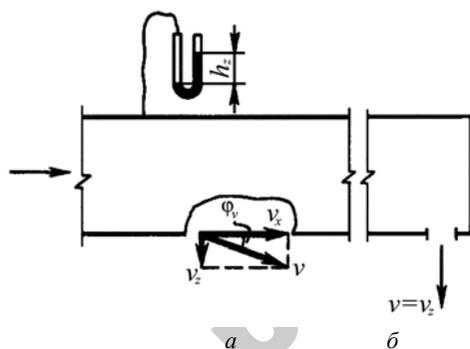


Рис. 7.1. Схема истечения воздуха из первых (а) и последних (б) от вентилятора отверстий

Чтобы скорости истечения из равных по площади отверстий были одинаковыми, статическое давление воздуха внутри воздухораспределительного рукава должно быть одинаковым в поперечных сечениях, проходящих через каждое отверстие. В этом случае потери давления должны компенсироваться изменением динамического давления. Статическое давление остается постоянным. Такой рукав (постоянного статического давления) должен иметь по длине переменное сечение (конический воздухораспределительный рукав) [38].

В дальнейшем будем рассматривать конический воздухораспределительный рукав как наиболее соответствующий требованиям равномерной раздачи воздуха, необходимой для обеспечения эффективной работы объемного опрыскивателя [75].

Обеспечить одинаковое направление истечения воздуха по всей длине воздухораспределительного рукава можно установкой насадков.

Насадки позволяют увеличить пропускную способность отверстия. На рис. 7.2 показаны основные типы насадков и характер истечения воздуха из них [45, 78, 136].

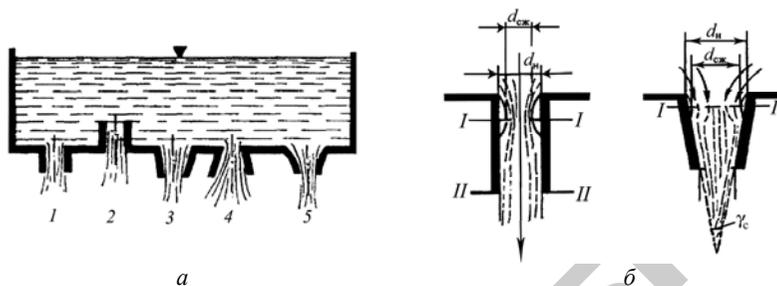


Рис. 7.2. Типы насадков (а) и характер истечения воздуха (б) из них: 1 – внешний цилиндрический, 2 – внутренний цилиндрический, 3 – конически сходящийся, 4 – конически расходящийся, 5 – коноидальный

В сечении I-I (рис. 7.2, б) происходит небольшое сжатие струи во всех типах насадков, кроме коноидального, имеющего форму, близкую к форме струи, затем струя полностью заполняет сечение насадка.

При истечении в атмосферу вследствие сжатия струи образуется кольцевое пространство, не заполненное воздухом, в котором давление меньше атмосферного (вакуум). При этом разрежение действует всасывающим образом: действующий напор увеличивается вследствие вакуума, а коэффициент расхода насадка μ , отнесенный к входному отверстию, возрастает. Например, для внешнего цилиндрического насадка коэффициент расхода равен 0,82 по сравнению с коэффициентом расхода при истечении из круглого отверстия в тонкой стенке 0,62, то есть пропускная способность увеличивается в 1,3 раза при одинаковом диаметре выпускных отверстий [136]. В табл. 7.1 приведены коэффициенты истечения различных типов насадков [45, 78, 136].

Анализируя изложенное, можно сделать вывод, что для обеспечения условий равномерной раздачи воздуха необходимы воздухо-распределительные рукава конической формы, снабженные насадками коноидальной формы.

Таблица 7.1. Значения коэффициентов истечения

Тип насадка	Коэффициент		
	скорости k_{ϕ}	сжатия струи ϵ	расхода μ
Наружный цилиндрический	0,82	1,0	0,82
Внутренний цилиндрический	0,71	1,0	0,71
Конический сходящийся	0,963	0,982	0,946
Конический расходящийся	0,45	1,0	0,45
Коноидальный	0,98	1,0	0,98

10

При проектировании воздухораспределительной системы важным моментом является аэродинамический расчет, заключающийся в выявлении основных характеристик элементов воздухораспределительной системы при перемещении через нее воздуха. Расчет сводится к определению диаметров воздухораспределительных рукавов и потерь давления при протекании заданных объемов воздуха по их длине и при истечении из насадков.

Существуют четыре метода аэродинамического расчета воздухораспределительных рукавов:

- 1) по удельным потерям на трение;
- 2) приведенному коэффициенту местного сопротивления;
- 3) методу приведения местных сопротивлений к линейным;
- 4) методу эквивалентных отверстий.

Метод приведения местных сопротивлений к линейным и расчет по приведенному коэффициенту местного сопротивления применяются для паропроводов высокого давления и сжатого воздуха.

Метод эквивалентных отверстий применяется для расчета воздухораспределительных рукавов прямоугольного сечения.

Наиболее приемлем для расчета воздухораспределительных рукавов круглого сечения, предназначенных для перемещения атмосферного воздуха, метод удельных потерь на трение.

Равномерная раздача в воздухораспределительных рукавах переменного сечения обеспечивается постоянством статического давления. При этом для сохранения статического давления постоянным по длине рукавов нужно, чтобы гидравлические потери на

трение в них компенсировались соответствующим падением динамического давления, что обеспечивается пропорциональным снижением скорости движения воздуха и изменением сечения рукавов.

Необходимое динамическое давление $p_{\text{дин}}$ для воздухораспределительного рукава определяют по формуле [38]:

$$p_{\text{дин}} = \frac{v_{\text{в нач}}^2 \rho_{\text{в}}}{2}, \quad (7.1)$$

где $v_{\text{в нач}}$ – скорость внутри воздухораспределительного рукава в начальном сечении, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Статическое давление $p_{\text{ст}}$ одинаковое по всей длине воздухораспределительного рукава определяется по формуле:

$$p_{\text{ст}} = \frac{v_{\text{в0ср}}^2 \xi_{\text{мс}} \rho_{\text{в}}}{2}, \quad (7.2)$$

где $v_{\text{в0ср}}$ – средняя скорость выхода воздуха из насадков, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\xi_{\text{мс}}$ – коэффициент местного сопротивления при входе и выходе воздуха из насадков (можно принять $\xi_{\text{мс}} = 1,5$; $0,5$ – на сжатие потока при входе в насадок, $1,0$ – на выход [38]).

Начальный диаметр воздухораспределительного рукава определяется по формуле:

$$D_{\text{в нач}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{в}}}{3600\pi v_{\text{в нач}}}}, \quad (7.3)$$

где $Q_{\text{в}}$ – общее количество воздуха, подаваемого в воздухораспределительный рукав, $\text{м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$.

Воздухораспределительный рукав разбивается на n участков. Для каждого участка определяются:

- 1) потери динамического давления на трение [54]:

$$R_{в\ уд_i} = \lambda_i \frac{l_{уч_i}}{D_{в_i}} \frac{v_{в_i}^2 \rho_{в}}{2}, \quad (7.4)$$

где $\lambda_i = \frac{0,0154}{\sqrt[3]{D_{в_i}}}$ – коэффициент потерь на трение по длине воздухо-

распределительного рукава [54];

$l_{уч_i}$ – длина рассматриваемого участка, м;

$D_{в_i}$ – диаметр воздухораспределительного рукава на i -м участке, м;

$v_{в_i}$ – скорость воздуха внутри воздухораспределительного рукава на i -м участке, м·с⁻¹;

2) скорость воздушного потока в воздухораспределительном рукаве на i -м участке [5]:

$$v_{в_i} = \sqrt{\frac{2p_{дин_i}}{\rho_{в}}}; \quad (7.5)$$

3) диаметр воздухораспределительного рукава на i -м участке:

$$D_{в\ нач} = \sqrt{\frac{Q_{p_i}}{0,785v_{в_i}}}, \quad (7.6)$$

где Q_{p_i} – количество воздуха, подаваемого в i -й участок воздухо-
распределительного рукава, м³·с⁻¹.

Зная скорости в начале $v_{в\ нач}$ и в конце $v_{в\ кон}$ воздухораспределительного рукава, найдем разницу динамических давлений $\Delta p_{дин}$:

$$\Delta p_{дин} = \frac{\rho_{в}(v_{в\ нач}^2 - v_{в\ кон}^2)}{2}. \quad (7.7)$$

Средние удельные потери давления на одном метре длины воздухо-
распределительного рукава определяются по формуле:

$$R_{\text{в уд ср}} = \frac{(R_{\text{в уд нач}} + R_{\text{в уд кон}})}{2}. \quad (7.8)$$

Потери давления на трение всего воздухораспределительного рукава составят:

$$\sum R_{\text{в уд}} l_p = R_{\text{в уд ср}} l_p, \quad (7.9)$$

где l_p – длина воздухораспределительного рукава, м.

Если потери давления на трение $\sum R_{\text{в уд}} l_p$ не превышают разницу динамических давлений $\Delta p_{\text{дин}}$, то расчет воздухораспределительного рукава выполнен правильно:

$$\sum R_{\text{в уд}} l_p = \Delta p_{\text{дин}}. \quad (7.10)$$

Полное давление воздухораспределительного рукава определяется как сумма статического и динамического давлений в начальном сечении воздухораспределительного рукава:

$$p = p_{\text{дин}} + p_{\text{ст}}. \quad (7.11)$$

Для обоснования количества, размеров и размещения выпускных насадков в воздухораспределительных рукавах, а также начальной скорости выхода воздуха из них необходимо предварительно изучить теорию воздушных струй.

7.1.2. Анализ известных теорий воздушных струй

При истечении направленной воздушной струи в окружающее пространство мы имеем дело со свободной турбулентной струей [38].

Теоретическому и экспериментальному исследованию турбулентных струй посвящены работы Г.Н. Абрамовича, Г.А. Максимова, В.В. Батурина, В.Н. Талиева и др.

До настоящего времени не существует строгого теоретического решения задачи о свободной турбулентной струе. Все известные теории опираются на ту или иную гипотезу о характере свободной турбулентности.

На основе этих гипотез разработаны расчетные схемы, с помощью которых ведется расчет струй для различных практических целей.

Большинство существующих теорий объясняют турбулентность струи беспорядочным движением вихревых масс в ней.

На практике наиболее широкое применение получили формулы Г.Н. Абрамовича, установившего зависимости между различными параметрами турбулентной струи [1]. Им предложена схема свободной турбулентной струи (рис. 7.3) [1, 62, 136]. При построении схемы струи сделано допущение, что на выходе из насадка скорость потока одинакова по всему поперечному сечению струи.

Из насадка 1 диаметром d_n с равномерной скоростью v_0 вытекает воздух, образующий расширяющуюся струю. Внутри струи в некоторой области 2 сохраняется постоянная скорость, равная скорости при истечении. Эту область называют ядром струи. Ядро по направлению скорости постепенно размывается и исчезает.

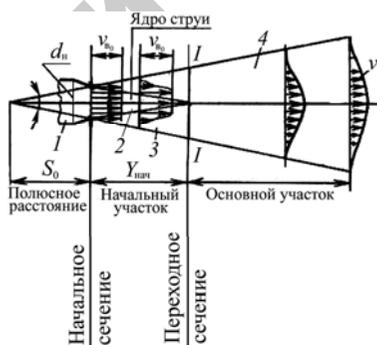


Рис. 7.3. Схема свободной турбулентной воздушной струи

Сечение $I-I$, в котором завершается размытие ядра струи, называется переходным сечением.

Участок струи, лежащий до переходного сечения, называется начальным, а за этим сечением – основным.

Начальный участок состоит из ядра струи 2 и пограничного слоя 3 , в котором скорость воздуха уменьшается по мере удаления от границ ядра к границе струи, где скорость равна нулю.

Основной участок состоит из пограничного слоя 5 .

Точка пересечения внешних границ струи образует ее полюс (точка O).

Границы струи криволинейны, но в целях упрощения расчетных формул заменены ломаными линиями, состоящими из двух прямых. Излом происходит в переходном сечении.

При турбулентном режиме истечения струи имеет место осевое и поперечное движение частиц. Частицы, выбрасываемые при своем поперечном движении за пределы начального участка, сталкиваются с частицами граничащего окружающего воздуха и, сообщая им некоторую скорость, увлекают их. На место частиц, выброшенных из потока, в него попадают частицы из окружающего воздуха. Эти частицы, проникнув в струю, подтормаживают ее.

Так происходит перемешивание воздуха струи с воздухом среды. Масса струи в направлении течения возрастает, ширина струи увеличивается, но скорости уменьшаются. При этом оказывается, что масса струи увеличивается во столько же раз, во сколько уменьшается средняя скорость, а произведение массы струи на скорость (количество движения) остается постоянным.

В теорию свободной струи Г.Н. Абрамович ввел безразмерный коэффициент a^* , определяемый опытным путем. Он учитывает турбулентность струи. Значение коэффициента a^* определяется типом отверстий.

Чем выше начальная турбулентность струи, тем интенсивнее подмешивается к ней окружающий воздух, образуется больший угол расширения струи, короче длина начального участка, интенсивнее снижается осевая скорость в основном участке.

Абрамович Г.Н. экспериментально доказал, что эпюры скоростей в различных поперечных сечениях струи подобны и при построении их в безразмерных координатах совпадают друг с другом, если в безразмерные координаты вводить коэффициент a^* , характеризующий начальную турбулентность (рис. 7.4) [62].

Коэффициент турбулентности a^* зависит от формы отверстия (насадка), из которого выпускается струя (табл. 7.2) [12]. Профессор Г.Н. Абрамович получил на основании экспериментальных данных основные параметры круглых (осесимметричных) и плоских свободных турбулентных струй. В табл. 7.3 приведены основные зависимости для определения параметров круглой струи [62].

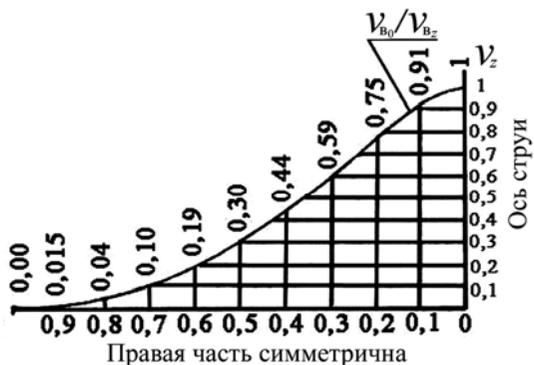


Рис. 7.4. Безразмерный профиль скоростей для любого поперечного сечения струи основного участка

Таблица 7.2. Значения параметров турбулентной струи

Тип отверстия	Коэффициент турбулентности a^*	Угол расширения струи $2\gamma_p$
Круглое отверстие, поджатое на выходе	0,066	$25^\circ 40'$
Простая цилиндрическая труба	0,07	27°
Короткий цилиндрический патрубок	0,076	29°
Диффузор с углом раскрытия $8 \dots 10^\circ$ или труба с мелкой решеткой на выходе	0,08	—
Плоские насадки с соотношением сторон	1:20	—
	1:10	—
Квадратный насадок	0,09...0,10	—
Прямоугольный насадок с направляющими лопатками на выходе	0,17...0,20	—

Таблица 7.3. Основные зависимости для определения параметров круглой свободной турбулентной струи

Наименование	Начальный участок струи	Основной участок струи
Полусное расстояние	$S_0 = \frac{0,145d_n}{a^*}$	—
Длина начального участка	$y_{\text{нач}} = \frac{0,335d_n}{a^*}$	—
Осевая скорость	$v_{B_z} = 1$	$v_{B_0} = \frac{0,48}{a^* \frac{y}{d_n} + 0,145}$
Расход воздуха	$Q_{B_y} = 1 + 1,52a^* \frac{y}{d_n} + 5,28 \left(a^* \frac{y}{d_n} \right)^2$	$Q_{B_0} = 4,36 \left(a^* \frac{y}{d_n} + 0,145 \right)$
Диаметр струи	$d_y = 6,8 \left(a^* \frac{y}{d_n} + 0,145 \right)$	$d_n = 6,8 \left(a^* \frac{y}{d_n} + 0,145 \right)$
Тангенс угла бокового расширения	—	$\text{tg } \gamma = 3,4a^*$

Целесообразность использования предложенной методики расчета круглых струй Г.Н. Абрамовича подтверждена экспериментальными и теоретическими исследованиями других ученых, занимавшихся вопросами изучения воздушных струй.

Формулы для расчета плоских струй на практике дают большие погрешности. Опыты И.О. Замазия, С.Б. Старка, М.И. Гримитлина [12] со струями, вытекающими из отверстий круглого, квадратного, прямоугольного и треугольного сечений, показали, что во всех случаях струя вскоре после истечения превращается в осесимметричную и подчиняется закономерностям круглой струи Абрамовича. Экспериментальные исследования применительно к прямоугольным отверстиям показали, что эта трансформация заканчивается

приблизительно на расстоянии $10d_3$, если считать $d_3 = \sqrt{\frac{\pi d_n^2}{4}}$ [62].

Однако получение более точных данных вследствие влияния на трансформацию плоской струи многих факторов, большинство из которых не поддаются количественной оценке, не представляется

возможным. В связи с этим при расчетах используют зависимости для круглой свободной турбулентной струи.

Теория струй Г.Н. Абрамовича обосновывает закон изменения безразмерной осевой скорости (табл. 7.2) в виде:

$$\frac{v_{B_y}}{v_{B_0}} = \frac{0,48}{\left(a^* \frac{y}{d_H} + 0,145 \right)}, \quad (7.12)$$

где v_{B_y} – скорость воздушной струи на расстоянии y от выпускных насадков, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

v_{B_0} – скорость выхода воздуха из насадков, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

a^* – коэффициент турбулентности;

y – расстояние от плоскости выпускных насадков до рассматриваемой плоскости, м.

Отсюда скорость выхода воздуха из насадков определяется по формуле:

$$v_{B_0} = \frac{v_{B_y} \left(a^* \frac{y}{d_H} + 0,145 \right)}{0,48}. \quad (7.13)$$

В воздухораспределительной системе объемного опрыскивателя мы имеем дело с n количеством струй, вытекающих параллельно друг другу из n_H выпускных насадков. Чем меньше расстояние между насадками (шаг расстановки), тем быстрее струи вступают во взаимодействие, и на объект обработки будет воздействовать более равномерное скоростное поле. В реальных условиях скорости в насадках, даже при условии равномерного распределения воздуха по длине воздухораспределительного рукава, могут несколько отличаться друг от друга, поэтому в расчетах целесообразно принимать среднюю выходную скорость, определяемую по формуле:

$$v_{B_0 \text{ ср}} = \frac{v_{B_0}}{(0,75 \dots 1,00)}. \quad (7.14)$$

Полученная формула для расчета начальной скорости воздушно-го потока является предварительной. Для вывода окончательной формулы необходимо учесть ряд важнейших факторов, таких как влияние на воздушный поток воздушно-капельного потока, создаваемого гидравлическими распылителями, воздействие единого воздушно-капельного потока на растительный слой.

7.1.3. Исследование взаимодействия направленного воздушного и воздушно-капельного потоков

Исследуем механизм взаимодействия направленного воздушно-го потока с воздушно-капельным потоком, образующимся при распыливании рабочей жидкости гидравлическими распылителями, при их внешнем смещении, то есть в условиях окружающей среды. Это позволит определить необходимые скорости потоков, при которых обеспечивается эффективный процесс доставки капель рабочей жидкости к растениям и их равномерное распределение по всему объему.

При распыливании жидкости распылителями образовавшиеся капли формируют факел распыла. В факеле распыла одни капли летят под некоторым углом γ от вертикали вправо, другие – влево, траектория движения остальной части капель приближается к вертикали [146].

Угол γ является переменным, так как каждая капля летит по своей траектории.

Рассмотрим основные движения капель во взаимодействии с воздушным потоком: 1) при отклонении капли на угол γ от вертикали вправо; 2) при отклонении капли на угол γ от вертикали влево; 3) при движении капли вертикально вниз. Известно, что определить характер движения капель, как и любых других материальных тел, помещенных в воздушный поток, теоретически не представляется возможным, так как невозможно учесть все факторы. Поэтому задача решается упрощенно.

Пусть имеется направленный воздушный поток, который характеризуется скоростью v_B , углом β' между направлением скорости и горизонтальной плоскостью, и капля жидкости, движущаяся со

скоростью v_k под углом γ_v к воздушному потоку и под углом γ от вертикали (рис. 7.5, а) [98].

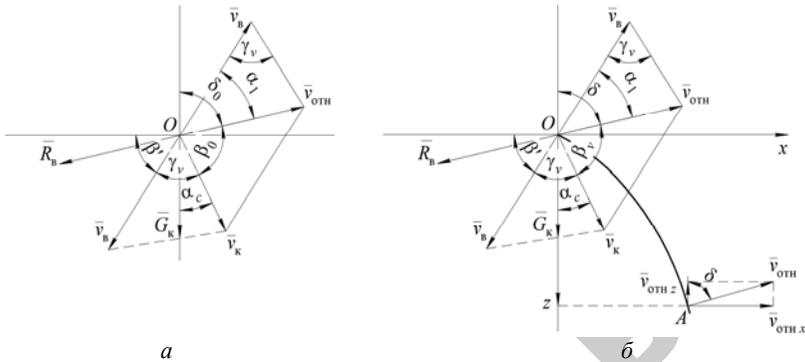


Рис. 7.5. Расчетная схема (капля движется под углом γ от вертикали вправо): траектория относительного (а) и полного (б) движения капли в воздушном потоке

При заданных величинах $v_B, v_k, \beta', \gamma, \gamma_v$ величина относительной скорости определится из скоростного треугольника:

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{v_B^2 + v_k^2 - 2v_B v_k \cos \gamma_v}. \quad (7.15)$$

Скорость $v_{\text{отн}}$ образует с направлением v_B угол α_1 :

$$\sin \alpha_1 = \frac{v_k \sin \gamma_v}{v_{\text{отн}}}. \quad (7.16)$$

Ускорение, сообщаемое капле массой m_k воздушным потоком при турбулентном режиме, определяется по формуле Ньютона [24]:

$$a_{R_B} = \frac{\xi \rho_B S_k v_{\text{отн}}^2}{m_k}, \quad (7.17)$$

где ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления воздуха.

Обозначив $\frac{\xi \rho_B S_k}{m_k} = k_n$ (коэффициент парусности), получим:

$$a_{R_B} = \frac{\xi \rho_B S_K v_{\text{отн}}^2}{m_K} = k_{\text{п}} v_{\text{отн}}^2. \quad (7.18)$$

Относительное движение капли в воздушном потоке рассмотрим в системе подвижных координат, перемещаемой поступательным движением вместе с потоком (рис. 7.5, б).

Обозначим составляющие скорости относительного движения капли $v_{\text{отн}}$ в точке A для траектории относительного движения OA – $v_{\text{отн}_x}$, $v_{\text{отн}_z}$, а составляющие скорости воздушного потока – v_{Bx} , v_{Bz} (рис. 7.6). Тогда

$$v_{\text{Bx}} = v_B \cos \beta', \quad (7.19)$$

$$v_{\text{Bz}} = v_B \sin \beta'. \quad (7.20)$$

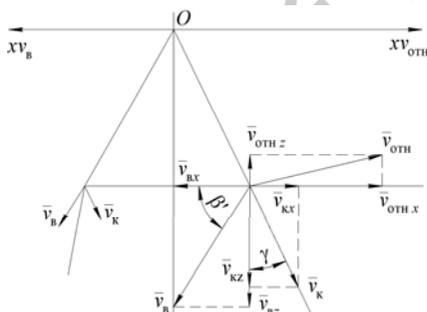


Рис. 7.6. Траектория полного движения капли в воздушном потоке (капля летит под углом γ от вертикали вправо)

Угол γ , характеризующий отклонение полной скорости от вертикали, определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{v_{\text{Kx}}}{v_{\text{Kz}}} = \frac{v_{\text{отн}_x} - v_B \cos \beta'}{v_B \sin \beta' - v_{\text{отн}_z}}, \quad (7.21)$$

где v_{Kx} , v_{Kz} – составляющие полной скорости v_K , отнесенной к неподвижным осям координат (рис. 7.7)

$$v_{\text{Kx}} = v_{\text{отн}_x} - v_{\text{Bx}}, \quad (7.22)$$

$$v_{\text{Kz}} = v_{\text{Bz}} - v_{\text{отн}_z}. \quad (7.23)$$

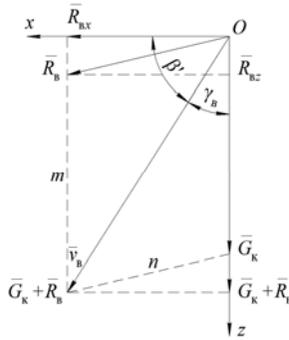


Рис. 7.7. Отклонение скорости от вертикали при $v_{\text{отн}} = v_B$

В начале движения $v_{\text{отн}} = v_B$, тогда

$$F_c = m_k k_{\text{п}} v_B^2. \quad (7.24)$$

Из данных рис. 7.7 следует:

$$\text{tg } \gamma_B = \frac{F_{cx}}{m_k g + F_c} = \frac{F_B \cos \beta'}{m_k g + F_B \sin \beta'} = \frac{m_k k_{\text{п}} v_B^2 \cos \beta'}{m_k g + m_k k_{\text{п}} v_B^2 \sin \beta'} = \frac{k_{\text{п}} v_B^2 \cos \beta'}{g + k_{\text{п}} v_B^2 \sin \beta'}, \quad (7.25)$$

где F_{cx} , F_{cz} – составляющие сопротивления воздушного потока.

С приближением относительной скорости к вертикальному направлению, когда $v_{\text{отн}z} \rightarrow v_{\text{отн} \text{ кр}}$ (относительной критической скорости) и $v_{\text{отн}x} \rightarrow 0$, формула (7.21) примет вид:

$$\text{tg } \gamma_{\text{кр}} = \frac{-v_B \cos \beta'}{v_B \sin \beta' - v_{\text{отн} \text{ кр}}} = \frac{-k_{\text{п}} v_B^2 \cos \beta'}{k_{\text{п}} v_B^2 \sin \beta' - g}. \quad (7.26)$$

Из формул (7.25), (7.26) следует, что отклонение движения капли от вертикали изменяется вместе с коэффициентом парусности капли $k_{\text{п}}$, скоростью воздушного потока v_B и с изменением угла γ . При данном размещении капли относительно воздушного потока с увеличением коэффициента парусности и скорости воздушного потока, а также с увеличением угла γ отклонение уменьшается.

При втором варианте взаимодействия направленного воздушно-го потока и капли, летящей под углом γ (отклонение от вертикали влево), в формуле (7.26) знак «-» поменяется на «+», и формула (7.26) примет вид:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{кр}} = \frac{v_{\text{в}} \cos \beta'}{v_{\text{в}} \sin \beta' - v_{\text{отн кр}}} = \frac{k_{\text{п}} v_{\text{в}}^2 \cos \beta'}{k_{\text{п}} v_{\text{в}}^2 \sin \beta' - g}.$$

Следовательно, с увеличением $k_{\text{п}}$, $v_{\text{в}}$, β' отклонение капли от вертикали увеличивается.

Третий вариант, когда капля летит вертикально вниз ($\operatorname{tg} \gamma = 0$) возможен, если: 1) коэффициент парусности капли $k_{\text{п}} = 0$; 2) скорость потока воздуха $v_{\text{в}} = 0$; 3) $\beta' = 90^\circ$, то есть направление воздушно-го потока и капли совпадают.

Проведенные теоретические исследования влияния направленного воздушно-го потока на отдельные капли, движущиеся по разным траекториям, являются основой для обоснования необходимости угла факела распыла гидравлических распылителей. Очевидно, что для создания условий доставки капель направленным воздушно-ым потоком и их равномерного распределения на объектах обработки все капли, вылетающие из распылителей, должны попадать в зону действия воздушно-го потока, то есть угол факела распыла распылителей должен быть согласован с углом факела распространения воздушно-го потока [63].

Если рассматривать взаимодействие направленного воздушно-го потока с воздушно-капельным потоком, образующимся при распыливании рабочей жидкости гидравлическими распылителями, а не с отдельными каплями, то такими параметрами, как коэффициент парусности и масса капель, можно пренебречь, так как в идеале поток капель, движущихся в воздушно-й среде, согласно теории распространения струй Г.Н. Абрамовича, благодаря существенному различию в плотностях воздуха и жидкости следует рассматривать как воздушно-й поток. При обычных соотношениях массы распыливаемой жидкости к массе воздуха отношение их получается порядка тысячи [1]. В данном случае, исходя из проведенных теоретических исследований и полученных зависимостей, следует, что

основополагающими параметрами, влияющими на взаимодействие потоков, является величина и направление скорости воздушного потока, скорость движения воздушно-капельного потока, взаимное расположение потоков.

Очевидно, что для обеспечения доставки капель к целевому объекту направленным воздушным потоком необходимо, чтобы в момент встречи воздушно-капельного и воздушного потоков скорость последнего значительно превышала скорость воздушно-капельного потока, при этом направление движения капель изменится в сторону воздушного потока. Если скорость воздушного потока будет значительной, то может возникнуть эффект повторного дробления. Поэтому следует рассмотреть вопрос определения скорости воздуха, при которой происходит дробление капель.

7.1.4. Дробление капель пестицидов

Процесс дробления капель изучался многими исследователями как теоретически, так и экспериментально. Колебания покоящейся в вакууме капли идеальной жидкости были изучены Д. Релеем. Метод малых возмущений применялся также в работах А.М. Головина, В.А. Бородина, Ю.Ф. Дитякина, В.И. Ягодкина.

Экспериментальными исследованиями дробления одиночных капель занимались Л. Прандтль, М.С. Волынский, А.С. Зверев, С.В. Бухман, В.П. Дмитрачков и др. Экспериментальным путем был установлен критерий дробления (D).

При малых значениях критерия D капля находится в устойчивом состоянии. При значениях D , превышающих определенную величину, капля дробится. Прандтль Л. определил критическое значение D , исходя из условия, что предельная величина капель естественного дождя составляет $d_k = 7,0$ мм, а скорость их падения – $11,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, и получил $D = 7,5$ [14]. Волынский М.С. на основе своих опытов показал, что распад капель начинается при $D = 10,7$, а предельное значение D , при котором не остается ни одной не распавшейся капли, составляет $12 \dots 14$ [20, 21]. Зверев А.С. и другие исследователи приводят значение $D = 7,7$.

Как видим, данные опытов различных авторов неоднозначны. Волинский М.С. в своих опытах не учитывал скорость движения капли, считая ее незначительной. Он принимал критерий дробления равным отношению аэродинамического давления потока на каплю к суммарному поверхностному натяжению:

$$D = \frac{\rho_{\text{в}} v_{\text{в}}^2 d_{\text{к}}}{\sigma} = \text{const}, \quad (7.27)$$

где σ – поверхностное натяжение, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-1}$.

Значения критерия дробления, полученные Л. Прандтлем и А.С. Зверевым из наблюдений над дождевыми каплями, завышены по причине образования нисходящих потоков воздуха. Поэтому скорость капли относительно воздуха окажется меньше, и величина критерия резко уменьшится.

Бухман С.В. в своей работе [14] указывает на то, что на явление дробления капли существенно влияет скорость воздушного потока относительно капли, и вместо скорости $v_{\text{в}}$ в формулу (7.27) необходимо подставлять $(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})$. Тогда выражение для определения критерия дробления будет иметь вид:

$$D' = \frac{\rho_{\text{в}} d_{\text{к}} (v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{\sigma}. \quad (7.28)$$

Кроме того, С.В. Бухман установил, что на критерий дробления влияет характер турбулентности потока. Величину критерия дробления он оценивал, исходя из приближенного механизма дробления капель.

Рассматривались силы, действующие на каплю при ее движении относительно газового потока. Когда капля попадает в воздушный поток, на нее начинает действовать сила, обусловленная разностью давления перед каплей и за ней. Под действием этой силы капля сплющивается (рис. 7.8, б). Это приводит к тому, что на среднюю часть капли давление увеличивается. В результате этого средняя часть капли выгибается в сторону движения потока (рис. 7.8, в).

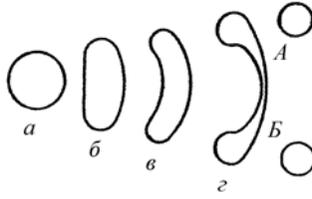


Рис. 7.8. Механизм дробления капли воздушным потоком

Силы поверхностного натяжения, стремящиеся выправить прогиб, уменьшают толщину центральной части капли, а жидкость уходит к ее краям (рис. 7.8, *з*).

Для того чтобы вырвать слой *АВ* (рис. 7.8, *з*), сила давления, действующая на него со стороны потока, должна быть больше силы поверхностного натяжения, удерживающей этот слой. Обозначим диаметр *АВ* через $d'_к$. Сила со стороны потока, действующая на круг с диаметром $d'_к$, будет равна разности давления перед ним и за ним, умноженной на площадь этого круга. Давление перед кругом, как известно, равно

$$p_1 \approx p_{\text{атм}} + \frac{\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{2}, \quad (7.29)$$

где $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па.

Давление за кругом приближенно равно

$$p_2 \approx p_{\text{атм}} - \frac{\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{6}. \quad (7.30)$$

Таким образом, разность давлений $p_1 - p_2$ равна:

$$p_1 - p_2 \approx p_{\text{атм}} + \frac{\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{2} - p_{\text{атм}} + \frac{\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{6} = \frac{4\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2}{6}. \quad (7.31)$$

Сила, действующая на этот круг, определяется по формуле:

$$F' = \frac{4\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2 \pi d_{\text{к}}^2}{24} = \frac{\rho_{\text{в}}(v_{\text{в}} - v_{\text{к}})^2 \pi d_{\text{к}}^2}{6}. \quad (7.32)$$

Сила поверхностного натяжения F_{σ} , удерживающая круг, определяется по формуле:

$$F_{\sigma} = 2\pi d_{\kappa}^2 \sigma. \quad (7.33)$$

В предельном случае эти силы равны между собой:

$$\frac{\pi \rho_{\text{в}} d_{\kappa}^{\prime 2} (v_{\text{в}} - v_{\kappa})^2}{6} = 2\pi d_{\kappa}^2 \sigma.$$

Последнее равенство можно записать в виде:

$$\frac{\rho_{\text{в}} d_{\kappa}^{\prime 2} (v_{\text{в}} - v_{\kappa})^2}{\sigma} = 12 = D \frac{d_{\kappa}^{\prime 2}}{d_{\kappa}}. \quad (7.34)$$

Бухман С.В. установил, что значение $d_{\kappa}^{\prime 2}$ приблизительно в 3,3 раза больше, чем d_{κ} . Таким образом, численное значение критерия D должно иметь значение, близкое к 3,5 [14].

Исходя из изложенного, определяем, что для исключения дробления капель должно выполняться условие:

$$v_{\text{в}} - v_{\kappa} < \sqrt{\frac{3,5\sigma}{\rho_{\text{в}} d_{\kappa}}}. \quad (7.35)$$

Анализ формулы показывает, что для обоснования скорости воздушного потока, необходимой для транспортирования капель при исключении их дробления, необходимо определить скорость воздушно-капельного потока к моменту их встречи.

7.1.5. Обоснование параметров взаимодействия направленного воздушного и воздушно-капельного потоков

Определим максимальную скорость капель на некотором расстоянии h_2 от распылителя, определяющем координату встречи воздушного и воздушно-капельного потоков.

Уравнение движения капли весом $G_k = m_k g$, летящей вертикально вниз (что соответствует максимальному значению скорости) в воздушной среде, имеет вид

$$\frac{p}{g} = z'' = p - F_c. \quad (7.36)$$

Сопротивление воздушной среды F_c , если принять каплю шарообразной, а силу – пропорциональной второй степени скорости, составляет [111]:

$$F_c = \frac{0,47\pi\rho_B d_k^2 v_{KB}^2}{8}. \quad (7.37)$$

где v_{KB} – скорость витания капли, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Из условия равенства силы сопротивления весу капли, скорость ее витания определяется по формуле:

$$v_{BK} = \sqrt{\frac{4g\rho_J d_k}{1,41\rho_B}}. \quad (7.38)$$

где ρ_J – плотность рабочей жидкости, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$.

С учетом того, что $v_k > v_{KB}$, после интегрирования формула (7.38) примет вид [111]:

$$v_k = \frac{v_{KB} \left[\frac{2gt}{e^{v_{KB}(v_{k0} + v_{KB})} + (v_{k0} + v_{KB})} \right]}{\frac{2gt}{e^{v_{KB}(v_{k0} + v_{KB})} - (v_{k0} + v_{KB})}}, \quad (7.39)$$

где v_{k0} – начальная скорость капель, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Второе интегрирование дает уравнение движения:

$$x = \frac{v_{\text{KB}}^2}{g} \ln \frac{e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}} (v_{\text{K0}} + v_{\text{KB}}) - (v_{\text{K0}} - v_{\text{KB}})}{2v_{\text{KB}}} - v_{\text{KB}}t. \quad (7.40)$$

Отсюда

$$e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}} = \frac{v_{\text{KB}}e^{v_{\text{KB}}} \pm \sqrt{v_{\text{KB}}^2 e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}} + v_{\text{K0}}^2 - v_{\text{KB}}^2}}{v_{\text{K0}} + v_{\text{KB}}}. \quad (7.41)$$

Так как

$$v_{\text{KB}}e^{v_{\text{KB}}} \leq \sqrt{v_{\text{KB}}^2 e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}} + v_{\text{K0}}^2 - v_{\text{KB}}^2}, \quad (7.42)$$

то при знаке «-» в формуле (7.41) величина $e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}}$ получается отрицательной. Следовательно, в формуле (7.41) необходимо применять знак «+». Тогда при $t = h_2$:

$$v_{\text{Kmax}} = \frac{v_{\text{KB}}e^{v_{\text{KB}}} \pm \sqrt{v_{\text{KB}}^2 (e^{\frac{2gt}{v_{\text{KB}}}} - 1) + v_{\text{K0}}^2}}{\frac{2gh_2}{v_{\text{KB}}^2}}. \quad (7.43)$$

Формула (7.43) позволяет определить максимально возможную скорость движения капель в момент встречи с направленным воздушным потоком.

Начальная скорость капель v_{K0} , или скорость истечения из гидравлического распылителя, определяется по формуле [17]:

$$v_{\text{K0}} = k_{\text{ф}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (7.44)$$

где $\Delta p_{\text{ж}}$ – перепад давления жидкости на распылителе, Па.

Для определения среднего медианного диаметра капель воспользуемся критериальным уравнением Ю.Ф. Дитякина [44],

обобщившего экспериментальные данные Д. Ли и Р. Спенсера, Вайса и Уоршэма:

$$d_k = 1,1 \cdot d_c D^{-0,3} M^{0,3} Lp^{-0,07}, \quad (7.45)$$

где d_c – диаметр выходного отверстия распылителя, м;

M – число Маха, характеризующее соотношение плотности и вязкости распыливаемой жидкости и окружающего воздуха;

Lp – критерий Лапласа, определяющий соотношение сил поверхностного натяжения и вязкости:

$$Lp = \frac{d_c \rho_{ж} \sigma}{\nu_{ж}^2}, \quad (7.46)$$

где $\nu_{ж}$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости, Н·с·м⁻².

Диаметр соплового отверстия определяется по формуле:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}}, \quad (7.47)$$

где S_c – площадь соплового отверстия, м²;

$$S_c = \frac{Q_{ж} \sigma}{\mu_p} \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{2 \cdot \Delta p_{ж}}}, \quad (7.48)$$

где $Q_{ж}$ – расход жидкости через распылитель, м³·с⁻¹;

μ_p – коэффициент расхода для распылителей.

Для получения высокого качества обработки, а именно, для равномерного распределения капель рабочей жидкости по всему объему растений, единый поток, сформировавшийся после слияния независимых воздушного и воздушно-капельного потоков, должен быть равномерным. Для этого необходимо, чтобы к моменту встречи потоков воздушный поток был равномерным, неразрывным [128].

Определим расстояние, на котором формируется такой поток. Картину истечения воздуха из выпускных насадков воздухораспределительной системы можно условно разделить на 3 зоны: первая

слагается из движения отдельных независимых струй; вторая зона – переходная, в ней происходит сближение струй и перемешивание пограничных слоев, следовательно, сглаживание поля скоростей; и третья зона – совместное движение струй, напоминающее истечение из сплошной щели с выровненным (равномерным) скоростным полем (рис. 7.9, а).

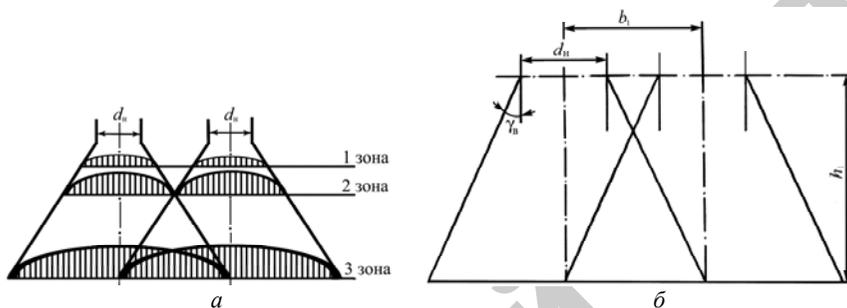


Рис. 7.9. Схема взаимодействия воздушных струй (а) и определение зоны двойного перекрытия факелов распределения воздуха (б)

Расстояние h_1 , соответствующее зоне двойного перекрытия факелов распределения воздуха (третьей зоне) (рис. 7.19, б), определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{b_1 - 0,5 \cdot b_n}{\operatorname{tg} \gamma_B}, \quad (7.49)$$

где b_1 – межосевое расстояние между выпускными насадками воздухораспределительных рукавов, м.

При истечении рабочей жидкости из гидравлических распылителей наблюдается аналогичная картина, но относительно количественного распределения рабочей жидкости. В факеле распыла каждая капля движется по своей траектории со своей скоростью, поэтому говорить о равномерности скоростного поля в данном случае нельзя. Поэтому основным условием, которое должно соблюдаться при формировании единого воздушно-капельного потока, является условие слияния факелов распыла рядом расположенных распылителей.

Расстояние h_2 , на котором происходит это слияние, соответствует второй (переходной) зоне и определяется по формуле:

$$h_2 = \frac{0,5b}{\operatorname{tg} \frac{\gamma_p}{2}}, \quad (7.50)$$

где b – межосевое расстояние между распылителями, м.

При взаимодействии потоков происходит формирование единого воздушно-капельного потока. Нам необходимо определить его среднюю скорость и направление. При внешнем смешении потоков, с конструктивной точки зрения, целесообразно направлять их под углом друг к другу. Чтобы найти направление и скорость слившихся потоков, необходимо на векторах их количеств движения построить параллелограмм.

Его диагональ EE' определит направление слившихся потоков (рис. 7.10). По мере удаления от плоскости истечения масса потоков возрастает, а скорость падает. Но так как между массой m и скоростью v существует простая обратно пропорциональная зависимость, то количество движения во всех сечениях потоков будет постоянным и равно начальному количеству движения, то есть mv [65].

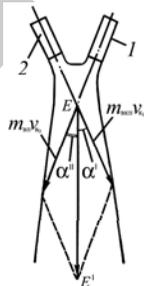


Рис. 7.10. Схема взаимодействия воздушно-капельного потока:

- 1 – выпускной насадок воздухо-распределительной системы;
- 2 – гидравлический распылитель

Величина равнодействующей E определяется по формуле:

$$E = m_{\text{вп}} v_{\text{в0}} \cos \alpha'' + m_{\text{вкп}} v_{\text{к0}} \cos \alpha', \quad (7.51)$$

где $m_{\text{вп}}$ – масса воздушного потока, кг;

α'' – угол, характеризующий отклонение воздушного потока от вертикали (угол смещения выпускных насадков от вертикали) град.;

$m_{\text{вкп}}$ – масса воздушно-капельного потока, кг;

α' – угол, характеризующий отклонение воздушно-капельного потока от вертикали, град.

Тогда средняя скорость единого потока определяется по формуле:

$$v_{\text{рез}} = \frac{m_{\text{ВП}} v_{\text{В0}} \cos \alpha'' + m_{\text{ВКП}} v_{\text{К0}} \cos \alpha'}{m_{\text{ВП}} + m_{\text{ВКП}}}. \quad (7.52)$$

Масса воздушного потока определяется по формуле:

$$m_{\text{ВП}} = \rho_{\text{В}} Q_{\text{Н}} n_{\text{Н}} t, \quad (7.53)$$

где $Q_{\text{Н}}$ – объемный расход воздуха через один выпускной насадок, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

$n_{\text{Н}}$ – количество выпускных насадков, шт.;

t – время, с.

Объемный расход воздуха через один выпускной насадок определяется по формуле:

$$Q_{\text{Н}} = \mu \frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4} v_{\text{В0}}. \quad (7.54)$$

Масса воздушно-капельного потока (в начальном сечении его можно рассматривать как жидкостной) определяется по формуле:

$$m_{\text{ВКП}} = \rho_{\text{Ж}} Q_{\text{Ж}} n_{\text{р}} t, \quad (7.55)$$

где $n_{\text{р}}$ – количество распылителей, шт.

После подстановки в формулу (7.52) формул (7.53, 7.54, 7.55) и упрощения получаем:

$$v_{\text{рез}} = \frac{\rho_{\text{В}} \mu \frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4} v_{\text{В0}}^2 n_{\text{Н}} \cos \alpha'' + \rho_{\text{Ж}} Q_{\text{Ж}} n_{\text{р}} v_{\text{К0}} \cos \alpha'}{\rho_{\text{В}} \mu \frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4} v_{\text{В0}} n_{\text{Н}} + \rho_{\text{Ж}} Q_{\text{Ж}} n_{\text{р}}}. \quad (7.56)$$

$$\bar{x} = \bar{z} \operatorname{tg} \alpha_u + \bar{x}', \quad (7.58)$$

где $\bar{x} = \frac{x}{d_H}$, $\bar{z} = \frac{z_1}{d_H}$.

Горизонтальное ускорение, приобретаемое произвольным объемом воздуха на оси потока, в результате действия гравитационной силы может быть представлено в виде

$$a_B = g \frac{(t_0 - t_{\text{окр}})}{T_{\text{окр}}}, \quad (7.59)$$

где t_0 – температура на оси потока, °С;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С;

$T_{\text{окр}} = t_{\text{окр}} + 273^\circ$ – абсолютная температура окружающей среды, град. абс. [5].

Скорость вертикального подъема

$$v_{\Pi} = \int_0^t a_B dt = \frac{g}{T_{\text{окр}}} \int_0^t (t_z - t_{\text{окр}}) dt. \quad (7.60)$$

В этой формуле вместо z_1 берется z' , так как в данном случае направление потока не совпадает с вертикальной осью координат.

Так как
$$dt = \frac{dz}{v_z}, \quad (7.61)$$

$$a_B = g \frac{(t_{\text{ос}} - t_{\text{окр}})}{t_0 - T_{\text{окр}}} = 0,73 \frac{v_{z1}}{v_{\text{рез}}}, \quad (7.62)$$

то скорость подъема

$$v_{\Pi} = \frac{0,73g}{v_{\text{рез}} \left[\frac{(t_0 - t_{\text{окр}})z'}{T_{\text{окр}}} \right]^{-1}}. \quad (7.63)$$

Зная скорость подъема, можно вычислить горизонтальное перемещение:

$$x' = \int_0^t v_{\Pi} dt = \int_0^z \frac{v_{\Pi}}{v_{z1}} dz' = 0,73 \frac{g}{v_{\text{рез}}} \frac{t_0 - t_{\text{окр}}}{T_{\text{окр}}} \cdot \int_0^z \frac{z'}{v_{z1}} dz'. \quad (7.64)$$

Интегрирование выражения (7.64), с учетом закона изменения безразрывной осевой скорости (7.13), приводит к уравнению, которое позволяет определить величину горизонтального перемещения \bar{x} в безразмерном виде:

$$\bar{x}' = 0,73 \cdot \frac{gd_{\text{н}}}{v_{\text{рез}}^2} \frac{t_0 - t_{\text{окр}}}{T_{\text{окр}}} \left(\frac{z'}{d_{\text{н}}} \right)^2 \left(0,51 \cdot \frac{a^* z'}{d_{\text{н}}} + 0,11 \right). \quad (7.65)$$

Приняв $z' = \frac{\bar{z}}{\cos \alpha_u}$, $Ar = \frac{gd_{\text{н}}}{v_{\text{рез}}^2} \frac{t_0 - t_{\text{окр}}}{T_{\text{окр}}}$ и подставив \bar{x}' в уравнение (7.58), получим

$$\bar{x} = \bar{z} \text{tg} \alpha_u + Ar \left(\frac{\bar{z}}{\cos \alpha_u} \right)^2 \left(0,51 \cdot a^* \frac{\bar{z}}{d_{\text{н}}} + 0,11 \right). \quad (7.66)$$

Опыты С.Н. Сыркина и Д.Н. Ляховского [38] показали, что отклонение оси потока определяется критерием Архимеда:

$$\bar{x} = f(\bar{z}, Ar). \quad (7.67)$$

С учетом этого при вертикальном истечении ($\alpha_u = 0$) уравнение (7.66) примет вид:

$$\bar{x} = Ar \bar{z}^2 \left(0,51 \cdot a^* \bar{z} + 0,11 \right). \quad (7.68)$$

Шепелев И.А. [75] для определения скорости на оси потока рекомендует формулу:

$$v_{z1} = \sqrt{v_x^{*2} + v_z^{*2}}, \quad (7.69)$$

где, для нашего случая:

$$v_z^* = 0,73 v_{\text{рез}} Ar \frac{\bar{z}}{\cos \alpha_u}; \quad (7.70)$$

$$v_{x^*} = \frac{0,48v_{\text{рез}}}{\frac{a^* z_1}{d_H \cos \alpha_u} + 0,145}. \quad (7.71)$$

Подставим в формулу (7.69) формулы (7.70) и (7.71), тогда:

$$v_{z_1} = \sqrt{\left(\frac{0,73gy_1(t_0 - t_{\text{окр}})}{v_{\text{рез}}T_{\text{окр}} \cos \alpha} \right)^2 + \left(\frac{0,48v_{\text{рез}}}{\frac{a^* y_1}{d_H \cos \alpha} + 0,145} \right)^2}. \quad (7.72)$$

Для обоснования необходимой скорости v_{z_1} и вывода начальной скорости истечения воздуха из выпускных насадков необходимо исследовать процесс прохождения единого потока через растительный слой.

7.1.6. Исследование прохождения воздушно-капельной струи через растительный слой

Вопрос прохождения воздушно-капельной струи сквозь растительный слой теоретически рассматривался в работах [41, 82, 94].

Изучалась турбулентная струя, направленная непосредственно на растительный слой, причем для этого сложного процесса приняли упрощенную схему (рис. 7.12). В качестве модели слоя растений приняли плоский полупроницаемый слой толщиной $b_{\text{рс}}$, на который направлена струя. Набегающая часть струи ($0 < z < z_1$) существенно отличается от соответствующего участка невозмущенной струи лишь в непосредственной близости от слоя $b_{\text{рс}}$, то есть, как и в невозмущенной струе, количество движения в набегающей части струи $K_0 = \text{const}_1$.

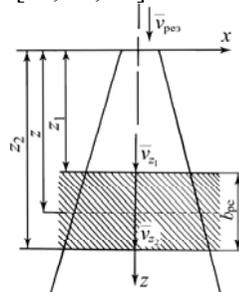


Рис. 7.12. Схема прохождения воздушно-капельной струи сквозь полупроницаемый растительный слой

В струе, прошедшей через слой b_{pc} , ($z_2 < z$):

$$K_{\Pi} = \text{const}_2 < K_0.$$

В полупроницаемом слое ($z_1 < z < z_2$) количество движения струи убывает. Принято, что убыль количества движения ΔK в малом элементе слоя пропорциональна объему этого элемента ΔV :

$$\Delta K = \Delta V \Omega v_{\text{рез}}^2 \rho_B t, \quad (7.73)$$

где Ω – величина, постоянная для всего слоя b_{pc} , характеризующая степень его проницаемости («коэффициент проницаемости» растительного слоя), м^{-1} .

Убыль количества движения струи на участке протяженностью dz :

$$dK = -\Omega K dz. \quad (7.74)$$

При $z = z_1$, $K = K_0$. После интегрирования

$$K(z) = K_0 e^{-\Omega(z-z_1)}, \quad (7.75)$$

и при $z > z_2$:

$$K_{\Pi}(z) = \text{const}_2 = K_0 e^{-\Omega(z_2-z_1)}. \quad (7.76)$$

Для оценки распределения скоростей в струе, проходящей через слой b_{pc} , принято, что в ней, как и в невозмущенной струе, сохраняется подобие профилей скорости, и что эти профили приближенно соответствуют уравнению профиля для основного участка невозмущенной струи.

Из принятого подобия профилей скорости следует прямолинейность границ струи.

Скорость струи при $z < z_1$:

$$v_{z_1} \approx 0,22 - K_1.$$

Для участка $z_2 < z < z_1$:

$$v_{z_2} \approx v_{z_1} e^{-\Omega(z-z_1)}. \quad (7.77)$$

Расход воздуха для этого участка:

$$Q_2 \approx Q_1 e^{-\Omega(z-z_1)}. \quad (7.78)$$

Рассмотрим подробнее равенство (7.78). При $z = z_1$ имеем $Q_2 \sim z_2$, то есть с увеличением z расход воздуха растет. Очевидно, что при $z \rightarrow \infty$, $Q \rightarrow 0$. Расход воздуха через поперечное сечение струи при увеличении z сначала растет, достигает максимума, затем убывает. Но уменьшение расхода воздуха в турбулентной струе физически невозможно: вследствие неразрывности течения и турбулентной диффузии расход воздуха с увеличением z может лишь возрастать. Поэтому принятые допущения о сохранении подобия профилей скорости оказываются физически возможными только при определенных ограничениях, а именно, при условии, что расход воздуха через сечение струи на участке ($z_2 < z < z_1$) растет с увеличением z .

Взяв производную от Q_2 по z и приравняв ее к нулю, найдем, что максимум расхода достигается в случае, если

$$\Omega = \frac{2}{z_2 - z_1} = \frac{2}{b_{pc}}. \quad (7.79)$$

Если $\frac{2}{\Omega} \leq b_{pc}$, то критическая толщина слоя становится равной нулю или приобретает отрицательные значения. Это означает, что при густом слое, достаточно удаленном от начального сечения струи, струя уже не в состоянии преодолеть слой полностью. При этом через слой проходит часть струи, а часть растекается вдоль него в виде веера.

Значения коэффициента проницаемости Ω для ряда сельскохозяйственных культур защищенного грунта А.К. Лысов определил экспериментальным путем. Так, для помидоров в фазе максимальной облиственности $\Omega = 0,82$ (м^{-1}), огурцов – $\Omega = 0,63 \dots 1,55$ (м^{-1}) [82]. Перед нами стоит задача определить коэффициент проницаемости для вегетирующих полевых культур, в частности для картофеля.

Для равномерной обработки листовой поверхности необходимо, чтобы единый воздушно-капельный поток обеспечивал (кроме транспортировки капель) еще и эффект шевеления и поворота листьев.

Для этого необходимо знать максимально и минимально эффективное силовое воздействие потока на растения. В нашем случае необходимо знать $v_{\max_{\text{доп}}}$ – максимально допустимую скорость, при которой не повреждаются растения и $v_{\max_{\text{eff}}}$ – минимально эффективную скорость, при которой достигается эффект поворота листьев.

В настоящее время известны конкретные значения скоростей воздействия воздушного потока на растительный слой, при которых достигается поворот листьев без их повреждения: для яблонь – от 5...6 до 15 м·с⁻¹, для огурцов – от 4 до 15 м·с⁻¹, для томатов – от 5 до 15 м·с⁻¹. При скоростях меньше 5 м·с⁻¹ для яблонь и томатов, и 4 м·с⁻¹ для огурцов листья вибрируют, шевелятся, но не поворачиваются. При скоростях больше 15 м·с⁻¹ растения повреждаются воздушным потоком [83].

Возникает вопрос о применимости этих значений скоростей для картофеля. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что для картофеля в фазе средней облиственности максимальная скорость вхождения струи в растительный слой не должна превышать 15 м·с⁻¹. При большей скорости происходит повреждение растений. Минимально эффективная скорость в зоне роста нижних листьев, при которой наблюдается эффект шевеления, составила 5 м·с⁻¹, коэффициент проницаемости – 1,04...1,38 м⁻¹.

Зная минимально эффективную скорость влияния струи на нижнюю зону растений, можем выразить необходимую скорость ее вхождения в растительный слой. Для этого из формулы (7.77) выразим v_{z_1} [65]:

$$v_{z_1} = \frac{v_{z_2}}{e^{-\Omega(z-z_1)}} = \frac{v_{z_2}}{e^{-\Omega b_{\text{pc}}}}, \quad (7.80)$$

где v_{z_2} – скорость струи в нижней зоне растительного слоя, м·с⁻¹.

При этом должны выполняться следующие условия $v_{z_2} \geq v_{\min_{\text{eff}}}$, $v_{z_1} \leq v_{\max_{\text{доп}}}$. Кроме того, скорость вхождения единого воздушно-капельного потока в растительный слой должна быть

больше скорости естественного ветра ($v_{z1} < v_{\text{ветра}}$) с целью исключения сноса капель рабочей жидкости.

Подставим в формулу (7.72) формулу (2.80) и выразим $v_{\text{рез}}$:

$$v_{\text{рез}} = \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{a^* z_1}{d_H \cos \alpha_u} + 0,145 \right)^2}{0,46} \left[\left(\frac{v_{z2}}{e^{-\Omega b_{\text{pc}}}} \right)^2 + \sqrt{\left(\frac{v_{z2}}{e^{-\Omega b_{\text{pc}}}} \right)^4 - \frac{47,16 \cdot z_1^2 (t_0 - t_{\text{окр}})^2}{\left(\left(\frac{a^* z_1}{d_H \cos \alpha_u} + 0,145 \right)^2 T_{\text{окр}}^2 \cos^2 \alpha_u \right)}} \right]} \right)}, \quad (7.81)$$

где $47,16 = 0,49g^2$.

Выразим из формулы (7.56) начальную скорость выхода воздуха из выпускных насадков воздухораспределительных рукавов:

$$v_0 = 0,5v_{\text{рез}} + 0,5 \sqrt{v_{\text{рез}}^2 + \frac{4\rho_{\text{ж}} Q_{\text{ж}} n_{\text{р}} |v_{\text{к0}} \cos \alpha' - v_{\text{рез}}|}{\rho_{\text{в}} \mu \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4} n_{\text{н}} \cos \alpha''}}}. \quad (7.82)$$

Результирующая скорость единого воздушно-капельного потока $v_{\text{рез}}$ предварительно определяется по формуле (7.81).

Зная начальную скорость выхода воздуха из насадков, можем приступить к обоснованию параметров воздухораспределительных рукавов.

7.1.7. Обоснование параметров воздухораспределительных рукавов

К основным конструктивным параметрам воздухораспределительных рукавов относятся: длина, начальный и конечный диаметры, диаметр и длина выпускных насадков, их количество и шаг установки.

Длина воздухораспределительных рукавов определяется длиной гидравлической штанги. Для условий Республики Беларусь ширина захвата опрыскивателей обусловлена существующей системой

машин для возделывания сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям (в первую очередь, сеялками, оставляющими незасеянной технологическую колею для выполнения работ по уходу за растениями) и составляет 12, 18, 24 м.

Так, для объемного опрыскивателя с шириной захвата 12 м необходимо два воздухораспределительных рукава длиной 6 м; 18 м – соответственно 9 м; 24 м – два рукава по 12 м.

Определение начального и конечного диаметров воздухораспределительных рукавов связано с установлением скоростей внутри них и расходом воздуха.

Известно, что скорость истечения воздуха из насадков не может быть меньше скорости в самих рукавах [5].

Ранее нами показано, что равномерность распределения и направление воздушных струй, вытекающих из насадков, обуславливаются соотношением статического и динамического давлений в сечениях рукавов. Статическое давление будет тем больше, чем меньше отношение суммарной площади насадков $\sum S_H$ к площади рукавов в начальном сечении – $S_{внач}$.

Когда отношение $\frac{\sum S_H}{S_{внач}} \approx (0,30...0,35)$, то есть когда скорости

истечения примерно в три раза больше скорости воздуха внутри рукава, получается равномерное распределение воздуха [5].

Отсюда примем условие, что

$$S_{внач} \approx \frac{\sum S_H}{(0,30...0,35)} \text{ и } v_{внач} \approx \frac{v_{вср}}{3}, \quad (7.83)$$

где
$$\sum S_H = S_H n_H = \frac{\pi d_H^2}{4} n_H. \quad (7.84)$$

Рациональный диаметр выпускных насадков d_H может быть обоснован по результатам предварительного расчета параметров всей воздухораспределительной системы и взаимоувязки их с гидравлической системой.

Количество выпускных насадков в воздухораспределительном рукаве определяется по формуле [66]:

$$n_{\text{H}} = \frac{l_{\text{p}}}{b_1 + d_{\text{H}}}. \quad (7.85)$$

Длина выпускных насадков определяется исходя из условия формирования устойчивого истечения воздуха [136]:

$$\frac{0,145 \cdot d_{\text{H}}}{a^*} \leq l_{\text{H}} \leq (6 \dots 7) d_{\text{H}}. \quad (7.86)$$

Определим межосевое расстояние между выпускными насадками воздухораспределительных рукавов (шаг расстановки). Согласно теории свободной струи Абрамовича, на начальном участке воздушной струи сохраняется скорость, равная скорости истечения воздуха.

Исходя из этого, целесообразно принять условие (см. табл. 7.2):

$$h_1 \leq 0,335 \frac{d_{\text{H}}}{a^*}. \quad (7.87)$$

Тогда, с учетом формулы (7.49), межосевое расстояние b_1 определяется из условия:

$$d_{\text{H}} \leq b_1 \leq \frac{0,335 \cdot d_{\text{H}}}{a^*} \operatorname{tg} \gamma_{\text{B}} + 0,5 d_{\text{H}}. \quad (7.88)$$

Общее количество воздуха Q_{p} , подаваемое в воздухораспределительный рукав, определяется по формуле:

$$Q_{\text{p}} = 0,1 Q' + Q' = 1,1 \cdot 3600 \cdot \mu \frac{\pi d_{\text{H}}}{4} n_{\text{H}} v_{\text{B0cp}}, \quad (7.89)$$

где Q' – расход воздуха через выпускные насадки, $\text{м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$;

0,1 – 10%-й запас расхода воздуха, необходимый для обеспечения полного наполнения воздухораспределительного рукава (на возможные дополнительные потери или подсос воздуха).

Зная общее количество подаваемого воздуха Q_{p} , используя формулы (7.3), (7.89) и приняв $v_{\text{нач}} = \frac{v_{\text{B0cp}}}{3}$, определим начальный диаметр воздухораспределительных рукавов:

$$D_{\text{внач}} = \sqrt{3,3 \cdot \mu d_{\text{н}}^2 n_{\text{н}}}. \quad (7.90)$$

Конечный диаметр воздухораспределительных рукавов $D_{\text{в кон}}$ можно определить только после проведения аэродинамического расчета.

Обосновав основные конструктивные параметры воздухораспределительных рукавов и определив необходимый расход воздуха, необходимо выбрать вентилятор и рассчитать требуемую мощность на его привод.

7.1.8. Выбор типа вентилятора и определение мощности на его привод

В опрыскивателях используют центробежные и осевые вентиляторы. Центробежные вентиляторы применяют в основном для распыливания рабочих растворов пестицидов. Возможность развивать значительные давления обуславливает движение создаваемого воздушного потока с большой скоростью (более $50 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), создавая тем самым необходимые для дробления условия.

Осевые вентиляторы используют для транспортирования капель рабочих растворов к объектам обработки. Они позволяют перемещать большие объемы воздуха при небольших противодавлениях, когда сопротивление сети не более $10 \dots 25 \text{ кг} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ [5, 52]. В сравнении с центробежными вентиляторами, скорость воздушного потока, создаваемого осевыми вентиляторами, затухает значительно медленнее. Кроме того, осевые вентиляторы обычно имеют больший КПД, они реверсивны, просты в устройстве и монтаже, легко регулируются.

Поскольку функция вентилятора в объемном опрыскивателе и ветрозаситном устройстве активного действия сводится к транспортированию капель рабочей жидкости, то целесообразно использовать осевой вентилятор.

Подбор осевого вентилятора осуществляется по его аэродинамическим характеристикам: производительности $Q_{\text{ов}}$, развиваемому давлению $p_{\text{ов}}$, коэффициенту полезного действия $\eta_{\text{ов}}$, потребляемой мощности $N_{\text{ов}}$ при заданной частоте вращения лопастного колеса $n_{\text{лк}}$.

Необходимая для привода вентилятора мощность $N_{\text{ов}}$ на валу гидромотора определяется по формуле [52]:

$$N_{\text{ОВ}} = \frac{Q_{\text{ОВ}} P_{\text{ОВ}}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{ОВ}} \eta_{\text{П}}} = \frac{2Q_{\text{р}} P_{\text{ОВ}}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{ОВ}} \eta_{\text{П}}}, \quad (7.91)$$

где $Q_{\text{ОВ}}$ – производительность вентилятора, $\text{м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$;

$\eta_{\text{П}}$ – коэффициент полезного действия передачи, зависящий от способа соединения вентилятора с гидромотором.

Установочная мощность гидромотора $N_{\text{у}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{у}} = k_3 N_{\text{ОВ}}, \quad (7.92)$$

где k_3 – коэффициент запаса по мощности.

Частота вращения лопастного колеса $n_{\text{лк}}$ ограничивается механической прочностью вентилятора, по условиям которой окружная скорость колеса $v_{\text{лкокр}}$ не должна, как правило, превышать $50 \dots 60 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [52]:

$$v_{\text{лкокр}} = \frac{D_{\text{рк}} n_{\text{лк}}}{600}, \quad (7.93)$$

где $D_{\text{рк}}$ – диаметр рабочего колеса вентилятра, м.

Обосновав параметры воздухораспределительной системы, выбрав вентилятор и определив необходимую мощность для его привода, можно обосновать взаимное расположение воздухораспределительной и гидравлической систем. Однако прежде необходимо выбрать тип и параметры распылителей.

7.2. Обоснование взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем

Для эффективной работы объемного опрыскивателя необходимо соблюдение следующих условий:

- для формирования единого равномерного скоростного поля, воздействующего на объекты обработки, воздушный и воздушно-капельный потоки должны вступать во взаимодействие только после того, как воздушный поток преодолет расстояние h_1 , опреде-

ляемое по формуле (7.49), а воздушно-капельный – расстояние h_2 , определяемое по формуле (7.50);

– к моменту встречи воздушного и воздушно-капельного потоков скорость последнего должна быть меньше скорости воздушно-капельного потока.

Качество объемной обработки вегетирующих культур и энергоемкость этого процесса зависят от угла вхождения воздушного потока в растения. В ходе проведенных экспериментальных исследований по прохождению воздушных струй через растительный слой было установлено, что при ориентации выпускных насадков вертикально вниз происходит прижимание листьев к стеблям растений, эффект объемной обработки не достигается, так как капли оседают только на верхней стороне листьев. Следовательно, воздушный поток должен быть направлен под углом. При ориентации воздушного потока под углом $25 \dots 30^\circ$ обеспечивается наилучшее проникновение воздушного потока в растительный слой. Это минимальный угол, при котором происходит отклонение стеблей и шевеление листовенной части при наименьшем расстоянии от выпускных насадков до растений. При увеличении этого угла значительно увеличивается расстояние до объектов обработки, что влечет за собой увеличение расхода воздуха и, следовательно, энергозатрат.

С учетом этого имеем 2 возможные схемы взаимного расположения распылителей и выпускных насадков воздухораспределительных рукавов:

1. Щелевые распылители ввиду малого угла при вершине факела распыла в поперечной плоскости должны быть ориентированы вертикально вниз.

2. Вихревые распылители должны быть повернуты под углом навстречу к воздушному потоку, создаваемому воздухораспределительной системой.

Согласно существующим рекомендациям угол наклона гидравлических распылителей к вертикальной плоскости α_p не должен превышать $40 \dots 45^\circ$ во избежание сноса распыливаемой жидкости [15]. Рационально выбирать угол α_p в пределах $10 \dots 20^\circ$, так как увеличение угла ведет к удалению гидравлической штанги с распылителями от воздухораспределительной системы, что может представлять определенные трудности конструктивного плана.

На рис. 7.13 представлена общая схема взаимного расположения рабочих систем объемного опрыскивателя. С учетом изложенного, пользуясь графоаналитическим методом и методом дополнительных построений, определим координаты взаимного расположения гидравлических распылителей и выпускных насадок воздухораспределительных рукавов [105, 128].

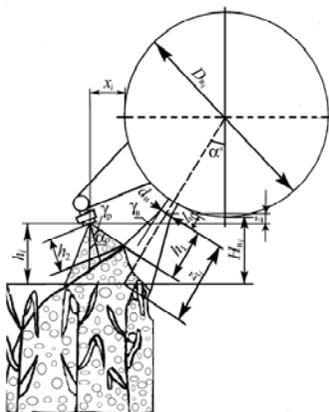


Рис. 7.13. Схема взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем (вид сбоку)

В горизонтальной плоскости (рис. 7.14, а) каждый из распылителей на штанге должен располагаться от близлежащей боковой стенки воздухораспределительного рукава на расстоянии, определяемом по выражению:

$$x_i = (0,5D_{B_i} + l_n) \sin \alpha'' + \frac{h_2}{\cos \gamma} \sin(\alpha' + \gamma) + \frac{0,5d_n + h_1 \operatorname{tg} \gamma_B}{\cos \alpha''} + \sin \alpha'' (h_1 - \operatorname{tg} \alpha'' (h_1 \operatorname{tg} \gamma_B + 0,5d_n)) - 0,5D_{B_i}. \quad (7.94)$$

В вертикальной плоскости (рис. 7.14, б) ось расположения распылителей параллельна оси размещения выпускных насадок воздухораспределительного рукава и удалена на расстояние, определяемое по выражению:

$$z = \cos \alpha'' (h_1 - \operatorname{tg} \alpha'' (h_1 \operatorname{tg} \gamma_B + 0,5d_n)) - \cos(\alpha' + \gamma_p) \frac{h_2}{\cos \gamma_p}. \quad (7.95)$$

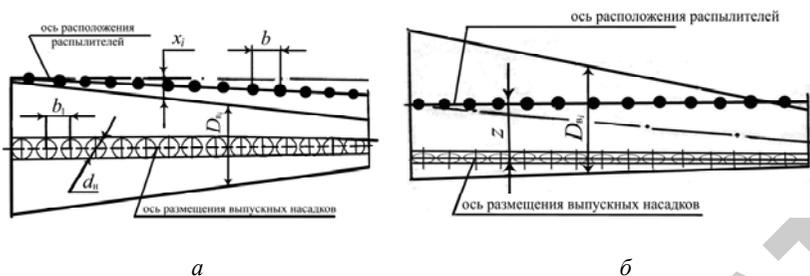


Рис. 7.14. Схема взаимного расположения гидравлических распылителей и выпускных насадок в горизонтальной (вид снизу (а)) и вертикальной (вид сбоку (б)) плоскостях

Для щелевого распылителя при расчетах координат x_i , y необходимо принимать боковой угол факела распыла (в поперечной плоскости) γ^* , который составляет $10...20^\circ$ [103].

Для определения высоты установки воздухораспределительной системы над растительным слоем необходимо предварительно определить расстояние z_{li} , которое определяется из условия полного взаимодействия воздушно-капельного и воздушного потоков. Факел распыла воздушно-капельного потока до входа в растительный слой должен, преодолев определенное расстояние, целиком войти в воздушный поток. Расстояние z_{li} определяется по формуле:

$$z_{li} = \frac{x_i + 0,5D_{вi} - \sin \alpha''(0,5D_{вi} + l_H)}{\sin \alpha''}. \quad (7.96)$$

Высота установки воздухораспределительного рукава над растительным слоем определяется по формуле:

$$H_{вi} = \cos \alpha''(z_{li} + l_H + 0,5D_{вi}) - 0,5D_{вi}. \quad (7.97)$$

Высоту установки гидравлических распылителей над растительным слоем можно определить по формуле:

$$H_{pi} = \cos \alpha'' z_{li} - z. \quad (7.98)$$

Получить численные значения координат взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем и высот установки распылителей и воздухораспределительных рукавов,

а также рассчитать основные конструктивные и кинематические параметры воздухораспределительной системы можно только после обоснования рационального диаметра выпускных насадков воздухораспределительных рукавов.

7.3. Обоснование диаметра выпускных насадков воздухораспределительных рукавов

Обоснование диаметра выпускных насадков воздухораспределительных рукавов проводилось графоаналитическим методом. Принимая различные значения диаметров насадков, по ранее полученным формулам рассчитали основные параметры, результаты которых представлены в табл. 7.4.

Был построен график (рис. 7.15) изменения высоты расположения распылителей в зависимости от диаметра выпускных насадков воздухораспределительных рукавов.

Как уже было отмечено ранее, щелевые распылители должны располагаться на высоте около 0,35 м, а вихревые – на высоте 0,5 м над обрабатываемым объектом. С учетом этих ограничений была получена зона, позволяющая выбрать рациональный диаметр выпускных насадков воздухораспределительных рукавов.

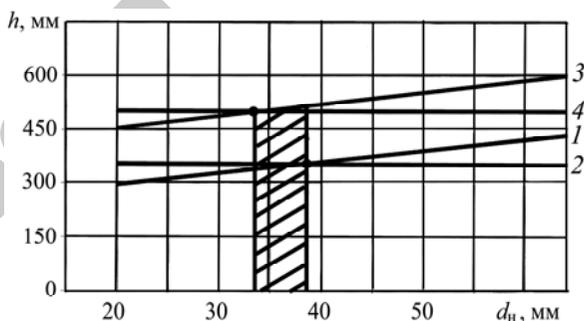


Рис. 7.15. График изменения высоты расположения распылителей над обрабатываемым объектом в зависимости от диаметра выпускных насадков: 1 – щелевые распылители; 2 – рекомендуемая высота установки щелевых распылителей; 3 – вихревые распылители; 4 – рекомендуемая высота установки вихревых распылителей

Таблица 7.4. Конструктивные и кинематические параметры воздухораспределительной системы

Определяемый параметр	Диаметр выпускных насадков, мм						
	20	30	38	40	50	60	70
Межосевое расстояние между выпускными насадками b_1 , мм	33	49	62	66	82	98	115
Длина насадка l_n , мм	38	57	73	76	95	114	134
Количество выпускных насадков n_n , шт.	341	227	178	171	136	114	97
Расстояние h_1 , мм	88	132	167	176	220	264	309
Расстояние h_2 (при работе со щелевыми распылителями), мм	175	175	175	175	175	175	175
Расстояние h_2 (при работе с вихревыми распылителями), мм	149	149	149	149	149	149	149
Начальный диаметр рукавов $D_{в\ нач}$, мм	470	575	646	665	741	815	877
Начальная координата $x_{нач}$ (при работе со щелевыми распылителями), мм	4	25	42	47	73	101	131
Координата z (при работе со щелевыми распылителями), мм	-115	-85	-61	-55	-24	6	36
Начальная координата $x_{нач}$ (при работе с вихревыми распылителями), мм	142	161	180	185	211	238	269
Координата z (при работе с вихревыми распылителями), мм	-36	-6	18	24	54	84	114
Расстояние z_1 (при работе со щелевыми распылителями), мм	205	277	335	350	422	494	566
Расстояние z_1 (при работе с вихревыми распылителями), мм	481	553	335	625	698	770	842
Начальная высота установки рукава $H_{в\ нач}$ (при работе со щелевыми распылителями), мм	181	254	313	327	402	477	552
Начальная высота установки рукава $H_{в\ нач}$ (при работе с вихревыми распылителями), мм	421	494	552	567	642	716	792
Высота установки распылителей H (щелевых), мм	293	326	352	359	392	424	457
Высота установки распылителей H (вихревых), мм	455	488	514	520	553	586	619

В соответствии с графиками (рис. 7.15), диаметр выпускных насадков при работе со щелевыми распылителями должен составлять 38 мм, а при работе с вихревыми – 34 мм. С конструктивной точки зрения диаметр насадков должен быть постоянным независимо от типа применяемых распылителей. В связи с этим целесообразно принять наибольший диаметр – 38 мм. При таком диаметре щелевые распылители будут располагаться на высоте 0,35 м, а вихревые – на высоте 0,51 м (табл. 7.4).

Конечный диаметр воздухораспределительных рукавов $D_{\text{вкон}}$, необходимая производительность вентилятора $Q_{\text{ов}}$, затраты мощности на его привод $N_{\text{ов}}$, кинематические параметры воздухораспределительной системы (скорости внутри воздухораспределительных рукавов $v_{\text{в}}$ и при истечении из выпускных насадков $v_{\text{в0ср}}$, а также конечные координаты взаимного расположения гидравлических распылителей и выпускных насадков $x_{\text{кон}}$, конечная высота установки воздухораспределительных рукавов над объектом обработки $H_{\text{вкон}}$ могут быть определены после проведения экспериментальных исследований.

7.4. Результаты исследования прохождения воздушного потока через растительный слой

В результате проведения исследований было установлено, что при истечении из воздухораспределительного рукава воздушный поток, образующийся после слияния независимых воздушных струй, направленный строго вертикально вниз, встречаясь с растениями, оказывает на них обжимающее действие (облицующий эффект). Вместо эффективного шевеления, поворота листьев и отклонения стеблей растений наблюдалась обратная картина: листья под действием скоростного воздушного потока плотно прижимались к стеблям (рис. 7.16), что в реальных условиях опрыскивания делает доступ капель рабочего раствора пестицида к нижнему и среднему ярусам растений практически невозможным.



Рис. 7.16. Обдув растений вертикальными воздушными струями, вытекающими из насадков

В связи с этим были проделаны опыты с наклонными струями, в ходе которых было установлено, что наиболее эффективным углом наклона выпускных насадков является угол $25 \dots 30^\circ$ к вертикальной плоскости [126].

В результате исследований было также установлено, что максимально допустимая скорость воздушного потока $v_{\max_{\text{доп}}}$, при которой не происходит повреждений растений, составляет $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Данные исследований представлены в табл. 7.5.

Таблица 7.5. Влияние максимальной скорости воздушного потока на растения

Номер опытного растения	Количество листьев на растении, шт.	Количество (шт.) поврежденных листьев при скорости воздушного потока, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$				
		10	15	16	17	20
1	72	Отсут.	Отсут.	6	24	43
2	79	Отсут.	Отсут.	4	19	47
3	65	Отсут.	Отсут.	5	21	38
4	76	Отсут.	Отсут.	3	26	36
5	68	Отсут.	Отсут.	5	15	45
6	71	Отсут.	Отсут.	4	23	43

Результаты исследований прохождения воздушного потока через растения при различных скоростях вхождения представлены в табл. 7.6 и на рис. 7.17.

Таблица 7.6. Средние скорости воздушного потока при прохождении через растения

Расстояние от верхушки растения, см	Средняя скорость прохождения воздушного потока через растительный слой при скорости вхождения воздушного потока в растения, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$				
	15	13	11	9	7
5	14,37	12,53	10,35	8,30	6,37
15	13,12	10,99	9,43	7,46	5,53
25	11,42	9,42	8,42	6,52	4,78
35	9,91	8,35	6,98	5,73	4,16
45	8,35	7,48	6,22	5,08	3,27

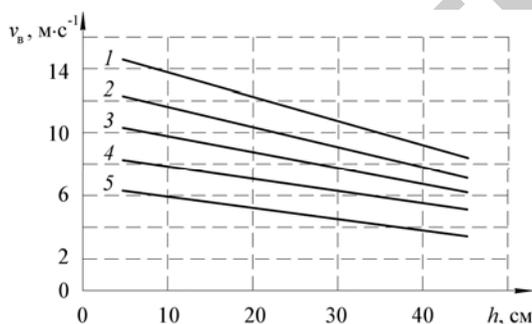


Рис. 7.17. График изменения скорости воздушного потока по мере проникновения в растительный слой при начальных скоростях, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$:
1 – 15; 2 – 13; 3 – 11; 4 – 9; 5 – 7

При проведении опытов было установлено, что поворот листьев в нижнем ярусе растений осуществляется до скорости $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. При меньших скоростях воздушного потока происходило только шевеление листьев. Рассчитанный коэффициент проницаемости Ω для картофеля в фазе средней облиственности составил $1,04 \dots 1,38 \text{ м}^{-1}$.

7.5. Результаты экспериментальных исследований воздухораспределительного рукава

С учетом полученных значений коэффициента проницаемости были проведены расчеты параметров воздухораспределительной системы объемного опрыскивателя (приложение), согласно кото-

рым конечный диаметр воздухораспределительного рукава должен составлять 208 мм для всех вариантов.

При использовании вихревых распылителей с углом факела распыла 80° и шагом расстановки 0,25 м: высота расположения воздухораспределительного рукава над растениями – $H_{\text{нач}} = 0,55$ м, $H_{\text{нач}} = 0,58$ м; скорость выхода воздуха из выпускных насадков – $27 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; начальная скорость воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава – $9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; расчетная производительность вентилятора – $5,9 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; частота вращения лопастного колеса – $15,83 \text{ об} \cdot \text{с}^{-1}$; установочная мощность на привод вентилятора – 11,28 кВт.

При использовании вихревых распылителей с углом факела распыла 80° и шагом расстановки 0,50 м: высота расположения воздухораспределительного рукава над растениями – $H_{\text{в кон}} = 0,85$ м, $H_{\text{в нач}} = 0,87$ м; скорость выхода воздуха из выпускных насадков – $40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; начальная скорость воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава – $13,33 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; расчетная производительность вентилятора – $8,74 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; установочная мощность на привод вентилятора – 36,51 кВт.

При использовании щелевых распылителей с углом факела распыла 110° и шагом расстановки 0,25 м: высота расположения воздухораспределительного рукава над растениями – $H_{\text{в нач}} = 0,31$ м, $H_{\text{в кон}} = 0,34$ м; скорость выхода воздуха из выпускных насадков – $17 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; начальная скорость воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава – $5,67 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; расчетная производительность вентилятора – $3,72 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; установочная мощность на привод вентилятора – 2,8 кВт.

Расчеты показали, что располагать вихревые распылители с шагом расстановки 0,50 м нецелесообразно ввиду больших затрат мощности на привод вентилятора, поэтому в дальнейших исследованиях рассматривались только щелевые распылители с шагом расстановки 0,50 м и вихревые – с шагом расстановки 0,25 м.

Модель воздухораспределительной системы должна обеспечивать такие же скоростные характеристики воздушного потока, что и в объемном опрыскивателе. В связи с этим исследования проводились для 2 вариантов.

Вариант 1: скорость выхода воздуха из отверстий (насадков) – $17 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, начальная скорость воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава – $5,67 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, расчетная производительность вентилятора с учетом критериев подобия – $0,47 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Вариант 2: скорость выхода воздуха из отверстий (насадков) – $27 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, начальная скорость воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава – $9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, расчетная производительность вентилятора с учетом критериев подобия – $0,74 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Воздухораспределительный рукав устанавливался на максимальной для обоих вариантов высоте – $0,58 \text{ м}$ над растениями.

При проведении исследований использовался центробежный вентилятор Ц-4-70 № 6,3 с максимальной частотой вращения лопастного колеса – $24,2 \text{ об} \cdot \text{с}^{-1}$, КПД вентилятора – $0,75$. Вентилятор приводился в действие от электродвигателя А041-6.

7.5.1. Скорости воздуха внутри воздухораспределительного рукава

Теоретические исследования показали, что для создания условий равномерной раздачи воздуха из воздухораспределительного рукава его диаметр должен быть по длине переменным. При этом скорость внутри рукава, обусловленная динамическим давлением, также должна быть переменной, а скорость истечения воздуха из воздухораспределительного рукава – постоянной.

Были проведены теоретические расчеты изменения скорости воздуха внутри рукава по его длине при соответствующем изменении диаметра рукава для *варианта 1* и *варианта 2*, представленные в приложении. Полученные значения скоростей сравнивались с экспериментальными значениями.

На рис. 7.18 представлены графики изменения скорости воздушного потока внутри рукава по его длине для *варианта 1* и *варианта 2*.

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими ($F_{\min} = 9,4$, $F_{\text{табл}} = 3,9$ для *варианта 1*) и ($F_{\min} = 10,7$, $F_{\text{табл}} = 3,9$ для *варианта 2*). Следовательно, диаметры воздухораспределительного рукава, при которых выполняется условие равномерного распределения воздуха по длине рукава для обеспечения одинаковых скоростей истечения воздуха из него, обоснованы верно.

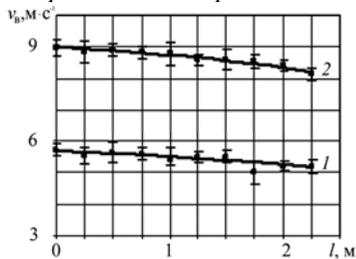


Рис. 7.18. Кривые изменения скорости воздушного потока внутри воздухораспределительного рукава:
1 – для варианта 1;
2 – для варианта 2

7.5.2. Скорости истечения воздуха из воздухораспределительного рукава

Правильно спроектированный воздухораспределительный рукав должен обеспечить одинаковые скорости истечения воздуха из всех выпускных отверстий. Вместе с тем, согласно проведенным теоретическим исследованиям, в первых от вентилятора отверстиях, как правило, наблюдается явление настильности. Воздух вытекает не перпендикулярно оси воздухораспределительного рукава, а под некоторым углом, вследствие этого скорость воздуха в этих отверстиях меньше необходимой. Для создания условий равномерного истечения воздушного потока по всей длине воздухораспределительного рукава необходимо использовать насадки. Для подтверждения данного заключения были проведены опыты по определению скорости и направления истечения воздушного потока из насадков и отверстий.

На рис. 7.19 представлены экспериментальные зависимости, позволяющие сравнить изменение скорости воздушного потока по мере удаления от выходной плоскости отверстий и насадков для вариантов 1 и 2.

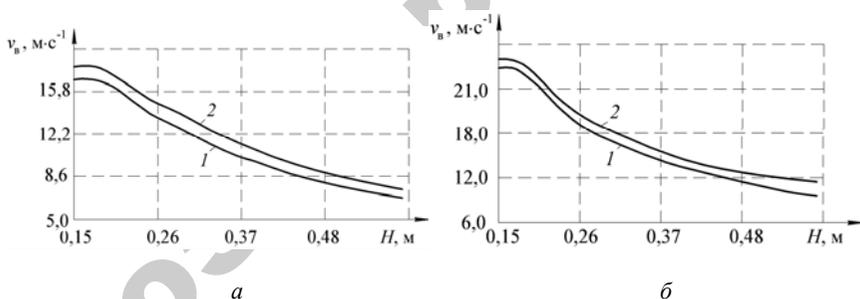


Рис. 7.19. Графики изменения скорости воздушного потока при истечении из насадков (1) и отверстий (2) по мере удаления от выходных отверстий: а – вариант 1; б – вариант 2

На обоих графиках на начальных участках скорость истечения воздуха остается практически неизменной. Расстояния H , на которых сохраняется это постоянство, соответствуют рассчитанным нами ранее расстояниям h_1 для отверстий и насадков. Эти расстояния определяют зону слияния воздушных струй и зону вхождения воз-

душно-капельного потока в воздушный поток. Скорость воздушно-го потока в этой зоне должна соответствовать скорости истечения из воздухораспределительного рукава. Анализируя полученные данные, следует также отметить, что при истечении из насадков скорость воздушного потока затухает значительно быстрее, чем при истечении из отверстий.

Вместе с тем при определении скоростей воздушного потока у выходной плоскости отверстий (табл. 7.7) было обнаружено, что скорости воздуха в начальной и средней частях воздухораспределительного рукава отличаются от значений скоростей в конечной части рукава. Следовательно, условие равномерности воздушного потока нарушается.

Объяснение этому было найдено после визуального наблюдения за направлением истечения воздушного потока из отверстий. По всей длине воздухораспределительного рукава в случае с простыми отверстиями для обоих вариантов наблюдалось отклонение направления воздушных струй от нормального (90° к оси воздухораспределительного рукава), что указывало на наличие явления настильности. На начальном участке (вблизи вентилятора) отклонение направления движения воздуха от нормального для *варианта 2* имело наиболее выраженный характер (рис. 7.20, *а*).

В средней части воздухораспределительного рукава картина истечения воздуха для *вариантов 1 и 2* имела практически идентичный характер (рис. 7.20, *б*). В случае с насадками явление настильности не наблюдалось, воздух из всех насадков вытекал перпендикулярно оси воздухораспределительного рукава, при этом скорость истечения практически не менялась по всей длине рукава.



а



б

Рис. 7.20. Явление настильности у выходной плоскости отверстий на начальном (*а*) и среднем (*б*) участках воздухораспределительного рукава

Таблица 7.7. Экспериментальные значения скоростей воздушного потока у выходной плоскости отверстий воздухораспределительного рукава

№ отверстия (нумерация от вентилятора)	Скорости воздушного потока у выходной плоскости отверстий, м·с ⁻¹					
	Вариант 1			Вариант 2		
	1	2	3	1	2	3
1	15,2	15,3	15,1	23,5	23,4	23,6
2	15,5	15,6	15,7	23,8	23,9	23,8
3	15,8	15,7	15,8	24,1	24,2	24,3
4	15,9	15,8	15,6	24,2	24,3	24,1
5	15,8	15,9	16,1	24,4	24,6	24,2
6	16,0	16,1	16,0	24,5	24,6	24,7
7	16,2	16,1	16,0	24,7	24,8	24,7
8	16,3	16,3	16,2	24,9	24,9	25,2
9	16,6	16,5	16,4	25,5	25,4	25,6
10	17,0	16,9	16,8	25,8	25,9	26,1
11	17,5	17,3	17,4	26,5	26,4	26,6
12	17,9	17,8	18,0	27,1	26,9	26,8
13	18,2	17,9	17,8	27,5	27,6	27,8
14	18,0	17,8	18,1	28,1	28,2	28,3
15	18,1	18,3	18,2	28	28,4	28,1
16	17,9	18,0	18,4	28,3	28,3	28,2
17	18,3	18,3	18,1	28,1	28	28,3
18	18,1	18,0	18,4	28,1	28,2	28,4
19	18,2	18,3	18,1	28,1	28,4	28,1
20	18,2	18,5	18,3	28	28,3	28,2
21	18,1	18,2	18,3	28,3	28,1	28,2
22	18,3	18,2	18,0	28,6	28,4	28,3
Среднее, $v_{\text{вср}}$	17,51	17,46	17,54	27,11	27,31	27,14
Дисперсия, σ_j^2	1,22	1,22	1,30	3,32	3,33	3,31
Среднее квадрат. отклонение, σ_j	1,10	1,10	1,14	1,82	1,82	1,82
Коэффициент вариации, %	6,45	6,44	6,66	6,91	6,90	6,88

В табл. 7.8 представлены экспериментальные значения скоростей воздушного потока у выходной плоскости насадков.

Таблица 7.8. Экспериментальные значения скоростей воздушного потока у выходной плоскости насадков воздухораспределительного рукава

№ насадка (нумерация от вентилятора)	Скорости воздушного потока у выходной плоскости насадков, м·с ⁻¹					
	Вариант 1			Вариант 2		
	1	2	3	1	2	3
1	16,9	16,7	16,8	26,4	26,5	26,3
2	16,7	16,6	16,9	26,6	26,7	26,5
3	16,9	17,0	16,8	26,6	26,7	26,7
4	17,2	17,1	17,4	26,8	26,9	27,2
5	16,9	17,0	17,3	27,0	27,1	27,4
6	17,5	17,2	17,4	27,1	27,0	27,2
7	17,3	17,1	17,3	27,0	27,3	27,1
8	17,1	17,2	17,0	27,0	27,2	26,9
9	17,3	17,4	17,2	27,0	27,1	27,3
10	17,0	16,9	17,4	27,1	27,4	27,1
11	17,2	17,3	17,4	27,0	27,0	27,3
12	17,1	17,2	17,3	27,1	26,9	26,8
13	17,3	17,0	17,0	27,6	27,0	27,1
14	17,2	17,4	17,3	27,1	27,1	26,9
15	17,2	17,0	17,1	26,8	27,2	27,4
16	17,3	17,0	17,2	27,1	27,2	27,0
17	17,2	17,4	17,0	27,3	27,1	27,5
18	17,1	17,0	17,1	27,0	27,3	27,3
19	17,1	17,3	17,1	27,1	27,0	26,8
20	17,2	17,2	17,3	27,4	27,5	27,2
21	17,1	17,4	17,3	27,0	27,4	27,5
22	17,1	17,2	17,0	27,4	27,3	27,1
Среднее, $v_{в\text{ср}}$	27,02	17,12	17,16	27,02	27,09	27,07
Дисперсия, σ_j^2	0,08	0,05	0,04	0,08	0,06	0,10
Среднее квадрат. отклонение, σ_j	0,27	0,22	0,19	0,27	0,25	0,31
Коэффициент вариации, %	1,01	1,27	1,13	1,01	0,91	1,16

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических исследований о необходимости использования насадков в воздухораспределительном рукаве.

На рис. 7.21 представлены зависимости изменения скорости воздушного потока по мере удаления от выходной плоскости при истечении из насадков для вариантов 1 и 2. Теоретические зависимости построены с учетом влияния на воздушный поток воздушно-капельного потока, создаваемого гидравлическими распылителями. При проведении опытов это влияние не учитывалось, так как количественно оценить его очень сложно.

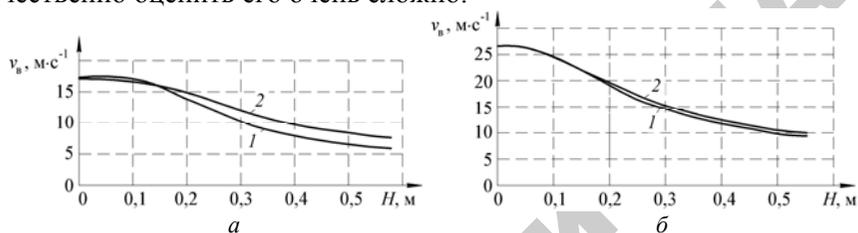


Рис. 7.21. Графики изменения скорости воздушного потока по мере удаления от выходной плоскости насадков:

а – вариант 1; *б* – вариант 2; 1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость

Для варианта 1 при небольшой скорости воздушного потока (до $17 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) полученные данные скорости воздушного потока согласуются с теоретическими ($F_{\min} = 46,4$, $F_{\text{табл}} = 3,7$) на начальном участке, далее по результатам опытов наблюдается увеличение скорости воздушного потока в сравнении с теоретическими значениями, что можно объяснить отсутствием влияния воздушно-капельного потока, создаваемого распылителями, оказывающего при взаимодействии потоков, направленных под углом друг к другу, под тормаживающее действие.

Для варианта 2 полученные данные хорошо согласуются с теоретическими ($F_{\min} = 45,8$, $F_{\text{табл}} = 3,7$), так как при значительной скорости воздушного потока воздушно-капельный поток при взаимодействии не оказывает на него ощутимого влияния при условии, что он значительно уступает воздушному потоку по скорости и массе (по количеству движения). Анализ полученных экспериментальных данных показывает их согласование с теоретическими и доказывает необходимость использования для создания равномерного воздушного поля насадков.

8. ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ПЕСТИЦИДАМИ. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

8.1. Обеспечение безопасности труда при проведении химзащитных работ в растениеводстве

В настоящее время проведение химзащитных работ в растениеводстве является важной и необходимой составляющей всех технологий возделывания сельскохозяйственных культур. От их своевременности и качества выполнения зависит не только объем урожая, его себестоимость, но и здоровье обслуживающего персонала, состояние окружающей среды.

Как известно, пестициды относятся к биологически активным веществам, способным действовать не только на объекты обработки (вредители, болезни, сорные растения), но и на окружающую среду и человека. Все виды работ, связанные с хранением, приготовлением и применением рабочих растворов пестицидов, имеют свои эксплуатационные особенности и требуют выполнения соответствующих мер защиты окружающей среды и работающего персонала. При этом существуют различные подходы к обеспечению безопасности условий труда человека, созданию оптимальной санитарно-гигиенической и экологической обстановки в зоне их применения пестицидов. Рациональное и качественное применение средств химизации в растениеводстве снижает не только нагрузку на экологию окружающей среды, обеспечивает требуемые условия труда механизаторов и обслуживающего персонала, но исключает вероятность накопления их остаточных количеств в кормах и продуктах питания. Поэтому исследование технологических процессов, условий труда персонала, их анализ и разработка на этой основе требований безопасности являются актуальными и важными задачами, решение которых позволит исключить травматизм и обеспечит сохранение здоровья работающих в агропромышленном комплексе [97, 119].

Работа с пестицидами относится к числу наиболее опасных для здоровья операторов, поэтому к их применению предъявляются повышенные требования безопасности, выполнение которых является необходимым условием сохранения здоровья механизаторов и обслуживающего персонала. Для проведения данного вида работ на

сельскохозяйственных предприятиях привлекаются наиболее опытные работники, которые обладают соответствующими знаниями и навыками. К работе с пестицидами не допускаются лица моложе 18 лет, имеющие медицинские противопоказания, беременные и кормящие грудью женщины. Персонал, работающий с пестицидами, в обязательном порядке ежегодно проходит медицинский осмотр и инструктаж по технике безопасности с регистрацией в специальном журнале. Они могут приступать к самостоятельной работе только после прохождения обучения, инструктажа по технике безопасности и при наличии средств индивидуальной защиты.

Продолжительность рабочего дня при работе с пестицидами составляет 6 ч; в случае использования чрезвычайно и высокоопасных препаратов, с выраженными кожно-резорбтивными свойствами – 4 ч (при доработке остальных часов на других работах, не связанных с пестицидами).

Работающие с пестицидами должны строго соблюдать правила личной гигиены. Во время выполнения операций им запрещается принимать пищу, пить, курить, снимать средства индивидуальной защиты, что допускается делать во время отдыха на специально оборудованной площадке после тщательного мытья рук, полостей рта и носа. Порядок снятия средств индивидуальной защиты после окончания работы следующий: не снимая с рук резиновых перчаток, моют их в обеззараживающем растворе (3,5%-ной кальцинированной соды, известкового молока), промывают водой, снимают защитные очки, респиратор, сапоги и комбинезон, снова промывают перчатки в обеззараживающем растворе и воде и снимают их.

Безопасность труда и охрана окружающей среды обеспечиваются строжайшим соблюдением правил техники безопасности и санитарно-гигиенических норм, а также максимальной механизацией всех технологических процессов: хранения, приготовления, транспортировки, применения и утилизации пестицидов.

Хранение. Склады делают достаточно просторными и светлыми, с двумя отделениями: основное (для хранения и отпуска пестицидов) и подсобное (для хранения индивидуальных средств защиты, воды, мыла, полотенец, аптечки). Помещение оборудуют стеллажами, естественной или принудительной вентиляцией, душевой комнатой. Для нейтрализации пестицидов склады

снабжают хлорной известью, кальцинированной содой или другими средствами.

Пестициды хранятся в цельной, закрытой таре, соответствующей техническим условиям изготовления, имеющей этикетки и краткие инструкции по применению и условиям хранения препарата. Они отпускаются со склада в заводской упаковке, а в малых количествах – в свободную тару из-под этих же препаратов. Запрещается пересыпать их в бумагу или тканевые мешки. По окончании работ остатки неиспользованных пестицидов вместе с тарой сдаются обратно на склад.

Приготовление и транспортировка. До начала работ все используемые механизмы должны быть отремонтированы и проверены на герметичность коммуникаций.

Ручное приготовление рабочих растворов пестицидов на заправочных площадках приводит к сильному загрязнению воздушной среды, одежды и кожных покровов рабочих. Поэтому приготовление рабочих растворов пестицидов и их смесей, заправка опрыскивателей и опыливателей должны производиться только механизированным способом на специально оборудованных площадках или стационарных заправочных пунктах с вытяжной системой вентиляции, первичными средствами пожаротушения. Полная механизация приготовления рабочих растворов пестицидов решена в современных моделях опрыскивателей. В их конструкциях имеются дополнительные емкости для пестицидов, где они частично растворяются в воде и гидравлическим способом подаются и перемешиваются с рабочей жидкостью в основной емкости. Кроме того, для приготовления рабочих растворов опрыскиватели могут содержать специальные приспособления в виде миксеров и механических мешалок.

Емкости для транспортировки пестицидов должны иметь герметично закрывающиеся люки с предохранительными клапанами, а также иметь отличительные полосы и надписи. Совместно с пестицидами запрещается перевозить людей, пищевые продукты, питьевую воду, предметы домашнего обихода.

Применение. Протравливание семян проводится только в специально предназначенных помещениях при наличии в них вентиляции или на огороженных открытых специальных площадках, под навесами. Пункты протравливания располагают не ближе 200 м от жилых помещений, источников водоснабжения, скот-

ных дворов, мест хранения продуктов питания, фуража и мест приема пищи и воды.

При протравливании семян обязательна защита глаз, дыхательных путей и кожных покровов очками, респираторами, комбинезонами, шлемами, рукавицами, спецобувью.

Семена протравливают только на исправных агрегатах и в машинах заводского изготовления, исключающих чрезмерное вибрирование и распыление пестицидов в атмосферу.

Внесение. Наибольшая вероятность воздействия пестицидов на человека, объект обработки и окружающую среду возможна в процессе внесения, так как имеет место влияние внешних природных факторов. В настоящее время особую озабоченность вызывает отсутствие технологии последующего безотходного использования оставшегося рабочего раствора и проведение обработок в летние дневные часы при ветреной и жаркой погоде. Поэтому к конструкциям средств механизации, предназначенным для внесения пестицидов, предъявляются повышенные требования безопасности.

Перед началом работ аппаратуру и машины осматривают и проверяют с использованием чистой воды вместо рабочих растворов пестицидов, мела или талька – вместо порошкообразных ядов.

Все работы с пестицидами в жаркую пору (выше $+27^{\circ}\text{C}$) должны вестись в ранние утренние часы и вечером при отсутствии восходящих потоков воздуха. Это вызвано увеличением концентрации пестицидов в воздухе вследствие испарения капель, затруднениями использования средств индивидуальной защиты и спецодежды, увеличением опасности отравления. В пасмурную и прохладную погоду работа может проводиться в дневные часы за 2 ч до начала дождя. Во время работы не допускается направление пылевой волны против ветра и снос ее на работающих, на соседние участки, не подлежащие химической обработке, пастбища и населенные пункты. Опрыскивание растений наземной аппаратурой допускается при скорости ветра не более $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; опрыскивание с использованием полевых штанговых опрыскивателей – не более 4; вентиляторных – не более $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В настоящее время вентиляторные опрыскиватели находят широкое применение при обработках садов.

Одной из основных и нерешенных проблем при опрыскивании является наличие в зоне обработки (в зависимости от направления ветра) большого количества мелких капель, образующихся при рас-

пылении рабочих жидкостей, которые трудно регулируются и представляют основную опасность как для обслуживающего персонала, так и в отношении загрязнения окружающей среды. Мелкие капли легко выносятся из зоны обработки ветром и испаряются, что приводит к насыщению воздуха препаратами, осаждению средств химизации в не подверженных обработкам местах. Капли препарата $d_k = 60$ мкм, проникая в организм человека через незащищенные дыхательные пути, слизистые и кожные покровы, через желудочно-кишечный тракт, могут вызывать острые и хронические отравления [97].

При работе опрыскивателей возникает необходимость периодической прочистки фильтров и распылителей, продувка которых производится при помощи насосов или компрессоров. При выполнении этих операций необходимо пользоваться резиновыми перчатками и респиратором. С целью уменьшения вероятности засорения распылителей рабочие растворы в емкость машин поступают через фильтры.

При работе нескольких опрыскивателей на одном поле расстояние между движущимися агрегатами должно составлять не менее 50 м. В герметичных кабинах всех агрегатов должны быть бачки с питьевой водой и аптечки первой доврачебной помощи.

Утилизация. Тара из-под пестицидов возвращается на склад. Не допускается ее использование для хранения воды и пищевых продуктов. Пришедшая в негодность тара и пестициды уничтожаются в установленном порядке.

Соблюдение требований охраны труда на всех этапах работы с пестицидами (хранение, транспортировка, применение, утилизация), соблюдение мер личной и общественной безопасности может существенно уменьшить опасность применения используемых пестицидов для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Эффективность использования пестицидов при любом способе внесения может быть определена двумя основными критериями:

– физическими измерениями плотности покрытия (в виде числа капель на единицу площади) и объемно-массового показателя отложения ($\text{мг} \cdot \text{см}^{-2}$, $\text{л} \cdot \text{га}^{-1}$) на целевом (возделываемая культура, сорняки, вредные насекомые, поверхность почвы и т. д.) или искусственном объектах;

– биологическая оценка проводится с целью определения степени снижения численности вредных объектов (грибковых заболева-

ний, вредных насекомых, сорняков) или повреждений на обрабатываемом участке.

Взаимосвязь между физическими и биологическими методами оценки воздействия пестицидов на объект обработки непростая, так как эффективность обработки зависит от многих факторов: размера капель; нормы расхода рабочей жидкости; концентрации препарата; удерживаемости капель на целевом объекте; температуры, влажности и подвижности окружающей среды и т. п.

8.2. Практическая реализация результатов исследований

Проведенные исследования позволили обосновать параметры и разработать конструкцию опрыскивателя прицепного штангового ОПО-18 (рисунок), предназначенного для объемной обработки полевых культур рабочими растворами пестицидов, а также для их подкормки жидкими минеральными удобрениями (ЖКУ, КАС) путем поверхностного опрыскивания ими растений в период вегетации.



а



б

Рисунок. Опрыскиватель ОПО-18 в транспортном (а) и рабочем (б) положении

Разработанные конструкции ветрозащитных устройств комбинированного действия использованы в конструкциях агрегатов для ленточного внесения гербицидов при уходе за посевами и посадками пропашных культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами в монографии обобщен материал по методам и техническому обеспечению интегрированной системы защиты сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков. Обоснованы причины снижения эффективности химической защиты растений и предложены направления их устранения.

Предложены способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра и обоснована классификация ветрозащитных устройств, используемых в конструкциях полевых опрыскивателей.

Исследованы закономерности движения капель рабочих растворов пестицидов в факеле распыла и их воздействия на обрабатываемую поверхность. Обоснованы выбор типов гидравлических распылителей и параметры их установки относительно обрабатываемой поверхности.

В результате теоретических исследований обоснованы схемы, конструктивные и кинематические параметры ветрозащитных устройств активного и комбинированного действия.

Полученные авторами результаты были использованы в конструкциях опрыскивателя для объемной обработки вегетирующих культур ОПО-18 и средств механизации для внесения гербицидов ленточным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М. : Наука, 1976. – 888 с.
2. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика. Основы механики жидкости: учеб. пособие для вузов / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1975. – 323 с.
3. Аэрозоли в сельском хозяйстве: сб. ст. / ВАСХНИЛ ; под. ред. Ю.Н. Фадеева. – М. : Колос, 1973. – 242 с.
4. Батулин, В.В. Основы промышленной вентиляции / В.В. Батулин. – М. : Профиздат, 1965. – 608 с.
5. Батулин, В.В. Отопление, вентиляция и газоснабжение: в 2 ч. / В.В. Батулин. – М. : Госстройиздат, 1959. – Ч. 2: Вентиляция. – 291 с.
6. Бердыш, Ю.И. Экологизация защитных мероприятий от вредителей, болезней и сорняков в Краснодарском крае / Ю.И. Бердыш // Химический метод защиты растений. Состояние и перспективы повышения экологической безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Инновац. центр защиты растений, 6–10 дек. 2004 г. / Инновац. центр защиты растений ; ред. колл. В.А. Павлюшина [и др.]. – СПб., 2004. – С. 19–22.
7. Бешанов, А.В. Гербициды в интенсивном овощеводстве / А.В. Бешанов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 248 с.
8. Боровков, В.С. Аэрогидродинамика систем вентиляции и кондиционирования воздуха / В.С. Боровков, Ф.Г. Майрановский. – М. : Стройиздат, 1978. – 116 с.
9. Бородин, В.А. Распыливание жидкости / В.А. Бородин. – М. : Машиностроение, 1967. – 263 с.
10. Борьба с сорняками при возделывании сельскохозяйственных культур / под ред. Г.С. Груздева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 228 с.
11. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 610 с.]
12. Бутаков С.Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции. – М. : Профиздат, 1949. – 242 с.
13. Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики : в 2 т. / Н.Н. Бухгольц. – М. : Наука, 1972. – Т. 1. – 468 с.

14. Бухман, С.В. Экспериментальное исследование распада капель / С.В. Бухман // Вестник АН Каз. ССР. – 1954. – № 1. – С. 81–87.

15. Велецкий, И.Н. Технология применения гербицидов / И.Н. Велецкий. – Л. : Агропромиздат; Ленингр. отд., 1989. – 176 с.

16. Ветрозащитные устройства факела распыла в конструкциях штанговых опрыскивателей / И.С. Крук, Г.Ф. Назарова, Д.Р. Мальцев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. ведущим ученым БГАТУ, создателям науч. школы по автотракторостроению Д.А. Чудакову, В.А. Скотникову, Минск, 28–30 ноября 2013 г. / Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – Минск, 2013. – С. 341–344.

17. Витман, Л.А. Распыливание жидкости форсунками / Л.А. Витман, Б.Д. Кацнельсон, И.И. Палеев. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 264 с.

18. Войташевский, Д.А. Расчеты и исследования гидродинамических решеток / Д.А. Войташевский // Сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та гидромашиностроения. – М. : Машгиз, 1953. – Вып. 16. – 88 с.

19. Волков, В.А. Приближенный расчет движения частиц в сопротивляющейся среде / В.А. Волков // Труды ВИСХОМ. – М. : ЦБТИ трактор. и с.-х. машиностроения, 1956. – Вып. 24. – С. 17–23.

20. Волынский, М.С. Изучение дробления капель в газовом потоке / М.С. Волынский // Доклады АН СССР. – М., 1949. – Т. LXIII. – № 2. – С. 237–240.

21. Волынский, М.С. О дроблении капель в потоке воздуха / М.С. Волынский // Доклады АН СССР. – М., 1948. – Т. LXII. – № 3. – С. 301–304.

22. Вороницкий, И.А. Исследование работы сельскохозяйственных центробежных распылителей: дис. ... канд. техн. наук: 25.10.01 / И.А. Вороницкий. – Мн., 1969. – 234 с.

23. Вялых, В.А. Рекомендации по применению наземного и авиационного опрыскивания при возделывании сельскохозяйственных культур / В.А. Вялых. – Воронеж : Истоки, 2004. – 68 с.

24. Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины: конструирование, расчет, проектирование и эксплуатация / Н.Г. Гладков. – М. : Машгиз, 1961. – 367 с.

25. Горбач, В.Я. Распределение рабочей жидкости при использовании полевых опрыскивателей / В.Я. Горбач, Н.С. Лепехин // Бюл. ВИЗР. – 1976. – № 35. – С. 23–25.

26. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. – М. : Колос, 1965. – Т. 1. – 720 с.

27. Гордеенко, О.В. Выбор распылителей и обоснование параметров их установки при ленточном внесении гербицидов / О.В. Гордеенко, И.С. Крук // Новые ресурсосберегающие технологии и техника в полеводстве юга России: исследования, испытания, результаты: сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед., проект.-тех. ин-т механ. и электрифик. сел. хоз-ва / ред. колл.: В.И. Пахомов [и др.]. – Зерноград, 2006. – С. 202–211.

28. Гордеенко, О.В. Обоснование ветрозащитного устройства к агрегату для междурядной обработки и ленточного внесения пестицидов / О.В. Гордеенко // Наука – образованию, производству, экономике: рефераты докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2002 г.: в 2 т. / Белорус. нац. технич. ун-т; под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск : Технопринт, 2003. – Т. 2. – С. 97–103.

29. Гордеенко, О.В. Обоснование параметров распылителя при совмещении операций по уходу за посевами овощных культур на гребнях / О.В. Гордеенко // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф.; Минск, 2002 г.: в 2 ч. / БГАТУ; под ред. В.П. Степанцова. – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 36–38.

30. Гордеенко, О.В. Обоснование технологии внесения гербицидов при совмещенной междурядной обработке овощных культур на гребнях / О.В. Гордеенко // Природа, человек и экология: материалы Междунар. науч. конф. студ. и аспирантов, Горки, 8–10 нояб. 2000 г. / Белорус. с.-х. акад. – Горки, 2001. – С. 47.

31. Гордеенко, О.В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.В. Гордеенко. – Горки, 2004. – 169 с.

32. Гордеенко, О.В. Обоснование параметров распылителей для ленточного внесения гербицидов при возделывании пропашных культур на гребнях / О.В. Гордеенко, И.С. Крук // Агропанорама. – 2006. – № 3. – С. 36–40.

33. Гудман, Ф. Динамика рассеяния газа поверхностью / Ф. Гудман, Г. Вахман / пер. с англ. Р.Г. Баранцева, А.В. Богданова ; под ред. Р.Г. Баранцева. – М. : Мир, 1980. – 424 с.
34. Гуленко, А.Т. Химическим и биологическим средствам – рациональное применение / А.Т. Гуленко // Защита растений. – 1988. – № 1. – С. 5–8.
35. Дерягин, Б.В. Смачивающие пленки / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев. – М. : Наука, 1984. – 160 с.
36. Дитяткин, Ю.Ф. Распыливание жидкостей / Ю.Ф. Дитяткин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 208 с.
37. Дмитрачков, В.П. Исследование пневматического распылителя для малообъемного внесения рабочих жидкостей пестицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.П. Дмитрачков. – Мн., 1968. – 223 с.
38. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция: учеб. пособие: в 2 ч. / В.Ф. Дроздов. – М. : Высш. школа, 1984. – Ч. 2: Вентиляция. – 263 с.
39. Дубов, А.С. Турбулентность в растительном покрове / А.С. Дубов, Л.П. Быкова, С.В. Маруниг. – Л. : Гидрометеоздат, 1978. – 202 с.
40. Дунай, Н.Ф. Механизация защиты растений / Н.Ф. Дунай, Г.А. Рябцев, П.И. Слободюк. – М. : Колос, 1979. – 272 с.
41. Дунский, В.Ф. Об опрыскивании растений воздушно-капельной струей / В.Ф. Дунский, Л.М. Мондрус // Тракторы и сельхозмашины. – 1973. – № 2. – С. 28–30.
42. Дунский, В.Ф. Оседание аэрозолей / В.Ф. Дунский // Аэрозоли и их применение. – М. : МСХ СССР, 1959. – С. 94–107.
43. Дунский, В.Ф. Оседание грубодисперсного аэрозоля на подстилающую поверхность земли / В.Ф. Дунский [и др.]. – Л. : Гидрометеоздат, 1966. – 235 с.
44. Дунский, В.Ф. Пестицидные аэрозоли / В.Ф. Дунский, Н.В.
45. Жарский, М.А. Гидравлика и гидропривод: пособие / М.А. Жарский. – Минск : Экоперспектива, 2010. – 358 с.
46. Жуковский, М.И. Расчет обтекания решеток профилей турбомашин / М.И. Жуковский. – М. ; Л. : Гос. науч.-тех. изд. машиностроит. лит.-ры, 1960. – 260 с.
47. Захаренко, В.А. Гербициды / В.А. Захаренко. – М. : Агропромиздат, 1990. – 240 с.

48. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.

49. Защита факела распыла пестицида от сноса воздушным потоком / И.С. Крук [и др.] // Инженерный вестник. – 2006. – № 2 (22). – С. 14–18.

50. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Ин-т защиты растений НАН Беларуси ; под ред. С.В. Сороки. – Минск : Беларус. навука, 2005. – 462 с.

51. Исаев, А.П. Гидравлика дождевальных машин / А.П. Исаев. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.

52. Калинушкин, М.П. Вентиляторные установки / М.П. Калинушкин. – М. : Высш. школа, 1962. – 294 с.

53. Кильчевский, Н.А. Курс теоретической механики: в 2 т. / Н.А. Кильчевский. – М. : Наука, 1972. – Т. 1: Кинематика, статика, динамика точки. – 456 с.

54. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев. – М. ; Л. : Гос. энерг. изд-во, 1957. – 352 с.

55. Классификация потерь пестицидов и их оценка / А.Е. Маркевич [и др.] // Инженерный вестник. – 2007. – № 1 (23). – С. 4–7.

56. Клочков, А.В. Работа опрыскивателей с учетом метеорологических условий Беларуси / А.В. Клочков // Агриматко. – 2003. – № 2/7. – С. 49–51.

57. Клочков, А.В. Влияние ветра на качество ленточного внесения пестицидов по поверхности гребня / А.В. Клочков, О.В. Гордеенко // Агропанорама. – 2004. – № 1. – С. 21–23.

58. Клочков, А.В. Ленточное внесение гербицидов при возделывании овощных культур на гребнях / А.В. Клочков, О.В. Гордеенко // Агропанорама. – 2003. – № 3 (37). – С. 11–14.

59. Клочков, А.В. Обоснование типа и параметров оборудования для ленточного внесения пестицидов на гребневую поверхность / А.В. Клочков, О.В. Гордеенко // Вестник БГСХА. – 2003. – № 3. – С. 82–87.

60. Клочков, А.В. Механизация защиты растений / А.В. Клочков, А.Р. Цыганов, А.Е. Маркевич // Материалы совместной деятельности между БСХА и Проектом Тасис FDBEL 9501. – Горки, 1999. – 41 с.

61. Корсунов, Ю.А. Экспериментальное исследование дробления капель жидкости при низких значениях числа Рейнольдса / Ю.А. Корсунов, А.В. Тишин // Изв. Акад. наук СССР. Механика жидкости и газа. – 1971. – № 2. – С. 128–138.

62. Кострюков, В.А. Основы гидравлики и аэродинамики / В.А. Кострюков. – М. : Высшая школа, 1975. – 220 с.

63. Кот, Т.П. Исследование взаимодействия направленного воздушного потока с воздушно-капельным потоком в полевых опрыскивателях объемного действия / Т.П. Кот // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомств. тематический сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси» ; под общ. ред. В.Н. Дашкова. – Минск, 2005. – Вып. 39. – С. 53–58.

64. Кот, Т.П. Обоснование выбора гидравлических распылителей для объемного опрыскивателя / Т.П. Кот // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомств. тематический сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси» ; под общ. ред. В.Н. Дашкова. – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 100–105.

65. Кот, Т.П. Обоснование скоростных характеристик воздушного потока в объемном опрыскивателе / Т.П. Кот // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомств. тематический сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси» ; под общ. ред. В.Н. Дашкова. – Минск, 2005. – Вып. 39. – С. 58–67.

66. Кот, Т.П. Определение конструктивных параметров воздухораспределительной системы объемного опрыскивателя / Т.П. Кот // Современные проблемы агротехнической проходимости и экологии сельскохозяйственных ландшафтов: материалы науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения В.А. Скотникова, Минск, 14–15 окт. 1999 г. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Белорус. госуд. аграр. техн. ун-т ; под ред. Ю.В. Чigareва, А.В. Крутова. – Минск, 2002. – С. 208–215.

67. Кот, Т.П. Повышение эффективности обработки вегетирующих культур обоснованием параметров воздухораспределительной и гидравлической систем штанговых опрыскивателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Т.П. Кот. – Минск, 2006. – 152 с.

68. Крафтс, А. Химическая борьба с сорняками / А. Крафтс, У. Робинс / пер. с англ. Ю.И. Гроссе [и др.]. – М. : Колос, 1964. – 456 с.

69. Крук, И.С. К обоснованию силового воздействия капли пестицида на обрабатываемую поверхность / И.С. Крук // Агропанорама. – 2014. – № 6 (106). – С. 13–16.

70. Крук, И.С. Определение величины потерь пестицидов при обработках в ветреную погоду / И.С. Крук, О.В. Гордеенко, А.А. Козик // Современные технологии и комплексы технических средств в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–27 мая 2005 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под общ. ред. Л.В. Мисуна. – Минск, 2005. – С. 12–13.

71. Крук, И.С. Повышение эффективности химической защиты посадок картофеля от сорняков усовершенствованием культиватора-опрыскивателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.С. Крук. – Минск, 2001. – 200 с.

72. Левич Б.Г. Физико-химическая гидродинамика / Б.Г. Левич. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Физматгиз, 1959. – 699 с.

73. Лепехин, Н.С. Изучение распределения жидкости по ширине факела распылителей для проведения ленточного опрыскивания / Н.С. Лепехин // Бюл. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та защиты растений. – 1988. – № 74. – С. 36–38.

74. Лепехин, Н.С. Снос распыленной рабочей жидкости при опрыскивании сельскохозяйственных культур / Н.С. Лепехин, К.С. Калобина, И.Н. Велецкий, А.С. Радюхин // Бюл. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та защиты растений. – 1967. – № 37. – С. 42–46.

75. Литвинова, Т.П. К вопросу эффективной работы раздающего воздуховода объемного опрыскивателя / Т.П. Литвинова // Проблемы организации управления в современном обществе: теория и практика: материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 1999 г. / ГП БелНИИМСХ; под ред. И.С. Нагорского. – Минск, 1999. – С. 239–241.

76. Литвинова, Т.П. Методологические подходы к оценке распылителей полевых опрыскивателей / Т.П. Литвинова // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. тематический сб. / ГП «БелНИИМСХ»; под общ. ред. И.С. Нагорского. – Мн., 1998. – Вып. 36. – С. 97–104.

77. Литвинова, Т.П. Эффективное использование средств механизации защиты растений / Т.П. Литвинова // Научное обеспечение устойчивого развития Республики Беларусь: материалы Респ. науч.-

практ. конф., Минск, 1998 г. / ГП «БелНИИМСХ»; под ред. И.С. Нагорского. – Мн., 1998. – С. 199–201.

78. Ловкис, З.В. Гидравлика: учеб. пособие / З.В. Ловкис. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 439 с.

79. Ловкис, З.В. Снижение расхода и потерь пестицидов при уходе за посадками картофеля / Л.Я. Степук, И.С. Крук // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 3-й науч.-практ. конф., СПб, 5–6 июня 2002 г.: в 3 т. / Северо-Зап. науч.-исслед. ин-т механиз. и электриф. сел. хоз-ва. – СПб, 2002. – Т. 3: Экологические аспекты электротехнологий, мобильной энергетики и технических средств, применяемых в сельскохозяйственном производстве. – С. 248–254.

80. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов / Л.Г. Лойцянский. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1987. – 840 с.

81. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики: в 2 т. / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М. : Наука, 1983. – Т. 2: Динамика. – 640 с.

82. Лысов, А.К. Средства механизации и методы, улучшающие технологию применения пестицидов в защищенном грунте: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.К. Лысов ; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – Л. ; Пушкин, 1983. – 16 с.

83. Лысов, А.К. Средства механизации и методы, улучшающие технологию применения пестицидов в защищенном грунте: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.К. Лысов. – Л. ; Пушкин, 1983. – 204 с.

84. Лышевский, А.С. Закономерности дробления жидкостей механическими форсунками давления / А.С. Лышевский. – Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т, 1961. – 185 с.

85. Лышевский, А.С. Изменение коэффициента сопротивления жидких капель / А.С. Лышевский // Известия вузов. – М. : Машиностроение, 1964. – С. 54–56.

86. Маркевич, А.Е. Повышение качества опрыскивания пестицидами путем совершенствования щелевых распылителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Е. Маркевич. – Горки, 1998. – 179 с.

87. Математическое моделирование падения капли пестицида при химической защите посевов / Ю.С. Биза [и др.] // Агропанорама. – 2013. – № 3 (97). – С. 9–11.

88. Медников, Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей / Е.П. Медников. – М. : Наука, 1980. – 176 с.

89. Методика инженерного расчета кинематических параметров движения капель рабочего раствора пестицидов в воздушной среде / О.В. Гордеенко [и др.] // Агропанорама. – 2011. – № 6 (88). – С. 6–10.

90. Методика инженерного расчета кинематических параметров движения капель рабочего раствора пестицидов в подвижной воздушной среде / О.В. Гордеенко [и др.] // Агропанорама. – 2014. – № 5 (105). – С. 24–28.

91. Методика инженерного расчета кинематических параметров движения капель рабочего раствора пестицидов с учетом сил сопротивления воздушной среды / О.В. Гордеенко [и др.] // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: сб. докладов XII Междунар. науч.-техн. конф., ГУ ВНИИМСХ, Углич, 10–12 сент. 2012 г.: в 2 ч. / Всерос. науч.-исслед. ин-т мех. сел. хоз-ва. – Углич, 2012. – Ч. 1. – С. 344–351.

92. Метод электроаэрозольного опрыскивания и зарубежные конструкции электростатических опрыскивателей / В.В. Ченцов [и др.]. – Сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия. – М. : ЦНИИТЭИ-тракторосельхозмашин, 1986. – Вып. 12. – 46 с.

93. Механизация защиты растений: справочник / И.Н. Велецкий [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1992. – 223 с.

94. Мондрус, Л.М. Исследование некоторых элементов процесса опрыскивания растений воздушно-капельными струями: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Л.М. Мондрус. – М., 1971. – 186 с.

95. Мэтьюз, Дж.А. Борьба с вредителями сельскохозяйственных культур / Дж.А. Мэтьюз / пер. с англ. И.Н. Заикиной ; под ред. Н.М. Гольшина. – М. : Агропромиздат, 1987. – 205 с.

96. Нагорский, И.С. Механизация процессов химизации и экология / И.С. Нагорский, Л.Я. Степук, В.П. Дмитрачков. – Мн. : Ураджай, 1993. – 272 с.

97. Никитин, Н.В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н.В. Никитин, Ю.Я. Спиридонов, В.Г. Шестаков / под общ. ред. Ю.Я. Спиридонова, В.Г. Шестакова. – М. : Печатный город, 2010. – 200 с.

98. Обоснование кинематических и конструктивных параметров опрыскивателей объемного действия / И.С. Крук [и др.] // Инновационные технологии в производстве

сельскохозяйственной продукции: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2–5 июня 2015 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под ред. В.Б. Ловкиса. – Минск, 2015. – С. 153–159.

99. Обоснование конструктивных параметров комбинированного ветрозащитного устройства к оборудованию для ленточного внесения гербицидов / И.С. Крук [и др.] // Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2–5 июня 2015 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под ред. В.Б. Ловкиса. – Минск, 2015. – С. 160–167.

100. Обоснование способов защиты факела распыла от воздействия ветра / И.С. Крук [и др.] // Современная сельскохозяйственная техника: исследование, проектирование, применение: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–28 мая 2010 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под ред. В.Н. Дашкова, Т.А. Непарко. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 119–122.

101. ООО «Виктория» [Электронный ресурс]. – Ростов н/Д, 2014. – URL: <http://www.raspyl.narod.ru/avia.htm>. – Дата обращения: 01.04.2015.

102. Особенности использования различных типов распылителей в конструкциях полевых опрыскивателей для внесения рабочего раствора пестицидов / О.В. Гордеенко [и др.] // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–13 июня 2008 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под ред. А.В. Кузьмицкого, А.А. Бренча, Т.А. Непарко. – Минск, 2008. – Ч. 1. – С. 203–209.

103. Пажи, Д.Г. Распылители жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М. : Химия, 1979. – 216 с.

104. Пайкин, Д.М. Авиационно-химическая защита растений от вредителей и болезней / Д.М. Пайкин, С.Г. Старостин. – Л. : Отд. изд-ва «Колос», 1965. – 192 с.

105. Опрыскиватель для объемной обработки вегетирующих культур: пат. № 2470 ВУ, МПК В 05В 13/00, А 01М 7/00 / Л.Я. Степук, Т.П. Кот, И.М. Пташиц; РУНИП «Ин-т механиз. сел. хоз-ва НАН Беларуси» – № и 20050256; заявл. 03.05.2005; опубли. 30.05.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1 (48). – С. 168.

106. Пятакин, А.Я. К исследованию аэродинамических свойств жалюзийного решета: сб. ст. / А.Я. Пятакин / Ленингр. с.-х. ин-т. – Л. : Колос, 1966. – Т. 108. – Вып. 1. – С. 117–123.

107. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов: учеб. пособие для втузов / Н.С. Пискунов. – 13-е изд. – М. : Наука, 1985. – 432 с.

108. Пути снижения экологического давления на окружающую среду при проведении химической защиты посадок пропашных культур от сорняков / О.В. Гордеенко [и др.] // Новые ресурсосберегающие технологии и техника в полеводстве юга России: исследования, испытания, результаты : сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед. и проект.-техн. ин-т механиз. и электрифик. сел. хоз-ва. – зерноград, 2006. – С. 211–222.

109. Разработка теоретических и технологических основ совмещения способов химической защиты растений и агротехнических приемов на основе комбинированных машин (надежность технических систем): отчет о НИР / Белорус. гос. с.-х. акад. ; рук. темы: А.В. Клочков, З.В. Ловкис. – Горки, 2001. – 76 с. – № ГР 20014210.

110. Родионов, С.И. Сельскохозяйственной авиации 75 лет / С.И. Родионов, В.В. Белозеров // Защита и карантин растений. – 2000. – № 5. – С. 15–17.

111. Ронкин, В.С. Исследование способов уменьшения потерь пестицидов при опрыскивании полей Белоруссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.В. Ронкин. – Минск, 1978. – 206 с.

112. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М. : Гос. изд-во техн.-теор. лит.-ры, 1954. – 328 с.

113. Сельскохозяйственная авиация: Защита растений и внесение удобрений / под общ. ред. Б.И. Рукавишникова. – М. : Колос, 1967. – 439 с.

114. Снижение потерь пестицидов из-за сноса при проведении обработок в неблагоприятных погодных условиях / И.С. Крук [и др.] // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 13–14 мая 2009 г.: в 3 т. / СПб., ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии; ред. колл. В.Н. Афанасьев [и др.]. – СПб, 2009. – Т. 2: Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин. – С. 50–57.

115. Соколов, М.С. Факторы, влияющие на эффективность гербицидов при послевсходовом применении / М.С. Соколов, В.В. Изубенко. – М. : МСХ СССР, 1969. – 72 с.

116. Соловьева, Н.Ф. Технологии и технические средства для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней / Н.Ф. Соловьева. – М. : Росинформагротех, 2001. – 60 с.

117. Сорока, С.В. Перспективы применения сверхмалой авиации для защиты сельскохозяйственных растений в Беларуси / С.В. Сорока, А.Ф. Скурьят, В.М. Атаманенко // Земляробства і ахова раслін. – 2006. – № 6 (49). – С. 14–16.

118. Сорока, С.В. Состояние и перспектива использования сельскохозяйственной авиации для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков в Беларуси / С.В. Сорока, А.Ф. Скурьят, В.А. Шантыр // Защита растений: сб. науч. тр. / Ин-т защиты растений НАН Беларуси. – Минск, 2009. – Вып. 33. – С. 429–444.

119. Спиридонов, Ю.Я. Развитие отечественной гербологии на современном этапе / Ю.Я. Спиридонов, В.Г. Шестаков. – М. : Печатный город, 2013. – 426 с.

120. Способы защиты факела распыла от воздействия ветра / И.С. Крук [и др.] // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–15 апр. 2011 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; под общ. ред. В.Б. Ловкиса. – Минск, 2004. – Ч. 1. – С. 173–176.

121. Способы и устройства защиты факела распыла при внесении пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация: Межведомственный тематический сб. / НПЦ НАН Беларуси по механиз. сел. хоз-ва / ред. колл. В.Н. Дашков [и др.]. – Минск, 2007. – С. 106–113.

122. Справочник агронома по защите растений. – 2-е изд., доп. – М. : Россельхозиздат, 1974. – 400 с.

123. Справочник по защите растений / В.А. Захарченко [и др.] / под ред. Ю.Н. Фадеева. – М. : Агропромиздат, 1985. – 415 с.

124. Степук, Л.Я. Авиационное и наземное опрыскивание, экологические и экономические аспекты / Л.Я. Степук // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 3. – С. 58–60, 63–64.

125. Степук, Л.Я. Анализ работы опрыскивателей для объемной обработки сельскохозяйственных культур и пути их

совершенствования / Л.Я. Степук, Т.П. Литвинова // Современные проблемы сельскохозяйственной механики: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. М.Е. Мацепуро, Минск, 26–27 мая 1999 г.: в 2 ч. / БелНИИМСХ; под ред. И.С. Нагорского. – Минск, 1999. – Ч. 1. – С. 79–81.

126. Степук, Л.Я. Совершенствование конструкции объемного опрыскивателя типа «AIR PLUS» / Л.Я. Степук, Т.П. Литвинова // Агропанорама. – 2000. – № 1 (17). – С. 23–25.

127. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации в растениеводстве / Л.Я. Степук, И.В. Барановский. – Минск : БОИМ, 2003. – 242 с.

128. Степук, Л.Я. Обоснование взаимного расположения рабочих систем объемного опрыскивателя / Л.Я. Степук, Т.П. Кот // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»; под общ. ред. В.Н. Дашкова. – Минск, 2005. – Вып. 39. – С. 46–52.

129. Степук, Л.Я. Состояние и перспективы механизации химзащитных работ / Л.Я. Степук, Т.П. Литвинова, Т.В. Цехова // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сб. / БелНИИМСХ ; под общ. ред. И.С. Нагорского. – Мн., 1998. – Вып. 36. – С. 86–96.

130. Степук, Л.Я. Экологические и экономические аспекты использования сельскохозяйственной авиации в условиях Республики Беларусь / Л.Я. Степук // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 5. – С. 45–48.

131. Устройства защиты факела распыла жидкости от воздействия воздушных потоков и вариант их классификации / И.С. Крук [и др.] // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2–3 окт. 2008 г. / Ком.-инжен. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – С. 214–216.

132. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений // Тр. ВИСХОМ. – 1970. – 423 с.

133. Хавкин, Ю.И. Центробежные форсунки / Ю.И. Хавкин. – Л. : Машиностроение; Ленингр. отд., 1976. – 168 с.

134. Ченцов, В.В. Создание и внедрение высокопроизводительных протравливателей семенного материала:

автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.04 / В.В. Ченцов; Науч.-произв. объедин. по с.-х. машиностр. – М. : НПО ВИСХОМ, 1992. – 42 с.

135. Чигарев, Г.А. Снос пестицидов при их применении / Г.А. Чигарев, С.П. Старостин, К.С. Калобина // Бюл. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та защиты растений. – 1974. – № 27. – С. 13–18.

136. Чугаев, Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – Л. : Энергия, 1971. – 552 с.

137. Шална, И. Сочетание механических и химических приемов по послеуборочному уходу за картофелем: сб. ст. / И. Шална [и др.] // Агротехника. – Вильнюс, 1989. – № 63. – С. 32–43.

138. Шамаев, Г.П. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней / Г.П. Шамаев, С.Д. Шеруда. – М. : Колос, 1978. – 256 с.

139. Шершабов, И.В. Равномерность распределения материала при работе распылителей / И.В. Шершабов, И.И. Косенков // Механиз. и электрифик. сел. хоз-ва. – 1985. – № 7. – С. 30–31.

140. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 3928 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, А.В. Маркевич, О.В. Гордеенко, А.И. Гайдуковский, М.И. Назарова, Е.В. Послед; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20070215; заявл. 26.03.2007; опубл. 30.10.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5 (58). – С. 163.

141. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 6648 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, О.В. Гордеенко, Е.В. Послед, А.И. Гайдуковский, Г.Ф. Назарова, А.А. Новиков, П.Э. Гринкевич; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100267; заявл. 18.03.2010; опубл. 30.10.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5 (76). – С. 161.

142. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 16589 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, Е.В. Послед, О.В. Гордеенко, С.В. Якубовский, П.Э. Гринкевич, Г.Ф. Назарова; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100608; заявл. 08.06.2010; опубл. 30.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 6 (89). – С. 62.

143. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 9714 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, В.А. Агейчик, Д.Р. Мальцев, О.В. Гордеенко; заявитель Белорус.

гос. аграр. техн. ун-т. – № и 20130442; заявл. 28.05.2013; опубл. 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 6 (95). – С. 171.

144. Ford, R.E. The formation of drops viscous Newtonian liquids sprayed through fan-jet hassles / R.E. Ford, C.G. Furmidge // *British Journal of Applied Physics*. – 1967. – Vol. 18. – № 3. – P. 335–349.

145. Kaminski, Y. Ciagnikowe agregaty maszynowe w nowoczesnym rolnictwie / Y. Kaminski, I. Kruk, A. Shepticki. – Falenty : Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, 2015. – 133 с.

146. Kruk, I.S. Methodological approaches to the justification of the kinematic parameters of the volumetric sprayers // I.S Kruk [et al.] // *Inżynieria Rolnicza*. – 2015. – № 3 (155). – P. 37–46.

147. Sposoby zapobiegania znoszeniu cieczy roboczej podczas zabiegów ochrony roślin / E. Kaminski, I.S. Kruk // *Technika rolnicza ogrodnicza lesna*. – 2011. – № 4. – S. 25–26.

148. Sposoby zapobiegania znoszeniu przez wiatr cieczy roboczej podczas oprysków roślin uprawnych / I.S Kruk [et al.] // *Nowe technologie w rolnictwie zrównowazonym: Skroty referato XVI konferencja naukowo-techniczna, Kelce, Poland, 10–11 marca 2011* / Instytut Technologiczno-Przyrodniczy. – Kelce, 2011.

Научное издание

Крук Игорь Степанович,
Кот Татьяна Петровна, Гордеенко Олег Васильевич

**СПОСОБЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ
ФАКЕЛА РАСПЫЛА
ОТ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА
В КОНСТРУКЦИЯХ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ**

Ответственный за выпуск *М.А. Прищепов*
Редактор *Т.В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *Т.В. Каркоцкой*
Дизайн и оформление обложки *Д.О. Бабаковой*

Подписано в печать 17.11.2015 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 16,51. Уч.-изд. л. 12,91. Тираж 100 экз. Заказ 740.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.