

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ,
СХЕМ ПОДВЕСОК И СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ
ШТАНГ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ.
РЕКОМЕНДАЦИИ**

Минск
БГАТУ
2018

Авторы:

И. С. Крук, С. К. Карпович, А. Е. Маркевич,
В. В. Болвонович, П. В. Чешун

Крук, И. С. Проектирование несущих конструкций, схем подвесок и систем стабилизации штанг полевых опрыскивателей. Рекомендации / И. С. Крук [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2018. – 172 с.: ил. – ISBN 978-985-519-959-6.

Представлен обзор способов и технических средств внесения пестицидов в растениеводстве. Приведен анализ несущих конструкций, схем подвесок, систем стабилизации и механизмов изменения параметров установки штанг полевых опрыскивателей. Приведены результаты теоретических исследований по определению параметров колебаний штанги в зависимости от начальных условий, геометрических размеров несущей конструкции, схемы подвески и системы стабилизации штанги. Уделено внимание вопросам охраны труда при работе с опрыскивателями.

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

Табл. 6. Ил. 109. Библиогр.: 73 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Министерства сельского хозяйства
и продовольствия Республики Беларусь
(протокол № 4-18 от 17 декабря 2018 г.)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси,
Заслуженный деятель науки Республики Беларусь,
генеральный директор РУП «Научно-практический центр
НАН Беларуси по продовольствию» *З. В. Ловкис*;
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»
Белорусского национального
технического университета *А. И. Бобровник*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНЕСЕНИЯ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ ОПРЫСКИВАНИЕМ.....	7
1.1. Опрыскивание посевов сельскохозяйственных культур.....	7
1.2. Требования к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми опрыскивателями.....	12
1.3. Техническое обеспечение опрыскивания рабочими растворами пестицидов в растениеводстве.....	17
1.4. Потери пестицидов при опрыскивании и способы их уменьшения.....	38
1.4.1. Испарение мелких капель.....	39
1.4.2. Скатывание крупных капель с обрабатываемой поверхности.....	40
1.4.3. Огрехи и перекрытия соседних проходов.....	41
1.4.4. Снос капель рабочей жидкости ветром.....	42
1.4.5. Распределение рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине штанги опрыскивателя.....	48
1.4.5.1. Соблюдение норм внесения при изменении рабочей скорости.....	49
1.4.5.2. Оптимальный выбор высоты установки штанги.....	50
1.4.5.3. Обеспечение расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги.....	51
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЛЕБАНИЙ ШТАНГ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОДВЕСКИ И КОНСТРУКЦИЯХ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ.....	106
2.1. Определение параметров колебаний жестко закрепленной на раме опрыскивателя штанги.....	106
2.2. Определение параметров затухающих колебаний штанги при использовании амортизаторов в системе стабилизации.....	110

2.3. Определение параметров затухающих колебаний штанги при использовании в системе стабилизации упругих элементов.....	113
2.4. Определение параметров затухающих колебаний штанги при совместном использовании в системе стабилизации различных демпфирующих элементов....	120
3. ИСПЫТАНИЯ ПОДВЕСОК И СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ШТАНГ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ.....	131
4. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ.....	135
5. ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ ПОЛЕВЫХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ.....	157
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	165

ВВЕДЕНИЕ

Одним из условий получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур является эффективная защита растений от вредителей, болезней и сорняков, основанная на рациональном применении агротехнического и химического методов.

Химический метод защиты растений на сегодняшний день остается самым распространенным благодаря ряду преимуществ – универсальности, высокой эффективности (технической, хозяйственной, экономической), производительности труда, индустриальности, рентабельности, высокому уровню механизации. Универсальность (как главное преимущество метода) базируется на широком ассортименте средств химической защиты – пестицидов, применение которых позволяет не только улучшить качество и увеличить урожай сельскохозяйственной продукции, но и значительно сэкономить энергетические и трудовые ресурсы. 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 сельскохозяйственной продукции, повышение нагрузки на экологию окружающей среды: загрязнение водоемов, грунтовых вод, угнетение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, уничтожение полезной флоры [1–3]. Поэтому необходимыми условиями проведения операций химической защиты посевов культур являются: 1) обеспечение качества конечной продукции, 2) охрана окружающей среды, 3) сохранение оптимального равновесия в экосистеме.

Эффективность использования пестицидов зависит от сроков обработки, равномерности распределения препарата по объекту обработки, нормы расхода рабочей жидкости и ее экологической безопасности, что предъявляет жесткие требования к конструкциям широкозахватных сельскохозяйственных опрыскивателей, которые должны обеспечивать качественную обработку при минимальных потерях и расходе раствора рабочей жидкости.

Одним из показателей качества является равномерность распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности в продольном и поперечном направлениях, что достигается правильной работой распылителей, постоянством расстояния между ними и обрабатываемой

поверхностью в процессе работы агрегата. При движении колеса опрыскивателя копируют микронеровности поверхности поля, приводящие к возмущениям, передающимся через раму штанге, вызывая ее колебания в вертикальной плоскости. Кроме того, непостоянство рабочей скорости движения агрегата приводит к колебаниям штанги в горизонтальной плоскости в направлении его движения. В результате этого неравномерность распределения рабочего раствора по ширине захвата агрегата может достигать 30...135% [1, 3], что влечет снижение эффективности химической защиты и повышение нагрузки на экологию.

Современный уровень развития средств механизации процессов химизации в растениеводстве характеризуется возрастающими требованиями, предъявляемыми к конструкции широкозахватных сельскохозяйственных опрыскивателей: обеспечение качественной обработки растений при минимальных потерях и расходе раствора рабочей жидкости. Требуемые условия выполнимы при оптимальной совместной работе распределяющей, распыляющей и дозирующей систем опрыскивателя. Высокий технический уровень опрыскивателей определяется системой подвески несущей конструкции распределительной штанги, имеющей системы стабилизации, регулировки высоты и угла ее наклона, системы для перевода секций в рабочее и транспортное положение. Именно в совершенствовании данных систем и их конструкций заложен резерв снижения удельной материалоемкости, увеличения надежности опрыскивателей и повышения качества выполняемого ими технологического процесса.

Важным направлением является усовершенствование конструкции штанговых опрыскивателей путем установки приспособлений и механизмов, позволяющих повысить качество внесения пестицидов, снизить их потери и воздействие на экологию и улучшить условия эксплуатации. Поэтому исследование и разработка технологий и средств механизации, позволяющих качественно и с наименьшими потерями выполнить технологические операции защиты растений, является важной задачей.

Авторы выражают благодарность рецензентам: доктору технических наук, профессору Ловкису Зенону Валентиновичу и доктору технических наук, профессору Бобровнику Александру Ивановичу за существенные замечания и благие пожелания. Также признательны редактору Тамаре Владимировне Каркоцкой за дельные замечания и оформление материала рекомендаций.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНЕСЕНИЯ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ ОПРЫСКИВАНИЕМ

1.1. Опрыскивание посевов сельскохозяйственных культур

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 [1, 5].

Известны два способа опрыскивания: штанговое (наземное и авиационное) и дистанционное [4–6].

Авиационное опрыскивание находило до недавнего времени достаточно широкое применение. Преимуществами этого способа являются: высокая производительность (при норме опрыскивания 25 л/га производительность авиации почти в 8 раз выше по сравнению с наземными машинами); отсутствие механических повреждений растений; проведение обработок без уплотнения почвы колесами тракторов; возможность проводить работы в условиях высокой влажности почвы, когда движение наземных машин затруднено. К недостаткам можно отнести повышенную себестоимость (при норме опрыскивания 25 л/га себестоимость на 13 % выше в сравнении с наземными машинами), наличие полей площадью не менее 3 га, при этом длина гона должна быть не менее 500 м для самолетов и 200 м для вертолетов; предельные расстояния перелетов с аэродрома до поля для эффективной работы самолетов – 10 км, вертолетов – 1 км (один аэродром выключает из севооборота около 30 га); снос ветром капель в 4...6 раз больше по сравнению с наземными (отмечен снос гербицидов и повреждение сельскохозяйственных культур [7]).

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. Исследованиями установлено, что потери гербицидов при сносе достигают 20...90 % [2, 5]. До 70 % объема распыленной жидкости и до 80 % объема порошков вносимых пестицидов не достигают объекта обработки [2, 5]. 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 нарушения 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 (рис. 1.1, а). К тому же, ширина захвата дистанционных опрыскивателей зависит от скорости и направления ветра и поэтому не является постоянной величиной [2], в связи с чем 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 кажущейся его 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 [2, 5].

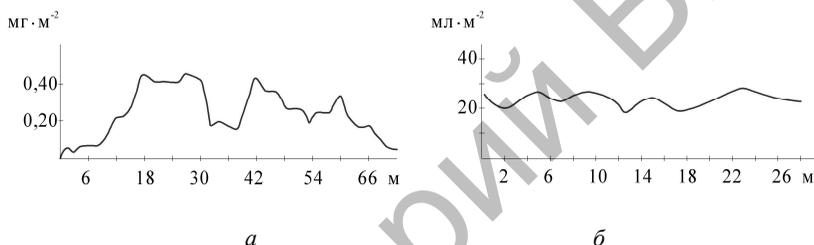


Рис. 1.1. Графики распределения рабочей жидкости по ширине захвата опрыскивателей различного типа: а – вентиляторный; б – штанговый

Штанговые опрыскиватели обеспечивают наиболее низкую неравномерность по ширине захвата. Неравномерность распределения рабочей жидкости штанговыми опрыскивателями в 4,3 раза меньше, чем вентиляторными (рис. 1.1, а, б) [2, 5].

Диаметр капель позволяет разделить опрыскивание на высокодисперсное (0,025...0,050 мм), мелкокапельное (0,051...0,150 мм), крупнокапельное (более 0,15 мм) [2, 4, 5].

В зависимости от объема вносимой на единицу обрабатываемой площади рабочей жидкости различают ультрамалообъемное опрыскивание (5 л/га – полевые культуры и 5...25 – многолетние насаждения), малообъемное (10...50 л/га – вентиляторные или авиационные опрыскиватели и 50...200 – штанговые наземные), объемное (200...300 л/га), многообъемное (более 300 л/га)

[2, 4, 5]. 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 опыливания – 2,0 % [2, 5].

Применение ультрамалообъемного опрыскивания (УМО) началось за рубежом в 60-х гг. XX в., и значительно позже – в республике Беларусь. Для УМО не требуется растворитель (вода), а вследствие низких норм расхода рабочего раствора этот способ обработки 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, близкой к 3 м/с, количество сносимой распыленной жидкости по отношению к осевшей на ширине захвата составляет от 20 до 50 % [2, 5]. Возникают сложности в дозировании препарата, так как к каждому распылителю должно подаваться равное количество 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 значительно 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: 1) возрастание производительности машин вследствие увеличения коэффициента использования рабочего времени смены; 2) снижение затрат труда; 3) достижение более высокого качества обработки, в частности

лучшее проникновение капель в глубину растительного покрова и более высокая равномерность покрытия; 4) отсутствие стекания рабочей жидкости с поверхности растений на почву; 5) 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 [5].

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), хотя и является более трудоемким и менее производительным приемом, 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 [5].

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.

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.

1.2. Требования к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми опрыскивателями

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 максимальное 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 действий, что приводит к непроизводительным потерям и повышенной нагрузке на экологию.

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, при малообъемном – от 10 до 200, при полнообъемном – свыше 300 л/га [2, 5, 8, 9].

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 является важным обеспечение как можно более равномерного распределения 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 рабочей ширины захвата, типа, конструкции и расположения распылителей.

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 и вертикальной плоскостях. Немаловажное значение имеет и состояние поверхности поля, то есть 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 [5].

Чтобы избежать указанных выше потерь, можно значительно снизить дозировку пестицида на единицу площади. На рис. 1.2 представлена зависимость эффективности применения пестицидов от неравномерности их внесения, выявленная в результате исследований шведских ученых [2, 5].

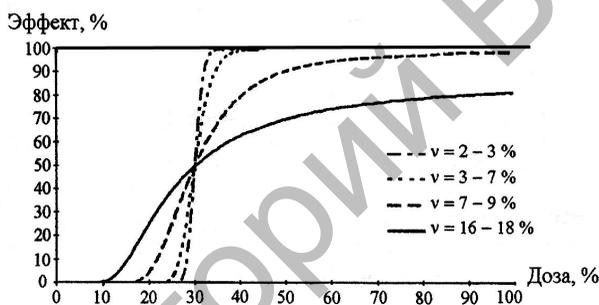


Рис. 1.2. Графические зависимости эффективности применения пестицидов при различной неравномерности их распределения

Анализ графиков (рис. 1.2) 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 России – 15 %. В соответствии с существующими для условий Беларуси агротехническими требованиями неравномерность распределения рабочей

жидкости по ширине захвата машины не должна превышать 15 %, неравномерность расхода рабочей жидкости между распылителями – не более 5 % [2, 5, 9].

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, малоизученный процесс, который 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 производят больший эффект, чем капли с большего диаметра.

В результате анализа 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 [5].

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

Густота покрытия

Густота покрытия, или количество капель на целевом объекте, зависит от препарата, культуры, вредителей, вида 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 [2, 4, 5]. 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 [2, 5].

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, среднекапельное – от 150 до 300, крупнокапельное – свыше 300 мкм [2, 5].

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, хотя и увеличивают опасность сноса и потери препарата. Почвенные гербициды вносятся в виде капель диаметром 0,3...0,5 мм [2, 5, 8].

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

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

Состояние окружающей среды

Все работы с пестицидами в жаркую погоду (значения температуры окружающего воздуха выше +27 °С) должны вестись в ранние утренние часы и вечером при отсутствии восходящих потоков воздуха. Это требование объясняется 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 выпадения осадков.

Установлено, что из зоны обработки сносятся все капли диаметром менее 80 мкм при скорости ветра до 0,25 м/с и менее 250 мкм – до 0,8 м/с [2, 5]. При движении по полю тракторного агрегата в безветренную погоду со скоростью 10 км/ч за ним создается турбулентный след возмущенных воздушных масс, движущихся в поперечном направлении со скоростью до 0,4 м/с [2, 5, 9]. Это также приводит к выносу пестицидов из зоны обработки и насыщению ими воздуха. Воздействие ветра на каплю рабочего раствора будет обязательным 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 м/с; опрыскивание с использованием полевых штанговых опрыскивателей – не более 4 м/с; вентиляторных – не более 3 м/с.

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

1.3. Техническое обеспечение опрыскивания рабочими растворами пестицидов в растениеводстве

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 по назначению (универсальные и штанговые) технологическому способу опрыскивания (сплошная и локальная обработка), способу нанесения распыленной жидкости на обрабатываемый

объект (сплошные и избирательные), способу агрегатирования (тракторные, самоходные, авиационные, малогабаритная аппаратура) и расходу рабочей жидкости (ультрамалообъемные, малообъемные, полнообъемные). 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, в частности штанговым (рис. 1.3) [2, 5, 8, 11].



Рис. 1.3. Штанговые опрыскиватели для наземного внесения пестицидов:
а – навесной; б – прицепной (полуприцепные); в – самоходный

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

- 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 м/с, 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 [2, 5];
- неравномерная обработка вегетирующих растений (неравномерная обработка верхнего, среднего, нижнего ярусов, наружной (адаксиальной) и внутренней (абаксиальной) поверхности листьев, стеблей).

При норме расхода рабочей жидкости 200...300 л/га на нижние ярусы растений препарат практически не попадает, оседая на верхних (более 80 %) ярусах [2, 5].

В настоящее время химические обработки проводятся широкозахватными штанговыми опрыскивателями как зарубежных фирм: Hardi, Moteska, Holder, RAU Agrotechnic, Jacto, Jacoby, Tecnom, Seguir, Evrard, Caruelle, Fertyl, так и отечественного производства: ОАО «Мекосан», ОАО «Дятловская СХТ», ОАО «Ралл», ООО «Ремком», ОАО «Белама Плюс», ОАО «СелАгро» и др. В общем случае опрыскиватели состоят из следующих основных узлов: шасси, насос, всасывающая и нагнетательная магистрали, привод насоса, система очистки рабочей жидкости, емкость для рабочей жидкости, мешалка, контрольно-регулирующее оборудование, распределительная штанга с распылителями [2, 5].

Общее устройство и принцип работы опрыскивателя.

Опрыскиватель предназначен для обработки полевых культур пестицидами, а также для внесения жидких комплексных и других минеральных удобрений путем поверхностного опрыскивания.

Основными узлами опрыскивателя (рис. 1.4) являются регулятор давления 1, фильтр 2, основная емкость (бака) 3, штанга 5 с механизмами подъема и изменения угла наклона и распылителями 4, заправочное устройство 6, миксер 7, насос 8, рама 9. Штанги опрыскивателя, имеющие ширину захвата больше 15 м, дополнительно оборудуются механизмами стабилизации (гашения колебаний).

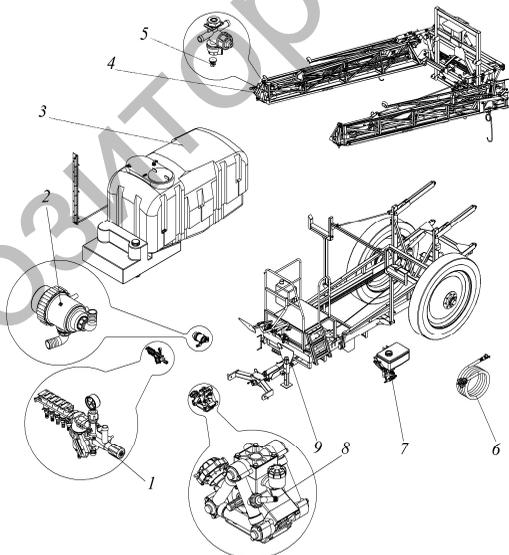


Рис. 1.4. Узлы штангового опрыскивателя [19]

Рама опрыскивателя установлена на колеса, колея которых регулируется бесступенчато.

Опрыскиватель должен быть оборудован стояночным и рабочим тормозом, а также светосигнальными устройствами.

Емкости опрыскивателя. Опрыскиватели могут оснащаться несколькими емкостями (баками) для используемых в работе жидкостей. К ним относятся:

- основная емкость (бак), содержащий воду для опрыскивания или рабочий раствор пестицидов (комплексных удобрений);
- дозаторная емкость (бак) для приготовления и безопасной подачи рабочего раствора в основную емкость опрыскивателя;
- промывочная емкость (бак), содержащий чистую воду для промывки внутренней части бака и коммуникаций после опрыскивания;
- емкость (бак) с чистой водой, используемой оператором для умывания.

Согласно стандартам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), опрыскиватели должны оснащаться емкостями: основной и с чистой водой для умывания.

Опрыскиватели с объемом рабочей жидкости 1000 л и более в обязательном порядке оснащаются дозаторной и промывочной емкостями.

Дозаторная емкость выполняется в виде резервуара, в который можно безопасно влить или поместить неразбавленные составы пестицидов.

Промывочная емкость предназначена для промывки чистой водой основной емкости и системы трубопроводов, содержащих пестицидные растворы. Она имеет объем не менее 10 % от объема основной емкости опрыскивателя.

Емкость для умывания и связанный с ней контур трубопроводов имеют конструкцию, полностью независимую от основных контуров опрыскивателя, содержащих химические растворы. Ее минимальный объем составляет, как правило, 5 л.

Основная емкость (бак) опрыскивателя (рис. 1.5) предназначена для приготовления, транспортировки и содержания рабочей жидкости в процессе работы машины. Она изготавливается из химически стойких пластмасс (полиэстера), стеклопластика или нержавеющей стали.

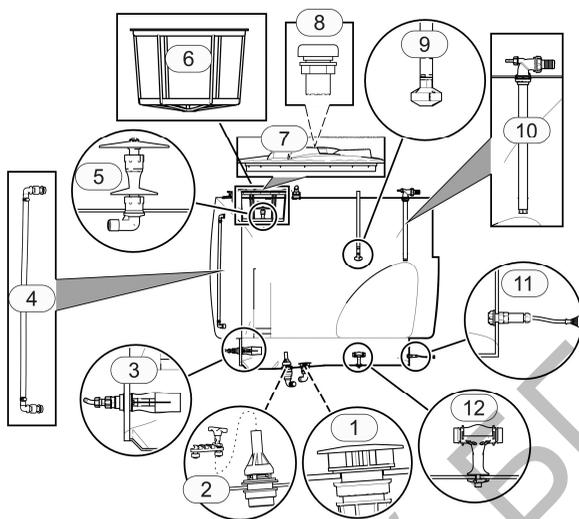


Рис. 1.5. Элементы основной емкости опрыскивателя [8]:

- 1 – антиворонка; 2 – противозагрязняющий сливной клапан; 3 – гидромешалка эжекторная; 4 – уровнемер; 5 – порошоквый смеситель; 6 – корзинный фильтр; 7 – крышка емкости; 8 – дыхательный клапан; 9 – сопло для промывки резервуаров; 10 – гидроэжектор; 11 – датчик уровня в баке электронный (датчик давления); 12 – донная мешалка-омыватель

Главными качествами емкости являются коррозионная стойкость к рабочим жидкостям и герметичность. В конструкциях современных опрыскивателей используются основные емкости, объем которых составляет от 200 до 3500 л и более. Широкое распространение получили емкости 600, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 л.

На боковой и передней поверхностях емкости установлен уровнемер для контроля уровня жидкости, находящейся в ней. В верхней части установлены горловина с фильтрующим элементом и форсункой для закладки пестицидов в виде порошка, концентрата или эмульсии и разбавления и смешивания с технологической жидкостью, и горловина с фильтрующим ситом для заполнения емкости технологической водой для приготовления рабочего раствора. В исключительных случаях опрыскиватели оборудуются отдельными системами контроля растворителя (воды) и концентрата пестицида.

Отверстия для заполнения емкостей диаметром более 400 мм или квадратной формы размером более 400×300 мм оснащаются сетками и герметично закрываются крышками с нефрикционной системой закрытия. Сетчатые фильтры в отверстиях выполняются с размером ячейки 1 мм.

Основная емкость оснащается устройством для безопасного сбора и слива рабочего раствора, оставшегося после выполнения технологического процесса. Данное устройство обеспечивает не более 1,5 % номинального объема бака, или 5 л раствора, оставшегося после слива.

Для исключения образования осадка во время транспортирования рабочей жидкости основная емкость оборудуется системой смешивания механического или гидравлического принципа действия. Гидравлический принцип основан на использовании гидромешалок в виде форсунок, расположенных в нижней части емкости.

Главным качеством бака является его коррозионная стойкость к рабочим растворам пестицидов и его герметичность.

Бак должен иметь уровнемер, отверстие для слива жидкости, заливную горловину. Дополнительно может комплектоваться антиворонкой, противозагрязняющим сливным клапаном, эжекторной гидромешалкой, гидравлическим смесителем порошков, корзинным фильтром, крышкой, распылителем для промывки бака, датчиком уровня, донной мешалкой-омывателем и др.

Антиворонка устанавливается в самой низкой точке емкости для максимального ее опустошения. Она имеет различные исполнения соединения с заборным патрубком и предназначена для предотвращения образования вихрей рабочей жидкости в баке над заборным патрубком.

Противозагрязняющий сливной клапан устанавливается на дне емкости, предназначен для слива жидкости и удаления осадка из бака. Он имеет различные конструктивные решения: сливной патрубок, встроенный в патрубок клапан со штоком и выполненный в виде клапана со шнурковым открытием.

Эжекторная гидромешалка служит для поддержания необходимой концентрации рабочего раствора и представляет собой эжектор, закрепленный в нижней части емкости. Для эффективного перемешивания рабочей жидкости производительность гидромешалки должна быть не менее 4 % от объема бака в минуту.

Уровнемер служит для контроля уровня жидкости в баке.

Гидравлический смеситель порошков предназначен для растворения сухих препаратов. Устанавливается в корзинном фильтре. Сухой препарат засыпается в корзинный фильтр, закрывается крышка горловины, жидкость подается на размыватель и растворяет порошок, раствор стекает в бак.

Корзинный фильтр предназначен для первичной очистки жидкости, заливаемой в бак, и представляет собой сетчатую корзину.

Крышка емкости предназначена для герметизации заливной горловины емкости. Бывает откидной или наверхней.

Дыхательный клапан (лабиринтный или поплавковый) предназначен для предотвращения смятия бака в процессе его опустошения.

Распылитель для промывки бака предназначен для удаления загрязнений, а также остатков препаратов с его внутренних поверхностей.

Датчик уровня, установленный на дне бака (после выполнения должной автоматической калибровки на компьютере опрыскивателя), позволяет отображать уровень жидкости в емкости максимальной высотой 4 м.

Донная мешалка-омыватель позволяет предотвратить образование осадка на дне цистерны, перемешивания его струей, подающейся под давлением из распылителя. В результате ее работы вещества остаются во взвешенном состоянии.

Насосы, устанавливаемые на штанговых опрыскивателях, предназначены:

- для подачи жидкости к распыляющим устройствам;
- гидравлического перемешивания препаратов в баке опрыскивателя;
- заправки бака опрыскивателя водой и средствами защиты растений.

В зависимости от предназначения и технических особенностей в конструкциях штанговых опрыскивателей используются центробежные, поршневые, мембранные и мембранно-поршневые (сочетают характеристики двух предыдущих типов) насосы.

1. Центробежные насосы требуют повышенных оборотов привода, поэтому они соединены с валом отбора мощности через мультипликатор, который представляет собой повышающий шестеренный двухступенчатый редуктор, планетарный или ременный.

2. Поршневые, мембранные и мембранно-поршневые насосы имеют привод непосредственно от вала отбора мощности трактора, как правило, при оборотах 540 об/мин. Насос мембранно-поршневого типа обеспечивает подачу жидкости под давлением к узлам распыла и гидромешалке. Он оборудован демпферной пневмокамерой для сглаживания пульсаций давления. Перед эксплуатацией насоса в демпферную камеру необходимо закачать воздух под давлением, указанным в паспорте на насос. Современные мембранно-поршневые насосы для полевых штанговых опрыскивателей имеют производительность до 400 л/мин и оснащены 2...6 поршнями (мембранами).

Заправочные устройства служат для заполнения бака опрыскивателя водой для приготовления рабочей жидкости.

Миксер служит для разбавления жидких препаратов, а также для растворения порошков и дальнейшего перемещения раствора в основной бак.

Регулятор давления обеспечивает ручную регулировку нормы вылива, в зависимости от давления в системе нагнетания, и распределение жидкости по секциям штанги опрыскивателя. Жидкость поступает от насоса к главному клапану, который направляет ее либо к штанге (штанга включена), либо на слив в бак (штанга выключена). Если штанга включена в работу, то жидкость поступает в общий коллектор нагнетания, где установлены пропорциональный клапан и группа секционных клапанов. Пропорциональный клапан обеспечивает отвод части жидкости обратно в бак, регулируя тем самым давление жидкости в коллекторе. Каждый секционный клапан позволяет отключать из работы секцию штанги. Контроль давления в системе нагнетания осуществляется по манометру.

Фильтры. В состав гидрокommunikаций опрыскивателя входят, как минимум, три или четыре фильтра. Первый, расположенный в заливной горловине основной емкости, должен иметь размер ячеек сетки 700 мкм, второй фильтр располагается перед насосом и должен иметь размер ячеек 280 мкм. Третий фильтр обычно располагают после насоса перед регулятором давления или непосредственно на штангах, перед распылителями. Другие фильтры размещают перед распылителями (в корпусах распылителей); размер их ячеек должен быть согласован с типоразмером используемых распылителей. В соответствии с международным цветовым кодом они должны быть одинакового цвета.

Обычно используются фильтры с размером не менее 280 мкм. В некоторых опрыскивателях могут устанавливаться посекционные фильтры, располагающиеся на гидрокommunikациях после посекционного регулятора давления. Всасывающий фильтр устанавливается между баками (основным и промывочным) и насосом и служит для очистки рабочей смеси от посторонних механических примесей и нерастворенных химических веществ.

Распылители. 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.

В зависимости от способа диспергирования жидкости распыливающие рабочие органы можно классифицировать на гидравлические, пневматические (газовые, воздушоструйные), механические (ротационные), электрические, ультразвуковые, пульсационные, акустические с подводом энергии через газ и комбинированные.

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); среднелдисперсные ($d_k = 150...300$ мкм) и крупнодисперсные ($d_k > 300$ мкм) [2, 5, 8].

Многочисленные опыты показали, что наиболее высокое качество покрытия поверхности достигается при распыливании рабочей жидкости на капли размером 50...250 мкм [2, 5, 8].

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.

В настоящее время широкое распространение получили инжекторные распылители (рис. 1.6), состоящие из корпуса и вставленного в него эжектора, работа которых основана на принципе Ventury.

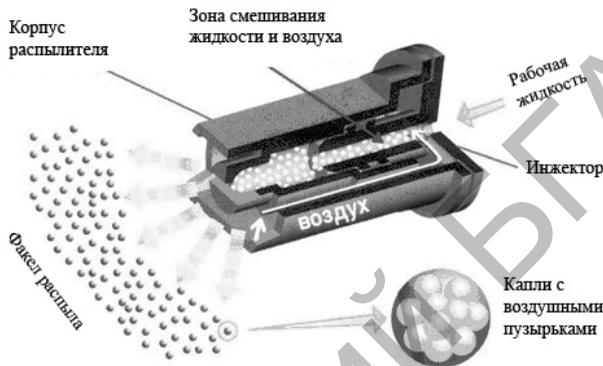


Рис. 1.6. Принцип работы инжекторных распылителей

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.

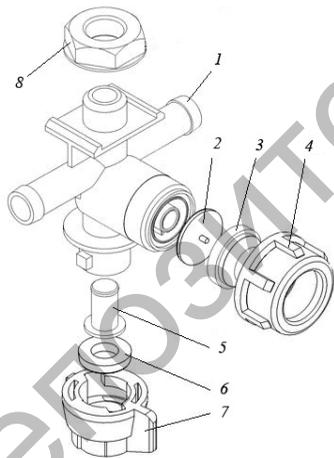
Выходящая из сопла жидкость дробится на достаточно крупные, но относительно легкие капли, которые хорошо удерживаются на поверхности растений.

Количество капель диаметром менее 100 мкм снижено на 90 % в сравнении со стандартными щелевыми распылителями, что обеспечивает возможность применения опрыскивателей при скорости ветра до 8 м/с без риска сноса капель ветром.

При использовании данных распылителей в процессе образования капель в них добавляются пузырьки воздуха, что приводит к увеличению размеров. Такие капли меньше подвержены сносу. При соударении с обрабатываемой поверхностью капли распадаются на более мелкие и полностью ее покрывают. 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 соответствующие параметры факела распыла, которые для различных видов обработок определяются агротехническими требованиями.

Устройство отсечное мембранное (корпус распылителя) предназначено для оснащения опрыскивателей полевых штанговых с целью осуществления крепления распылителя, фильтрации и предотвращения вылива рабочей жидкости из коллектора штанги после отключения привода насоса (рис. 1.7, а).



а



б

Рис. 1.7. Устройство отсечное мембранное:

а – с одним распылителем (в разобранном виде); б – с тремя распылителями (в сборе); 1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – клапан отсечный; 4 – гайка накидная; 5 – фильтр индивидуальный; 6 – кольцо уплотнительное; 7 – гайка байонетная; 8 – гайка крепления

В стандартном исполнении опрыскиватель комплектуется корпусом с одним распылителем, клапаном-отсекателем (противокапельный клапан, или отсечное устройство) и фильтрующим элементом. Дополнительно могут устанавливаться корпуса на 2, 3, 4 и 5 распылителей различных типов и размеров (рис. 1.7, б).

Клапан-отсекатель обеспечивает перекрытие подвода рабочей жидкости к распылителю при падении давления в напорной магистрали ниже 0,07 МПа.

Штанги. Важнейшим узлом в штанговых опрыскивателях, который, в основном, определяет производительность и качество обработки, является *штанга*. Она состоит из несущей конструкции, системы навешивания (подвески), рамы-держателя, механизмов регулировки высоты и угла наклона, механизмов складывания-раскладывания. Обычно несущая конструкция штанг выполнена в виде пространственной фермы, имеющей 3, 5, 7 или 9 секций, соединенных между собой посредством шарниров и оснащенной механизмами фиксации в рабочем положении. Перевод штанг из транспортного положения в рабочее (и наоборот) осуществляется вручную или гидравлическим способом. Штанги с ручным управлением обычно имеют длину до 24 м, штанги с гидравлическим управлением – до 54 м. В последнее время многие производители работают над проблемой уменьшения массы штанги, изготавливая их несущие конструкции в виде плоской фермы или консольной трубы.

Штанги опрыскивателей бывают легкие (рис. 1.8) и усиленные (рис. 1.9) [11, 12]. Легкие штанги (удилища) представляют собой простую конструкцию, однако имеют небольшую ширину захвата. Обычно они состоят из центральной и двух крайних секций, закрепленных при помощи простых шарниров и демпфирующих элементов на раме опрыскивателя. Крайние секции имеют тросовую поддерживающую систему. Ширина захвата таких штанг колеблется от 5 до 12 м, масса – от 28 до 10 кг. Приведенная материалоемкость на 1 м конструктивной длины составляет 5,40...8,75 кг/м.

Усиленные конструкции представляют собой пространственную конструкцию, которая вместе с элементами систем подачи, распыления рабочей жидкости и системой стабилизации имеет значительную массу. Так, масса штанги с шириной захвата 22,5 м может составить до 750 кг [12].

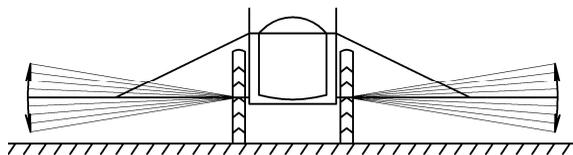


Рис. 1.8. Схема легкой штанги

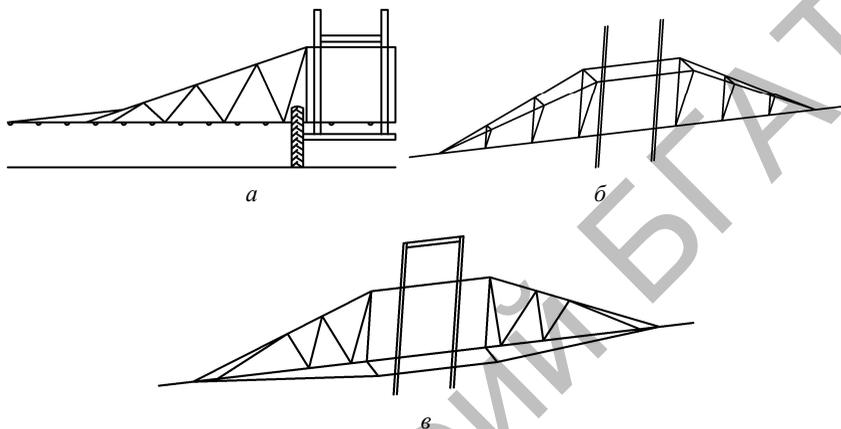


Рис. 1.9. Схемы усиленных плоской (а) и пространственной (б, в) штанг

С увеличением ширины захвата осуществляется переход выполнения несущих конструкций штанг по схеме «удилище»→«плоская ферма» (рис. 1.9, а)→«пространственная ферма» (рис. 1.9, б, в) [11].

Ширина захвата усиленных плоских штанг, выполненных по типу «плоская ферма», колеблется от 9 до 37 м, при этом масса составляет 50...750 кг. Приведенная материалоемкость составляет 5,5...27,5 кг/м [11]. При увеличении длины данного типа штанги свыше 21 м ухудшается качество опрыскивания из-за усиления ее колебаний, поэтому в таких случаях используют несущую конструкцию усиленных пространственных штанг, выполненных по типу «пространственная ферма». Ширина их захвата колеблется от 18 до 36 м, а масса достигает 1000–1500 кг. Материалоемкость составляет 35...47 кг/м [11].

Следует отметить, что усиленные пространственные штанги из-за большей массы предъявляют повышенные требования к системам стабилизации.

В зависимости от ширины захвата штанги бывают многосекционными. Легкая штанга обычно имеет три (центральная, две крайние) секции, усиленная плоская и пространственная – до семи (центральная, четыре промежуточные, две крайние). Крайние секции обычно имеют возможность отклоняться в горизонтальной (в направлении движения агрегата) либо вертикальной плоскостях, и на их краях устанавливаются предохранительные механизмы, предотвращающие поломку штанги и повреждение распылителей при соприкосновении ее концов с почвой или препятствием.

В транспортном положении (рис. 1.10, а) штанги складываются вдоль либо сзади основной емкости в горизонтальной, наклонной или вертикальной плоскостях, а в рабочем (рис. 1.10, б, в) – устанавливаются сзади перпендикулярно направлению движения агрегата.



а



б

Рис. 1.10. Положение штанги в транспортном (а) и рабочем (б) положениях

Для складывания-раскладывания штанг используются различные системы, позволяющие осуществлять данные процессы вручную, при помощи гидроцилиндров или комбинированным способом: центральные секции складываются-раскладываются при помощи гидроцилиндров, а крайние – вручную.

Ручной способ может применяться на легких или усиленных плоских штангах.

Схемы складывания штанг в горизонтальной и наклонной плоскостях с двух сторон основной емкости в направлении движения агрегата наиболее простые.

Для этих целей используются жесткие тяги, тросы, цепи. Различное их сочетание позволяет складывать и раскладывать 5-секционную штангу при помощи двух гидроцилиндров.

Причем жесткие тяги могут выступать в роли упоров при гашении колебаний боковых частей штанги в горизонтальной плоскости.

Для реализации схем складывания штанг в вертикальной плоскости необходимо установить на каждой секции собственный гидроцилиндр, что усложняет конструкцию и массу штанги.

Данная схема обеспечивает наибольшую жесткость и лучшую плавность хода штанги, позволяет варьировать ширину захвата и копировать сложный рельеф полей [11].

Элементы системы точного земледелия

Системы автоматизированного управления (рис. 1.11) и контроля выполнения технологического процесса представляют собой набор электромеханических устройств, которые обеспечивают выполнение технологического процесса в автоматическом режиме.

Информация с датчиков считывается и обрабатывается компьютером, который затем отправляет команды на исполнительные органы, поддерживая заданную норму вылива на гектар.

Основным отличием и преимуществом систем автоматизированного управления расходом жидкости является автоматическое поддержание заданной нормы внесения рабочей жидкости на гектар при изменении скорости движения опрыскивателя.

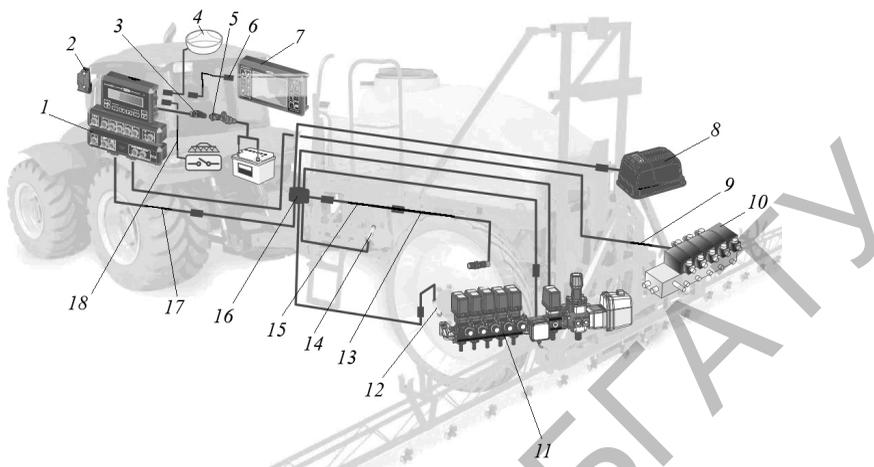


Рис. 1.11. Схема системы автоматизированного управления и контроля выполнения технологического процесса:

1 – блок автоматизированного управления (компьютер); 2 – кронштейн крепления блока управления; 3 – кабель питания; 4 – антенна GPS/DGPS; 5 – розетка питания от аккумулятора; 6 – кабель соединительный; 7 – навигатор-курсоуказатель; 8 – пенный маркер; 9 – кабель управления гидрораспределителем штанги; 10 – гидрораспределитель штанги; 11 – исполнительные устройства (клапана управления процессом) 12 – датчик давления; 13 – датчик скорости; 14 – датчик оборотов насоса (ВОМ); 15 – удлинитель кабеля датчика скорости; 16 – кабель управления; 17 – удлинитель кабеля управления; 18 – педаль ножная

Исполнительные механизмы системы (рис. 1.12) предусматривают наличие главного 1, пропорционального 3 и секционных 6 клапанов, расходомера 5, фильтра линии нагнетания 4 и манометра 7.

Скорость движения опрыскивателя измеряется специальным датчиком, и информация передается на компьютер.

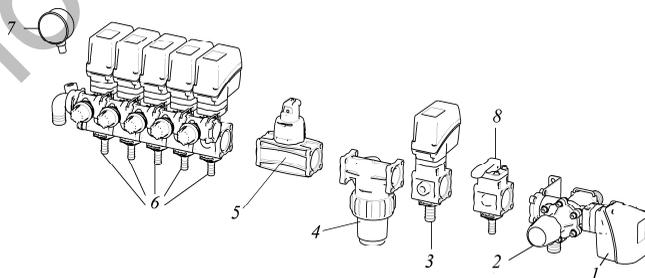


Рис. 1.12. Блок регулирования и распределения жидкости

Главный клапан 1 направляет поток жидкости либо в блок регулирования, либо на слив в бак (имеет два положения: «Открыто» и «Закрыто»). Главные клапаны бывают с ручным рычажным включением или с электромеханическим приводом.

Предохранительный клапан 2 регулирует максимальное давление в системе. Обычно главный и предохранительный клапаны выполнены в общем корпусе. Пропорциональный клапан 3 регулирует количество жидкости, подаваемое на штангу, перенаправляя часть потока на слив в бак.

Фильтр 4 очищает жидкость, нагнетаемую в гидравлические секции. Расходомер 5 предназначен для измерения количества жидкости, потребляемого штангой. По принципу работы расходомеры бывают лопастные и электромагнитные.

Секционные клапаны 6 служат для отключения подачи жидкости в распыливающие устройства секций штанги опрыскивателя.

Манометр не является обязательным элементом системы, поскольку вся необходимая информация выводится на дисплей компьютера. Однако его наличие позволяет обеспечить работоспособность опрыскивателя в случае выхода из строя компьютера.

Управление технологическим процессом осуществляется компьютером, расположенным в кабине трактора. Компьютер обеспечивает настройку параметров технологического процесса и автоматическое их поддержание. Источником данных для компьютера являются расходомер (входит в состав блока 8) и датчик скорости, установленный на несущей балке у левого колеса.

Компьютер Teejet 844-E (рис. 1.13) и комплект оборудования для опрыскивателей предназначен для регулировки количества жидкости, подаваемой на штангу опрыскивателя, за счет изменения давления в системе нагнетания.

В состав комплекта оборудования входит датчик скорости индуктивного типа, расходомер, фильтр линии нагнетания, секция регулировки давления, главный клапан, предохранительный клапан, блок клапанов управления секциями штанги.

Все исполнительные механизмы имеют электрический привод и управляются компьютером Teejet 844-E, располагаемым в кабине трактора. Компьютер обеспечивает автоматическое поддержание нормы внесения рабочей жидкости при изменении движения опрыскивателя. Оператор имеет возможность управлять нормой

внесения, а также получать информацию о следующих технологических параметрах: скорость движения опрыскивателя (км/ч), норма внесения рабочей жидкости (л/га), обработанная площадь данного поля (га), количество внесенной рабочей жидкости на данное поле (л), давление в системе (расчетный показатель – бар).

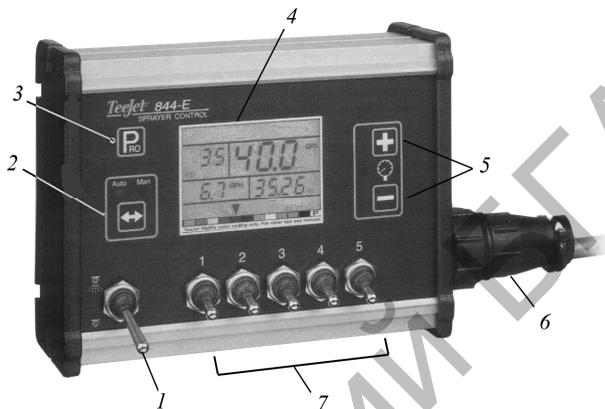


Рис. 1.13. Компьютер Teejet 844-E:

1 – тумблер управления главным клапаном; 2 – кнопка управления режимом работы опрыскивателя; 3 – кнопка режима «Программирование»; 4 – тумблеры управления секционными клапанами; 5 – кнопки изменения параметров; 6 – разъем подключения электропитания; 7 – дисплей

Данная информация хранится в памяти компьютера после его отключения.

Компьютерный блок (рис. 1.14) – электронная система контроля и регулирования нормы расхода рабочей жидкости, предназначенная для автоматизированного регулирования и соблюдения нормы расхода на единицу площади.

Он полностью обеспечивает автоматическую поддержку ранее установленной нормы расхода жидкости независимо от скорости движения агрегата и позволяет оператору контролировать все основные параметры опрыскивания, выключать подачу рабочей жидкости к штанге и при необходимости отключать отдельные секции штанги. Блок оборудован акустическим сигналом, который предупреждает о возникновении отклонений в работе.



Рис. 1.14. Компьютерный блок:
1 – монитор; 2 – блок управления клапанами секций штанги

На мониторе отображаются все параметры работы опрыскивателя: рабочая скорость (км/ч), расход рабочей жидкости (л/га), тип распылителей, обработанная площадь (га), путь, пройденный агрегатом (км), время работы (ч), общий расход рабочей жидкости (л), напряжение аккумулятора (В), рабочее давление в системе (Па), скорость потока рабочей жидкости (л/мин).

Курсоуказатель для параллельного вождения (рис. 1.15) состоит из монитора 1, GPS-антенны 2, проводов 3. Курсоуказатель позволяет работать с оборудованием различной рабочей ширины без перекрытий и огрехов, что дает возможность выполнять технологические операции в темное время суток или в условиях плохой видимости.

Высокая точность системы позволяет использовать ее при проведении всех полевых работ: опрыскивание, внесение удобрений и средств защиты растений, посев и т. д. Система обладает номинальной точностью – 30 см.



Рис. 1.15. Курсоуказатель для параллельного вождения:
1 – монитор; 2 – GPS-антенна; 3 – провода

Дополнительные возможности системы приведены на рис. 1.16, 1.17.

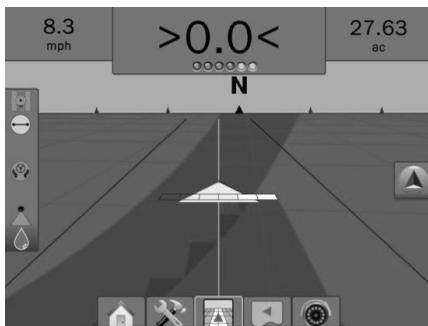


Рис. 1.16. Работа опрыскивателя с включенным блоком BoomPilot (ABSC): поочередно выключаются секции опрыскивателя при пересечении ранее обработанного участка



Рис. 1.17. Пример работы функции «Монитор размера капель». Данные навигатор получает от установленного в опрыскивателе датчика давления на шине CAN

Принцип работы опрыскивателя

Несмотря на многообразие конструкций опрыскивателей, они выполнены по единой принципиальной схеме, предусматривающей последовательность следующих технологических операций: дозирование ядохимиката, распыливание его на мелкие частицы и транспортирование частиц ядохимиката на объект обработки.

При включении ВОМ трактора поток мощности передается на вал насоса 1 (рис. 1.18). Жидкость из основного бака засасывается через патрубок 11, проходит через фильтр 6 и поступает в насос.

При промывке системы жидкость поступает из дополнительного бака 9. Выбор режима работы осуществляется поворотом рукояток трехходовых кранов 7 и 8.

Поток жидкости под давлением можно разделить на три направления: к блоку управления 4, миксеру 16 через кран 2 и к гидромешалке через кран 3. Блок управления 4 устанавливает в системе нагнетания давление, обеспечивающее внесение необходимого количества рабочей жидкости на гектар при текущей скорости опрыскивателя. Скорость опрыскивателя рассчитывает компьютер по данным индуктивного датчика, установленного за левым (по ходу) колесом опрыскивателя.

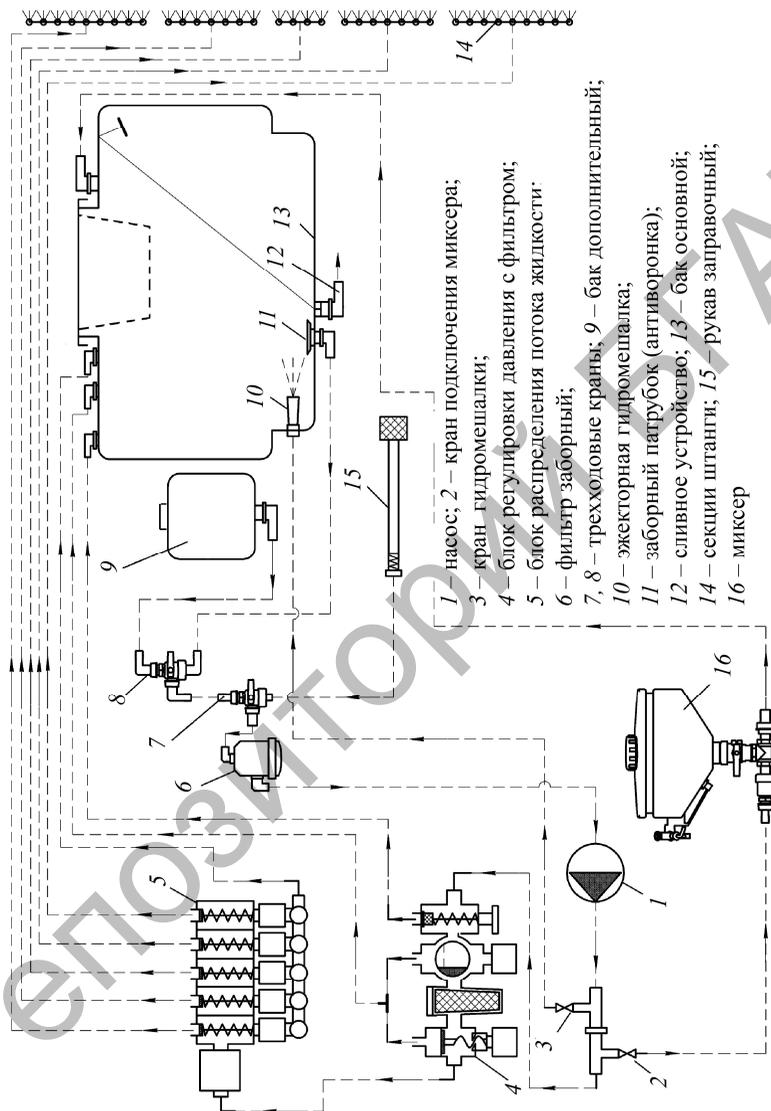


Рис. 1.18. Гидравлическая схема опрыскивателя ОП-2500-24(Т)

Сопоставляя данные по скорости движения и количеству жидкости, идущей на штангу, компьютер рассчитывает текущий объем рабочей жидкости, вносимой на гектар. При отклонении фактической нормы внесения от заданной, компьютер автоматически изменяет давление в системе нагнетания и восстанавливает требуемое значение.

После блока регулировки давления жидкость поступает к блоку распределения 5, где каждая секция обеспечивает запитку секций 14 штанги. Узел распыла состоит из отсечного устройства с индивидуальным фильтром и распылителя, который фиксируется с помощью байонетной гайки. Отсечное устройство обеспечивает отсутствие подтекания жидкости из коллектора линии нагнетания при отключенном приводе насоса. Индивидуальный фильтр предотвращает засорение распылителей.

Распылители дробят рабочую жидкость на капли оптимального размера и равномерно распределяют ее вдоль штанги опрыскивателя. На опрыскивателе используются плоскофакельные щелевые распылители различной производительности, обеспечивающие качественное применение любых типов пестицидов.

При включении в работу гидромешалки 10, жидкость поступает под давлением в ее эжектор и увлекает за собой жидкость, находящуюся в баке. Суммарный объем жидкости, проходящей через гидромешалку за одну минуту, составляет не менее 10 % объема основного бака. Наиболее эффективное перемешивание жидкости достигается при давлении в системе нагнетания не менее 0,5 МПа.

Для самозаправки опрыскивателя используется запорный рукав 15, оборудованный заборным фильтром и обратным клапаном. Для самозаправки опрыскивателя рукав 15 необходимо присоединить к крану 7.

1.4. Потери пестицидов при опрыскивании и способы их уменьшения

В зависимости от характера влияющих факторов, все потери при внесении средств защиты растений можно разделить на производственные (человеческий фактор) и непроизводственные (обусловлены конструкцией сельскохозяйственной машины). При использовании различных технологий применения пестицидов

наблюдаются технологические потери части препарата. По различным данным, величина потерь может составлять от 15 до 50 % [4].

При работе сельскохозяйственных опрыскивателей могут возникать ситуации, приводящие к потере пестицидов: испарение мелких капель; скатывание с обрабатываемой поверхности крупных капель; огрехи и перекрытия соседних проходов; снос препаратов ветром; неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине штанги опрыскивателя [1–5, 8].

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.

1.4.1. Испарение мелких капель

Испарение капель в условиях полевого опрыскивания – сложный физический процесс. Он происходит на трех этапах полета капель: 1) при формировании факела распыленной жидкости; 2) при падении и осаждении на объект; 3) во время нахождения на поверхности обрабатываемого объекта. Первый и третий этапы характерны для опрыскивателей любых типов. Второй этап – только для опрыскивателей, работающих методом волн. 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 окружающую среду. 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 [5].

На испарение влияют температура и влажность воздуха, а также высота установки распылителя по отношению к обрабатываемому объекту (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Продолжительность жизни капель различного диаметра и пройденный ими путь в зависимости от температуры и влажности воздуха [5]

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

При типичных условиях работы опрыскивателей (скорость ветра 2 м/с, высота установки штанги 0,5 м, относительная влажность воздуха 65 %, температура воздуха +20 °С) до 30...40 % капель достигают объекта обработки [1].

Расчетная величина потерь капель размером до 120 мкм от испарения составляет: 40 % – для авиационных, 19 – для вентиляторных и 4 % – для штанговых опрыскивателей [4].

Сократить потери от испарения капель рабочего раствора пестицидов можно, выбирая оптимальные погодные условия для проведения обработок: повышенная влажность воздуха, его невысокая температура и отсутствие ветра.

1.4.2. Скатывание крупных капель с обрабатываемой поверхности

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 объекта, отскакивать или скатываться. Многочисленными экспериментами установлено, что потери вероятны (в определенных условиях) при размере капель более 300 мкм, а наиболее подвержены скатыванию капли диаметром более 600 мкм. [4, 5].

Для обеспечения эффективного 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.

Использование инжекторных распылителей (см. рис. 1.6) также позволяет решить проблему скатывания капель больших размеров с поверхностей обрабатываемых растений. В распылителях данного типа в жидкость, идущую по каналу, подсасывается воздух, и действует так называемый принцип Venturi. В результате создается низкократная пена, капли которой имеют внутри пузырьки воздуха. Это позволяет увеличить размер капель при той же массе жидкости. При соударении с обрабатываемой поверхностью капли не скатываются с листа, а распадаются на более мелкие, эффективно покрывая обрабатываемую поверхность.

1.4.3. Огрехи и перекрытия соседних проходов

При движении опрыскивателя без технологической колеи могут возникнуть огрехи или перекрытия соседних проходов. Огрехи приводят к появлению необработанных участков, перекрытия – участков с двойной дозой внесенных препаратов. Это может быть связано с недостаточным контролем со стороны механизатора или с невозможностью визуального контроля границ обрабатываемого участка.

Исключить или снизить вероятность возникновения огрехов и зон перекрытия можно, применив курсоуказатели (см. рис. 1.15, 1.16) или следоуказатели (маркеры) (рис. 1.19).



a



б

Рис. 1.19. Пенный маркер штангового опрыскивателя [13]

Существуют механические, радиометрические, оптические, пенные маркеры, последние из которых находят широкое применение в растениеводстве. Пенный маркер (рис. 1.19, *a*) состоит из пеногенератора; насоса, подающего жидкость с пенообразователем; насоса, подающего воздух; емкости для хранения жидкости с пенообразователем и пульта управления.

Пеногенератор устанавливается на конце крайней секции штанги, формирует безвредную для растений пену (рис. 1.19, *б*), которая наносится на обрабатываемую поверхность на расстоянии от 3 до 10 м и может сохраняться, в зависимости от погодных условий, на протяжении 10–15 мин. Пена безвредна для растений.

Применение маркерных устройств экономически эффективно, если ширина захвата больше 10 м.

1.4.4. Снос капель рабочей жидкости ветром

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 расходowanego количества раствора, который во время опрыскивания горизонтальными или вертикальными атмосферными воздушными потоками сносится с обрабатываемой площади и оседает вне ее

или переносятся во взвешенном состоянии на большие расстояния (доля атмосферного сноса)» [3].

При скорости движения опрыскивателя 8 км/ч на капли действует воздушный поток скоростью 2 м/с, при скорости опрыскивателя 30 км/ч – 8 м/с [14].

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, при средней скорости 4,6 м/с. Характер изменения сезонного движения воздушных масс по данным всех метеостанций страны примерно одинаков (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Показатели изменения средней скорости ветра в течение года (по месяцам) [5]

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя скорость, м/с	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 близка среднегодовой и находится в пределах 4,4...5,7 м/с, а количество дней с безветренной погодой составляет в месяц от 7 до 12 (в среднем 9,5).

С апреля по август среднедневные скорости ветра превышают допустимые пределы при МО в 1,5...2 раза и при УМО – в 2...3 раза.

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 [2, 5]. Величины сноса капель (расстояние падения от края обрабатываемой полосы) зависимости от их диаметра и скорости ветра приведены в табл. 1.3

Таблица 1.3. Величина сноса капель жидкости с высоты падения 0,5 м в зависимости от их диаметра и скорости ветра [5]

Диаметр капель, мкм	Скорость оседания капель, м/с	Скорость ветра, м/с		
		1	2	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

Для повышения качества обработки сельскохозяйственных культур (при наличии ветра) предлагается ряд конструкторских решений: уменьшение высоты установки распылителей и использование гидравлических распылителей с большими соплами или инжекторных распылителей; применение электрической зарядки частиц; использование пенного опрыскивания; применение пестицидно-полимерных нитей; установка дополнительных распылителей и специальных ветрозащитных устройств; принудительная доставка капель к объекту обработки воздушным потоком.

При обработках в ветреную погоду необходимо как можно ближе расположить штангу над обрабатываемой поверхностью. Известно, что с увеличением высоты штанги всего на 10 см потери препарата из-за сноса в пределах агротехнически допустимой скорости ветра возрастают в 2 раза. Поэтому при обработках в ветреную погоду применяют распылители с широким факелом распыла, что обеспечивает уменьшение высоты расположения штанги над обрабатываемой поверхностью. Переход от распылителей с углом распыления 80...90° к распылителям с углом распыления 110...120° позволяет снизить высоту штанги на 25 см и потери за счет сноса рабочей жидкости.

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 [5].

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, попадание 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 км/ч необходимо производить около 4000 м нити в 1 с [2, 5].

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 по сравнению 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 [5].

Несмотря на это, пенное опрыскивание не находит широкого применения. Основные причины: большие затраты на изготовление специальных опрыскивателей и их эксплуатацию.

На величину потерь по причине сноса существенным образом оказывают влияние расстояние до обрабатываемой поверхности, скорость и направление ветра [2, 5], поэтому необходимо оградить факел распыла от прямого воздействия ветра.

Одним из направлений поиска решений является применение ветрозащитных устройств [2, 5]. По принципу действия они делятся на три группы (рис. 1.20): 1) пассивные, 2) активные, 3) комбинированные [5].

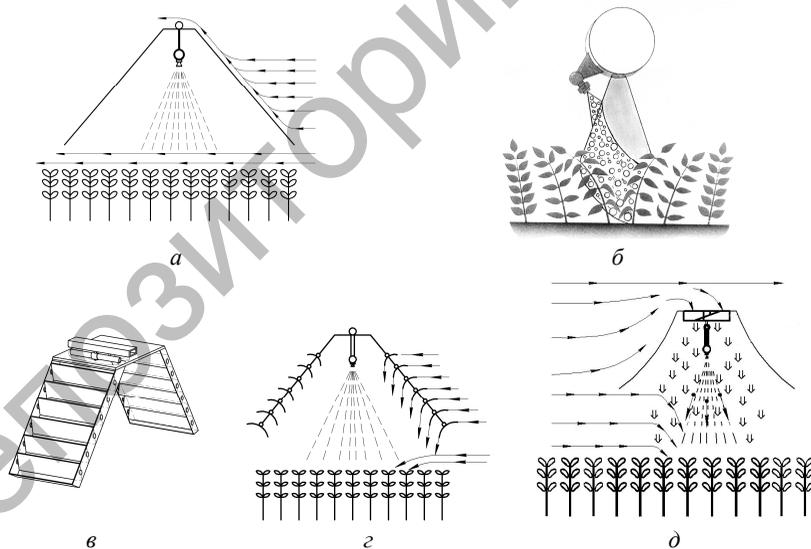


Рис. 1.20. Схемы ветрозащитных устройств:
 а – пассивного действия; б – активного действия;
 в, г, д – комбинированного действия

К ветрозащитным устройствам пассивного действия (рис. 1.20, а) относятся различные конструкции козырьков или щитков [5], 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.

Недостатком конструкций данных ветрозащитных устройств является невозможность полной защиты факела распыла от ветра вследствие наличия зазора между нижними краями козырька и обрабатываемой поверхностью, что 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. С другой стороны, вследствие большой площади щитков, воспринимающих своей поверхностью давление встречного воздушного потока, приводит к увеличению аэродинамической нагрузки, влекущей за собой возрастание сопротивления движению агрегата. Следовательно, увеличиваются энергозатраты на выполнение технологического процесса, повышается воздействие на несущую конструкцию штанги, возникают ее колебания, что может привести к повреждению растений и повлечь неравномерность распределения рабочего раствора в продольном направлении.

Ветрозащитные устройства активного действия (рис. 1.20, б) основаны на использовании дополнительных устройств, создающих воздушный поток, который осаждает капли на объект обработки. Он позволяет проводить опрыскивание при скорости ветра до 8 м/с (простое опрыскивание – до 5 м/с) [2, 5], 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 л/га (вместо 150...300 л/га), что снижает себестоимость обработки. Кроме того, появляется возможность до 50 % увеличить рабочую скорость агрегата, следовательно, и производительность [2, 5].

Совместное использование ветрозащитных устройств активного действия и инжекторных распылителей позволяет на 13 % повысить качество покрытия обработанной поверхности [2, 5].

Ветрозащитное устройство активного действия может быть изготовлено и без воздухораспределительных рукавов. При этом каждый распылитель снабжается вентилятором с приводом.

Конструкции ветрозащитных устройств комбинированного действия (см. рис. 1.20, *в, г, д*) 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) [2, 5].

1.4.5. Распределение рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине штанги опрыскивателя

В процессе работы опрыскивателя по разным причинам могут возникать проблемы, влияющие на равномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата и вдоль движения агрегата: несоответствие нормы внесения при изменении рабочей скорости; изменение расхода жидкости вследствие перепадов давлений

в жидкостной напорной магистрали; неправильный выбор высоты установки штанги; непостоянство расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги (угол установки, колебания штанги).

1.4.5.1. Соблюдение норм внесения при изменении рабочей скорости

Основным фактором, влияющим на неравномерность распределения по линии внесения, является рабочая скорость движения опрыскивателя. Рекомендуемая скорость движения опрыскивателей при работе со щелевыми распылителями не превышает 7–8 км/ч [14]. Это связано и с усилением ветрового сноса, и с горизонтальными колебаниями штанги, которые все равно возникают, каким бы ровным не было поле. Дальнейшее увеличение скорости означает дополнительные потери, но они могут быть разумными при правильном выборе нормы расхода, подборе распылителя, сертифицированного для работы на повышенных скоростях.

Перепады давления в напорной жидкостной магистрали могут быть вызваны перебоями в работе насоса, регулятора-делителя потоков.

Для исключения влияния перепадов давления, нормы внесения пестицидов и скорости движения агрегата на равномерность распределения рабочей жидкости в конструкциях опрыскивателей используются устройства для стабилизации расхода путем поддержания постоянного давления в напорной магистрали и механизмов автоматизированного изменения расхода жидкости при изменении рабочей скорости движения агрегата. Насосы снабжены устройствами, сглаживающими пульсации жидкости.

Кроме того, неравномерность распределения пестицидов по ширине захвата во многом зависит от качества и степени изношенности распылителей. В большинстве стран установлены нормативы по значениям коэффициента вариации для распылителей: он должен находиться в пределах 5...15 % [5]. По мере износа выходного сопла коэффициент растет. Фирма TeeJet приводит такую зависимость коэффициента вариации для распылителей: новый – 6 %,

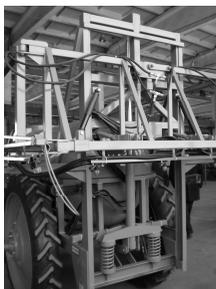
изношенный – 35, поврежденный – более 57 %. Поэтому необходима своевременная замена распылителей, а в большинстве случаев – полная замена перед началом сезона обработок.

1.4.5.2. Оптимальный выбор высоты установки штанги

Одним из приемов уменьшения потерь является правильный выбор высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью. Оптимальной считается высота, при которой пересечение факелов распыления рабочей жидкости происходит на середине расстояния между штангой и обрабатываемой поверхностью. Высота штанги определяется углом распыления: чем он больше, тем меньше ее высота над обрабатываемой поверхностью. В большинстве случаев настройка высоты выполняется исходя из отношения расстояния между распылителями к высоте, равного 1:1. Например, плоскоструйные распылители с углом распыления 110...120° и расстоянием 50 см друг от друга устанавливаются на высоте 50 см над обрабатываемой поверхностью. Допускается установка штанги на высоту до 75 см, но при этом надо либо увеличить шаг расстановки распылителей до 75 см, либо использовать распылители с углом распыления 80...90°, учитывая отношение расстояния между распылителями к высоте 1:1,5 [15]. Критическим фактором является достижение двойного перекрытия рисунка распыления. При изменении высоты штанги всего на 10 см расход рабочей жидкости в зоне перекрытия увеличивается на 40 %, а в остальной зоне – снижается на 30 % [2].

В конструкциях полевых штанговых опрыскивателей изменение высоты установки штанги над обрабатываемой поверхностью осуществляется с использованием гидравлической системы энергетического средства (трактора, самоходного шасси). При этом данный процесс может осуществляться следующими способами:

- штанга навешивается на шток гидроцилиндра изменения высоты (рис. 1.21, а);
- штанга навешивается на параллелограммный механизм изменения высоты, звенья которого изменяют угол наклона при помощи одного или двух гидроцилиндров (рис. 1.21, б);
- высота установки штанги изменяется при помощи элементов гибкой связи (тросо-блочная система) (рис. 1.21, в).



a



б



в

Рис. 1.21. Механизмы изменения высоты установки штанги

При этом высота установки штанги должна контролироваться в начале работ и при заправке опрыскивателя. Для более точного расположения штанги над обрабатываемой поверхностью и корректировки его в процессе работы в конструкциях современных опрыскивателей используются автоматизированные системы контроля и управления, основанные на использовании различных датчиков.

1.4.5.3. Обеспечение расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги

Угол установки штанги

Важным условием качественной работы опрыскивателя является постоянство расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по всей длине штанги.

Установка штанги относительно обрабатываемого объекта характеризуется двумя основными параметрами: высота установки и угол наклона. Высоту установки выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось как минимум двойное перекрытие факела распыла. Для полевых опрыскивателей, в конструкции которых используются щелевые распылители, высота установки штанги может находиться в пределах 30...70 см от выходного сопла до обрабатываемой поверхности. Поэтому, с учетом высоты посевов, конструкция современных опрыскивателей должна обеспечивать подъем штанги до 2,5 м.

Вторым немаловажным параметром, влияющим на равномерность распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности, является угол установки штанги относительно обрабатываемой поверхности (рис. 1.22, *а*, *б*). Изменение угла наклона штанги приводит к нарушению геометрии факелов распыла (рис. 1.22, *а*), что влечет перераспределение рабочей жидкости по ширине захвата. При наклоне крайней секции штанги ухудшается качество распределения жидкости более чем в 2 раза, причем в большей степени это сказывается при установке узкофакельных распылителей (1.22, *б*).

Поэтому при движении по склону должна соблюдаться параллельность установки штанги обрабатываемой поверхности (рис. 1.22).

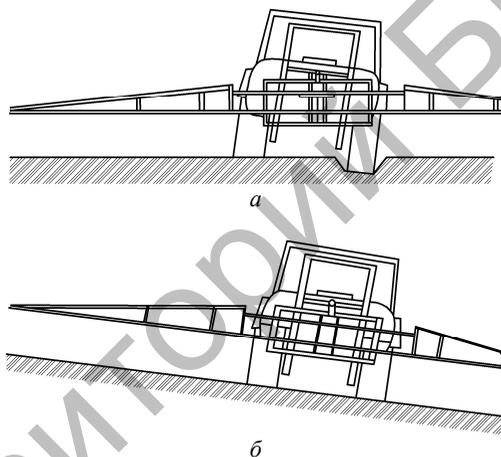
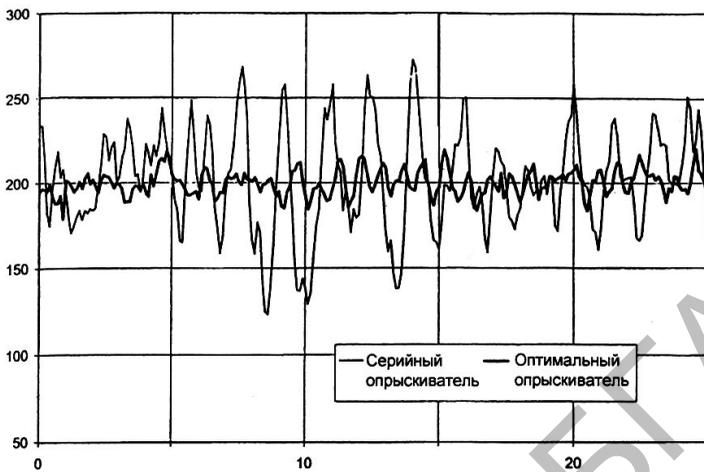
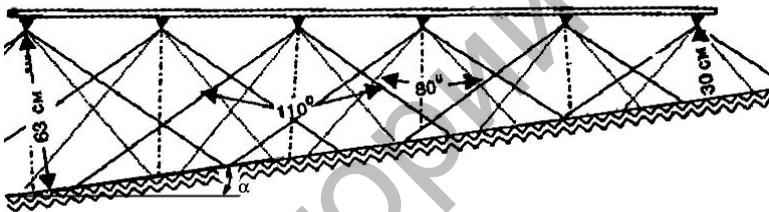


Рис. 1.22. Схема расположения штанги над обрабатываемой поверхностью:
а – при движении колеса в неровности; *б* – при движении по склону

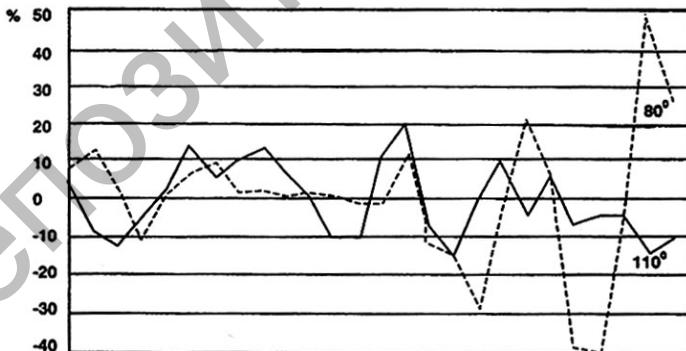
Известно, что эпюра распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности при параллельном расположении штанги имеет вид, представленный на рис. 1.23, *а* [1]. Однако при обработке склонов, при расположении штанги параллельно горизонту (рис. 1.23, *б*), неравномерность распределения резко возрастает, и эпюра выглядит иным образом (рис. 1.23, *в*). При этом неравномерность тем выше, чем больше угол уклона α . Поэтому необходимо устанавливать на навеске штанги механизм регулировки угла наклона штанги относительно обрабатываемой поверхности.



a



b



c

Рис. 1.23. Графики влияния угла наклона штанги на неравномерность распределения рабочего раствора по ширине захвата [1]

Для регулировки угла установки штанги в вертикальной плоскости относительно горизонта в конструкциях опрыскивателей имеются соответствующие механизмы (рис. 1.24). В зависимости от способа управления процессом изменения угла наклона штанги различают механизмы ручного (рис. 1.24, *а*), гидравлического (рис. 1.24, *б*) и электрического (рис. 1.24, *в*) действия.

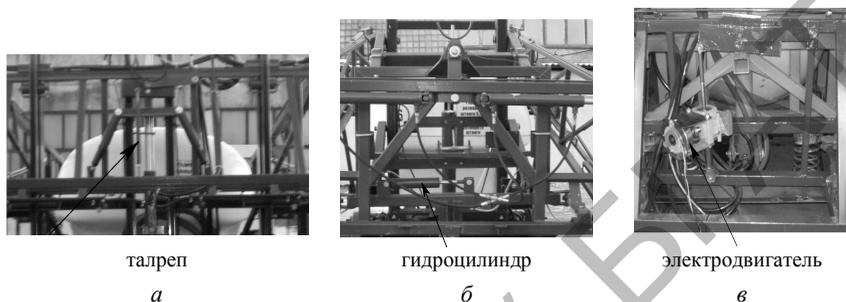


Рис. 1.24. Механизмы изменения угла наклона штанги

В конструкциях опрыскивателей широко используются механизмы механического (с ручным приводом), гидравлического и электрического действия, которые позволяют смещать центр масс штанги влево-вправо относительно точки подвеса.

В конструкциях опрыскивателей используются механизмы изменения угла наклона всей штанги, отдельно ее правого или левого крыла (рис. 1.25, *а*) [16] или каждой секции (рис. 1.25, *б*) [2, 12].

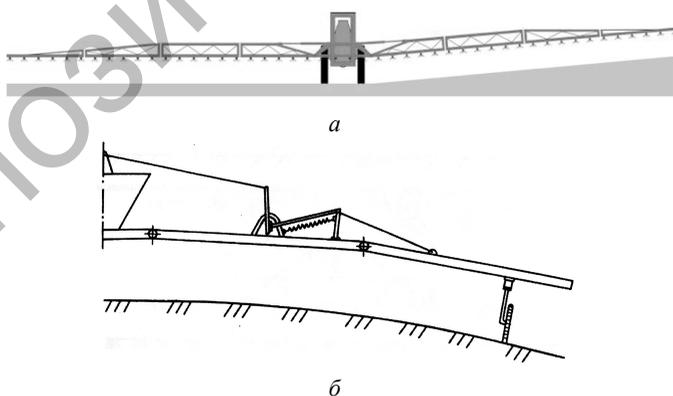


Рис. 1.25. Схема изменения угла наклона каждого крыла штанги опрыскивателя

Механизмы механического действия широко используются в конструкциях отечественных опрыскивателей. Они содержат винтовой (пара винтовых) механизм, при помощи которого регулируется угол наклона штанги. Недостатками механизмов данной группы являются присутствие ручного труда механизатора и необходимость совершения остановок для регулировки угла положения штанги, что в условиях постоянного изменения рельефа почвы приводит к большим потерям времени на операцию внесения пестицидов, соответственно, к снижению производительности опрыскивателя.

Система управления штангой опрыскивателей Goliat фирмы Krukowiak (Польша) дополнительно оборудована сервомотором (рис. 1.26), который регулирует положение штанги относительно склона. В конструкциях опрыскивателей фирмы Amazone используется механизм изменения угла наклона штанги электрического действия (рис. 1.27).

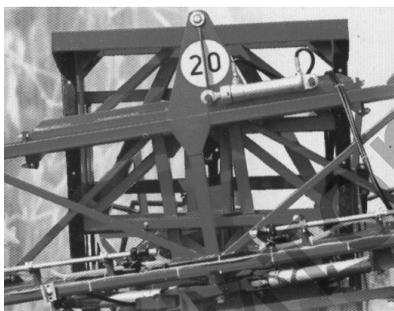


Рис. 1.26. Навеска опрыскивателя Goliat



Рис. 1.27. Механизм регулировки угла наклона штанги фирмы Amazone

Быстрый и точный наклон, а также возврат в исходное положение производится надежно и просто при помощи пульта управления арматуры из кабины трактора.

Для параллельного копирования местности каждая штанга опрыскивателей Primus и Albatros фирмы Lemken (рис. 1.28) оснащена компенсатором наклона, управление которым осуществляется с блока управления в кабине трактора. Электромотор сдвигает штанги и тем самым смещает центр их тяжести по направлению от склона [19]. Данная система дополнительно может снабжаться электронным потенциометром.

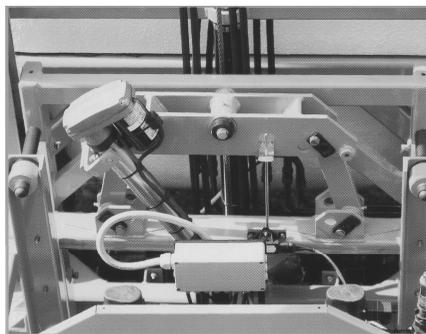


Рис. 1.28. Система контроля опрыскивателя Albatros (Lemken)

Опрыскиватели фирмы RAU оборудованы маятником и маятниковым выравнителем гидравлического действия относительно склона, которые позволяют автоматически установить параллельное расположение штанги относительно обрабатываемой поверхности. При этом автоматика выравнивания штанги включается только при работах на склонах.

Опрыскиватели Commander фирмы Hardi (Дания) оснащены электрогидравлической системой управления каждой боковой секцией штанги и регулировки угла их наклона (рис. 1.29).

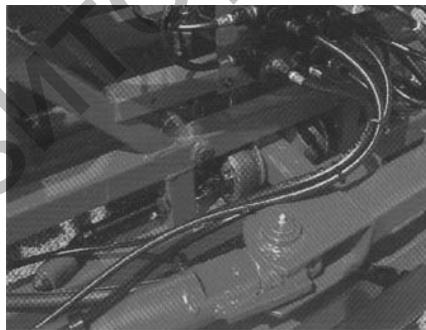


Рис. 1.29. Электрогидравлическая система выравнивания штанги фирмы Hardi

Компанией AG Shield разработана гидромеханическая система регулирования высоты штанги GFS (рис. 1.30, а, б, в) [17]. Она основана на установке дополнительных копирующих колес на штангах. Достоинством данной системы является обеспечение

постоянного расстояния между распылителями и ровной обрабатываемой поверхностью. Однако при обработках полей с невыровненной поверхностью, сильной засоренностью камнями и при наличии всходов сельскохозяйственных культур она неприемлема.



a



б



в

Рис. 1.30. Внешний вид (*a*) подвески штанги с опорными колесами-копирами (*б, в*) GFS AG SHIELD [17]

Система автоматической стабилизации штанги, предложенная фирмой Matrot (Франция), также основана на электрогидравлическом действии (рис. 1.31).

Фирма TeeJet предлагает широкий спектр датчиков и модулей для контроля и компенсации угла наклона штанги, которые устанавливаются на агрегате и обеспечивают автоматический контроль за положением штанги с высокой степенью точности.

Опрыскиватели фирмы Vargam укомплектованы датчиками, которые измеряют расстояние от штанги до земли и позволяют контролировать параллельность расположения штанги. Опрыскиватели фирмы Evgard оснащены системой, включающей микрокомпьютерные устройства. Однако существенное усложнение конструкции влечет повышение стоимости самого опрыскивателя [11].

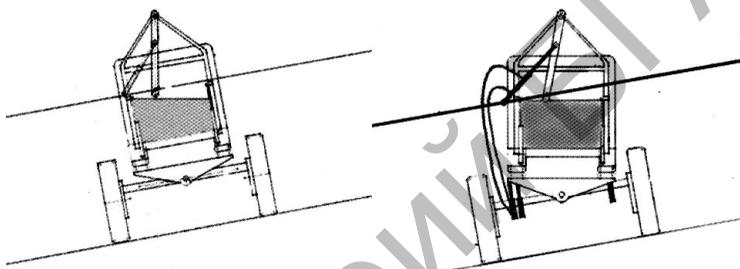


Рис. 1.31. Система установки штанги фирмы Matrot

Принцип гидравлического действия используется в конструкции системы стабилизации штанги опрыскивателя (рис. 1.32) [2]. Регулировка угла наклона штанги 1 в данном случае происходит также за счет изменения ее центра тяжести при перемещении груза 2 гидроцилиндром 3.

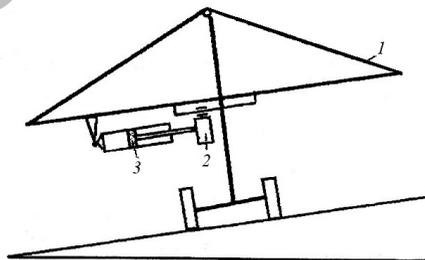


Рис. 1.32. Механизм изменения угла наклона штанги гидравлического действия

Анализируя конструкции механизмов и систем обеспечения регулировки положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности, следует отметить, что в настоящее время предпочтение отдается системам автоматизированного контроля, основанным на использовании гидравлических, электрических и гидромеханических механизмов изменения угла наклона штанг.

Для обеспечения соблюдения высокой степени точности установки штанги над обрабатываемой поверхностью необходимо использовать средства автоматизированного контроля за ее параметрами.

Использование механизмов изменения углов наклона электрического и механического действия позволяет применять в конструкциях опрыскивателей датчики и системы автоматизированного управления положениями штанги в процессе работы на склонах (рис. 1.33, 1.34).

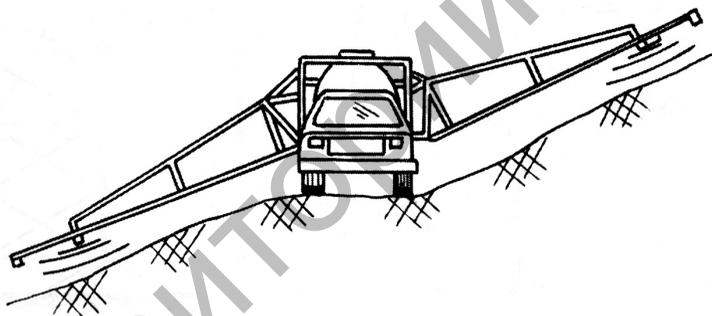


Рис. 1.33. Схема работы автоматизированной системы контроля за положением штанги относительно обрабатываемой поверхности [2, 12]

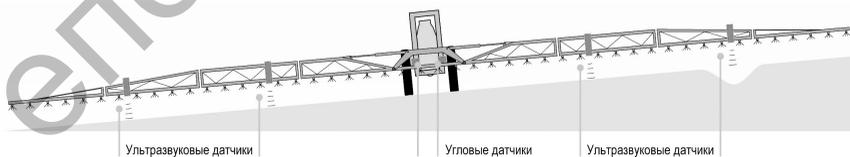


Рис. 1.34. Схема работы автоматизированной системы обеспечения расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью Distance control Amazone [16]

Система микропроцессорного автоматизированного управления штангой опрыскивателя (СМАР) включает [2]: ультразвуковые датчики положения штанги, микропроцессорную электронику обработки измерительной информации и выработки управляющего сигнала, силовую установку (рис. 1.35, 1.36). Выбор данного типа датчиков обусловлен слабоискаженным сигналом ультразвуковых датчиков, что связано с образованием в ходе работы опрыскивателя облака распыленной жидкости, через которое должен проходить сигнал. Также этот выбор оправдывается необходимостью привязки к поверхности поля, а не к растительному покрову. Сигнал, образованный ультразвуковым датчиком, проходит через посеы и, достигнув поверхности поля, отражается. В то время как сигнал, посылаемый оптическим датчиком, искажается облаком рабочего раствора пестицида, достигает растительного покрова и сразу отражается. Кроме того, сила сигнала оптического датчика зависит от удаленности от объекта.

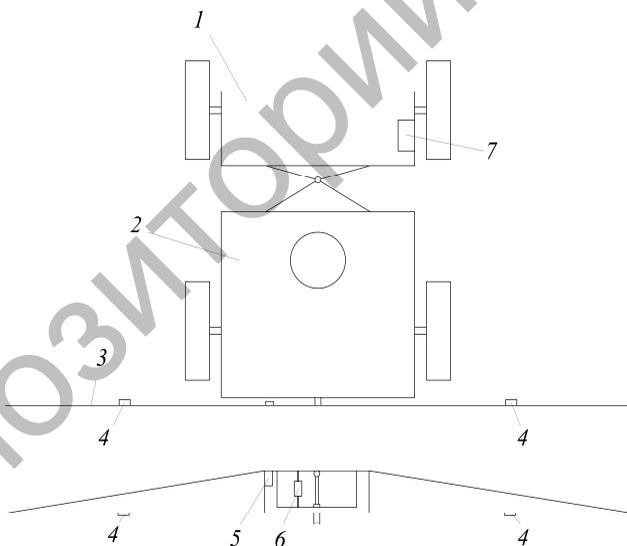


Рис. 1.35. Схема установки элементов СМАР на энергетическом средстве и машине:

- 1 – энергетическое средство (трактор); 2 – опрыскиватель; 3 – штанга;
- 4 – ультразвуковые датчики положения; 5 – блок управления;
- 6 – механизм управления штангой; 7 – пульт управления



Рис. 1.36. Общий вид опрыскивателя со СМАР

СМАР положения штанги относительно обрабатываемой поверхности управляется из кабины трактора и имеет два режима работы: ручное и автоматическое управление. Ручное управление штангой осуществляется механизатором при помощи регулятора с пульта управления. Эта функция введена для сокращения времени на установку штанги в рабочее положение на разворотных полосах. В дальнейшем используется функция автоматической регулировки.

Колебания штанги

Равномерность распределения пестицидов по ширине захвата обеспечивается соблюдением технологических параметров во время движения агрегата. При движении опрыскивателя по полю его штанга совершает динамические колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что влияет не только на качество выполнения технологической операции, но и надежность конструкции сельскохозяйственной машины [18]. Даже в условиях хорошо выровненной поверхности поля при скорости движения трактора 8 км/ч амплитуда колебаний штанги длиной 12 м может достигать значений ± 20 см [2, 18].

Равномерное распределение рабочей жидкости распылителями опрыскивателя обеспечивают колебания левого и правого крыльев штанги в пределах $\pm 0,2$ м [18].

В результате проведенных исследований [18] были получены зависимости влияния ширины колеи опрыскивателя и направления

движения агрегата по полю (определяется углом γ), определяющие значения величин и частоты микронеровностей поверхности, на отклонения краев штанги (рис. 1.37).

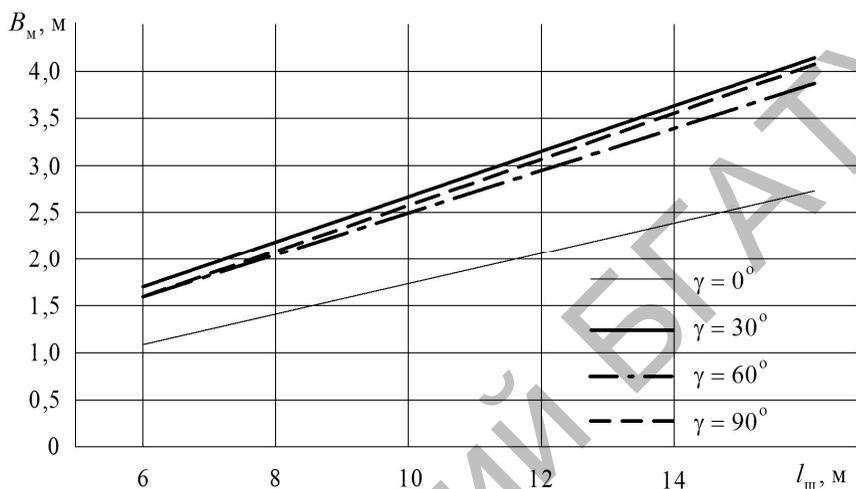


Рис. 1.37. Графики изменения расстояния между колесами опрыскивателя (B_m) для обеспечения допустимых значений колебаний штанги ($\pm 0,2$ м) в зависимости от длины крыла штанги $l_{шт}$ и направления движения по полю относительно предыдущей обработки: продольный – $\gamma = 0^\circ$; по диагонали – $\gamma = 30^\circ$, $\gamma = 60^\circ$; поперечный – $\gamma = 90^\circ$

Известно, что на амплитуду колебаний штанги влияют ее масса и микронеровности поверхности поля. Для уменьшения массы штанги фирмы Lemken и Hardi используют специальные облегченные профили и материалы из сплавов алюминия (рис. 1.38, а–в).

Секция штанги Hardi (рис. 1.38, в, г) разработана в виде трехмерной конструкции из углеволокна, которое улучшает характеристики штанги, прежде всего из-за низкого веса и жесткости материала. Уменьшенная масса крайней секции позволяет центральной части затрачивать меньше усилий при управлении штангой во время движения по неровной поверхности. Масса крайней секции из углеволокна приблизительно в 4 раза ниже, чем из алюминия, а прочность значительно выше [23].

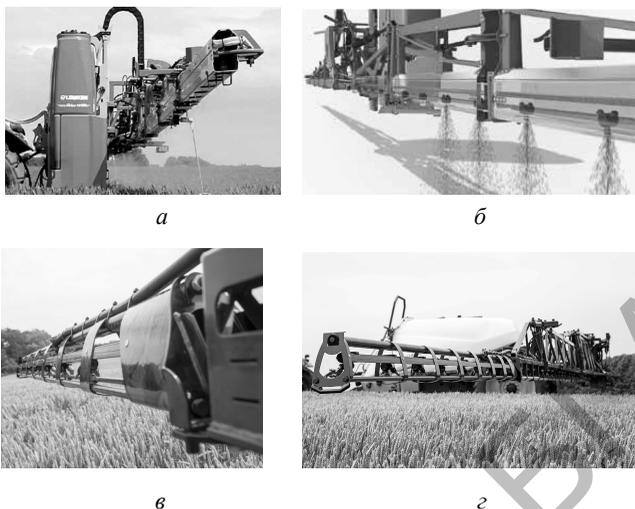


Рис. 1.38. Штанги облегченной конструкции:
Lemken (а, б) [51], Hardi (в, г) [23]

Исполнение несущей конструкции штанги и способ ее крепления к раме опрыскивателя определяют его надежность и технологические режимы работы, а также качество выполняемого процесса. Подвеска штанги является важным элементом конструкции современного опрыскивателя и призвана изолировать штангу от возмущений рамы (места навески), вызванных микропрофилем поля. Подвеска штанги в большой мере определяет плавность хода ее, которая взаимосвязана с равномерностью опрыскивания.

Жесткое крепление штанги или ее составных частей к несущей раме опрыскивателя налагает ограничение на рабочие скорости движения агрегата и ширину захвата, следовательно, и на его производительность, что не позволяет обеспечить качественную обработку агрофонов, засоренных камнями, с высокой неровностью поверхности поля. Этот тип крепления оправдан только при ширине захвата до 15 м и рабочих скоростях до 6...7 км/ч [2, 12].

В зависимости от принципа обеспечения штангой постоянного расстояния между обрабатываемой поверхностью по ширине захвата различают системы активной, пассивной и комбинированной стабилизации [11].

К системам активной стабилизации относятся штанги с опорными колесами (рис. 1.39, а, б) и автоматической стабилизацией.

Использование опорных колес позволяет обеспечить перераспределение веса штанги, копировать рельеф поля и тем самым обеспечивать постоянство расположения штанги над обрабатываемой поверхностью. Данные системы эффективны при обработках чистых паров, незасеянных и убранных полей. При наличии всходов и посевов происходит наезд колес на растения и их травмирование, так как при движении по технологической колее возможны повреждение всходов даже при отклонении движения агрегата на 10 см.

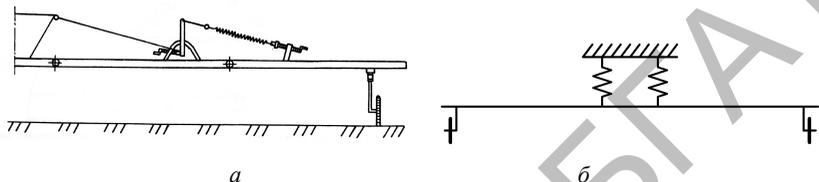


Рис. 1.39. Использование дополнительных опорных колес на штанге опрыскивателя [17]

Поэтому на практике широкое применение получили навески с пассивными и комбинированными системами стабилизации. При пассивной стабилизации штанги используются маятниковые (рис. 1.40) и шарнирно-рычажные (рис. 1.41) подвески. Однако при их использовании в конструкциях опрыскивателей, работающих на склонах, возникает необходимость корректировки параллельности штанги обрабатываемой поверхности. Поэтому используется комбинированная система стабилизации.

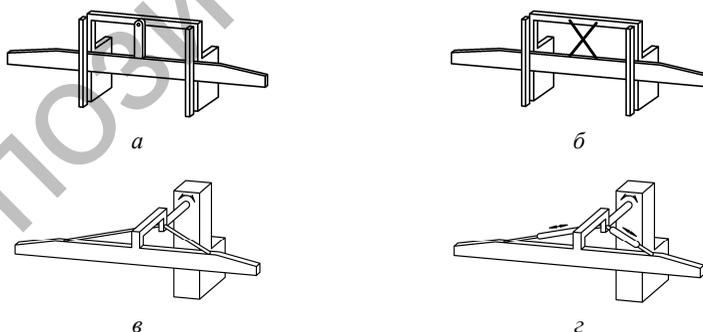


Рис. 1.40. Схемы маятниковых подвесок штанговых опрыскивателей: *a* – ведомый направленный маятник (ведомая); *б* – направленный канатный маятник; *в* – жесткий маятник; *г* – свободный маятник

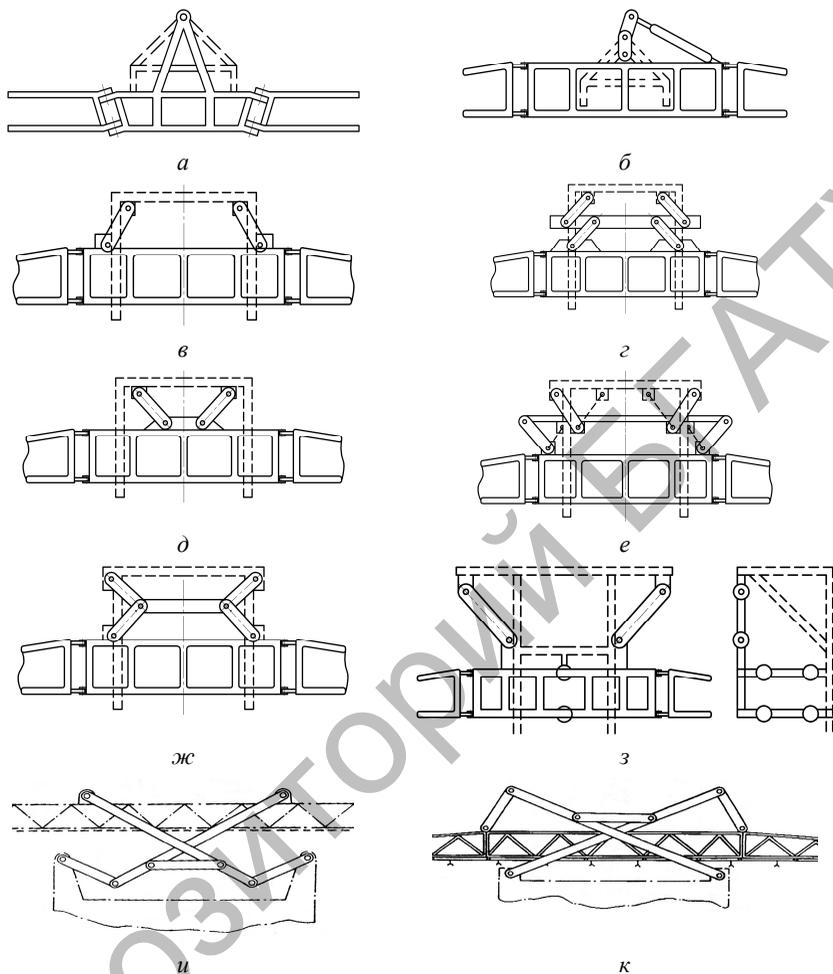


Рис. 1.41. Схемы шарнирно-рычажных маятниковых подвесок штанговых опрыскивателей:

- а* – одношарнирная маятниковая подвеска; *б* – маятниковая подвеска с качающимся грузом-балансиром; *в* – двухшарнирная (А-образная) маятниковая подвеска; *г* – четырехшарнирная (А-образная) маятниковая подвеска;
- д* – двухшарнирная (V-образная) маятниковая подвеска;
- е* – четырехшарнирная (V-образная) маятниковая подвеска;
- ж* – четырехшарнирная (Ж-образная) маятниковая подвеска;
- з* – универсальная двухшарнирная подвеска; *и* – маятниковая шарнирная (X-образная) подвеска; *к* – маятниковая шарнирная (X-образная) подвеска

Независимая подвеска штанги с системами стабилизации, позволяющими обеспечить высокую плавность хода распределительной штанги, оправдана в конструкциях агрегатов, имеющих ширину захвата > 15 м.

В связи с постоянными совершенствованиями конструкций опрыскивателей, направленных на повышение производительности за счет увеличения ширины захвата и рабочей скорости движения агрегатов, все большее внимание уделяется разработке несущих конструкций и систем навешивания штанг. Среди конструкций независимого крепления штанги к раме опрыскивателя выделяются маятниковые (см. рис. 1.40) и шарнирно-рычажные маятниковые подвески (рис. 1.41) [2, 8, 11, 12]. Различают одно-, двух-, трех- и четырехточечные навески.

При навешивании штанги по схемам ведомого направленного и направленного канатного маятников штанга движется между направляющими, ограничивающими ее отклонения в направлении движения агрегата, и может совершать движение только в поперечно-вертикальной плоскости. При навешивании штанги по схемам жесткого и свободного маятников при ее отклонении в поперечном и продольном направлениях возникает стабилизирующий момент, который обеспечивает возвращение штанги в равновесное положение.

Шарнирно-рычажные подвески, выполненные в форме трапеции, сочетают эффект маятниковой и параллелограммной подвесок. Наряду со стабилизацией от угловых колебаний, они способствуют уменьшению поперечных смещений штанги и обеспечивают более точное параллельное ведение ее относительно обрабатываемой поверхности [12].

В зависимости от положения точек пересечения осей наклонных тяг (выше или ниже точек крепления их к раме) подвески подразделяются на А-образные, V-образные, Ж-образные и Х-образные. V-образная подвеска позволяет штанге сохранять стабильное положение относительно обрабатываемой поверхности независимо от угла наклона местности. А-образная подвеска более устойчивая, поэтому эффективна на полях с незначительным уклоном рельефа.

Маятниковая подвеска штанги используется при работе на полях ровного рельефа, а шарнирно-рычажная – при работе на склонах.

На равномерность опрыскивания по рабочей ширине в основном влияют вертикальные колебания штанги, а на продольную неравномерность – продольные колебания штанги (в направлении движения).

На неравномерность опрыскивания в направлении движения продольные колебания влияют 7 раз сильнее, чем вертикальные [7].

В подвесках должен выполняться основной принцип виброизоляции, который требует, чтобы собственная частота объекта виброизоляции была ниже частоты возбуждения [7]. По отношению к опрыскивателям это значит, что собственная частота подвески должна быть меньше собственной частоты рамы опрыскивателя. Собственная частота колебаний системы k определяется лишь свойствами самой колебательной системы:

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}},$$

где c – коэффициент жесткости упругой связи; m – масса объекта виброизоляции.

Для борьбы с вибрацией используются четыре основных метода: снижение виброактивности источника; внутренняя виброзащита объекта; динамическое гашение колебаний; виброизоляция [7]. По отношению к штанговым опрыскивателям объектом виброзащиты является штанга, а источником возмущения штанги является рама опрыскивателя, которая, в свою очередь, возмущается от микропрофиля фона. Микропрофили сельскохозяйственных фонов имеют вероятностный характер колеи (как правой, так и левой) [7], а случайные возмущения генерируют и случайные колебания самого опрыскивателя и штанги.

Высокая плавность хода штанги может быть достигнута при помощи *первого метода виброзащиты*: путем отличной амортизации самого опрыскивателя достигнут низкий уровень виброактивности рамы (рис. 1.42), а также повышенной культурой земледелия, позволяющей более качественно выровнять поверхность поля и снизить интенсивность возбуждающего воздействия его фона.

В пределах внутренней виброзащиты объекта отличают два способа [7]: устранение резонансных явлений и увеличение диссипации механической энергии в объекте. Как было отмечено ранее, во избежание резонанса необходима должная отстройка собственной частоты объекта, отличная от частоты возбуждения, причем собственная частота должна быть меньше низшей из основных полос частот возбуждения.



Рис. 1.42. Опрыскиватель на шинах низкого давления

Если нет возможности отстройки частот, тогда снижение интенсивности колебаний в резонансном и околорезонансном режимах возможно двумя путями [7]: обеспечением достаточной общей нелинейности упругих связей подвески или увеличением демпфирования. В данном случае демпфирование полезно только в околорезонансной области. Упругая подвеска без демпфирования в области частот возбуждения, не превышающих собственную частоту объекта виброизоляции, более чем 1,41 раза усиливает колебания. В этой области и полезно определенное демпфирование. Следует отметить, что уже при коэффициенте поглощения 0,25...0,30 за один период колебания поглощается более 95 % энергии, а уменьшение частоты колебаний при таком коэффициенте поглощения составляет около 4 % [7]. Когда частота возбуждения более чем 1,41 раза превышает собственную частоту объекта, коэффициент виброизоляции упругой подвески ниже единицы, и чем больше разница в частотах, тем меньше коэффициент виброизоляции. В этой зарезонансной области демпфирование нежелательно, так как сила сопротивления от демпфирования по фазе приближается к возмущающей силе, и уровень колебаний усиливается по сравнению с положением без демпфирования.

Динамическое гашение колебаний основывается на присоединении к объекту виброизоляции посредством только упругого (при гармонической возбуждении) или упругого и демпфирующего элементов дополнительного объекта (гасителя) с таким выбором параметров гасителя, при которых дополнительное динамическое воздействие на объект виброизоляции частично уравнивает (компенсирует) динамическое воздействие, возбуждаемое источником. Реализацией данного метода для штанги является установка на ее краях динамических гасителей (рис. 1.43, а) в виде упругих элементов с салазками, стойками или колесами или навешивания на центральную секцию дополнительных колеблющихся масс m_1 при помощи упругого (C_1) и демпфирующего (K_2) элементов (рис. 1.43, б).

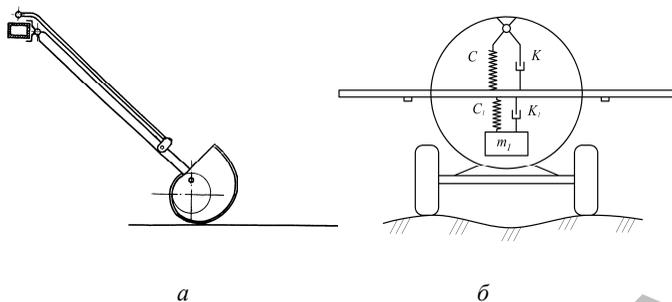


Рис. 1.43. Схемы динамических крайнего (а) и центрального (б) гасителей колебаний штанги

Действие виброизоляции сводится к ослаблению связей между источником возбуждения и объектом. В результате уменьшаются динамические воздействия, передаваемые объекту. При этом методе виброзащиты необходимо учитывать явление резонанса и при необходимости использовать демпфирование.

При работе агрегата на больших рабочих скоростях и установке штанги низко над обрабатываемой поверхностью возможен случай возникновения вынужденных колебаний большой амплитуды, что приводит к вероятности удара края штанги о почву. Для избегания поломки штанги от удара о поверхность поля на ее крайних секциях устанавливаются опорные колеса, полозья, салазки (см. рис. 1.30, 1.39) или динамические гасители колебаний (ДГК) (рис. 1.44).

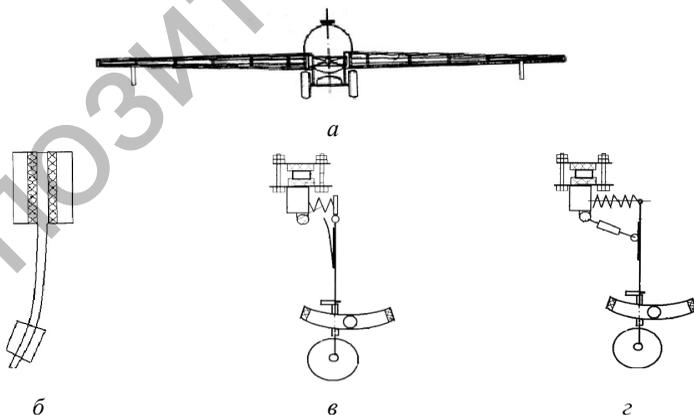


Рис. 1.44. Схемы ДГК:
а – места установки ДГК на штанге [12]; б, в, г – конструкции ДГК [2, 12]

На качество виброзащиты влияют многие факторы и параметры, поэтому повысить ее качество невозможно изменением лишь одного из них, а только оптимальным выбором всех параметров системы [7].

Для обеспечения равномерности распределения жидкости по ширине штанги должны иметь системы стабилизации (гашения колебаний, обеспечения плавности хода). Отсутствие данного устройства ведет к снижению качества опрыскивания. На хорошо выровненном поле амплитуда колебаний штанги длиной 10 м составляет 40 см при стандартной высоте установки штанги 50 см над обрабатываемой поверхностью.

Основным условием стабилизации является превышение собственной частоты рамы опрыскивателя над собственной частотой штанги. Собственная частота штанги, следовательно, и плавность ее хода, может изменяться коэффициентами жесткости упругих связей и демпфирования, массой ее несущей конструкции либо совместно двумя этими путями.

Широкое применение в конструкциях опрыскивателей получили способы изменения коэффициентов жесткости упругих связей и демпфирования системы за счет использования пружин, амортизаторов, рессор, пневмогидроаккумуляторов, пневморессор и др.

Для стабилизации штанги опрыскивателя чаще всего используется центральная маятниковая подвеска с демпфирующими (пружины, амортизаторы) элементами для стабилизации в вертикальной плоскости (азотные энергоаккумуляторы, пневматические или гидравлические амортизаторы) и амортизирующими элементами (фрикционные накладки и сайлент-блоки) – для стабилизации в горизонтальной.

Основное достоинство системы стабилизации маятникового типа заключается в том, что при колебаниях не происходит перекрытия смежных проходов. Однако при такой конструкции сложно выдержать высоту обработки, когда изменяется площадь обработки: образуются либо пропуски, либо перекрытия.

В опрыскивателях KUNN плавность хода штанги и гашение колебаний при движении по дороге и во время полевых работ обеспечивает параллелограммная подвеска, оснащенная газовыми амортизаторами.

Для обеспечения плавности хода штанги прицепные опрыскиватели John Deere имеют Z-образный параллелограммный механизм ее подъема с азотными аккумуляторами в комплексе с маятниковой системой подвески штанги, оборудованной газовыми амортизаторами и полиуретановыми подушками. Z-образный параллелограммный механизм обеспечивает максимальную близость штанги и бака при работе на любой высоте опрыскивания, что, в свою очередь, обеспечивает лучшую стабильность и лучшее распределение веса вдоль рамы опрыскивателя. При этом азотные аккумуляторы демфируют колебания, оказываемые на подъемный механизм. Маятниковая система подвески штанги совместно с амортизаторами и полиуретановыми подушками максимально компенсирует вертикальные и горизонтальные колебания штанги.

В конструкциях прицепных и навесных опрыскивателей фирмы изготовителя Lemken используется комбинированная система Parasol (рис. 1.45): распределительная штанга 7 крепится к раме опрыскивателя 1 при помощи маятниковой подвески. Для плавности хода штанги в вертикальной плоскости используются резинометаллические буферы с горизонтальными боковыми направляющими 3, сменные элементы скольжения 2 и амортизаторы 4. Для демпфирования колебаний штанги в горизонтальной плоскости используются амортизаторы 1. Изменение рабочей высоты установки распределительной штанги осуществляется с помощью гидравлической системы с использованием роликово-тросового механизма 6.

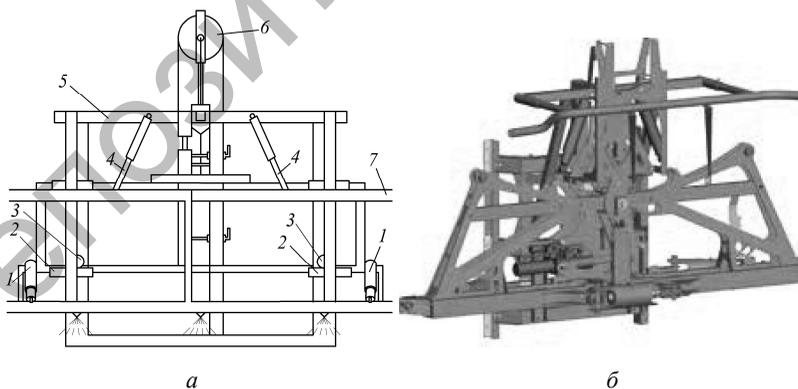


Рис. 1.45. Схема (а) подвески и внешний вид (б) системы стабилизации штанги опрыскивателя Lemken

Фирма-изготовитель Amazone большое внимание уделяет разработке и исследованию способов крепления штанги на раме опрыскивателя и систем ее стабилизации. В опрыскивателях Amazone вертикальная стабилизация осуществляется по принципу маятника с гашением колебаний гидроамортизаторами. Гашение горизонтальных колебаний осуществляется за счет демпфирующего узла, а также крепления секций штанги конусными шарнирами, которые полностью исключают колебания в сочленениях штанги.

В конструкциях опрыскивателей Amazone используется штанга 1 (рис. 1.46), состоящая из центральной и боковых частей, которые соединены между собой через шарниры.

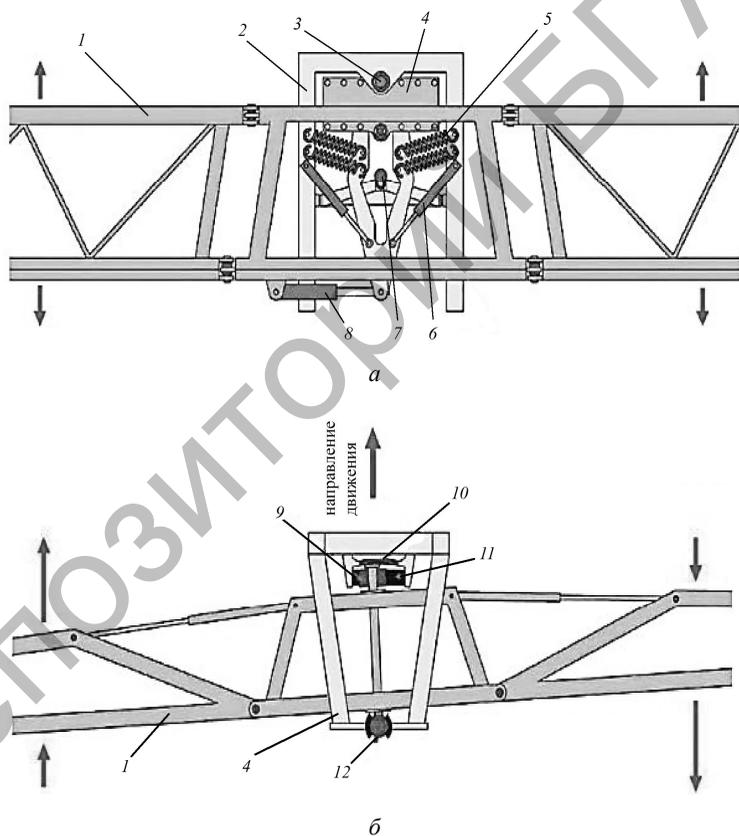


Рис. 1.46. Система навески штанги с системами стабилизации опрыскивателей Amazone в вертикальной поперечной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

Боковые составляющие переводятся в транспортное и рабочее положения при помощи гидроцилиндров. Центральная часть несущей конструкции распределительной штанги 1 крепится к рамке 2 опрыскивателя по принципу маятниковой подвески через пластину 4 и шарнир 3. Система стабилизации в вертикальной плоскости состоит из блока пружин растяжения 5 и амортизаторов 6. Изменение угла установки штанги 1 при работе на склонах осуществляется при помощи гидроцилиндра 8. В транспортном положении штанга 1 фиксируется стопорами 7 и 10. Для исключения раскачивания штанги 1 в горизонтальной плоскости применяются скользящий элемент 9, пружинный демпфер 11 и шарнир 12.

Система гашения колебаний штанги (рис. 1.47) [2] состоит из подвески 6, закрепленной на ползуне 5 с горизонтальной осью 4, на которую навешена центральная секция штанги 1. Штанга снабжена цилиндрическими роликами 2, охватывающими боковые вертикальные направляющие рамки 3 с двух противоположных сторон. Такое техническое решение сокращает частоту и амплитуду колебаний штанги в процессе работы опрыскивателя в полевых условиях, повышая тем самым его надежность. Ползун снабжен канатным приводом от гидроцилиндра для изменения высоты установки штанги. Уравновешивание центральной части штанги 1 осуществляется за счет пружин 8 и амортизаторов 7. Охватывание с обеих сторон боковых направляющих рамки цилиндрическими роликами, установленными на штанге, обеспечивает вероятность колебания штанги только в плоскости рамки и не дает возможности изменять положение штанги относительно шасси опрыскивателя, так как рамка жестко с ним связана. В результате штанга не может оставаться параллельной обрабатываемой поверхности при наезде одного колеса опрыскивателя на неровность.

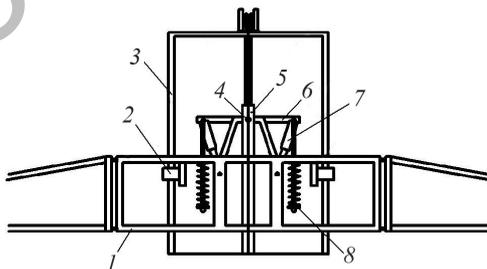


Рис. 1.47. Схема навешивания штанги с системой стабилизации

Система стабилизации штанги, применяемая фирмой Hardi, представляет собой маятниковый механизм (рис. 1.48) [2], причем штанга 4 опирается на центральный кронштейн 5 подвески через блок пружин 6, тем самым имея возможность колебаться в плоскости подвески, а центральный кронштейн 5, в свою очередь, крепится к рамке 1 при помощи горизонтальной оси 2 с возможностью совершать вращение на ней. Гашение колебаний, возникающих при работе, происходит с помощью гидравлических амортизаторов 3 и блока пружин 6. Данная система позволяет перемещаться штанге при работе во всех необходимых направлениях независимо от положения шасси опрыскивателя, исключая повышенные нагрузки на несущую конструкцию штанги и подвески, и сохранять рабочее положение на протяжении всего рабочего процесса.

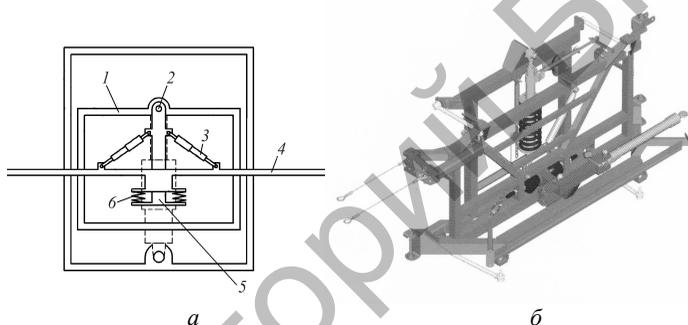


Рис. 1.48. Схема (а) подвески и внешний вид (б) системы стабилизации штанги опрыскивателя Hardi

Система стабилизации колебаний штанги (рис. 1.49) [2] представляет собой маятниковый механизм. Подвеска 6 может вращаться в вертикальной плоскости на горизонтальной оси 7 и связана посредством пружин 2 с осью 1 колес опрыскивателя. На подвеске 6 на горизонтальной оси 8 закреплена штанга 10, уравнивание которой осуществляется при помощи пружин 4 и амортизаторов 3, связанных с балкой 5. Центральный гидроцилиндр 9 обеспечивает изменение угла наклона штанги в вертикальной плоскости, следовательно, позволяет использовать агрегат при работе на склонах. Данная система позволяет колебаться самой подвеске штанги и изменять свое положение относительно оси колес опрыскивателя. Выравнивается подвеска при помощи системы пружин, принимая горизонтальное

положение, тем самым способствуя возвращению штанги в рабочее положение даже при наезде на крупные препятствия.

Возможности снижения коэффициентов жесткости упругих связей системы ограничены возникающими проблемами устойчивости и склонностью к параметрическому резонансу. Применение демпфирующих устройств с низкими коэффициентами жесткости обеспечивается искусственным увеличением массы центральной части несущей конструкции штанги, что позволяет сместить центр тяжести боковых конструкций к центру агрегата, облегчить их и снизить напряжения в элементарных сечениях по длине. Данные технические решения позволяют улучшить стабилизацию подвешенной системы.

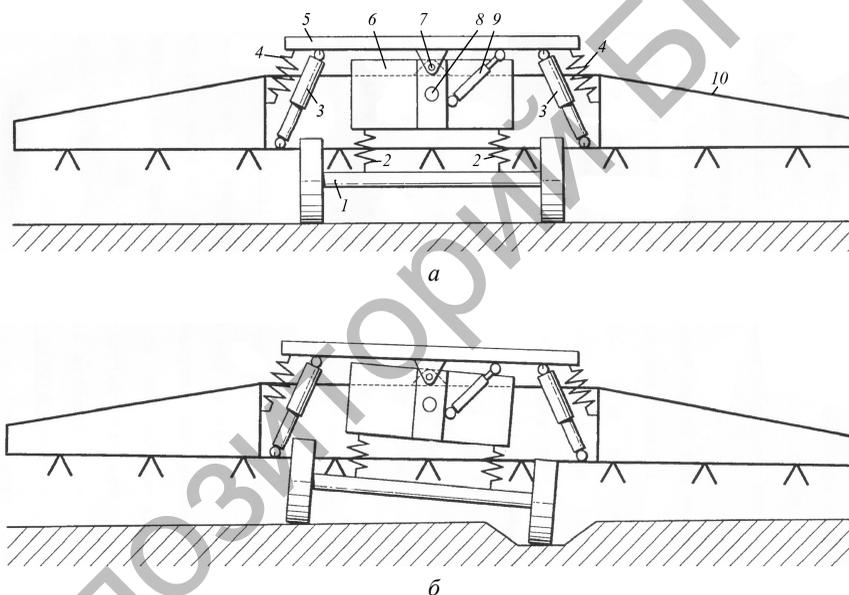


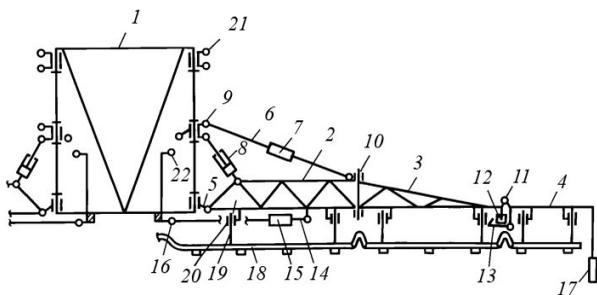
Рис. 1.49. Схема навешивания и система стабилизации штанги при движении по ровной (а) и невыровненной (б) поверхности

Достигается это тем, что штанга опрыскивателя содержит установленную на раме опрыскивателя несущую раму, с которой посредством двойных шарниров и растяжек секции штанги соединены с коллектором для распыления жидкости, и снабжена горизонтальными раскосами с упругими элементами, соединяющими ее секции с рамой

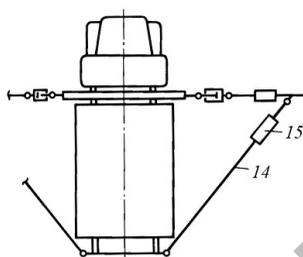
опрыскивателя. На секциях штанги установлены амортизаторы, связанные с несущей рамой через шарниры, при этом каждая секция штанги выполнена из нескольких частей, крайняя из которых соединена с остальными через шарнир, ось которого расположена в горизонтальной плоскости перпендикулярно продольной оси штанги, а в месте сочленения крайних частей секции с остальными частями установлены упругие элементы, охватывающие их фиксаторы для ограничения угла поворота крайней части секции в вертикальной плоскости, размещенные относительно упругих элементов с возможностью образования зазора.

Штанга опрыскивателя (рис. 1.50, *а, б*) навешенная на несущую раму 1 при помощи двойных шарниров 2 и 21, растяжек 5 и амортизаторов 4, содержит боковые секции, состоящие (каждая) из шарнирно связанных между собой промежуточной 7, средней 9 и крайней 12 частей. Промежуточная часть 7 боковой секции присоединена к несущей раме 1 через двойной шарнир 2, растяжку 5, снабженную упругим элементом 6 растяжки 5, и амортизатор 4. Растяжка 5 и амортизатор 4 присоединены к дополнительному двойному шарниру 3 на несущей раме 1. Средняя часть 9 боковой секции соединена с промежуточной 7 шарниром 8, ось которого вертикальная. Крайняя часть 12 боковой секции соединена со средней 9 шарниром 11, ось которого расположена в горизонтальной плоскости перпендикулярно продольной оси штанги. Средняя часть 9 боковой секции штанги в месте сопряжения с крайней частью 12 имеет упругий элемент 10, охватываемый фиксатором 11. В рабочем положении боковая секция фиксируется горизонтальным раскосом 15 с упругим элементом 16, соединяющим промежуточную часть 7 боковой секции с кронштейном 20 рамы опрыскивателя. На концах боковых секций установлены упоры 13. Коллекторы 17 штанги опрыскивателя могут иметь стойки 18, установленные в направляющих втулках 19, расположенных на секциях штанги.

Несущая рама 1 может иметь не менее одного дополнительного двойного шарнира 3, которые расположены на разных высотах, и соответствующее им количество дополнительных двойных шарниров 2 несущей рамы 1, а также верхние кронштейны 22 рамы опрыскивателя для крепления горизонтальных раскосов 15 с рамой опрыскивателя.



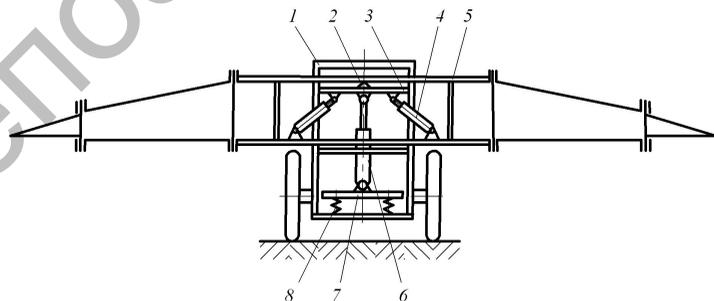
A



б

Рис. 1.50. Схема подвески штанги опрыскивателя [34]:
а – вид сзади; б – вид сверху

Штанга опрыскивателя 5 (рис. 1.51) [2] опирается на ребро треугольной призмы 2, установленной в центральной части верхней балки подвижной рамки 3, выполненной в форме прямоугольника. Подвижная рамка установлена с возможностью вертикального перемещения в направляющих портала 1 рамы опрыскивателя.



a

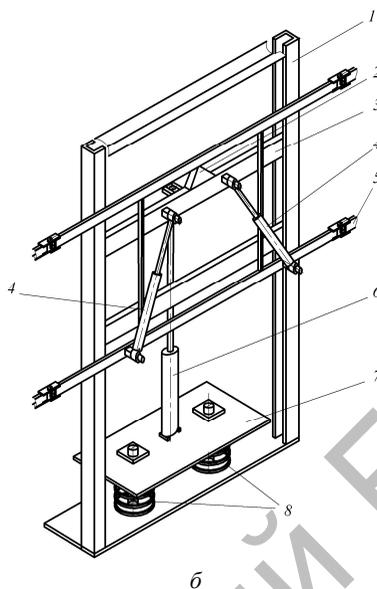


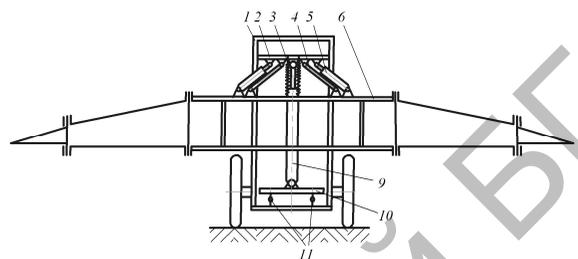
Рис. 1.51. Схема установки штанги на раме полевого штангового опрыскивателя: а – схема опрыскивателя; б – схема подвески штанги и система ее стабилизации

Верхняя балка подвижной рамки закреплена на штоке гидроцилиндра 6 изменения высоты установки штанги, нижний конец которого закреплен на расположенной внутри портала 1 с зазорами горизонтальной пластине 7. Нижняя поверхность горизонтальной пластины 7 опирается на две расположенные своими осями параллельно вертикальной оси симметрии портала 1 винтовые цилиндрические пружины сжатия 8. Нижние торцы пружин 8 опираются на нижнюю внутреннюю горизонтальную поверхность портала 1.

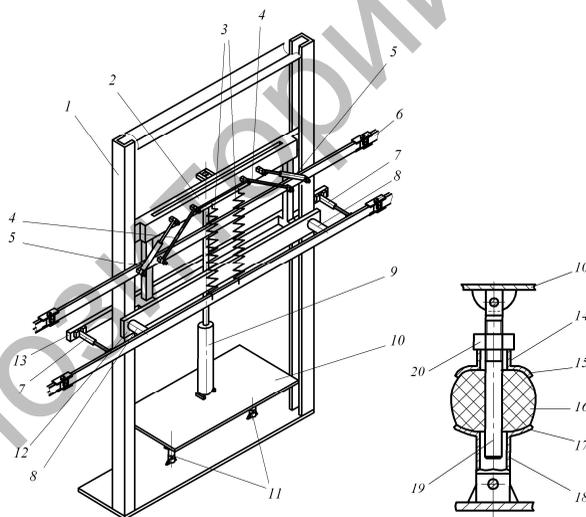
За счет системы гашения вертикальных колебаний, состоящей из опорной горизонтальной пластины 5, двух цилиндрических вертикальных пружин 8, амортизаторов 4 и фрикционных элементов в зазорах между направляющими портала 1 и подвижной рамкой 3, сглаживается возмущающая сила, снижаются амплитуда вертикальных колебаний штанги и динамические нагрузки на конструкцию штанги опрыскивателя, повышается равномерность

распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности, и увеличивается надежность конструкции штанги опрыскивателя.

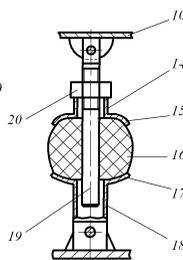
Опрыскиватель (рис. 1.52) [2] состоит из несущего портала 1 рамы, в вертикальных направляющих которого с возможностью перемещения установлена рамка 2, выполненная в виде прямоугольника с вертикальными боковыми сторонами, к которой присоединен верхний конец вертикального гидроцилиндра 9 регулировки положения многосекционной штанги 6 относительно портала по высоте.



a



б



в

Рис. 1.52. Схема установки штанги на раме полевого штангового опрыскивателя:

a – схема опрыскивателя; *б* – схема подвески штанги и система ее стабилизации; *в* – схема динамического гасителя колебаний

Нижний конец гидроцилиндра 9 закреплен на расположенной внутри портала 1 с зазорами горизонтальной пластине 10, нижняя поверхность которой связана с нижней внутренней горизонтальной поверхностью портала 1 с помощью двух присоединенных вертикально расположенных нажимных штанг с упругими элементами 11. Конструкция каждой нажимной штанги состоит из присоединенной к нижней поверхности горизонтальной пластины 10 полый вертикальной трубы 18 с жестко присоединенной к ней вогнутостью вверх нижней опорной чашки 17 с совпадающим с полостью трубы 18 центральным по оси симметрии отверстием. Симметрично горизонтальной плоскости, под нижней опорной чашкой 17, расположена вогнутостью вниз верхняя нажимная чашка 15 с центральным по оси симметрии отверстием, совпадающим с полостью жестко присоединенной к ней и направленной вертикально вверх трубы 14. Между чашками 15 и 17 установлен упругий элемент 16 в виде резинового амортизатора бочкообразной формы с выполненным по его оси симметрии осевым отверстием. В трубу 18 нижней опорной чашки 17, амортизатор 16 и трубу 14 верхней нажимной чашки 15 вставлена нажимная штанга, выполненная в виде стержня 19 с резьбой на верхней части, причем в трубы 18 и 14 стержень 19 вставлен с зазором, а сопряжение амортизатора 16 с расположенной в нем нажимной штангой в виде стержня 19 выполнено по переходной посадке. На верхний конец стержня 19 навинчена нажимная гайка 20, которая своим торцом упирается в верхний торец трубы 14 верхней нажимной чашки 15. Перед началом работы опрыскивателя вращением гаек 20 выбирается зазор между ними и верхним торцом трубы 14. На внутренних поверхностях направляющих портала 1 и наружных поверхностях боковых балок рамки 2 установлены фрикционные накладки, предназначенные для гашения упругих колебаний динамического гасителя колебаний.

При недостаточной величине силы трения между фрикционными накладками для более эффективного гашения колебаний рамки в вертикальной плоскости между упорной пластиной 10 и нижней внутренней поверхностью портала 1 дополнительно устанавливается по осевой линии гидравлический или пневматический амортизатор.

Штанга 6 присоединена к рамке 2 с помощью двух расположенных симметрично продольной плоскости симметрии опрыскивателя наклонных маятников 4, двух амортизаторов 5 и пружин 3. В горизонтальной плоскости штанга 6 присоединена к рамке 2

с помощью закрепленных на ней по разные стороны портала 1 упорных балок 12 и 13. К противоположной штанге 6 относительно портала балке 13 присоединены два горизонтальных амортизатора 7. В расположенную с ней на одной стороне портала 1 балку 12 штанга 6 упирается с помощью упругих резиновых упоров 8.

Опрыскиватель (рис. 1.53) [2] состоит из несущего портала 1 рамы, в вертикальных направляющих которого с возможностью перемещения установлена рамка 2, выполненная в виде прямоугольника с вертикальными боковыми сторонами, к которой присоединен верхний конец вертикального гидроцилиндра 7 регулировки положения многосекционной штанги 3 относительно портала по высоте.

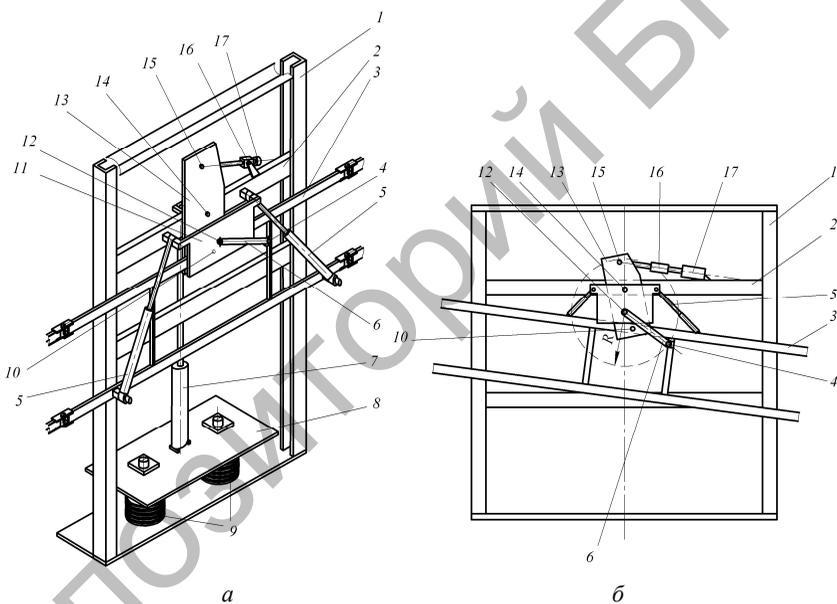


Рис. 1.53. Схема подвески штанги с системой ее стабилизации (а) и механизмом изменения угла наклона (б)

Нижний конец гидроцилиндра 7 закреплен на расположенной внутри портала 1 с зазорами относительно его вертикальных направляющих горизонтальной пластине 8, нижняя поверхность которой опирается на две расположенные своими осями симметрично вертикальной оси симметрии портала 1 кольцевые цилиндрические

винтовые пружины 9, нижние торцы которых опираются на нижнюю внутреннюю горизонтальную поверхность портала 1. На рамке 2, на расположенной в вертикальной продольной плоскости симметрии опрыскивателя горизонтальной оси 14, шарнирно крепится, с возможностью поворота, выполненный в виде пластины поворотный кронштейн 13, плоскости которого расположены вертикально и перпендикулярны продольной вертикальной плоскости симметрии опрыскивателя. В нижней части поворотного кронштейна 13, на расположенной в вертикальной продольной плоскости симметрии опрыскивателя горизонтальной оси 10, крепится, с возможностью вращательного движения, многосекционная штанга 3 с форсунками и гибкими рукавами.

На рамке 2 закреплена упорная пластина 11, плоскости которой параллельны плоскостям поворотного кронштейна 13, причем последний расположен между рамкой 2 и упорной пластиной 11, содержащей ось 4, на которой крепится шарнирно, с возможностью поворота, поворотная тяга 6, соединенная своим нижним концом шарнирно, с возможностью поворота посредством оси 4, многосекционной штангой 3. По вертикальным бокам поворотного кронштейна 13 рамка 2 и многосекционная штанга 3 соединены гидравлическими амортизаторами 5 для снижения вертикальных колебаний. Механизм изменения положения штанги 3 включает в себя закрепленный на рамке 2 электромотор 17, редуктор 16 с винтовой парой типа «винт–гайка», поворотный кронштейн 13 и тягу 6 с возможностью изменения угла положения распределительной штанги за счет совместного поступательного и вращательного движения поворотного кронштейна 13 и многосекционной штанги. Винт редуктора 16 соединен с поворотным кронштейном 13 с помощью расположенного в его верхней части шарнира 15, с возможностью их относительного поворота.

При недостаточной величине силы трения между фрикционными накладками для более эффективного гашения колебаний рамки в вертикальной плоскости в конструкции между упорной пластиной 8 и нижней внутренней поверхностью портала 1 дополнительно устанавливается по осевой линии гидравлический или пневматический амортизатор.

Данные системы могут быть установлены на опрыскивателях с параллелограммной подвеской штанги (рис. 1.54) [2].

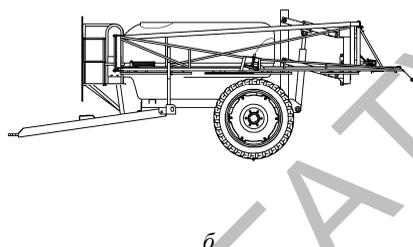
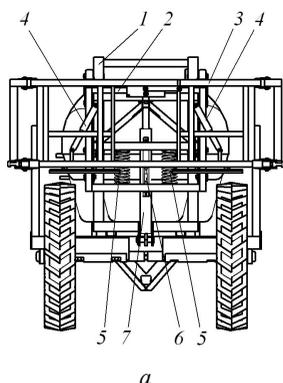


Рис. 1.54. Схема подвески штанги опрыскивателя и системы ее стабилизации (а) при параллелограммном способе навешивания (б)

При параллелограммном способе навешивания штанги подвижная рамка 2 установлена с возможностью вертикального движения в боковых направляющих портала 1 рамы и нижней горизонтальной поверхностью опирается на цилиндрические вертикальные пружины 5 и амортизатор 6. Нижние края амортизатора 6 и пружин 5 установлены на верхней поверхности нижней балки портала 1. Штанга 3 подвешена по принципу маятника в верхней части подвижной рамки 2. Высота установки штанги изменяется гидродо-цилиндром 7. Для гашения вертикальных колебаний штанги в системе стабилизации дополнительно установлены амортизаторы 4.

Возможности снижения коэффициентов жесткости упругих связей системы ограничены возникающими проблемами устойчивости и склонностью к параметрическому резонансу [7]. Применение демпфирующих устройств с низкими коэффициентами жесткости обеспечивается искусственным увеличением массы центральной части несущей конструкции штанги, что позволяет сместить центр тяжести боковых конструкций к центру агрегата, облегчить их и снизить напряжения в элементарных сечениях по длине. Данные технические решения позволяют улучшить стабилизацию подвешенной системы.

Существуют несколько способов искусственного увеличения массы штанги, среди которых можно выделить установку в центральной ее части дополнительной массы (рис. 1.55, 1.56, а) или заполненной жидкостью емкости (рис. 1.56, б).

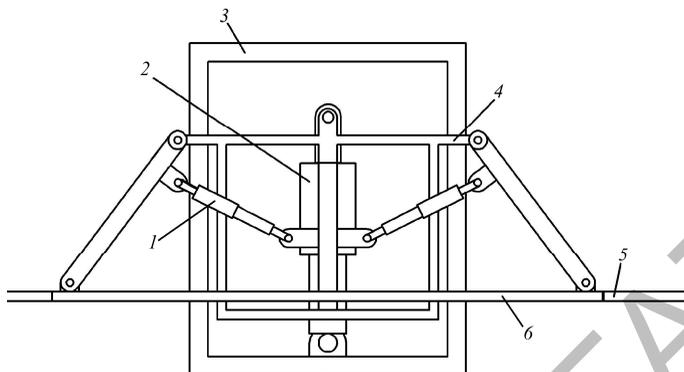


Рис. 1.55. Схема системы навески опрыскивателей Jacto

Идеи искусственного увеличения массы штанги реализованы в опрыскивателях фирмы Jacto [2]. Несущая конструкция распределительной штанги 5 крепится по принципу шарнирно-рычажной А-образной подвески шарнирно к балке 4, закрепленной на раме 3 (рис. 1.56). Сама балка может передвигаться в плоскости рамки с помощью гидроцилиндра 2, тем самым изменяя высоту установки штанги над обрабатываемым объектом. В нижней части несущей конструкции штанги, находящейся за емкостью, установлен брус 6 большей массы, позволяющий искусственно увеличить массу центральной части штанги и тем самым сместить центр тяжести боковых ее составляющих в рабочем положении к центру агрегата, что позволяет снизить амплитуду колебаний, применив амортизаторы 4 с низким коэффициентом демпфирования.

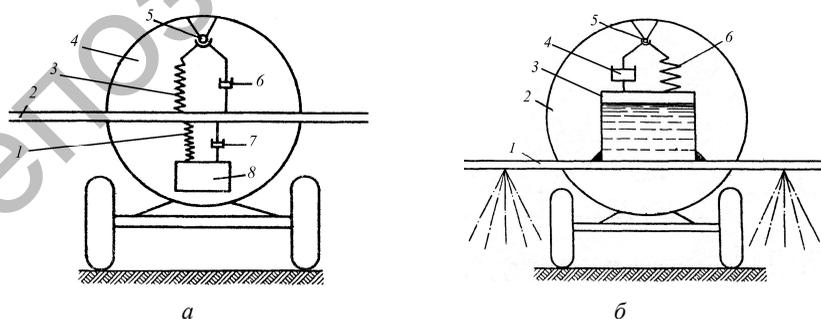


Рис. 1.56. Схемы системы искусственного увеличения массы штанги

Данная система надежна, проста и эффективна, однако при колебаниях в горизонтальной плоскости конструкция штанги испытывает повышенные нагрузки, и возникающие в этой плоскости колебания не гасятся.

Для схемы подвески штанги 2 (рис. 1.56, а) [7] резонансные колебания уменьшаются при помощи динамических гасителей δ , которые посредством упругого 1 и демпфирующего 7 элементов крепятся к середине штанги 2. При этом сама штанга 2 посредством упругого 3 и демпфирующего 6 элементов через шарнир навески 5 соединена с несущей рамой 4. В данной конструкции эффект гашения колебаний заключается в том, что масса δ покачивается в противофазе колебаниям, передающимся штанге через раму опрыскивателя.

Во втором случае штанга 1 (рис. 1.56, б), снабженная дополнительной, заполненной жидкостью емкостью 3, крепится на шарнире 5 навески емкости 2 через упругий пружинный элемент 6 и демпфирующий элемент 4. Заполнением дополнительной емкости жидкостью подбирается общая масса штанги, которая обеспечила бы ее собственную частоту ниже собственной частоты рамы опрыскивателя. Демпфирующий элемент 4 служит для успокоения системы от возмущений емкости 2 и жидкости при неполном заполнении емкости 3. При этом колеблющаяся в емкости 3 жидкость выступает в роли динамического поглотителя.

Ввиду сложности конструкции, перенастройки системы в связи с постоянным опорожнением емкости, а также сложностями стабилизации штанги при работе на склонах данные конструкции широкого применения не нашли.

При этом следует отметить влияние степени заполнения основной емкости опрыскивателя на параметры колебаний штанги.

В процессе расходования рабочей жидкости изменяется полная масса опрыскивателя. При этом диапазон ее изменения может почти в 2 раза превышать собственную массу опрыскивателей без жидкости [54]. Это влияет на положение центра масс опрыскивателя и на процесс колебаний подвески штанги, следовательно, на качество распределения рабочей жидкости по обрабатываемой поверхности.

Результаты, представленные в работе [12], учитывают не только изменения массы опрыскивателя, но и колебания рабочей жидкости в основной емкости во время движения агрегата на параметры колебаний подвески штанги. Влияние колебаний рабочей жидкости

на параметры колебаний штанги снижаются установкой дополнительных поверхностей в основной емкости (рис. 1.57, а, б) [36, 37], которые позволяют гасить колебания жидкости. Предполагается, что связанные с подвеской штанги и установленные в основной емкости поверхности, выполненные в форме пластин, позволяют не только гасить колебания рабочей жидкости, но использовать энергию колебаний штанги для поддержания установленной концентрации рабочей жидкости путем перемешивания поверхностями пластин. Однако широкого практического применения данные разработки не нашли вследствие изменения условий работы агрегатов на склонах и на полях с различным рельефом.

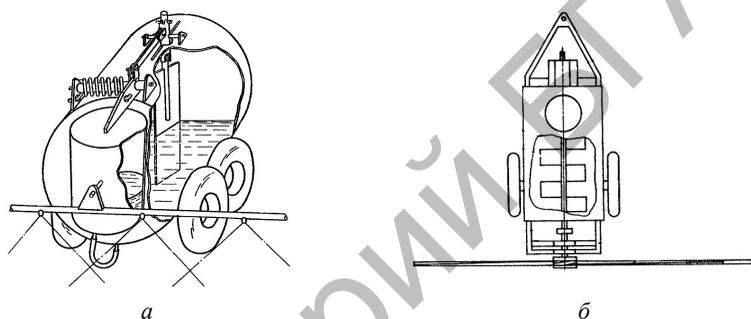


Рис. 1.57. Схемы устройств для гашения колебаний жидкости в основной емкости опрыскивателя и использования энергии колебаний штанги

Недостатками большинства систем стабилизации являются: колебания штанги большой амплитуды, которые вызваны тем, что масса штанги в сравнении с массой опрыскивателя невелика, в результате чего не удастся сразу погасить колебания; невозможность нормальной работы демпфирующих устройств при одновременном наезде двух колес на препятствия; отсутствие систем, обеспечивающих мгновенное гашение колебаний в горизонтальной плоскости. Кроме того, подвески штанг имеют колебания низкой частоты 2...5 Гц [7]. При гашении частота колебаний штанги приближается к частоте колебаний подвески, то есть может возникнуть резонанс. Особенно это возможно при условии полного заполнения основной емкости опрыскивателя рабочей жидкостью.

Конструктивная схема штанги с системами подъема, стабилизации и изменения угла наклона представлена на рис. 1.58. Она включает в себя механизм подъема параллелограммного типа 9,

штангу 4 электрогидрораспределитель 3, пневмогидроаккумулятор 6, амортизаторы 1, гидроцилиндры подъема 10, гидроцилиндры раскладывания штанги 5, гидроцилиндры фиксации штанги 8, гидроцилиндр наклона штанги 2.

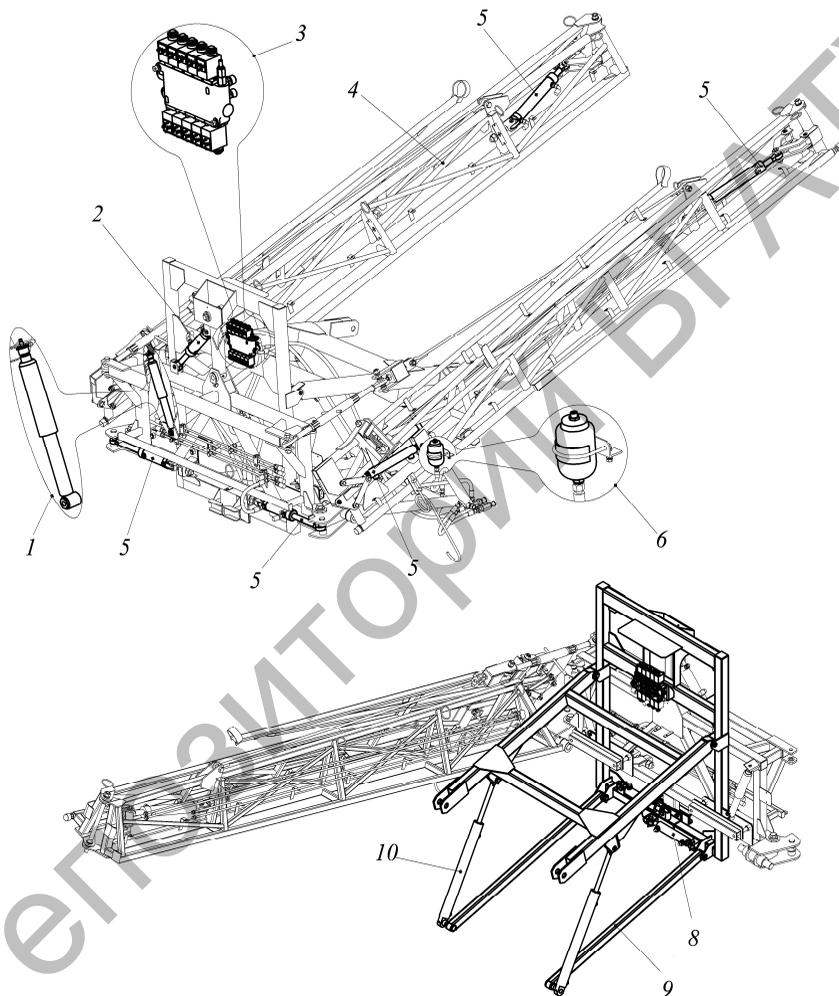


Рис. 1.58. Конструктивная схема штанги с системами подъема, стабилизации и изменения угла

Перевод штанги из транспортного положения в рабочее (и наоборот) осуществляется с помощью гидроцилиндров складывания 5, регулировка высоты опрыскивания – гидроцилиндрами 10. При работе на склонах возможен наклон штанги для более полного копирования рельефа. Штанга, оборудованная маятниковой подвеской, менее подвержена воздействию колебаний, передающихся от опрыскивателя при движении по полю. Гидроцилиндры на штанге могут объединяться в гидросистему, которая имеет возможность управляться как гидрораспределителем трактора, так и иметь автономный гидрораспределитель (преимущественно с электрическим управлением).

Для гашения ударных нагрузок при движении опрыскивателя по полю во время работы штанга оборудуется системами гашения колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях, в которых используются упругие элементы: пневморессоры (рис. 1.59), амортизаторы, пневмогидроаккумулятор, пружины.



Рис. 1.59. Пневморессора

Недостаток многих устройств заключается в неравномерном распределении жидкости из-за применения штанги, система подвески секций которой допускает их горизонтальные колебания и дополнительные вертикальные колебания, конструктивно возникающие от растяжек подвески секций, помимо колебаний, обусловленных передвижением устройства по неровной поверхности.

Система подвески штанги может приводить к слабому и длительному затуханию колебаний секций, что усугубляет неравномерность распределения жидкости.

Кроме того, вследствие неточного изготовления и установки узлов и элементов штанги и системы стабилизации, возникают

дополнительные степени свободы в направляющих рамы опрыскивателя, где установлена штанга или ее подвеска, и в шарнирах складывания. Поэтому растет амплитуда колебаний концов секций, ограничивая высоту обработки и снижая надежность конструкции из-за возможных повреждений штанги при ударе о поверхность почвы, увеличивается неравномерность распределения жидкости, ограничивая также ширину захвата, не позволяя устанавливать штангу на низкой высоте.

Недостатками некоторых подвесок является передача возмущающих толчков и колебаний от машинного агрегата непосредственно на штангу, ее низкая виброзащищенность, длительное затухание колебаний, возможность повреждения штанги при ударах крайних секций о поверхность поля.

Задачами подвесок, систем стабилизации штанг и гашения колебаний является повышение виброзащищенности штанги и подвески опрыскивателя, повышение их надежности и долговечности, улучшение стабилизации, плавности хода штанги, быстрое гашение возникающих колебаний и поддержание штанги параллельно поверхности поля при обработках неровных и наклонных участков. Следует отметить, что большинство приведенных схем систем навешивания штанги основаны на использовании самой простой маятниковой подвески, которая позволяет эффективно стабилизировать штангу в вертикальной плоскости и обеспечивать параллельность ее расположения при движении опрыскивателей по неровной поверхности поля.

На начальной стадии возникновения возмущений от копирования колесами микронеровностей поля гашение динамических нагрузок осуществляется шинами (рис. 1.60) [2, 32, 33] и навеской ходовой системы (рис. 1.61, *а, б*). Конструкцию и параметры элементов данных подвесок выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось эффективное гашение возмущений при изменяющейся массе опрыскивателя (опорожнении основной емкости). При использовании элементов с необоснованными параметрами могут возникать случаи, когда подвеска эффективна при полной емкости, а при пустой – становится источником дополнительных вибраций машины. Так, при установке между осью ходовой системы и емкостью опрыскивателя рессоры с жесткостью, обеспечивающей плавный ход опрыскивателя с полной емкостью, был отмечен высокий уровень ускорений рамы при движении с пустой емкостью [7].



Рис. 1.60. Опрыскиватель с высокой степенью гашения колебаний штанги подвески ходовой системы и шинами

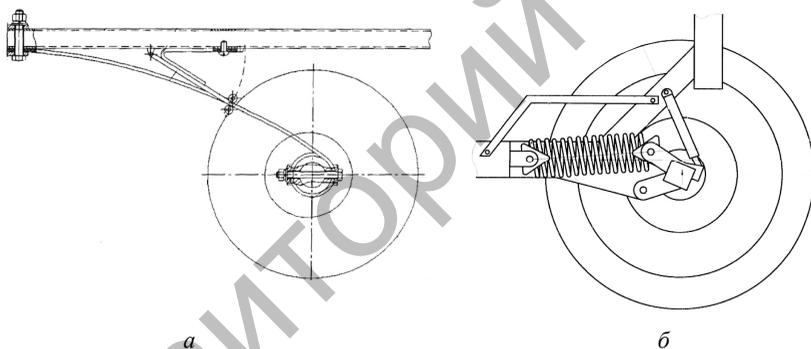


Рис. 1.61. Схема подвесок колес опрыскивателей [36, 37]

Шарнирно-рычажные подвески, в зависимости от положения точки пересечения осей наклоненных тяг, имеют А- и V-образную форму. А-образная подвеска устойчивее и эффективнее для изоляции штанги от колебаний при движении опрыскивателя по ровной поверхности, V-образная – наоборот, поэтому ее рекомендуется использовать при работе на склонах [11, 12].

Способ навешивания штанги (рис. 1.62) на раму опрыскивателя определяет конструкцию механизма изменения высоты ее установки относительно обрабатываемой поверхности.

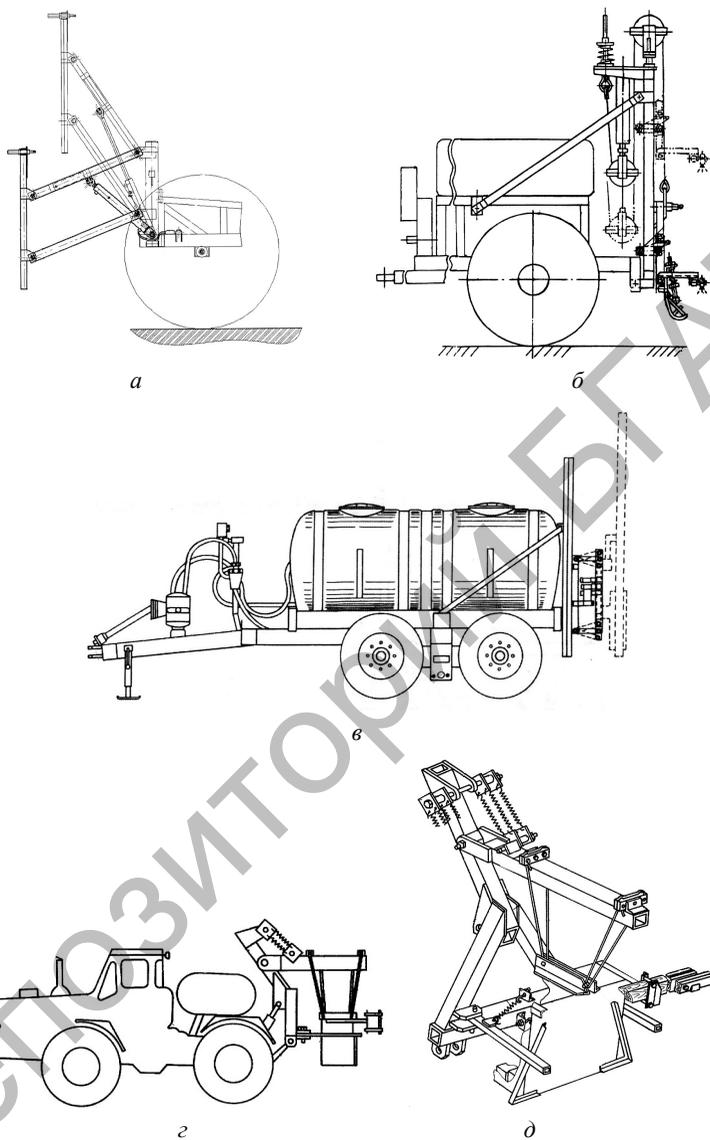


Рис. 1.62. Схемы навешивания штанг опрыскивателей:
а – параллелограммная [40]; *б* – тросо-блочная [41]; *в* – непосредственно
 в направляющих рамы [12]; *г, д* – маятниковая подвеска в виде стойки
 с рычагом [42]

В конструкциях штанг предусматриваются элементы (рис. 1.63–1.65), позволяющие избежать поломки их несущих конструкций при встрече с препятствиями или ударе о поверхность поля во время выполнения технологической операции опрыскивания. Данные элементы позволяют отклоняться крайней секции штанги вверх или назад и возвращаться в исходное положение.

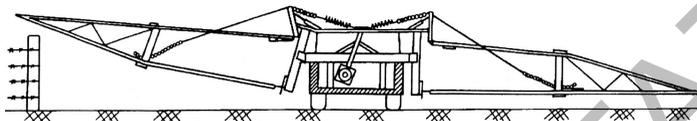


Рис. 1.63. Схема маятниковой рычажной подвески с упруготросовой системой поднятия крайних секций для объезда препятствий [12]

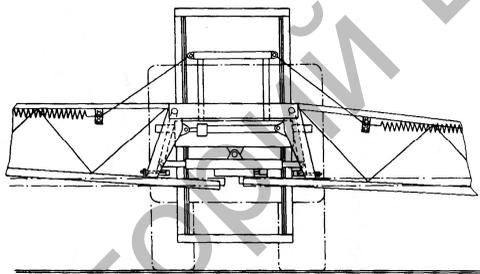


Рис. 1.64. Схема маятниковой многошарнирной (А-образной) подвески с посекционным регулированием и упруготросовой системой поднятия крайних секций для объезда препятствий [12]

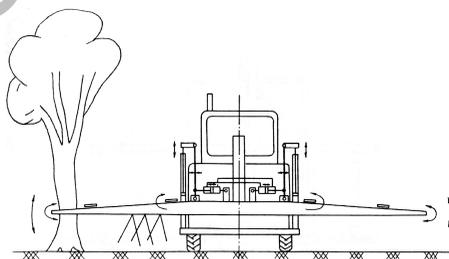


Рис. 1.65. Схема активной регулируемой подвески с посекционным подъемом и поворотом штанги при объезде преград во время работы [12]

На рис. 1.66 приведены простейшие схемы маятниковых подвесок штанг опрыскивателей.

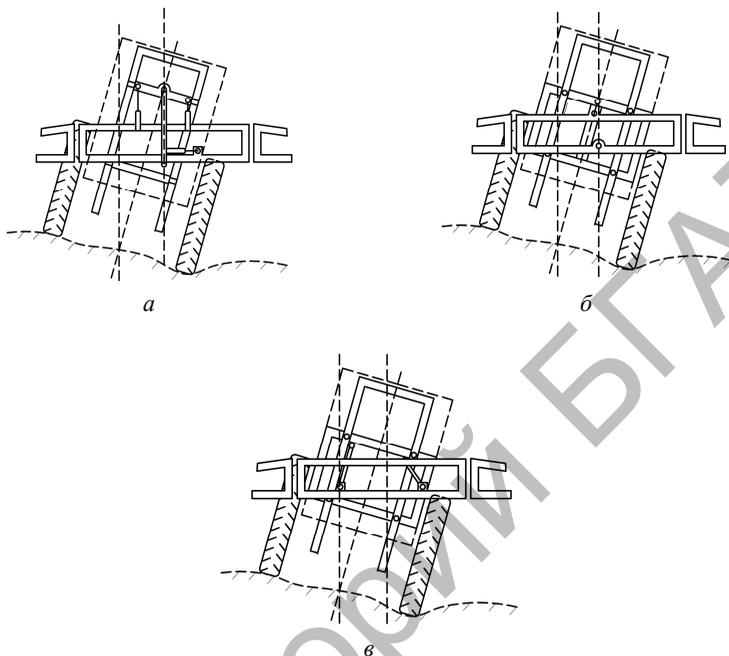


Рис. 1.66. Схемы маятниковых подвесок штанги опрыскивателей [12]:
а – одношарнирная; б – трехшарнирная; в – четырехшарнирная

Наиболее практичной выглядит четырехшарнирная маятниковая подвеска (см. рис. 1.66, в), которая позволяет при небольших размерах реализовать эффективную длину маятника – расстояние между центром тяжести системы и идеальной точкой пересечения обоих рычагов подвески. Большая длина маятника позволяет быстрому возвращению штанги в устойчивое положение в горизонтальной плоскости и уменьшает колебания в вертикальной. Маятниковую подвеску рекомендуется применять при ширине штанг 9 м [12].

Использование различных упругих и демпфирующих элементов в системе стабилизации штанги, параметры и места их установки определяются способом навешивания штанги на раму опрыскивателя (рис. 1.67).

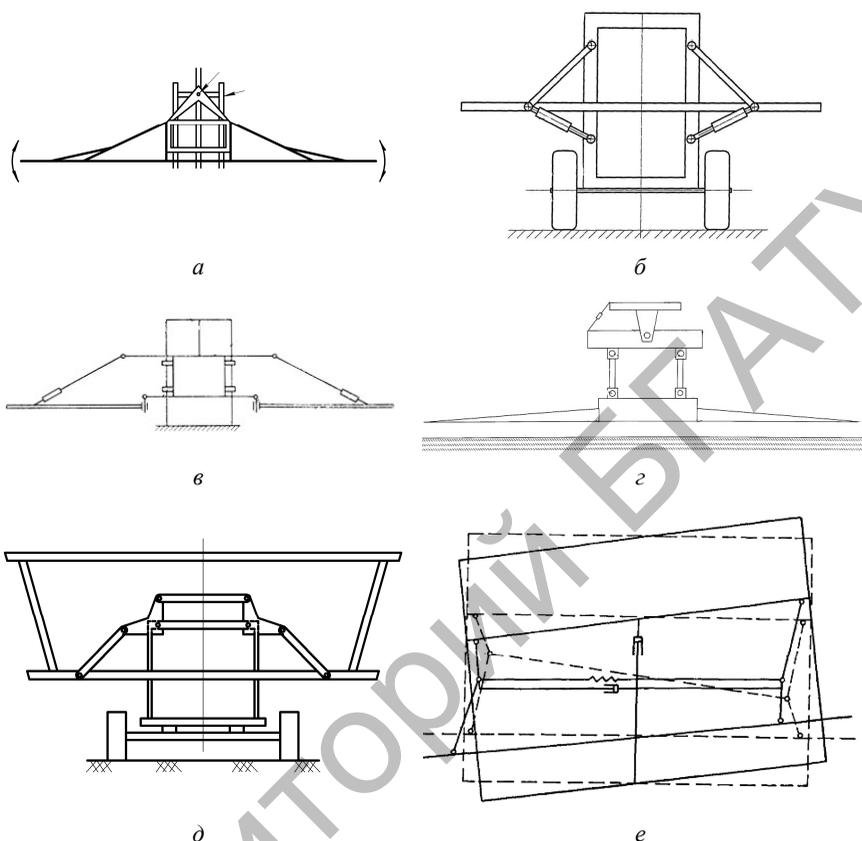


Рис. 1.67. Простые подвески штанг опрыскивателей:
a – маятниковая одношарнирная [12]; *б* – А-образная с демпфирующими элементами [46]; *в* – маятниковая с растяжками [47];
г – пятишарнирная маятниковая с механизмом изменения угла наклона штанги [48]; *д* – маятниковая (А-образная) [12];
е – маятниковая с пространственной системой гашения колебаний [49]

Существуют способы установки штанги на криволинейные (рис. 1.68, *a–д*, 1.69, *a–в*) и прямолинейные опорные поверхности. Данный способ позволяет изменять угол установки штанги перемещением ее относительно точки опорной поверхности либо поворотом самой опорной поверхности. При этом смещается центр тяжести штанги, и она изменяет свой угол наклона по отношению к горизонту.

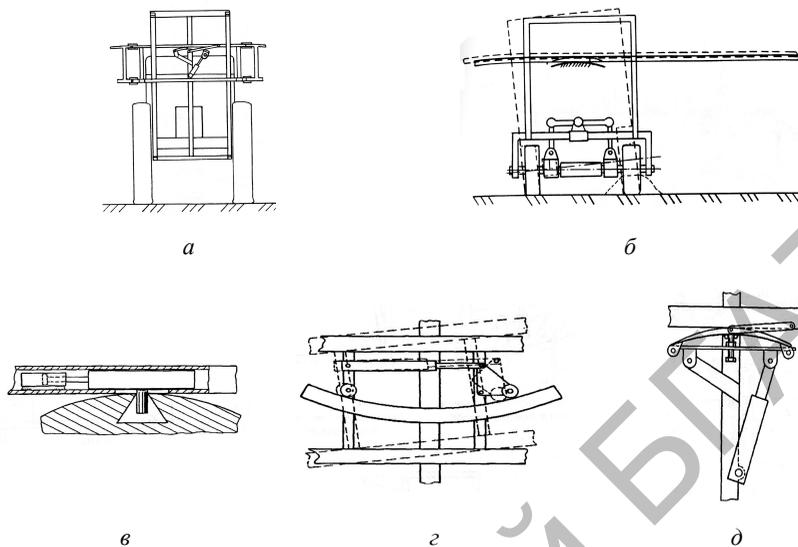


Рис. 1.68. Схемы маятниковых регулируемых подвесок навешиваемых штанг с криволинейными опорными поверхностями (а, б) и механизмом изменения угла установки (в, г, д) [12]

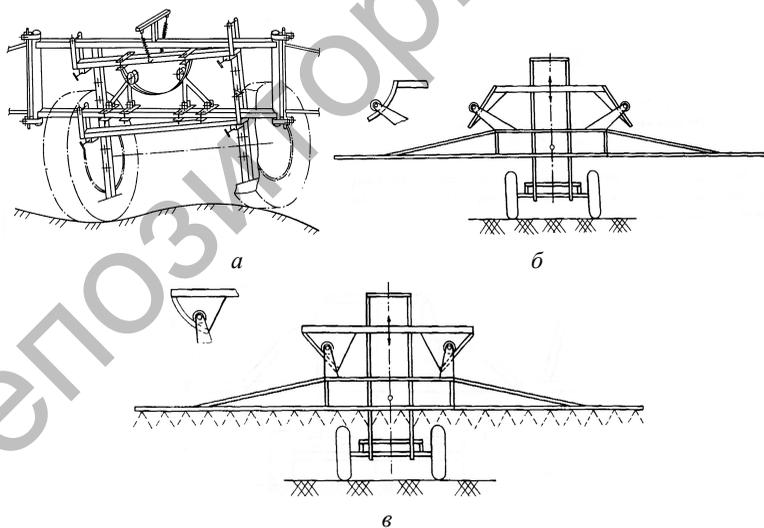


Рис. 1.69. Подвески штанг опрыскивателей с криволинейной опорной поверхностью [12]

В конструкциях опрыскивателей используются устройства, копирующие рельеф поля, которые поддерживают штангу на заданной высоте обработки (соблюдение условия постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью). При этом исключаются колебания штанги, и обеспечивается надежность ее несущей конструкции (рис. 1.70).

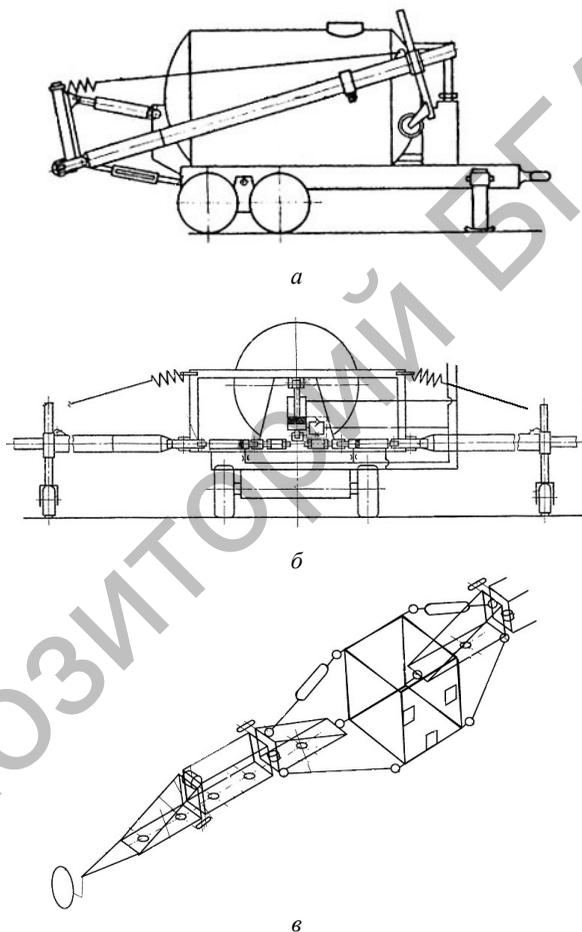
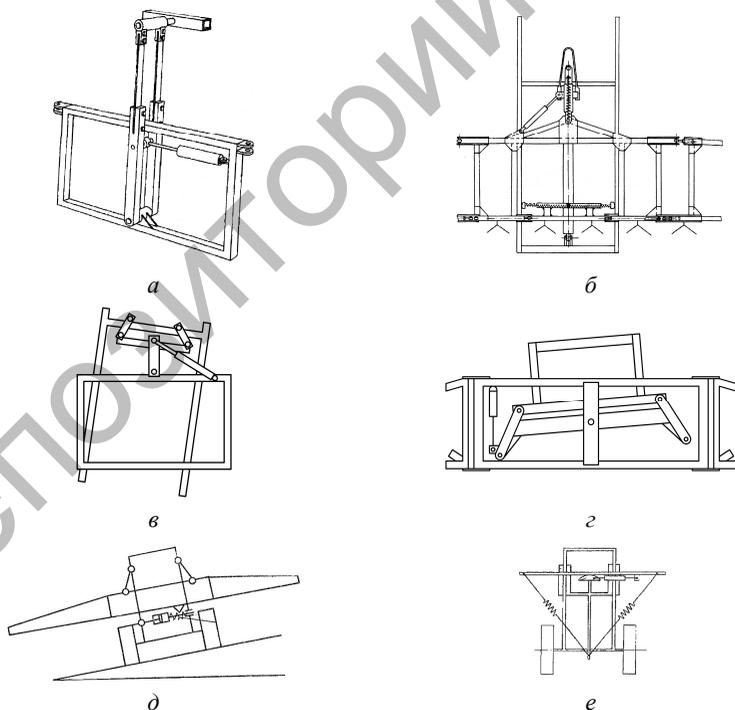


Рис. 1.70. Штанги опрыскивателя с маятниковой навеской и дополнительными опорными колесами для копирования рельефа поля в транспортном (а) и рабочем (б, в) положениях [50, 51]

Обычная одношарнирная маятниковая подвеска штанги для работы на склонах не может быть использована, так как не обеспечивает соблюдение условия ее параллельности обрабатываемой поверхности поля. Штанга с А-образной маятниковой подвеской на склоне занимает промежуточное положение между горизонтом и обрабатываемой поверхностью, поэтому ее положение необходимо корректировать или использовать механизм блокировки. Для изменения угла установки штанги, с целью обеспечения одинакового расстояния между обрабатываемой поверхностью и штангой, используются механизмы с ручным, механическим, гидравлическим, пневматическим и электрическим приводами.

Для качественной обработки полей со сложным рельефом необходимо изменять угол наклона всей штанги (рис. 1.71) или одного ее крыла (рис. 1.72). При этом используемая система стабилизации должна обеспечить плавность хода штанги и постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью по ширине захвата каждого крыла.



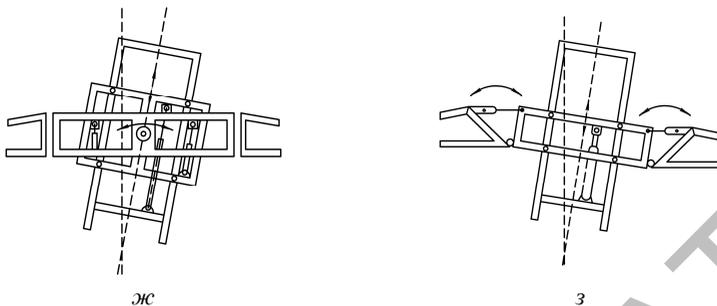


Рис. 1.71. Схемы подвесок с механизмом изменения угла наклона штанги: *а* – маятниковая регулируемая с плоскими пружинами [12]; *б* – маятниковая одношарнирная упруго-регулирующая [12]; *в* – маятниковая А-образная с выравнителем [12]; *г* – маятниковая трехшарнирная (А-образная) [12]; *д* – маятниковая управляемая А-образная [53]; *е* – управляемая с криволинейной опорной поверхностью [52]; *ж* – свободная центральная [12]; *з* – трехшарнирная, с независимой регулировкой боковых секций [12]

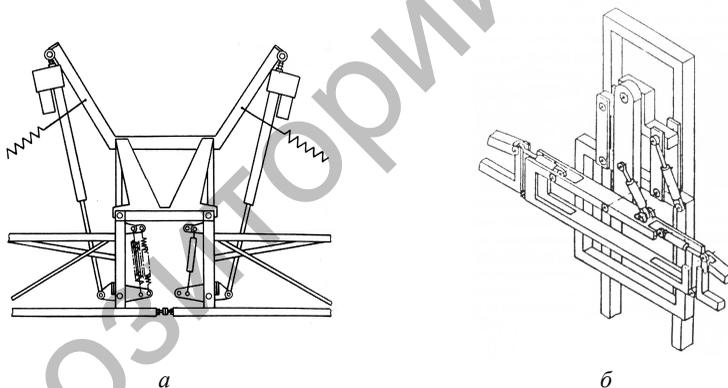


Рис. 1.72. Схемы маятниковых подвесок с механизмами независимого изменения угла наклона правого и левого крыльев штанги [12]: *а* – упруго-шарнирно-рычажная регулируемая; *б* – с гидравлическим управлением

Для эффективного гашения колебаний штанг, подвешенных к раме опрыскивателя с использованием маятниковой навески, существует большое множество систем гашения колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях с использованием различных сочетаний упругих и демпфирующих элементов (рис. 1.73–1.79).

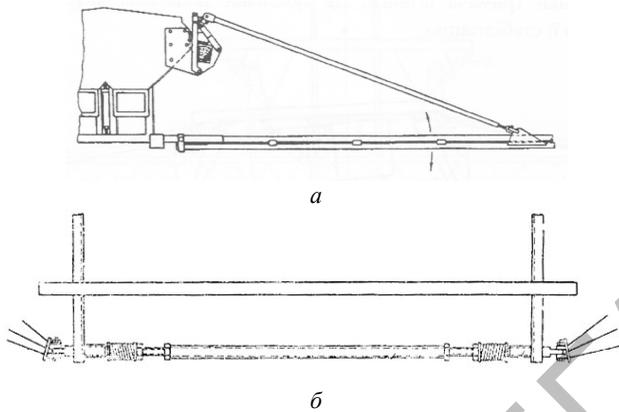


Рис. 1.73. Схемы систем стабилизации штанги в горизонтальной плоскости (гашение колебаний штанги в направлении движения агрегата) [54]

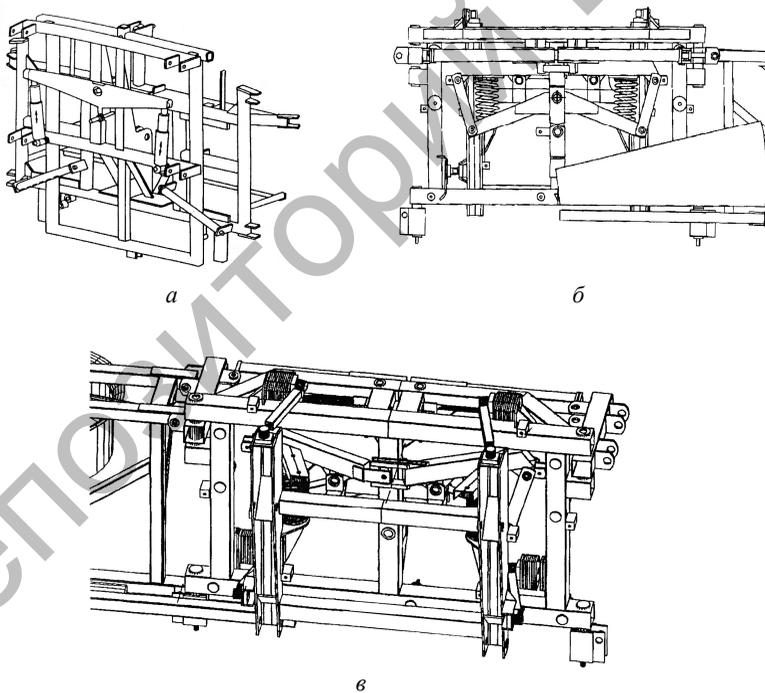
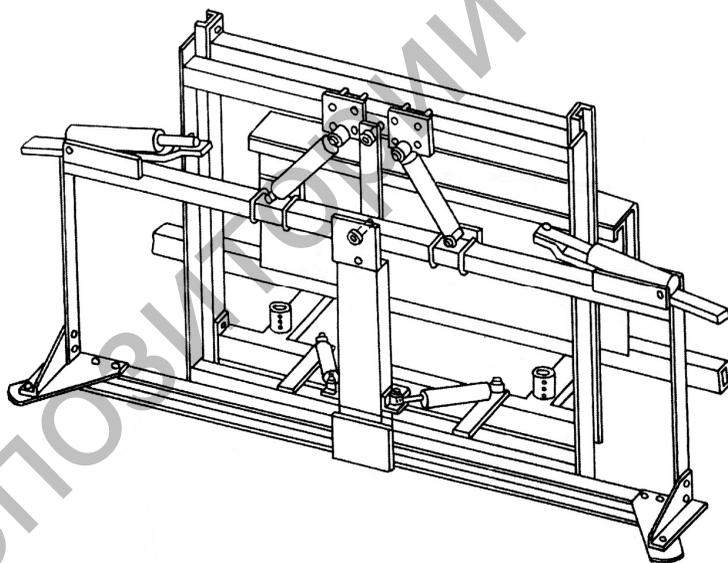
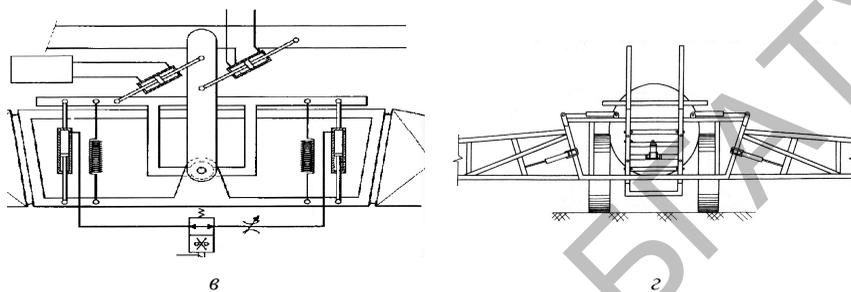
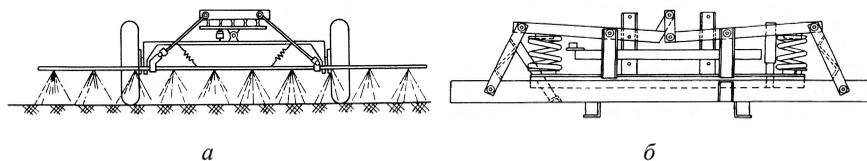


Рис. 1.74. Схемы маятниковых подвесок штанг с системами стабилизации [12]:
 а – одношарнирная; б – пружинная V-образная; в – сложная



д

Рис. 1.75. Схемы маятниковых подвесок штанг с системами стабилизации [12]:
 а – пружинно-демпфирующая; б – шарнирно-рычажная пружинная;
 в – пружинная V-образная г – двухшарнирная; д – активная с горизонтальными
 и вертикальными регулировками

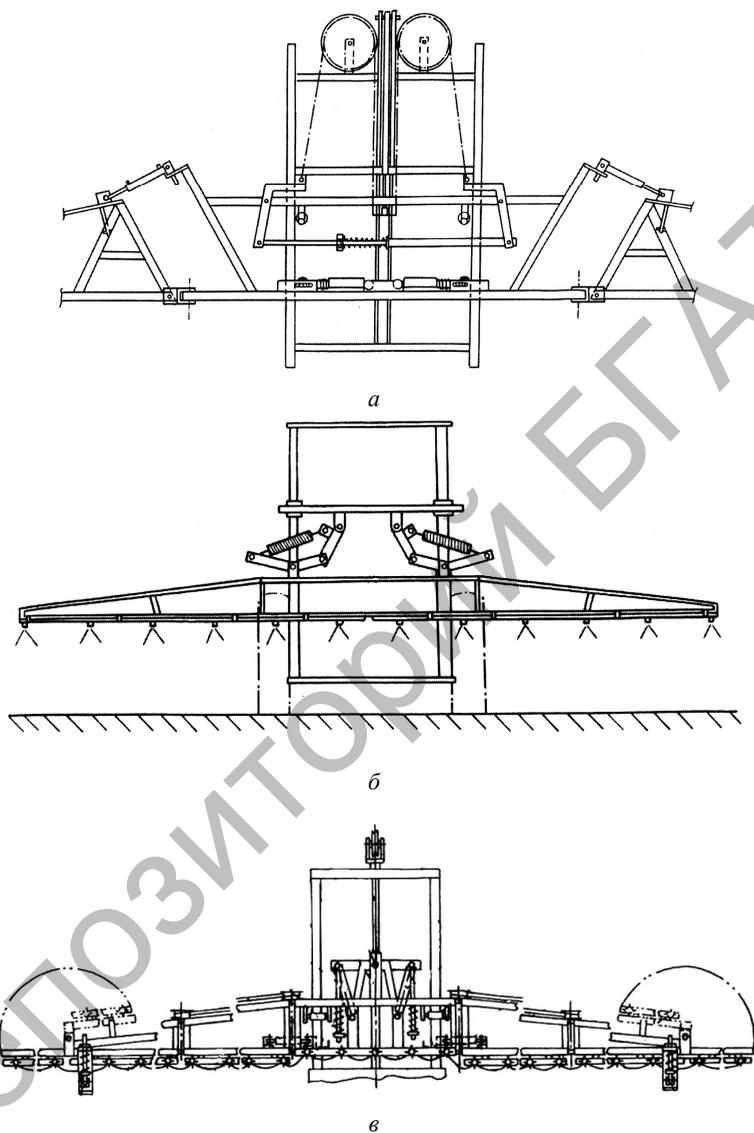


Рис. 1.76. Схемы маятниковых подвесок штанг с системами стабилизации:
a – регулируемая полиспастовая [12]; *б* – пружинно-коромысловая (А-образная) [12]; *в* – регулируемая V-образная с механизмом защиты штанги от удара [41]

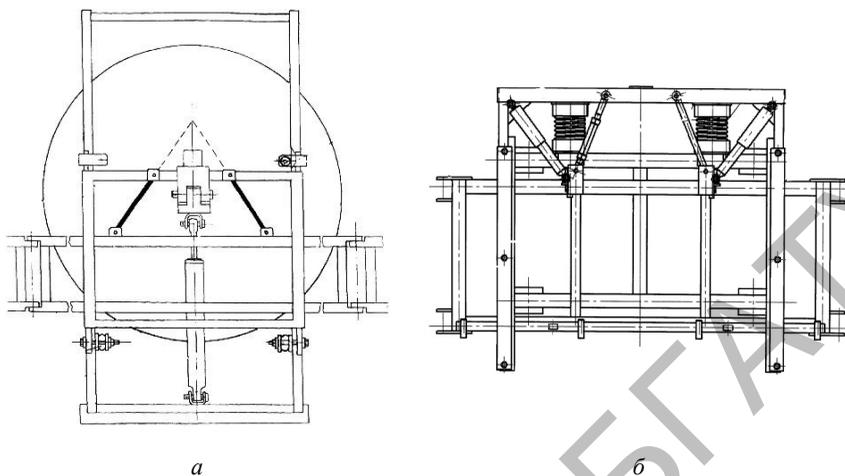


Рис. 1.77. Схемы маятниковых подвесок штанг с системами стабилизации:
a – шарнирно-рычажная (А-образная) [55]; *б* – шарнирно-рычажная
 пружинная (А-образная) [56]

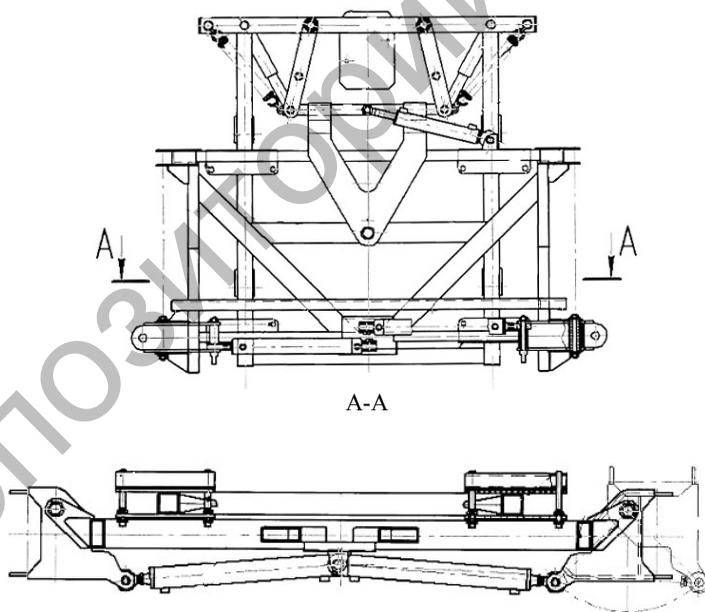


Рис. 1.78. Схема маятниковой подвески штанги
 с системами стабилизации [57]

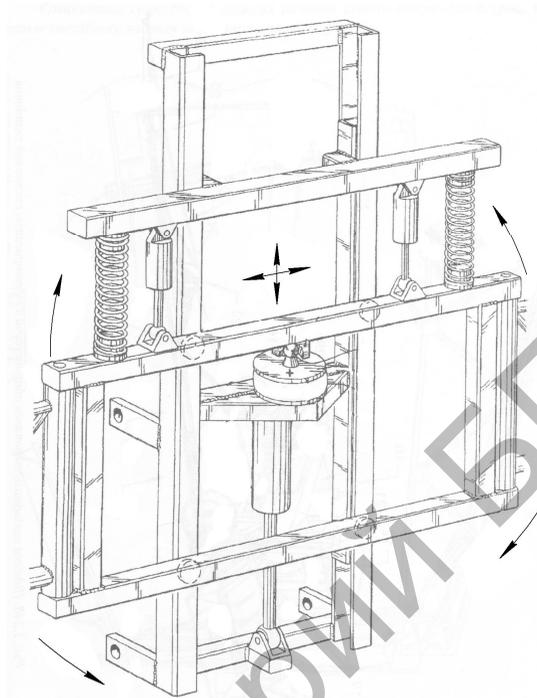


Рис. 1.79. Схема двухшарнирной маятниково-пружинной подвески с пространственной системой стабилизации [12]

К возникновению колебаний штанги также приводят зазоры в сочлененных деталях (шарнирах складывания секций, деталях системы стабилизации и др.), поэтому дополнительно в таких узлах устанавливаются упругие элементы (рис. 1.80).

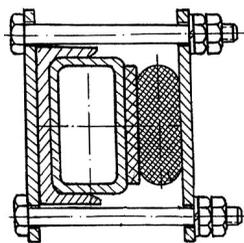


Рис. 1.80. Схема установки дополнительного упругого элемента [56]

В конструкциях современных опрыскивателей используются пространственные системы стабилизации, позволяющие эффективно гасить колебания в вертикально-поперечной, вертикально-продольной и горизонтальной плоскостях движения агрегата.

В конструкциях опрыскивателей, производимых в Украине, широко используются различные способы навешивания штанги и системы стабилизации штанги (рис. 1.81–1.85). Основными элементами гашения колебаний в данных опрыскивателях являются рессоры, пружины сжатия и амортизаторы.

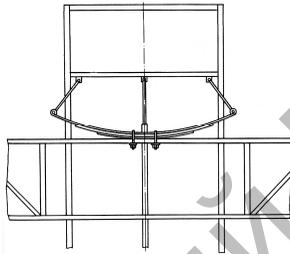


Рис. 1.81. Схема маятниково-рессорной навески штанги опрыскивателя [12]

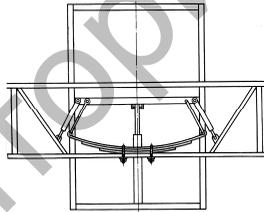


Рис. 1.82. Схема маятниково-рессорной навески с амортизатором штанги опрыскивателя [12, 57]

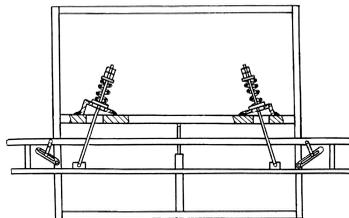


Рис. 1.83. Схема пружинной А-образной маятниковой навески штангового опрыскивателя [12, 58]

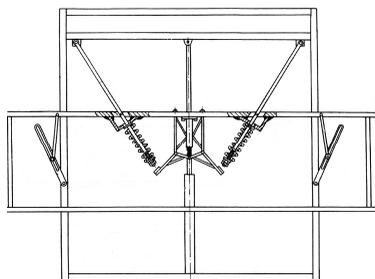


Рис. 1.84. Схема пружинной V-образной маятниковой навески штанги опрыскивателя [12, 59]

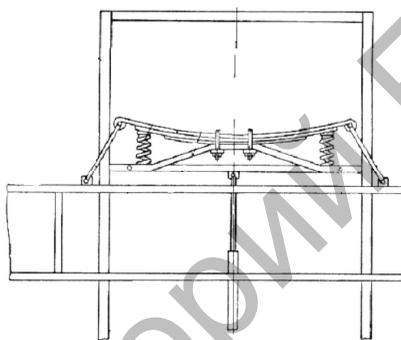


Рис. 1.85. Схема маятниково-рессорной навески с кронштейном штанги опрыскивателя [12]

На основании выполненного анализа конструкций подвесок и систем стабилизации штанг опрыскивателей следует отметить, что большинство разработок направлены на решение задач эффективного гашения колебаний в одной из плоскостей движения агрегата.

Решение комплексной проблемы пространственной стабилизации штанги требует существенного усложнения конструкции опрыскивателя.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЛЕБАНИЙ ШТАНГ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОДВЕСКИ И КОНСТРУКЦИЯХ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ

Исполнение несущей конструкции штанги и способ ее крепления к раме опрыскивателя определяют не только качество опрыскивания, но и надежность конструкции, и технологические режимы ее работы.

Как отмечалось ранее, жесткое крепление штанги или ее составных частей к несущей раме опрыскивателя налагает ограничение на рабочие скорости движения агрегата и ширину захвата, следовательно, и на его производительность. Этот тип крепления оправдан только при ширине захвата 9...15 м и рабочих скоростях до 6...7 км/ч [2, 7, 11, 12, 20]. Однако в конструкциях современных опрыскивателей используются распределительные штанги, ширина которых больше 15 м, при этом рабочие скорости достигают 12 км/ч.

2.1. Определение параметров колебаний жестко закрепленной на раме опрыскивателя штанги

Примем, что в процессе колебаний несущая конструкция штанги не изгибается. Колебательный процесс жестко закрепленной на раме опрыскивателя штанги может быть описан уравнением Лагранжа 2-го рода [2], представленной в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q} = Q, \quad (2.1)$$

где t – время; q – обобщенная координата; \dot{q} – обобщенная скорость; E_k – кинетическая энергия системы.

Если принять за обобщенную координату угол поворота штанги $q = \varphi$, тогда уравнение (2.1) примет вид [2]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = -\frac{\partial E_n}{\partial \varphi} + Q_\varphi^c, \quad (2.2)$$

где E_n – потенциальная энергия системы; Q_φ^c – обобщенная сила сопротивления среды (воздуха).

Примем, что все элементы штанги не изгибаются и отклоняются на одинаковый угол. Направим вдоль штанги ось x (рис. 2.1), тогда для любого элементарного отрезка длины dx и массы dm потенциальная энергия определяется суммой работы силы тяжести dA_T элемента, отклоненного от равновесного положения λ_{ct} , и работы силы упругости dA_y , действующей на элемент штанги при его перемещении из состояния с координатой $z + \lambda_{ct}$ в нулевое λ_{ct} , то есть $dE_n = dA_T + dA_y$, или

$$dE_n = -zdmg + c\lambda_{ct}z + \frac{c}{2}z^2, \quad (2.3)$$

где z – отклонение рассматриваемого элемента штанги от равновесного положения λ_{ct} ; c – коэффициент жесткости конструкции.

Приняв, что отклонение всех элементов штанги определяется углом поворота φ , получим $z = \varphi x$ (x – горизонтальная координата элемента штанги). Тогда выражение (2.3) примет вид

$$dE_n = -x\varphi dm g + c\lambda_{ct}x\varphi + \frac{c}{2}x^2\varphi^2. \quad (2.4)$$

В положении равновесия обобщенная сила равна нулю:

$$Q_{\varphi=0}^n = -\left(\frac{\partial (dE_n)}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=0} = -dmgx + c\lambda_{ct}x + \left(\frac{c}{2}x^2 2\varphi \right)_{\varphi=0} = 0. \quad (2.5)$$

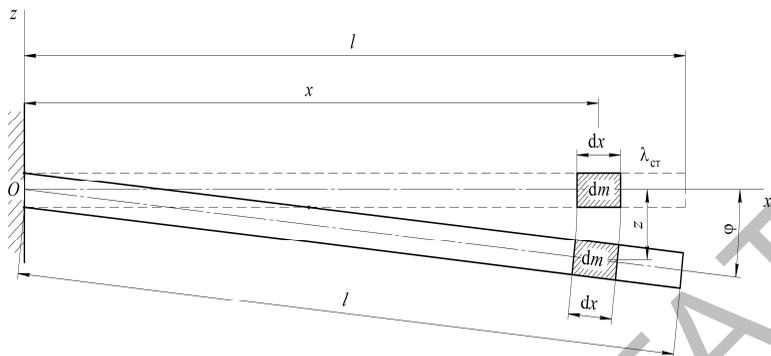


Рис. 2.1. Схема к определению параметров колебаний жестко закрепленной на раме опрыскивателя штанги

Тогда полная потенциальная энергия (всей штанги длиной l)

$$E_{\text{п}} = \frac{c}{2} \varphi^2 \int_0^l x^2 dx = \frac{c}{6} l^3 \varphi^2. \quad (2.6)$$

Обобщенная сила, соответствующая этой потенциальной энергии $E_{\text{п}}$:

$$Q_{\varphi}^{\text{п}} = -\frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial \varphi} = -\frac{2c}{6} l^3 \varphi = -c_R \varphi, \quad (2.7)$$

где $c_R = \frac{1}{3} c l^3$.

Обобщенная часть силы, вызванная силой сопротивления, равна

$$Q^{\text{с}} = -\mu_k \dot{q} = -\mu_k \dot{\varphi}, \quad (2.8)$$

где μ_k – коэффициент сопротивления воздушной среды; $\dot{q} = \dot{\varphi}$.

С учетом полученных выражений для кинетической энергии и обобщенной силы из уравнения Лагранжа, получим уравнение колебаний штанги в дифференциальной форме:

$$I_z \ddot{\varphi} + \mu_k \dot{\varphi} + c_R \varphi = 0,$$

где I_z – момент инерции относительно оси z .

Уравнение колебаний штанги в стандартном виде примет следующий вид:

$$\ddot{\varphi} + 2b\dot{\varphi} + k^2\varphi = 0, \quad (2.9)$$

где $2b = \frac{\mu_k}{I_z}$ – характеристика величины сопротивления; $k^2 = \frac{c_R}{I_z}$ – циклическая частота.

Решение данного уравнения ищем в виде $\varphi = e^{nt}$, подставив которое в (2.9), получим характеристическое уравнение

$$n^2 + 2bn + k^2 = 0.$$

Корнями данного уравнения являются

$$n_{1,2} = -b \pm \sqrt{b^2 - k^2} = -b \pm k_1 i,$$

где $k_1 = \sqrt{k^2 - b^2}$.

То есть корни характеристического уравнения являются комплексными.

Решение полученного уравнения колебаний штанги для малых сопротивлений $b < k$ имеет вид

$$\varphi = e^{-bt} A \sin(k_1 t + \varphi_0), \quad (2.10)$$

где A и φ_0 – постоянные интегрирования, которые определяются по начальным условиям (A – амплитуда колебаний, φ_0 – начальная фаза).

Период затухающих колебаний можно определить по зависимости

$$T = \frac{2\pi}{k_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{k^2 - b^2}}. \quad (2.11)$$

Декремент колебаний равен e^{-bT} , а модуль его логарифма (логарифмический декремент) $bT = \frac{2\pi\mu_k}{I_z \sqrt{\frac{cl^3}{3I_z} - \frac{\mu_k^2}{4I_z^2}}}$. (2.12)

Подставив ранее введенные обозначения в (2.10), окончательно получим:

$$\varphi = e^{-\frac{\mu_k}{2I_z}t} A \sin \left(t \sqrt{\frac{cl^3}{3I_z} - \frac{\mu_k^2}{4I_z^2}} + \varphi_0 \right). \quad (2.13)$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{cl^3}{3I_z} - \frac{\mu_k^2}{4I_z^2}}}. \quad (2.14)$$

Используя уравнение Лагранжа 2-го рода, получили уравнения для определения параметров затухающих колебаний жестко закрепленной штанги без учета ее изгиба. Анализируя (2.14) и (2.15), следует отметить, что эффективность затухания колебаний определяется жесткостью конструкции штанги и ее размерами.

2.2. Определение параметров затухающих колебаний штанги при использовании амортизаторов в системе стабилизации

Разнообразие конструкций и размеров штанг требует обоснованного подхода к разработке систем гашения колебаний, основанного на рациональном использовании характеристик и параметров установки амортизаторов. Рассмотрим эффективность гашения колебаний штанги парой амортизаторов, установленных под углом α_a к горизонтальной плоскости (рис. 2.2) [2]. Система состоит из шасси 2 с рамой I , в направляющих которой в вертикальном направлении

перемещается подвижная рамка 3, закрепленная на штоке гидроцилиндра 5 изменения высоты установки штанги 4, которая опирается на подвижную рамку с возможностью свободного перемещения. Гашение колебаний штанги в вертикальной плоскости обеспечивается амортизаторами 6.

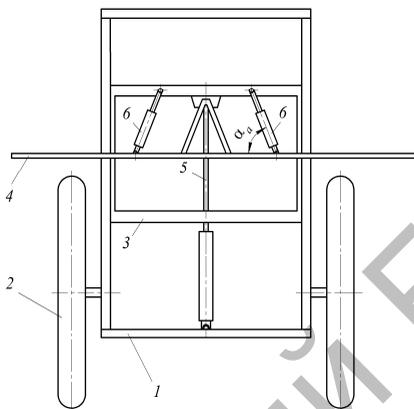


Рис. 2.2. Схема к расчету амортизаторов системы стабилизации штанги:
 1 – рама; 2 – шасси опрыскивателя; 3 – подвижная рамка; 4 – штанга;
 5 – гидроцилиндр изменения высоты установки штанги;
 6 – амортизаторы

Эффективность работы предложенной системы стабилизации определяется коэффициентом сопротивления амортизаторов и углом α_a их установки к горизонтальной плоскости. Рассмотрим процесс колебания системы в вертикальной плоскости и их гашения амортизаторами.

Если принять за обобщенную координату угол поворота штанги $q = \varphi$, то ее движение штанги относительно опоры на подвижной рамке может быть описано уравнением Лагранжа 2-го рода [2]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = Q_d, \quad (2.15)$$

где t – время; \dot{q} – обобщенная скорость (для поступательного движения системы в направляющих $\dot{q}_2 = \dot{z} = v = v_c$); q – обобщенная координата; E_k – кинетическая энергия системы; Q_d – обобщенная диссипативная сила сопротивления амортизаторов

$$Q_d = -\mu\dot{q}, \quad (2.16)$$

где μ – коэффициент сопротивления амортизаторов.

Потенциальная энергия системы состоит только из потенциальной энергии полей сил тяжести ($E_{\Pi}^T = Pz_c = 0$, так как $z_c = z_0 = 0$).

С учетом того, что $E_{\kappa} = \frac{a\dot{q}^2}{2}$ (a – инерционный коэффициент (масса системы)), уравнение (2.15) примет вид

$$a \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\mu \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2.17)$$

После преобразований получим уравнение, описывающее процесс движения штанги при гашении ее колебаний амортизаторами:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\omega_0}{b} (1 - e^{-bt}) = \varphi_0 + \frac{\omega_0}{b} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{a}t} \right), \quad (2.18)$$

где φ_0 – начальное отклонение штанги; ω_0 – начальная угловая скорость штанги; $b = \frac{\mu}{a}$.

На основании полученной зависимости можно построить следующие графические зависимости (рис. 2.3).

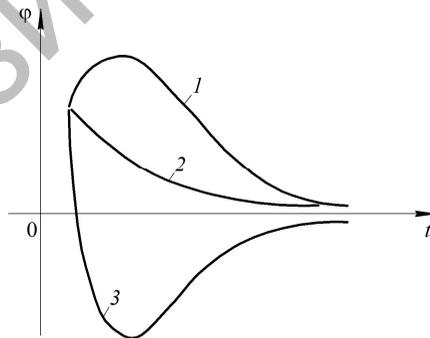


Рис. 2.3. Графическое решение зависимости (2.18):
 1 – $\dot{\varphi}_0 > 0$; 2 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ мало); 3 – $\dot{\varphi}_0 < 0$ ($\dot{\varphi}_0$ большое)

Зависимость (2.18) позволяет описать процесс затухающих колебаний штанги в зависимости от коэффициента сопротивления амортизаторов и угла их установки относительно горизонтальной плоскости. При этом следует отметить зависимость угла отклонения штанги от начальных условий: начального угла отклонения и начальной угловой скорости.

2.3. Определение параметров затухающих колебаний штанги при использовании в системе стабилизации упругих элементов

При движении опрыскивателя по полю может возникнуть случай одновременного наезда колес на препятствие или попадания их в неровность. В результате это приводит к чрезмерному воздействию на штангу, что сказывается на прочности и долговечности ее конструкции, а при большой амплитуде колебаний ее концов может привести к поломке.

Система навешивания и стабилизации штанги (рис. 2.4) [2] состоит из свободно перемещающейся в направляющих рамы 2 подвижной рамки 7, закрепленной на штоке гидроцилиндра 4, нижний конец которого крепится на пластине 3, которая также свободно перемещается в направляющих. Направляющие выполнены в виде швеллера, обращенного вовнутрь. Пластина нижней частью опирается на две вертикальные пружины 1, соединенные с рамой опрыскивателя. Данное конструктивное исполнение позволяет обеспечить подвижной рамке одну степень свободы (поступательное движение), гасить колебания системы в вертикальной плоскости и обеспечить плавность хода штанги при наезде одновременно двух колес опрыскивателя на препятствие. Сила трения скольжения (металл по металлу) между подвижной рамкой, пластиной и направляющими рамы позволяет эффективно гасить колебания пружин, избежать раскачивания всей системы. Штанга 5 подвешена шарнирно 8 на подвижной рамке 7 с возможностью свободного перемещения. Гашение колебаний штанги в вертикальной плоскости обеспечивается парой пружин сжатия 1 и амортизаторами 6. При этом штанга совершает сложное движение по отношению к раме опрыскивателя: поступательное – вместе с рамкой в направляющих и вращательное – относительно рамки. При поступательном движении осуществляется гашение колебаний пружинами 1, а при вращательном – амортизаторами 6.

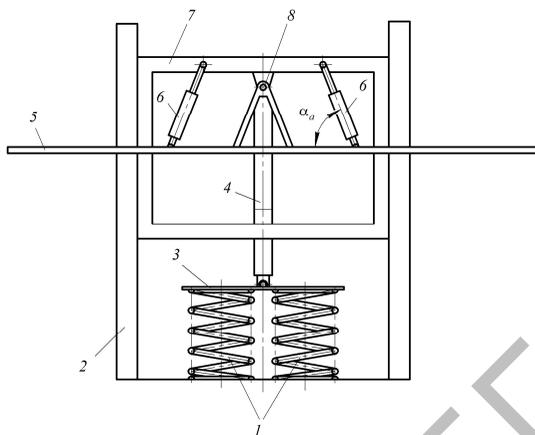


Рис. 2.4. Схема к расчету вертикальных пружин:
 1 – пара пружин; 2 – рама опрыскивателя; 3 – пластина;
 4 – гидроцилиндр регулировки высоты установки штанги;
 5 – штанга; 6 – амортизаторы; 7 – подвижная рамка; 8 – шарнир

Эффективность работы данной системы стабилизации определяется характеристиками и параметрами установки пружин и амортизаторов (угол наклона α_a). Рассмотрим процесс колебания системы в вертикальной плоскости и работу пружин. Колебательное поступательное движение системы с одной степенью свободы в вертикальной плоскости может быть описано уравнением Лагранжа 2-го рода [2]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{т}}, \quad (2.19)$$

где E_k – кинетическая энергия системы:

$$E_k = \frac{1}{2} a \dot{q}^2 = \frac{1}{2} m v_c^2 = \frac{1}{2} m \dot{z}^2 = \frac{1}{2} m \dot{q}^2, \quad (2.20)$$

где a – коэффициент инерции системы ($a = m$, m – масса системы);
 $Q_{\text{п}}$ – обобщенная потенциальная сила двух параллельных пружин;
 $Q_{\text{т}}$ – обобщенная сила трения.

Обобщенная потенциальная сила двух параллельных пружин

$$Q_{\text{п}} = -\frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial q_2}, \quad (2.21)$$

где $E_{\text{п}}$ – потенциальная энергия системы.

Для принятых обобщенных координат $q = z$, при этом потенциальная энергия

$$E_{\text{п}} = \frac{2cq^2}{2} = \frac{2cz^2}{2} = cz^2,$$

где $2c$ – жесткость пары пружин (c – жесткость одной пружины).

Откуда

$$Q_{\text{п}} = -2cz. \quad (2.22)$$

Предположим, что величина силы трения рамки в направляющих не зависит от скорости, тогда имеем случай обобщенной силы кулоновского трения, которая может быть представлена в виде

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{к}} = -\mu \operatorname{sgn} \dot{q}_2 = -\mu \operatorname{sgn} \dot{z}, \quad (2.23)$$

где μ – обобщенный коэффициент сопротивления системы.

С учетом (2.20), (2.21) и (2.23), уравнение (2.19) примет вид

$$\ddot{z} + k^2 z + b \operatorname{sgn} \dot{z} = 0, \quad (2.24)$$

где $b = \frac{\mu}{m}$; $k = \sqrt{\frac{2c}{m}}$.

Знак в последнем члене уравнения (2.24) определяется знаком скорости \dot{z} .

Пусть, например, после толчкового возмущения система отклоняется от положения равновесия на величину $z = A_0$. Примем данное положение за начальное, приняв $t = 0$ и $\dot{z} = 0$, и рассмотрим движение, начиная от этого положения. Тогда в первом интервале движения скорость отрицательная, и в (2.24) перед третьим членом должен быть принят знак «минус». Для этого интервала уравнение (2.24) представим в виде

$$\ddot{z} + k^2 z - b = 0. \quad (2.24a)$$

Решение данного неоднородного дифференциального уравнения ищем в виде

$$z = z_1 + z_2,$$

где z_1 – общее решение однородного уравнения $\ddot{z} + k^2 z = 0$, имеет вид

$$z_1 = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt, \quad (2.25)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования, определяются начальными условиями.

Частное решение (2.24a) z_2 ищем в виде $z_2 = B$. Решим (2.24a) относительно z_2 и получим $k^2 B = b$, откуда $B = \frac{b}{k^2}$.

Тогда общее решение (2.24a) имеет вид

$$z = \left(A_0 - \frac{b}{k^2} \right) \cos kt + \frac{b}{k^2}, \quad (2.26)$$

уравнение для скорости:

$$\dot{z} = - \left(A_0 - \frac{b}{k^2} \right) k \sin kt. \quad (2.27)$$

Через промежуток времени, когда произведение kt будет равно π ($kt = \pi$), скорость \dot{z} еще раз обращается в нуль. Это значит, что система достигает своего наибольшего отклонения по другую сторону от состояния равновесия и, соответственно, от начала координат. Согласно (2.26), величина этого отклонения

$$A_1 = \left(A_0 - \frac{b}{k^2} \right) \cos \pi + \frac{b}{k^2} = -A_0 + \frac{2b}{k^2}. \quad (2.28)$$

Таким образом, по абсолютной величине данное отклонение меньше первоначального на $\frac{2b}{k^2}$.

Если величина A_1 такая, что $2c|A_1| > \mu$, то есть $k^2|A_1| > b$ (или $|A_1| > \frac{b}{k^2}$), то сила упругости больше силы трения, и система начинает двигаться обратно в сторону положительного значения z . Тогда для второго интервала движения, когда скорость положительная ($\dot{z} > 0$), в (2.24) перед b должен быть принят знак «плюс», и уравнение движения запишется в виде

$$\ddot{z} + k^2 z + b = 0. \quad (2.29)$$

Принимая начало отсчета времени со второго интервала, начальные условия представим так: $t = 0$, $z_0 = A_1$, $\dot{z} = 0$. В этом случае общее решение (2.29) примет вид

$$z = \left(A_1 + \frac{b}{k^2} \right) \cos kt - \frac{b}{k^2}, \quad (2.30)$$

и скорость

$$\dot{z} = \left(A_1 + \frac{b}{k^2} \right) k \sin kt. \quad (2.31)$$

Тогда в конце второго интервала движения (еще раз при $kt = \pi$) из (2.30) получим следующее отклонение:

$$A_2 = -A_1 - \frac{2b}{k^2}. \quad (2.32)$$

С учетом (2.28), найдем изменение отклонения системы от равновесия за полный период 2π :

$$A_2 = A_0 - \frac{4b}{k^2}. \quad (2.33)$$

Аналогичным образом можно показать, что амплитуда за все последующие периоды уменьшается на одну и ту же величину $\frac{4b}{k^2}$, то есть последовательность амплитуд образует арифметическую последовательность для огибающей кривой $z(t)$, которую можно записать в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{dA}{dt} T = -\frac{4b}{k^2}, \quad (2.34)$$

где T – период колебаний.

Интегрируем зависимость (2.34) и получим уравнение для огибающей кривой $z(t)$:

$$A = A_0 - \frac{4b}{k^2 T} t = A_0 - \frac{2\mu}{cT}, \quad (2.35)$$

представляющей собой прямую линию (рис. 2.5).

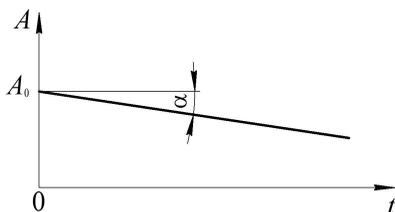


Рис. 2.5. График огибающей прямой

Из зависимости (2.35) видно, что угол наклона огибающей прямой к оси t равен

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{4b}{k^2 T} = \frac{2\mu}{cT}. \quad (2.36)$$

Движение системы будет продолжаться до тех пор, пока $|A_i| > \frac{b}{k^2}$ (i – номер рассматриваемого цикла). Если $|A_i| < \frac{b}{k^2}$, тогда сила упругости меньше $2cA_i$, и движение системы прекращается.

С учетом (2.26) и (2.30), график колебаний будет состоять из отрезков синусоиды с одинаковым периодом и убывающей амплитудой (рис. 2.6). Две горизонтальные прямые $z = \pm \frac{b}{k^2}$ задают зону застоя. Если скорость обращается в нуль в пределах этой зоны, то движение системы прекращается (точка M). При эффективной работе системы стабилизации штанги точка M должна быть как можно ближе к началу координат ($t \rightarrow 0$), и колебательное движение будет затухать за один цикл.

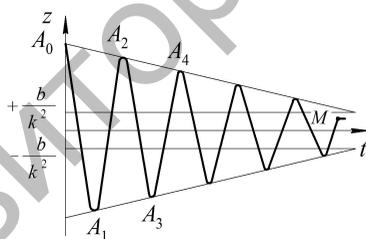


Рис. 2.6. График колебаний системы

Логарифмический декремент затухающих колебаний

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}. \quad (2.37)$$

Если приращение $\Delta A_i = A_{i+1} - A_i$ мало по сравнению с A_i , то (2.37) можно записать как

$$\delta = \ln \frac{A_{i+1} - A_i}{A_{i+1}} = \ln \left(1 - \frac{\Delta A_i}{A_{i+1}} \right) \approx -\frac{\Delta A}{A}. \quad (2.38)$$

В нашем случае $\Delta A = -\frac{4b}{k^2}$, тогда

$$\delta \approx \frac{4b}{k^2} \frac{1}{A} \approx \frac{2\mu}{cA}. \quad (2.39)$$

Таким образом, для случая кулоновского трения логарифмический декремент колебаний увеличивается с уменьшением амплитуды (рис. 2.7).

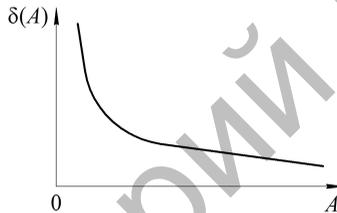


Рис. 2.7. График зависимости логарифмического декремента колебаний от амплитуды

Полученные зависимости позволяют определить параметры колебаний штанги при использовании пары цилиндрических пружин, используемых для гашения колебаний, возникающих при одновременном или попеременном наезде колес на препятствия.

2.4. Определение параметров затухающих колебаний штанги при совместном использовании в системе стабилизации различных демпфирующих элементов

Исследования совместной работы демпфирующих элементов рассмотрим на примере следующей системы (рис. 2.8) [2]. Подвижная рамка 3 закреплена на штоке гидроцилиндра 7, нижний конец которого крепится на пластине 4, опирающейся на две

вертикальные пружины сжатия 1 , которые установлены на раме опрыскивателя 9 . Рамка может свободно перемещаться в направлениях рамы опрыскивателя. Штанга 6 закреплена на подвижной рамке 3 шарнирным соединением 4 , обеспечивающим ее вращательное движение.

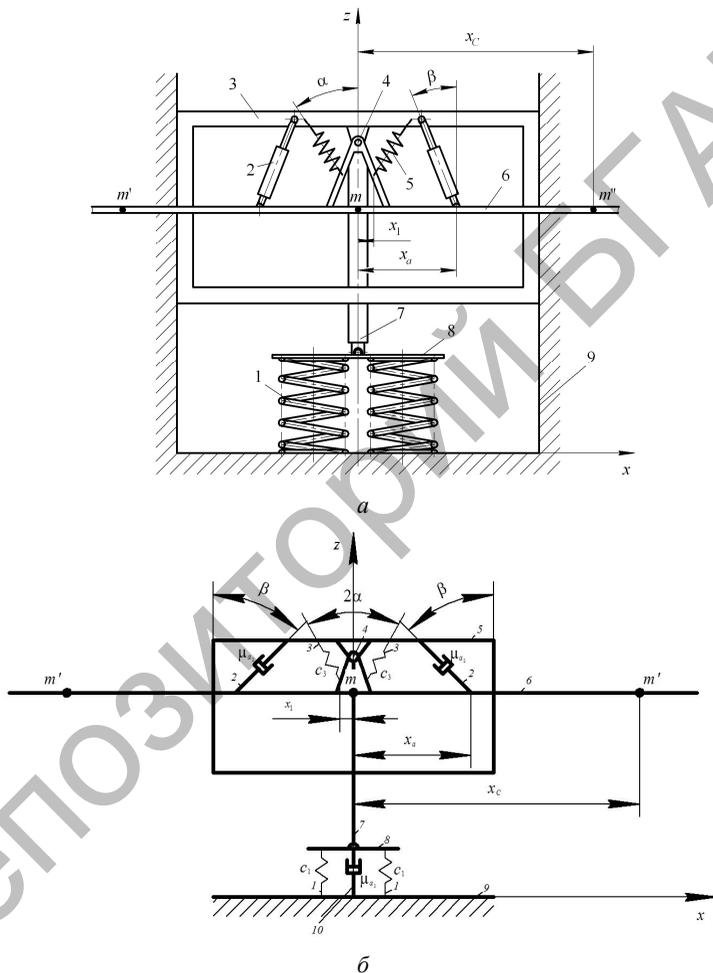


Рис. 2.8. Схемы навески штанги на раме опрыскивателя с системой стабилизации в вертикальной плоскости:
 a – конструктивная; b – расчетная

Гашение колебаний штанги в вертикальной плоскости обеспечивается пружинами 1, 5 и амортизаторами 2. При этом штанга совершает сложное движение по отношению к раме опрыскивателя: поступательное – вместе с рамкой в направляющих и вращательное – относительно рамки. При поступательном движении осуществляется гашение колебаний пружинами 1, а при вращательном – амортизаторами 2 и пружинами 5.

Колебательное движение штанги опрыскивателя может быть описано уравнениями Лагранжа 2-го рода [2]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_1} = Q, \quad (2.40)$$

где Q – обобщенная сила.

Разложим движение системы (см. рис. 2.8) на переносное поступательное движение вместе с центром масс штанги и относительное – по отношению к системе координат, движущейся поступательно вместе с этим центром. Тогда, по теореме Кенига, кинетическая энергия системы в абсолютном движении складывается из кинетической энергии центра масс E_k^c , если в нем сосредоточить всю массу движущейся системы, и кинетической энергии штанги E_k^r относительно центра масс [2]:

$$E_k = E_k^c + E_k^r = \frac{1}{2} m v_c^2 + E_k^r, \quad (2.41)$$

где $E_k^c = \frac{1}{2} m v_c^2$;

$$E_k^r = \frac{1}{2} a \dot{q}_1^2,$$

где a – коэффициент инерции; m – масса системы (навеска, штанга, элементы стабилизации); v_c – скорость центра масс штанги.

Для поступательного движения части системы в направляющих

$$v_c = v = \dot{z} = \dot{q}_2 \quad \text{и} \quad E_k^{(2)} = \frac{mv_c^2}{2} = \frac{m\dot{q}_2^2}{2} = \frac{m\dot{z}^2}{2}.$$

Уравнение Лагранжа для этого поступательного движения имеет вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k^{(2)}}{\partial \dot{q}_2} \right) - \frac{\partial E_k^{(2)}}{\partial q_2} = Q_n + Q_d, \quad (2.42)$$

где Q_n – потенциальная сила двух параллельных пружин 1 (см. рис. 2.8); Q_d – диссипативная сила сопротивления амортизатора 2.

Обобщенная потенциальная сила двух параллельных пружин

$$Q_n = -\frac{\partial E_n}{\partial q_2}.$$

Для принятых обобщенных координат $q = z$, при этом потенциальная энергия

$$E_n = \frac{2c_2 q_2^2}{2} = \frac{2c_2 z^2}{2} = c_2 z^2,$$

где $c_2 = 2c_1$, c_1 – жесткость пружины 1 (см. рис 2.8).

$$\text{Откуда } Q_n = -2c_2 z. \quad (2.43)$$

Обобщенная диссипативная сила сопротивления амортизатора

$$Q_d = -\mu_a \dot{q}_2 = -\mu_a \dot{z}, \quad (2.44)$$

где μ_a – обобщенный коэффициент сопротивления амортизатора.

С учетом выражения для $E_k^{(2)}$, Q_n и Q_d , уравнение (2.42) примет следующий вид:

$$m\ddot{z} = -2c_2z - \mu\dot{z}, \quad \text{или} \quad \ddot{z} + 2b\dot{z} + k^2z = 0, \quad (2.45)$$

где $2b = \frac{\mu}{m}$; $k = \sqrt{\frac{2c_2}{m}}$.

Решение дифференциального уравнения (2.45) в зависимости от соотношения между величинами b и k выражается одной из трех формул:

$$z = e^{-bt} A \sin(k_1 t + \alpha) \quad \text{при} \quad b < k, \quad (2.46)$$

где $k_1 = \sqrt{k^2 - b^2}$;

$$z = e^{-bt} (C_1 e^{rt} + C_2 e^{-rt}) \quad \text{при} \quad b > k, \quad (2.47)$$

где $r = \sqrt{b^2 - k^2}$;

$$z = e^{-bt} (C_1 t + C_2) \quad \text{при} \quad b = k, \quad (2.48)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Для описания колебательного движения штанги в уравнении Лагранжа в качестве обобщенной координаты примем угол поворота штанги φ . Тогда уравнение примет вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = -\frac{\partial E_n'}{\partial \varphi} + Q_d', \quad (2.49)$$

где E_k – определяется формулой (2.41); E_n' – потенциальная энергия штанги; Q_d' – обобщенная сила сопротивления амортизаторов штанги.

Потенциальная энергия системы состоит из потенциальной энергии полей сил тяжести E_n^T и сил упругости E_n^Y . $E_n^T = Pz_c = 0$, так как $z_c = z_0 = 0$.

Следовательно, $E'_n = E'_n^y$.

$$E'_n = \frac{c}{2} \left[\lambda_{\text{ст}}^2 - (z - \lambda_{\text{ст}})^2 \right] - \frac{c}{2} \left[\lambda_{\text{ст}}^2 - (z + \lambda_{\text{ст}})^2 \right] = cz^2, \quad (2.50)$$

где $z = \varphi x_1$, x_1 – расстояние от центральной точки подвеса штанги до точки крепления пружин на штанге.

$$\text{Действительно, } F = c_3 \Delta S, \quad \Delta S = \frac{F}{c_3}, \quad F_z = c \Delta z, \quad F_z = F \cos \alpha,$$

$$\Delta z = \frac{\Delta S}{\cos \alpha} \text{ и}$$

$$c = \frac{F}{\Delta z} = \frac{F \cos \alpha}{\Delta z} = \frac{F \cos^2 \alpha}{\Delta S} = c_3 \cos^2 \alpha, \quad (2.51)$$

где α – угол установки пружин относительно горизонтальной плоскости; c_3 – жесткость пружины 3 (см. рис. 2.8).

С учетом выражения (2.50), можно записать:

$$Q'_n = -\frac{\partial E'_n}{\partial \varphi} = -2cx_1^2 \varphi = -c_n \varphi, \quad (2.52)$$

где $c_n = 2cx_1^2$.

Вызванная силой сопротивления амортизаторов, пропорциональной скорости $\bar{F}_c = -u\bar{v}_a$ (u – коэффициент пропорциональности), обобщенная сила

$$Q'_n = -\mu' \dot{\varphi}, \quad (2.53)$$

где $\mu' = \frac{ux_a^2}{\cos \beta}$; β – угол установки амортизатора относительно вертикальной оси; x_a – расстояние от середины штанги до центра точки крепления на ней амортизатора.

Очевидно, что в рассматриваемой системе реализуется случай больших сопротивлений $b > k$ и применима зависимость (2.47). В общем случае можно принять, что z стремится к нулю экспоненциально с некоторым коэффициентом n , то есть $z \sim Ce^{-nt}$. Тогда

$$v_c = \dot{z} = -Cne^{-nt} = De^{-nt}, \quad (2.54)$$

где $D = -Cn$,

а кинетическая энергия

$$E_k = \frac{mD^2 e^{-2nt}}{2} + \frac{I_{cy} \dot{\phi}^2}{2}, \quad (2.55)$$

где I_{cy} – момент инерции относительно оси y .

Принимая во внимание полученные выражения для кинетической энергии и обобщенных сил из уравнения Лагранжа, получим дифференциальное уравнение колебаний штанги:

$$I_{cy} \ddot{\phi} + \mu' \dot{\phi} + c_n \phi = Bx_c e^{-nt}, \quad (2.56)$$

где $Bx_c e^{-nt}$ – обобщенная сила переносной силы инерции, которую можно рассматривать как момент пары сил, образованной переносной силой инерции и силой тяжести половины штанги с плечом, равным расстоянию x_c от середины штанги до центра тяжести одной из половин штанги.

Величина переносной силы инерции

$$F_{пер}^n = ma_{пер} = m\ddot{z} = mCn^2 e^{-nt} = Be^{-nt},$$

где $B = mCn^2$.

Тогда обобщенная сила переносной силы инерции

$$Q_{пер} = Bx_c e^{-nt}. \quad (2.57)$$

Разделив все члены уравнения (2.56) на I_{cy} , получим неоднородное дифференциальное уравнение

$$\ddot{\varphi} + 2b'\dot{\varphi} + (k')^2\varphi = B_0e^{-nt}, \quad (2.58)$$

где $2b' = \frac{\mu'}{I_{cy}}$; $k' = \sqrt{\frac{c_{II}}{I_{cy}}}$;

$$B_0 = \frac{Bx_c}{I_{cy}}. \quad (2.59)$$

Неоднородному уравнению (2.58) соответствует однородное уравнение

$$\ddot{\varphi} + 2b'\dot{\varphi} + (k')^2\varphi = 0. \quad (2.60)$$

Решением неоднородного уравнения (2.58) является функция

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2,$$

где φ_1 – общее решение однородного уравнения (2.60); φ_2 – частное решение неоднородного уравнения (2.58).

Общее решение φ_1 однородного дифференциального уравнения (2.60) записывается в одной из трех форм в зависимости от соотношений между величинами k' и b' :

$$\text{если } k' < b', \text{ то } \varphi_1 = e^{-b't} (C_1e^{rt} + C_2e^{-rt}), \quad (2.61)$$

где $r = \sqrt{(b')^2 - (k')^2}$;

$$\text{если } k' = b', \text{ то } \varphi_1 = e^{-b't} (C_1t + C_2), \quad (2.62)$$

$$\text{если } k' > b', \text{ то } \varphi_1 = e^{-b't} (C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t), \quad (2.63)$$

где $\omega = \sqrt{(k')^2 - (b')^2}$; C_1, C_2 – постоянные интегрирования, определяемые начальными условиями.

В результате введения вспомогательного аргумента $\alpha = \arcsin \frac{C_1}{\sqrt{C_1^2 + C_2^2}}$ функция (2.63) преобразуется:

$$\varphi_1 = e^{-b't} A' \sin(\omega t + \alpha), \quad (2.64)$$

где $A' = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$ – амплитуда колебаний.

Частное решение φ_2 неоднородного уравнения (2.58) следует искать в зависимости от корней характеристического уравнения

$$y^2 + 2b'y + (k')^2 = 0. \quad (2.65)$$

Если число n не является корнем характеристического уравнения (2.65), то частное решение φ_2 следует искать в виде функции

$$\varphi_2 = Q_0 e^{-nt}, \quad (2.66)$$

а если является, то $\varphi_2 = Q_0 t e^{-nt}$, (2.67)

или $\varphi_2 = Q_0 t^2 e^{-nt}$, (2.68)

в зависимости от кратности корня n в характеристическом уравнении (2.65).

Если число n не является корнем характеристического уравнения (2.65), то, подставив выражение (2.66) в неоднородное уравнение (2.63), получим

$$Q_0 = \frac{B_0}{n^2 - 2b'n + (k')^2}. \quad (2.69)$$

Таким образом, если $k' < b'$, то

$$\varphi = e^{-b't} (C_1 e^{rt} + C_2 e^{-rt}) + \frac{B_0}{n^2 - 2b'n + (k')^2} e^{-nt}, \quad (2.70)$$

если $k' = b'$, то

$$\varphi = e^{-b't} (C_1 t + C_2) + \frac{B_0}{n^2 - 2b'n + (k')^2} e^{-nt}, \quad (2.71)$$

если $k' > b'$, то

$$\varphi = e^{-b't} A' \sin(\omega t + \alpha) + \frac{B_0}{n^2 - 2b'n + (k')^2} e^{-nt}. \quad (2.72)$$

При $b' \neq k'$ характеристическое уравнение (2.65) имеет два различных корня, следовательно, только один из них может совпасть со значением n . В этом случае подставляем выражение (2.57) в неоднородное уравнение (2.56) и получаем

$$Q_0 = \frac{B_0}{n^2 t - 2b'nt + (k')^2 t + 2b' - 2n}. \quad (2.73)$$

Таким образом, если $k' < b'$, то

$$\varphi = e^{-b't} (C_1 e^{rt} + C_2 e^{-rt}) + \frac{B_0}{n^2 t - 2b'nt + (k')^2 t + 2b' - 2n} t e^{-nt}; \quad (2.74)$$

если $k' > b'$, то

$$\varphi = e^{-b't} A' \sin(\omega t + \alpha) + \frac{B_0}{n^2 t - 2b'nt + (k')^2 t + 2b' - 2n} t e^{-nt}. \quad (2.75)$$

При $b' = k'$ характеристическое уравнение (2.65) имеет один корень кратности двум, следовательно, в случае совпадения последнего со значением n , в неоднородное уравнение (2.63) подставляем (2.68) и получаем

$$Q_0 = \frac{B_0}{n^2 t^2 - 2b'nt^2 + (k')^2 t^2 + 4b't - 4nt + 2}. \quad (2.76)$$

Таким образом, при $b' = k'$ имеем

$$\varphi = e^{-b't} (C_1 t + C_2) + \frac{B_0}{n^2 t^2 - 2b'nt^2 + (k')^2 t^2 + 4b't - 4nt + 2} t^2 e^{-nt}. \quad (2.77)$$

В результате теоретических исследований гашения колебаний предложенной системой стабилизации получены зависимости для определения характеристик затухающих колебаний штанги в вертикальной плоскости в зависимости от ее конструктивных параметров, характеристик демпфирующих элементов и конструктивных параметров их установки.

Стабилизация колебаний штанги в относительном движении зависит от размещения амортизаторов на штанге. Чем больше расстояние от центра масс до стабилизатора, тем эффективнее затухание колебаний.

Данные зависимости могут использоваться в различных программных продуктах для моделирования процесса колебаний штанги при заданных геометрических размерах ее несущей конструкции штанги, схеме подвески, параметрах установки и характеристиках используемых упругих и демпфирующих элементов и начальных условий, определяемых величиной возмущающей силы, начальных отклонениях, скоростях и ускорениях точек штанги.

Полученные результаты позволяют исследовать процесс затухания колебаний штанги, что обеспечит на стадии проектирования разработать ее несущую конструкцию и смоделировать систему стабилизации.

3. ИСПЫТАНИЯ ПОДВЕСОК И СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ШТАНГ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

Эффективность схем подвесок и систем стабилизации штанг и их влияние на параметры колебаний в зависимости от скорости движения агрегата может осуществляться в лабораторных и реальных условиях. В лабораторных условиях штанга навешивается на подвижную тележку, которая при движении копирует неровности, возмущения от которых передается на штангу, по отклонениям крайних секций которой судят об эффективности выбранной схемы подвески и системы стабилизации.

Для исследований в реальных условиях используется полигон с выровненной поверхностью. По ширине колеи агрегата укладывается испытательный трек, состоящий из деревянных или металлических прямоугольных брусьев (рис. 3.1).

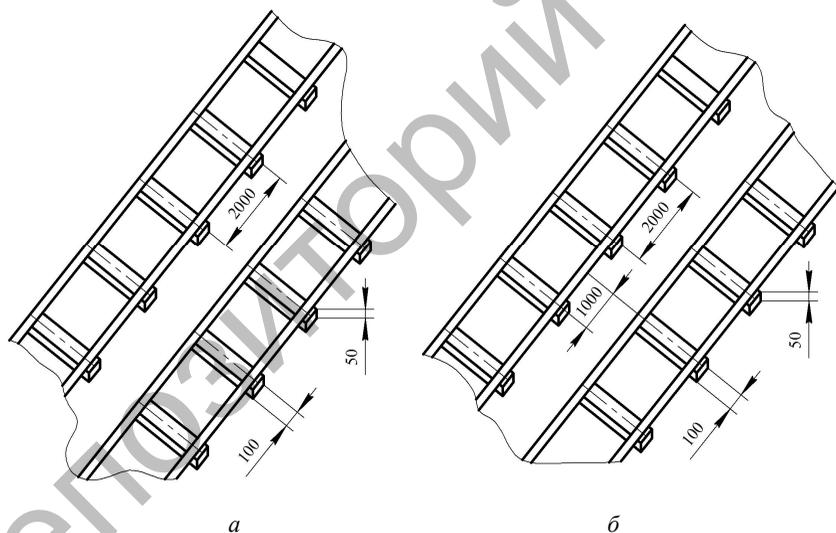


Рис. 3.1. Схема испытательного трека с соосными (а) и со смещенными (б) неровностями

В работе [7] отмечено, что для испытания подвесок штанговых опрыскивателей необходимы экстремальные условия и обоснован выбор параметров трека: высота брусьев – 0,05 м, ширина

брусков – 0,10 м, шаг установки – 2 м. Выбор данных параметров искусственных неровностей определяется среднеквадратичным отклонением высоты неровностей микропрофиля стерни пшеницы поперек борозд от вспашки и посева – 26...35 мм [7]. Эти же значения для свежевспаханного поля поперек борозд по колее трактора – 24...28 мм и 41 мм [7]. Математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение высоты неровностей микропрофиля поля кормовой свеклы после уборки вдоль борозд имеют значения, соответственно, 45...66 и 33...59 мм, того же поля поперек борозд – 40...50 и 23...32 мм, стерни клевера вдоль борозд – 33...43 и 23...35 мм и поперек борозд – 54...66 и 40...54 мм [7]. Среднеквадратичные значения высот неровностей разбитых автомобильных дорог, измеряемых от базовой линии, проходящей по поверхности дороги, – 40...50 мм, а подавляющее их количество имеет длину 0,8...3,0 м [7].

Математические ожидания и среднеквадратичные отклонения микропрофиля следа прохода заполненного водой опрыскивателя ПАМ-3000 в агрегате с МТЗ-82 имели следующие значения: для пастбища – 54,1 и 9,4 мм, для вспаханного поля в направлении пахоты – 61,6 и 22,2 мм и в поперечном направлении – 78,9 и 31,1 мм [7].

Исследователи пользуются искусственными неровностями различной высоты: 180, 70, 60 и 50 мм [7]. При испытании подвески автомобиля искусственные неровности размещаются с шагом 2 м [7].

Для определения степени влияния колебаний штанги с используемой подвеской и системой стабилизации на равномерность распределения жидкости на ровную поверхность слева и справа от испытательного трека устанавливаются улавливающие капли поверхности: пропитанная специальным раствором бумага либо улавливающие плиты [7]. При проезде агрегата по треку его колеса копируют искусственные неровности и приводят штангу через узлы опрыскивателя к колебаниям. Капли рабочей жидкости вылетают из распылителей и осаждаются на принимающих поверхностях. По их разбросу судят о влиянии колебаний штанги на равномерность распределения рабочей жидкости. Следует отметить, что необходимым условием проведения исследований являются отсутствие ветра, низкая влажность и оптимальная температура воздуха.

Для определения начальных условий и параметров колебаний штанги на ее краях устанавливаются датчики для измерения характеристик их движения: ускорений (скоростей) в трех направлениях, высоты отклонения и др.

При проезде агрегата по треку его колеса копируют искусственные неровности и приводят штангу через узлы опрыскивателя к колебаниям. Капли рабочей жидкости вылетают из распылителей и осаждаются на принимающих поверхностях. По их разбросу судят о влиянии колебаний штанги на равномерность распределения рабочей жидкости. При этом следует отметить, что важным условием проведения исследований является наличие благоприятных условий: отсутствие ветра, низкая влажность и оптимальная температура воздуха.

Для определения начальных условий и параметров колебаний штанги на ее краях устанавливаются датчики для измерения характеристик их движения: ускорений (скоростей) в трех направлениях, высоты отклонения и др.

Для оценки эффективности подвесок и системы стабилизации штанги проводят анализ частотно-амплитудных графических зависимостей, полученных в результате считывания данных с датчиков, установленных на штанге и центре ее подвески. Для анализа используют следующие целевые функции.

Оценочным показателем подвески является коэффициент виброизоляции (коэффициент амортизации) – отношение максимальных средних квадратических значений ускорений конца штанги (как защищаемого–изолируемого объекта) к тем же значениям рамы. Коэффициенты виброизоляции определяются в продольно-вертикальной, поперечно-вертикальной и горизонтальной плоскостях движения агрегата.

Максимальные значения средних квадратических ускорений хорошо характеризуют плавность хода, в связи с чем используются в качестве оценочного показателя плавности хода мобильных машин [7]. Также для анализа используются максимальные средние квадратические значения ускорений в третьоктавных полосах на частотах от 2,0 до 31,5 Гц. Максимальные значения ускорений характеризуют динамику штанги или рамы, а коэффициент виброизоляции характеризует только саму навеску [7, 12].

Также для анализа эффективности работы подвески и системы стабилизации штанги определяют амплитуду колебаний крайней точки штанги или наибольший угол отклонения штанги от положения устойчивого равновесия в продольно-вертикальной или горизонтальной плоскостях, или наибольшее отклонение в поперечном направлении. Кроме того, определяют время гашения колебаний, которое должно стремиться к нулю.

При определении степени влияния колебаний штанги на неравномерность распределения рабочей жидкости определяют объем жидкости, вынесенный за пределы участка, который мог быть обработан при расположении штанги параллельно обрабатываемой поверхности.

Также следует отметить, что эффективность модернизации является многосторонней и включает не только качественную, но и экономическую стороны. То есть она должна осуществляться в разумных, с экономической точки зрения, пределах.

4. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

В настоящее время в сельскохозяйственных организациях используется множество опрыскивателей с различным объемом основных емкостей, шириной захвата и способами агрегатирования (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Характеристика новых конструкций штанговых опрыскивателей

Фирма	Модель	Тип	Объем основной емкости, л	Рабочая ширина захвата штанги, м
1	2	3	4	5
<i>Зарубежные</i>				
JOHN DEERE	824	П	2400	15–30
	832	П	3200	15–36
	840	П	4000	15–45
Jacto	BK 3024 Vortex	П	3000	24
	Columbia AD-18 EE	П	2000	18
	Advance 3000/24	П	3000	24
	Advance Vortex 3000 EE	П	3000	18
	Uniport 2500 Star (24/28м)	С	2000	24
	Uniport 3030	С	3000	32
AMAZONE	VF	Н	600–1200	12–24
	VG Nova	П	2400–4759	15–28
	S Nova	П	2350–4400	12–28
	SF 430	С	3400–4000	18–36
HOLDER	IS	Н	400–1500	10–24
	F, FH	Н	200–800	12–21
	IN, FL	П	2500–6420	18–36
KUHN	Horizon	Н	600–1000	10–18
	Porter	Н	800–1200	12–21
	Comby	П	2500	21–24
	Top Trainer	П	2200–3360	24–30
	Top Rider	П	3360	24–36

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5
UNIGREEN	Campo 11	П	1080	10–16
	Campo 16	П	1850	10–18
	Campo 20	П	2210	12–21
	Campo 25	П	2760	14–24
	Campo 30	П	3200	14–24
	Campo Soft 25	П	2760	18–28
	Campo Soft 30	П	3200	18–28
	Spray Trakker 204T-254T	С	2000–2500	18–24
	Spray Trakker 20/04-20/04T	С	2000	18–24
	Spray Trakker 1250	С	1250	18–24
HARDI	NK	П	400–800	6–12
	Master	П	1000–1800	12–28
	Commander	П	3300–7000	18–42
	Navigator	П	3000–7000	18–39
	Ranger	П	2500	12–24
	Rubicon	С	9000	24–52
	Hellios	С	3000	21–38
	Alpha	С	3500–5100	18–44
IRTS	Albatros	П	2200–6200	15–39
	Maxxtros	П	3500–4500	24–39
SCHMOTZER	SUP	Н	400–1600	10–24
	ASP	П	2000–4100	18–28
DAMMANN	Classik	П	3000–5000	18–36
	DAS	П	3000–5000	18–36
RAU KLEINE	Spridotrain	П	2800–3800	15–28
	Phoenix	П	5000	27–33
	Ibis	С	3000	24–36
RAU VICON	Export	Н	800–1300	16–24
CHD	DG, F, D, CHD	П	2000–7600	18–45
AGRO	CPRA-COUPE	С	4380–4475	18–24
MGM Holeson	A25-A45	П	2300–4250	18–27
Agromehanika	AG 1650	М	1650	10
	AGS	Н	400–1000	10–15
	AG 2200	П	2000	18

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5
ONALLAR	COBRA	Н	400–2000	8–12
LEMKEN	Sirius 10	Н	950–2000	12–24
	Primus	П	2400–4400	15–30
	Albatros	П	4000–6200	15–39
CAFFINI	Prestige	П	2000	18–24
	Prestige	П	2800	18–28
	Prestige	П	3300	21–28
	Starter T.S	П	2200/2800	18
	Starter Entry	П	2200/2800	15–16
	Standart Fox	Н	600	12
	Standart Fox	Н	800	12–15
	Standart Fox	Н	1000	12–15
	Standart Fox	Н	1200	15
	Basic Fox	Н	800	12
	Basic Fox	Н	1000	12
	GENIUS	Н	600/800	12
Отечественные				
ОАО «Мекосан»	650-12Н	Н	650	12
	2000-12	П	2000	12
	2500-18	П	2500	18
	2500-24	П	2500	24
	2500-24П2	П	2500	24
	3000-24П	П	3000	24
	3600-24П2	П	3600	24
	Теснома Laser 4240-24	С	4200–4410	24
	Теснома Laser 4240-30	С	4200–4410	30
	Теснома Laser 4240-36	С	4200–4410	36
	Блюминг- Мекосан БЛ-3000	С	2500	24
	ОПО-18	П	2500	18

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	
ООО «СелАгро»	ЗУБР НШ 04.11.11 SMART 400	Н	400	10-12	
	ЗУБР НШ 06.11.11 SMART 400	Н	600	10-12	
	ЗУБР НШ 04.21.M2 МЕЛЕО	Н	400	6	
	ЗУБР НШ 06.21.M2 МЕЛЕО	Н	600	6	
	ЗУБР НШ ФЕРМЕР 04.31.11	Н	400	12	
	ЗУБР НШ ФЕРМЕР 06.31.11	Н	600	12	
	ЗУБР НШ ФЕРМЕР 08.31.11	Н	800	12	
	ЗУБР НШ ФЕРМЕР 10.31.11	Н	1000	12	
	MASTER 2000 GRAND	П	2000	18	
	MASTER 3000 GRAND	П	3000	18-24	
	MASTER 4000	П	4000	24	
	ООО «Ремком»	ОН-300-8	Н	300	8
		ОН-600-12Р	Н	600	12
		ОН-600-12	Н	600	12
		ОП-2500-12К	П	2500	12
ОП-2500-18		П	2500	18	
ОП-2500-18К		П	2500	18	
ОП-2500-24К		П	2500	24	
ОП-3000-24К		П	3000	24	
ОС Агро-3100		С	3100	24	

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5
ОАО «Дятловская СХТ»	ОШ-2300-18	П	2300	18
	ОШ-2300-24	П	2300	24
	ОШ-3000-24	П	3000	24
УП «Азат»	RALL-2000П Экстра, Экстра- М, Престиж	П	2500	18, 24
	RALL-2000П Экстра, Экстра- М, Престиж	П	3000	18, 24
ООО НПП «Белама плюс»	Belama-1			
	ОПШТ-2500-18	П	2500	18
	Belama-1			
	ОПШТ-2500-22	П	2500	22
	Belama- 2-2500-18	П	2500	18
	Belama- 2-2500-22	П	2500	22
	Belama- 2-2500-24	П	2500	24
	Belama- 3-3000-18	П	3000	18
	Belama- 3-3000-18	П	3000	22
Belama- 3-3000-18	П	3000	24	
ОАО «БАТЭ»	EUROPA 3024	П	3300	24
ОАО «Лидаг- ропромаш»	ОВС-4224	С	4000	24
ОАО «Агро- машресурс»	Роса-05	С	600	20
ОАО «Верхне- двинский рай- агросервис»	Двина	С	600	20

Примечания: П – прицепной, Н – навесной, С – самоходный, М – монтируемый.

Тенденции развития конструкций полевых штанговых опрыскивателей направлены на снижение воздействия средств химизации на экологию окружающей среды, повышение производительности

агрегатов и обеспечение надежности узлов и деталей. Все это тесным образом связано с проектированием несущей конструкции штанги, схемой ее подвески и системы стабилизации, которые позволят обеспечить требуемое качество выполнения технологического процесса при большей рабочей ширине захвата и рабочей скорости агрегата.

Увеличение производительности агрегата обеспечивается сокращением количества необходимых заправок рабочей жидкостью, что связано с увеличением основной емкости опрыскивателя. Ее оптимальное значение определяется зависимостью [7]

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{7,63 \cdot 10^{-5} B_p q N_H \left(\frac{L}{v_{\text{тр}}} + 140,55 \right)}{\frac{0,88}{\rho} + 1}},$$

где B_p – рабочая ширина опрыскивателя, м; q – норма внесения, т/га; N_H – номинальная мощность двигателя, кВт; L – расстояние между складом рабочей жидкости и полем, м; $v_{\text{тр}}$ – скорость транспортировки, м/с; ρ – плотность рабочей жидкости, т/м³.

Для прицепных опрыскивателей емкость резервуаров ограничивается проходимостью агрегата и удельным давлением ходовых систем на почву. Среди прицепных опрыскивателей известны модели емкостью 5500 л и общей массой до 13 120 кг [4], на которых используется тандемная ходовая система для уменьшения образующей колеи и повышения проходимости агрегата (рис. 4.1).

Для навесных моделей опрыскивателей важной характеристикой является обеспечение продольной и поперечной устойчивости агрегата, особенно при работе на склонах. Условием управляемости агрегата является обеспечение не менее 20%-ной нагрузки на передние управляемые колеса. Для этого необходимо производить расчет опрокидывающего момента сил с учетом массы трактора, расположения центра тяжести трактора и машины, а также предполагаемой массы опрыскивателя.



Рис. 4.1. Опрыскиватель фирмы EVRARD с емкостью 5500 л и шириной захвата 36 м

Для прицепных опрыскивателей отмечается тенденция расположения ходовых колес в задней части резервуара ближе к месту крепления штанги, что позволяет передавать на навеску трактора большую часть веса для повышения тягово-сцепных свойств ведущих колес и повысить одновременность реагирования конструкции на встречающиеся неровности поверхности поля. Для навесных моделей опрыскивателей характерным является расположение резервуаров вблизи навески и трактора. Высота резервуаров также должна выбираться с учетом удобства обслуживания и заправки. Параметры и расположение емкости выбираются с учетом ее объема. Одинаковое конструктивное решение и дизайн могут использоваться при емкости резервуаров от 600 до 1200 л. Компоновка некоторых агрегатов предполагает передненавесное расположение резервуара емкостью до 1000 л.

Для прицепного опрыскивателя с учетом установившихся тенденций возможная емкость резервуара составляет 3000 л. При емкости резервуара 1500 л его производительность стабилизируется и не зависит от других факторов. По аналогии с известными навесными машинами, условия устойчивости агрегата сохраняются при общей массе навесной машины до 2174–3114 кг. С учетом приведенных предпосылок можно рекомендовать емкость навесного опрыскивателя 1500 л при собственной массе машины до 500 кг. Рационален модульный принцип комплектации прицепного опрыскивателя с двумя емкостями по 1500 л (общая емкость – 3000 л) [4].

Анализ основных параметров конструкций опрыскивателей показывает на увеличение емкостей резервуаров прицепных моделей в среднем до 3616 л (коэффициент вариации – около 40 %) и навесных машин – до 900 л (коэффициент вариации – 55 %) (см. табл. 4.1).

Зарубежные фирмы реализовывают модели опрыскивателей достаточно высокого технического уровня, имеющие различный объем основных емкостей и распределительные штанги разной ширины, оборудованные системами промывки коммуникаций в конце работы или перед заменой пестицида (с резервуаром для воды емкостью 6–10 % от объема заправочной емкости), системами электронного управления, контроля за выполнением технологического процесса и элементами точного земледелия. В качестве дополнительного оборудования предлагаются системы воздушного осаждения рабочей жидкости, миксеры для приготовления рабочего раствора, пенные маркеры и другие устройства для обеспечения качественной и безопасной работы опрыскивателей.

Метод сопровождения капель воздушным потоком в 1990-е гг. начали использовать фирмы Hardi, RAU, Jacto (и другие) с применением способов Twin Force, Air Plus. Основная цель данного метода заключается в объемном опрыскивании растений. Например [27], при обычном опрыскивании пшеницы на верхнюю часть растений попадает 6–16 мг/кг пестицида, а на нижнюю – только 2–4 мг/кг [4]. Для улучшения покрытия растений каплями пестицида предлагается опрыскивание полевых культур с принудительным поддувом воздуха, создаваемым вентилятором и направляемым распределением через стеблестой посевов. Вертикально направленный воздушный поток наклоняет стебли, доходит до поверхности почвы и отражается; в это время происходит подача капель препарата, часть которых оседает на верхней стороне листьев. Распыленные капли, не достигнув поверхности почвы, поднимаются отраженным потоком вверх и оседают на нижней стороне листьев, на стеблях и нижней части растений.

По данным фирмы RAU [4], наиболее эффективное осаждение распыленных капель на растения достигается при скорости воздуха на выходе из пневмопровода около 30 м/с и объеме воздуха 1600–2500 м³/ч на метр рабочей ширины штанги. Прохождение капель через посеы и степень покрытия ими растений зависит

не только от мощности воздушного потока, но и от применяемых распылителей. Мелкие капли обеспечивают лучшее покрытие и меньше скатываются. Использование данного метода позволяет сократить объем применяемой жидкости с 200 л/га до 120–130 л/га и повысить степень покрытия растений с 15 до 25 %. Создаются также условия для работы в более ветреную погоду, а за счет повышения качества обработки можно снизить дозы применяемых пестицидов на 25–30 % (в среднем экономия пестицидов составляет 15 %). Скорость воздушного потока в припочвенном слое – около 9 м/с.

В опрыскивателях системы Hardi скорость воздуха на выходе из коллектора составляет около 25 м/с, а в припочвенном слое – около 5 м/с. На новых моделях опрыскивателей Hardi модели Alpha с системой сопровождения капель применяется регулирование направления сопровождающего воздушного потока.

В нашей республике ОАО «Мекосан» создал опытный образец опрыскивателя объемного действия – ОПО-18. Опрыскиватель полуприцепного типа имеет резервуар емкостью 2500 л и бак для промывочной воды на 300 л. Производительность вентилятора составляет 40 000 м³/ч при ширине захвата 18 м (удельная подача – 2222 м³/ч на 1 м захвата). Повышение качества обработки обеспечивает экономию пестицидов до 25 %. Данная обработка особенно эффективна на посадках картофеля, капусты, томатов и других сельскохозяйственных культур.

Дальнейшее совершенствование системы опрыскивания в сопровождении воздушного потока может обеспечить разработанная технология Trile Force с использованием насыщенного влагой сопровождающего воздуха.

Ширина захвата штанги может быть различной и выбирается исходя из типа машины (навесная или прицепная), назначения опрыскивателя, специфики работы, наличия воздушной системы сопровождения капель и других условий. Большинство производителей используют модульный принцип построения штанги в виде фермы с различным количеством промежуточных звеньев.

Габаритные параметры навесного и прицепного опрыскивателей выбираются с учетом емкости резервуара и ширины захвата штанги. Варианты складывания штанги также учитывают ее ширину захвата.

Значительный интерес представляют облегченные трубчатые конструкции штанг прицепных и навесных опрыскивателей фирм

Iacoby, Evgard и Lemken (рис. 4.2, а, б). Ширина захвата штанги может составлять от 15 до 21 м. Распыливающие головки размещены внутри трубчатой рамы и таким образом защищены от нежелательных механических воздействий. Для повышения прочности конструкции профиль трубы усилен специальным ребром. В нижней части трубы выполнены окна для выхода образуемых факелов из капель жидкости, обеспечивается также доступ для поворота головок с наконечниками.



а



б

Рис. 4.2. Опрыскиватель со штангами облегченной конструкции

Для специфических условий работы могут применяться штанги специальной конструкции с возможностью независимого и управляемого перемещения относительно трактора (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Агрегат с управляемым положением штанги.

Экономическая эффективность возможных предложений по совершенствованию технологий и техники для защиты растений может рассматриваться в виде двух составляющих: обеспечение экономии пестицидов (актуально для потребителей); снижение себестоимости производства техники (актуально для производителей машин).

Экономическая эффективность при совершенствовании технологии применения пестицидов может быть обеспечена за счет повышения качества (равномерности, дисперсности дробления) внесения; снижения непроизводительных потерь при внесении.

Для проведения мероприятий по химической защите полевых культур используются штанговые опрыскиватели различных типов: навесные, прицепные, самоходные, которые различаются объемом заправляемой жидкости и шириной захвата штанги. Агрегаты при опрыскивании могут двигаться по полю с разной скоростью. Данные факторы в итоге определяют производительность и другие технико-экономические показатели выполняемой операции.

Логично предположить, что самоходный опрыскиватель с большой заправочной емкостью и широкозахватной штангой способен обеспечить наивысшую производительность. За счет этого обеспечивается выполнение работ в оптимальные агротехнические сроки, создаются предпосылки для эффективной борьбы с вредителями, болезнями, сорняками, для более полного сохранения урожая.

Навесные опрыскиватели, заправочная емкость которых может достигать 1000–1200 л, отличаются маневренностью и более

низкой стоимостью, что положительно сказывается на показателях экономической эффективности выполнения операций по защите растений.

Современные прицепные опрыскиватели сохраняют достоинства самоходных машин по объему заправляемой жидкости, ширине захвата. В то же время прицепные и навесные машины позволяют более рационально использовать энергетические средства в межсезонный период.

С учетом технических особенностей различных типов опрыскивателей формулируется задача их сравнительной экономической оценки. Данная задача рассматривается применительно к условиям Беларуси с учетом того, что 45 % от общего числа обрабатываемых полей имеют площадь от 11 до 25 га (принято в расчетах 20 га), а средняя длина гона составляет 300–800 м (принято 500 м).

Сравнение опрыскивателей проводилось с учетом условной нормы внесения 200 л/га рабочей жидкости при трех возможных рабочих скоростях: 8, 10 и 12 км/ч. В расчетах учитывалась продолжительность рабочей смены: 4 и 6 часов.

На первом этапе расчетов был проведен анализ производительности 6 типов опрыскивателей:

- прицепных емкостью 2000 и 3000 л, захватом 12 и 18 м;
- навесных емкостью 630 и 1200 л, захватом 12 и 18 м;
- самоходных емкостью 2500 и 4000 л, захватом 18 и 24 м.

Производительность агрегатов W за час сменного времени рассчитывается по формуле

$$W = 0,1B_p v_p \tau,$$

где B_p – рабочая ширина захвата, м; v_p – рабочая скорость движения, км/ч; τ – коэффициент использования времени смены.

Рабочая ширина захвата определяется конструктивной длиной штанги и является постоянной величиной. В расчетах не учитывались возможные огрехи и двойные обработки при смежных проходах агрегата, влияющие на его производительность. Наличие технологической колеи в значительной степени обеспечивает правильность сочетания проходов и стабильность рабочей ширины захвата.

Рабочая скорость движения принимается в зависимости от рельефа поля, его конфигурации, типа почв, с учетом скорости ветра и других параметров и обычно составляет 8–12 км/ч.

Более сложно рассчитать коэффициент использования времени смены, который определяется как отношение чистого времени работы агрегата к общему времени смены.

Кроме чистого времени работы, в балансе времени смены при опрыскивании необходимо учесть время на технологические остановки (заправки), повороты и другие непроизводительные операции.

Общие затраты времени на технологические остановки зависят от емкости бака опрыскивателя и времени переездов к месту заправки. Общее время на повороты зависит, в основном, от кинематической длины агрегата и скорости движения на данном режиме, а также количества поворотов агрегата за смену для принятой площади поля.

Результаты расчетов составляющих коэффициента использования времени смены и производительности W рассматриваемых типов опрыскивателей (табл. 4.2, 4.3) позволяют сделать следующие выводы [4]:

- общее время на повороты за смену составляет 0,06–0,19 часа и не оказывает значительного влияния на основные характеристики работы опрыскивателей;

- общее время, затрачиваемое на технологические остановки, составляет 20,3–32,5 % общего времени смены;

- коэффициент использования времени смены находится в пределах 0,27–0,48, причем меньшие значения соответствуют меньшей продолжительности смены (на его величину негативное влияние оказывает увеличение рабочей скорости движения агрегата и ширины захвата штанги вследствие увеличения затрат времени на технологические остановки; положительно влияет увеличение емкости бака);

- рост производительности агрегата обеспечивается увеличением рабочей скорости движения, ширины захвата и емкости бака (максимальная производительность, достигаемая самоходными опрыскивателями, составляет 8,14–9,4 га/ч).

Таблица 4.2. Сравнительная технико-экономическая оценка опрыскивателей*

Опрыскиватели	Необходимое количество заправок			Общее время на заправки за смену, час.			Количество разворотов за смену			Общее время на развороты за смену, ч		
	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12
Рабочая скорость агрегата, км/ч												
Прицепной опрыскиватель емкостью 2000 л и захватом 12 м	1,60	1,83	2,06	0,71	0,81	0,91	28	32	36	0,09	0,08	0,08
	2,80	3,2	3,60	1,22	1,42	1,57	48	56	62	0,15	0,14	0,13
Прицепной опрыскиватель емкостью 3000 л и захватом 18 м	1,45	1,67	1,78	0,84	0,97	1,04	26	30	32	0,1	0,09	0,08
	2,50	3,0	3,30	1,43	1,69	1,88	44	52	58	0,17	0,16	0,15
Навесной опрыскиватель емкостью 630 л и захватом 12 м	4,0	4,35	5,08	1,01	1,11	1,29	22	24	28	0,07	0,06	0,06
	7,30	8,0	8,70	1,84	2,03	2,21	40	44	48	0,13	0,11	0,10
Навесной опрыскиватель емкостью 1200 л и захватом 18 м	3,06	3,34	3,9	1,02	1,11	1,30	22	24	28	0,09	0,07	0,07
	5,57	6,12	6,68	1,86	2,04	2,23	40	44	48	0,16	0,14	0,12
Самоходный опрыскиватель емкостью 2500 л и захватом 18 м	1,6	1,87	2,14	0,82	0,96	1,1	24	28	32	0,09	0,09	0,08
	3,0	3,40	3,80	1,51	1,72	1,92	44	50	56	0,17	0,15	0,14
Самоходный опрыскиватель емкостью 4000 л и захватом 24 м	1,3	1,52	1,63	0,94	1,1	1,18	24	28	30	0,11	0,1	0,09
	2,30	2,60	2,90	1,65	1,88	2,04	42	48	52	0,19	0,17	0,16

* в числителе – при длительности рабочей смены 4 часа;
в знаменателе – при длительности рабочей смены 6 часов.

Таблица 4.3. Сравнительная технико-экономическая оценка опрыскивателей*

Опрыскиватели	Коэффициент использования времени смены			Производительность за час сменного времени, га/ч		
	8	10	12	8	10	12
Рабочая скорость агрегата, км/ч	8	10	12	8	10	12
Прицепной опрыскиватель емкостью 2000 л и захватом 12 м	0,42	0,38	0,36	4,00	4,57	5,14
	0,48	0,44	0,41	4,57	5,33	5,90
Прицепной опрыскиватель емкостью 3000 л и захватом 18 м	0,38	0,35	0,31	5,43	6,26	6,68
	0,43	0,40	0,37	6,12	7,24	8,07
Навесной опрыскиватель емкостью 630 л и захватом 12 м	0,33	0,29	0,28	3,14	3,43	4,00
	0,40	0,35	0,32	3,81	4,19	4,57
Навесной опрыскиватель емкостью 1200 л и захватом 18 м	0,32	0,28	0,27	4,60	5,01	5,85
	0,39	0,34	0,31	5,57	6,12	6,68
Самоходный опрыскиватель емкостью 2500 л и захватом 18 м	0,35	0,33	0,31	5,01	5,85	6,68
	0,43	0,39	0,36	6,12	6,96	7,79
Самоходный опрыскиватель емкостью 4000 л и захватом 24 м	0,34	0,32	0,28	6,51	7,60	8,14
	0,40	0,36	0,33	7,60	8,67	9,40

* в числителе – при длительности рабочей смены 4 часа;
в знаменателе – при длительности рабочей смены 6 часов.

В Беларуси одним из старейших производителей опрыскивателей является ОАО «Мекосан», производящий навесные штанговые опрыскиватели «Мекосан 650-12Н» (рис. 4.4), полуприцепные: «Мекосан 2000-12» (рис. 4.5, а), «Мекосан 2000-18», «Мекосан 2500-18» (рис. 4.5, б), «Мекосан 2500-18П2», «Мекосан 2500-24» (рис. 4.5, в), «Мекосан 2500-24П2» (рис. 4.5, г), «Мекосан 3000-18», «Мекосан 3000-18П2», «Мекосан 3000-24» (рис. 4.5, д), «Мекосан 3000-24П2», «Мекосан 3600-24», «Мекосан 3600-24П2» (рис. 4.5, е) предназначены для химической защиты растений в полевых условиях от сорняков, вредителей и болезней путем обработки полевых культур, в т. ч. возделываемых по интенсивной технологии, пестицидами, а также для внесения жидких комплексных удобрений путем поверхностного опрыскивания.



Рис. 4.4. Опрыскиватели прицепные



а



б



в



г



д



е

Рис. 4.5. Опрыскиватели прицепные

Полевые штанговые опрыскиватели оснащаются емкостями 650, 2000, 2500, 3000, 3600 л и штангами шириной захвата 12, 18 и 24 м. Опрыскиватели выпускаются под торговой маркой «Мекосан», которая при маркировке продукции дополняется указанием емкости бака и ширины захвата штанги.

Широкую гамму машин для защиты растений предлагает на рынке ООО «Ремком»: навесные ОН-600-12 (рис. 4.6, а), ОН-600-12Р (рис. 4.6, б), полуприцепных ОП-2500-12 (рис. 4.7, а), ОП-2500-18 (рис. 4.7, б), ОП-2500-24 (рис. 4.7, в), ОП-3000-24 (рис. 4.7, г).



а



б

Рис. 4.6. Навесные опрыскиватели ООО «Ремком»



а



б



в



г

Рис. 4.7. Полуприцепные опрыскиватели ООО «Ремком»

Для обработки полевых культур предлагаются полуприцепные опрыскиватели серии ОП (рис. 4.7) с емкостью бака 2000, 2500 и 3000 л и шириной захвата штанги 12, 18 и 24 м. Опрыскиватели оснащаются компьютерными системами стабилизации нормы внесения рабочей жидкости, пенными маркерами, спутниковыми системами DGPS, обеспечивающими точное вождение опрыскивателя по полю без огрехов и двойных обработок. Штанги опрыскивателей оборудованы усовершенствованным механизмом гашения колебаний.

Широкую гамму опрыскивателей под торговой маркой «Rall» представляет унитарное предприятие «Азат». Им освоено производство полуприцепных опрыскивателей «Rall-2000» с шириной захвата 18 (рис. 4.8, *а, б*) и 24 м (рис. 4.8, *в, г*) и объемами емкостей 2500 (рис. 4.8, *а, в*) и 2800 л (рис. 4.8, *б, г*).

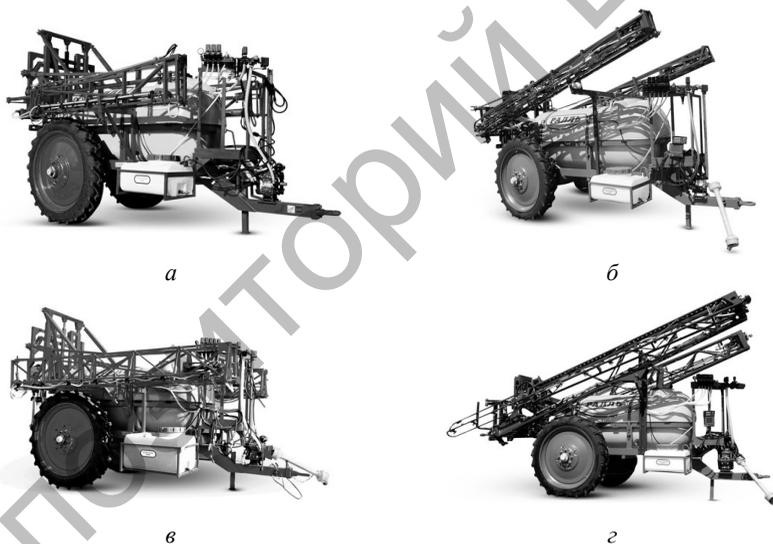


Рис. 4.8. Полуприцепные опрыскиватели УП «Азат»

ООО НПП «Белама плюс» предлагает полуприцепные опрыскиватели серии Belama-1 (рис. 4.9, *а, б*) (ОПШТ-18, ОПШТ-22), Belama-2 (рис. 4.9, *в*) (опрыскиватели с емкостью 2500 л с шириной захвата 18, 22, 24 м) и Belama-3 (рис. 4.9, *г*) (опрыскиватели с емкостью 3000 л с шириной захвата 18, 22, 24 м)



а



б



в



г

Рис. 4.9. Полуприцепные опрыскиватели УП «Азат»

ОАО «Дятловская сельхозтехника» освоено выпуск полуприцепных опрыскивателей ОШ-2300-18 (рис. 4.10, *а*), ОШ-2300-24 и ОШ-3000-24 (рис. 4.10, *б*).



а



б

Рис. 4.10. Опрыскиватели ОАО «Дятловская СХТ»

Освоено производство полуприцепного штангового опрыскивателя Еурога 3024 в ОАО «БАТЭ» (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Опрыскиватель Еурога 3024

Широкий спектр современных штанговых опрыскивателей представляет ООО «СелАгро»: навесные «ЗУБР НШ Smart» с емкостями объемом 400 и 600 л (рис. 4.12, а), «ЗУБР НШ Smart» (рис. 4.12, б), Master 2000 (рис. 4.12, в), Grand Master 3000 и 4000 (рис. 4.12, г).



а



б



в



г

Рис. 4.12. Опрыскиватели ООО «СелАгро»

Оригинальной разработкой ООО «СелАгро» является опрыскиватель ЗУБР НШ «МЕЛИО» (рис. 4.13), предназначенный для обработки пестицидами мелиоративных каналов и дорожных обочин, трассы газо- и нефтепроводов, контрольно-следовых полос и пр.



Рис. 4.13. Опрыскиватель ЗУБР НШ «МЕЛИО»

Одним из направлений решения проблемы рационального и эффективного применения химических средств защиты растений является организация межхозяйственных специализированных отрядов по выполнению работ по техническому обеспечению внесения средств химизации в сельском хозяйстве, которые должны быть оснащены высокопроизводительной современной техникой повышенной проходимости.

С этой целью в республике освоено производство самоходных опрыскивателей. Первым самоходным опрыскивателем, произведенным в Беларуси, был ОСШ-2500, разработанный РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и произведенный ОАО «МТЗ» (рис. 4.14) на базе самоходного модернизированного шасси ШУ-356 «Беларус».



Рис. 4.14. Опрыскиватель ОСШ-2500

Самоходные опрыскиватели выпускаются ОАО «Мекосан» (опрыскиватели «Мекосан Теснома Laser 4240» (рис. 4.15, а) и «Блюминг-Мекосан БЛ-3000» (рис. 4.15, б)), ОАО «Лидагропромаш» (ОВС-4224 (рис. 4.15, в)), ООО «Ремком» (ОС Агро-3100 (А) (рис. 4.15, з)). Самоходные опрыскиватели на шинах низкого давления производятся ОАО «Агромашресурс» («Роса-5» (рис. 4.15, д)), ОАО «Верхнедвинский райагросервис» («Двина» (рис. 4.15, е)).



a



б



в



г



д



е

Рис. 4.15. Самоходные опрыскиватели отечественного производства

Современные отечественные опрыскиватели оснащаются штангами с типом сечения «пространственная ферма», которая обеспечивает надежность конструкции при изгибающих и крутящих моментах. Кроме того, используемые системы стабилизации обеспечивают плавность хода штанг и эффективное гашение возникающих колебаний при движении колес опрыскивателей по неровностям поля.

5. ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ ПОЛЕВЫХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

Работа с пестицидами относится к числу наиболее опасных для здоровья, 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. Работники 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.

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 отличительные полосы и надписи. Совместно с пестицидами запрещается перевозить людей, пищевые продукты, питьевую воду, предметы домашнего обихода.

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 °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. 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. Опыливание растений наземной аппаратурой допускается при скорости ветра не более 3 м/с; опрыскивание с использованием полевых штанговых опрыскивателей – не более 4; вентиляторных – не более 3 м/с. 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 распылении 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.

При работе опрыскивателей возникает необходимость периодической очистки 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.

*Требования охраны труда при эксплуатации
и техническом обслуживании опрыскивателей*

К работе с опрыскивателем допускается рабочий персонал, прошедший специальную подготовку и знающий требования руководства по эксплуатации, «Правила по хранению, транспортировке и применению пестицидов и агрохимикатов» (№ 2.2.3.12-17-2003).

Категорически запрещается допускать к работе с опрыскивателем лиц моложе 18 лет, кормящих матерей и беременных женщин.

Лица, допущенные к работе с опрыскивателем, должны пройти медицинский осмотр.

Лица, систематически работающие с опрыскивателем, должны подвергаться медицинскому осмотру не реже одного раза в 12 месяцев.

Лица, работающие с опрыскивателем, должны соблюдать правила личной гигиены: руки перед работой смазывать вазелином, после окончания работы необходимо обмыть тело водой с мылом, спецодежду домой не уносить.

На месте работы не принимать пищу и не курить. Пищу следует принимать в специально отведенном месте, удаленном от места работы на расстояние не менее 100 м. Перед едой необходимо снять спецодежду, мыть руки и лицо.

Лица, работающие с опрыскивателем, должны быть обеспечены комплектом индивидуальных защитных средств (спецодежда, спецобувь, респиратор, резиновые перчатки, резиновый фартук). Для защиты глаз от пестицидов следует применять очки типа ЗН.

Основные узлы опрыскивателя должны подвергаться ежегодно перед началом эксплуатации освидетельствованию с проверкой сварных швов обстукиванием и гидравлическому испытанию гидросистемы при рабочем давлении.

Ежедневно, по окончании работы, средства защиты следует снимать, очищать и вывешивать для проветривания и просушки на открытом воздухе в течение 8–12 часов.

Кроме того, спецодежда должна подвергаться периодической стирке по мере ее загрязнения, но не реже, чем через 6 рабочих смен.

Категорически запрещается использовать в хозяйственных целях баки, ведра, бачки и другую тару из-под ядохимикатов.

На обработанных ядохимикатами участках запрещается пасти скот. Употреблять в пищу плоды и овощи с этих участков разрешается через определенный срок – в зависимости от применяемого химиката.

Заправка опрыскивателя водой из колодцев и водоемов строго запрещается. Не разрешается промывать систему гидрокоммуникаций опрыскивателя вблизи водоемов. Эту работу необходимо выполнять в специально отведенном месте.

Бачок для воды должен быть всегда заполнен чистой водой, предназначенной только для мытья рук. Использовать бачок для питьевой воды или других целей запрещается.

При монтаже и демонтаже тяжеловесных узлов (бак, рама, штанга, насос) необходимо использовать имеющиеся в наличии подъемные средства.

Запрещено работать на тракторе, имеющем поврежденные стекла кабины.

Нельзя начинать работу с отключенным или неисправным манометром предохранительного клапана (для моделей, не оборудованных компьютером).

Складывание или раскладывание штанги, а также развороты агрегата с разложенной штангой следует производить, убедившись в отсутствии вблизи человека или предметов высотой более 0,5 м.

При дальнем переезде опрыскивателя со сложенной штангой последняя должна быть установлена на упоры.

Запрещается пользоваться открытым огнем возле хранилищ, цистерн и бачков с ядохимикатами. Запрещается размещать опрыскиватель с заполненным баком возле мест с открытым огнем.

Более подробный инструктаж о мерах предосторожности при работе с опрыскивателем должен проводиться на месте работы специалистом, руководящим работой по опрыскиванию.

Все работы с пестицидами в жаркое время года проводятся в утренние и вечерние часы, при наиболее низкой температуре воздуха, малой инсоляции и минимальных воздушных потоках. В пасмурную погоду работа может проводиться и в дневные часы.

Опрыскивание растений не допускается при скорости ветра более 4 м/с. Разрешено использование опрыскивателей при скорости ветра до 8 м/с при условии оборудования их распылителями, не имеющими мелких капель (менее 100 мкм) в факеле распыла.

Заполнение резервуаров опрыскивателей жидкими пестицидами производится с помощью насосов, эжекторов, шлангов и других приспособлений. Немеханизированное заполнение резервуаров растворами пестицидов запрещается.

При опрыскивании растений следует следить за тем, чтобы факел распыла не направлялся потоком воздуха на работающих. Для этого учитывают благоприятное направление движения воздуха и прекращают работы при его изменении.

Запрещается перевозить людей на площадке обслуживания опрыскивателя.

Для навесных и прицепных опрыскивателей гидросистема опрыскивателя должна соединяться с гидросистемой трактора с помощью разрывных муфт.

Запрещается пользоваться гидросистемой при наличии течи в соединениях.

Для навесных опрыскивателей

Монтаж опрыскивателя и его навешивание на трактор должны проводить, при необходимости, два человека – тракторист и вспомогательный рабочий.

Категорически запрещается при работающем двигателе смазывать механизмы опрыскивателя, проводить какие-либо ремонты и прикасаться к вращающимся деталям. Осмотр, регулировку и уход за агрегатом осуществлять при остановке трактора и выключенном ВОМ.

Хранить опрыскиватель с пустым баком следует в помещении или под навесом.

Карданный вал должен иметь телескопический кожух. При вращении карданного вала обе части его кожуха должны быть закреплены цепями к неподвижным частям навески трактора и рамы опрыскивателя, и он не должен вращаться. Вал насоса также должен быть закрыт кожухом. Перекрытие кожуха насоса и кожуха карданного вала должно быть не менее 50 мм.

Перевозка опрыскивателя по дорогам общего пользования производится при пустом баке в соответствии с «Правилами дорожного движения». Запрещается транспортировка опрыскивателя с заполненным баком со скоростью более 15 км/ч.

Запрещается работа агрегата на склонах более 7°. При переездах по пересеченной местности следует преодолевать препятствия на минимальной скорости.

Запрещается находиться при навешивании между трактором и опрыскивателем (в момент подачи трактора назад).

Опрыскиватель должен сохранять устойчивость при стоянке на твердой поверхности с уклоном не более $8,5^\circ$ в любом направлении.

Для прицепных опрыскивателей

Категорически запрещается при работающем двигателе смазывать механизмы опрыскивателя, проводить какие-либо ремонты и прикасаться к вращающимся деталям. Осмотр, регулировку и уход за агрегатом осуществлять при остановке трактора и выключенном ВОМ.

Хранение опрыскивателя следует производить при установленной в нижнее положение и зафиксированной опоре.

Запрещается производить какие-либо работы с колесами опрыскивателя без установки домкратов.

При вращении карданного вала его кожух, закрепленный цепью к трактору, не должен вращаться.

Перегон опрыскивателя по дорогам общего пользования производится при пустом баке в соответствии с «Правилами дорожного движения». Запрещается транспортировка опрыскивателя с заполненным баком со скоростью более 16 км/ч.

Запрещается работа агрегата на склонах более 7° . При переездах по пересеченной местности следует преодолевать препятствия на минимальной скорости.

Запрещается эксплуатировать опрыскиватель с неподсоединенными или неисправными тормозами.

Запрещается подогревать ресивер пневмотормозной системы открытым огнем в случае замерзания в нем конденсата.

Запрещается находиться при сцепке между трактором и опрыскивателем (в момент подачи трактора назад).

Запрещается отцеплять опрыскиватель и ставить его на стояночную опору при заполненной рабочим раствором емкости.

Запрещается расцеплять опрыскиватель с трактором при разложенной штанге, если количество рабочего раствора в бочке составляет менее 1000 л, в противном случае возможно ОПРОКИДЫВАНИЕ опрыскивателя НАЗАД.

Для самоходных опрыскивателей

Категорически запрещается при работающем двигателе смазывать механизмы опрыскивателя, проводить какие-либо ремонты

и прикасаться к вращающимся деталям. Осмотр, регулировку и уход за агрегатом осуществлять после остановки двигателя и отключения аккумуляторной батареи.

Заправка опрыскивателя дизельным топливом должна выполняться при выключенном двигателе, вдалеке от тепловых источников и источников открытого огня. Запрещено курение при заправке опрыскивателя.

При монтаже и демонтаже тяжеловесных узлов (бак, рама, штанга, насос) необходимо использовать имеющиеся в наличии подъемные средства, прошедшие поверку в установленном порядке.

Запрещается производить какие-либо работы с колесами опрыскивателя без установки домкратов.

Запрещается модификация опрыскивателя, изменяющая его технические характеристики и снижающая уровень безопасности его эксплуатации.

Перегон опрыскивателя по дорогам общего пользования рекомендуется производить при пустом основном баке для рабочей жидкости в соответствии с «Правилами дорожного движения». Запрещается транспортное перемещение опрыскивателя со скоростью более 40 км/ч.

Запрещается работа агрегата на склонах более 6°. При переездах по пересеченной местности следует преодолевать препятствия на минимальной скорости.

При проведении любых сварочных работ на опрыскивателе необходимо отключить аккумулятор, снизить давление в гидравлической системе и принять все меры для защиты оператора.

Запрещается загрязнение почвы и сточных вод остатками пестицидов, гидравлическими маслами и консистентными смазками. Для утилизации отходов необходимо использовать специально оборудованные места.

При транспортировке опрыскивателя автомобильным транспортом необходимо обеспечить надежную его фиксацию при помощи цепей и (или) стяжных ремней. Для обеспечения транспортного габарита допускается демонтаж ходовых колес и других компонентов опрыскивателя.

На опрыскивателе должны быть нанесены предупреждающие об опасности знаки и надписи.

Оператор опрыскивателя должен иметь и хранить в кабине аптечку первой медицинской помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защита растений в устойчивых системах землепользования : в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.

2. Крук, И. С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И. С. Крук. – Минск : БГАТУ, 2018. – 272 с.

3. 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 : Бел. навука, 2005. – 462 с.

4. Клочков, А. В. Механизация химической защиты растений : монография / А. В. Клочков [и др.]. – Горки : БГСХА. – 2008. – 228 с.

5. 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.

6. Шамаев, Г. П. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней / Г. П. Шамаев, С. Д. Шеруда. – М. : Колос, 1978. – 256 с.

7. Вартукаптейнис, К. Э. Обоснование параметров и элементов конструкции штанговых опрыскивателей: дис. ... канд. техн. наук. – Елгава, 1984. – 250 с.

8. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / С. К. Карпович, Л. А. Маринич, И. С. Крук [и др.] ; под общ. ред. И. С. Крука. – Минск : БГАТУ, 2016. – 140 с.

9. Механизация защиты растений: справочник / И. Н. Велецкий [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1992. – 223 с.

10. Нагорский, И. С. Механизация процессов химизации и экология / И. С. Нагорский, Л. Я. Степук, В. П. Дмитрачков. – Минск : Ураджай, 1993. – 272 с.

11. Сельскохозяйственные машины (основные тенденции развития тракторных опрыскивателей) / В. В. Ченцов. – М. : ЦНИИТЭИ Тракторное и с.-х. машиностроение, 1984. – Вып. 12. – 58 с.

12. Вікович, І. А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів : монографія / І. А. Вікович. – Львів : Видавн. Нац. універс. «Львівська політехніка», 2003. – 460 с.

13. Пінний маркер / Науково-Виробниче Підприємство «АГРОПОСТАЧ». – URL: <https://agropostach.prom.ua>. – Дата обращения: 12.02.2018.

14. Ротенберг, Ю. Ю. Влияние скорости движения на качество опрыскивания / Ю. Ю. Ротенберг, Т. В. Раскатова, И. А. Редкозубов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 6. – С. 37–38.

15. Болвонович, В. Берем потери пестицидов под контроль / В. Болвонович, Э. Могилевский // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 5 (133). – С. 12–14.

16. Amazone. – URL: <https://www.amazone.ru>. – Дата обращения: 16.02.2018.

17. Ground Following system / AG SHIELD. – URL: <http://www.agshield.com>. – Дата обращения: 16.02.2018.

18. Петровская, Е. В. Повышение равномерности распределения рабочей жидкости штангового опрыскивателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Е. В. Петровская. – Челябинск, 2006. – 195 с.

19. Lemken. – URL: <https://www.lemken.ru>. – Дата обращения: 16.02.2018.

20. Крук, И. С. Повышение эффективности химической защиты овощных культур усовершенствованием навески и стабилизации штанги сельскохозяйственного опрыскивателя / И. С. Крук, А. И. Гайдуковский // Овощеводство: сб. науч. тр. / НАН Беларуси; РУП «Институт овощеводства». – Минск, 2008. – Т. 15. – С. 215–222.

21. Кузнецов В. В. Методика оценки свойств опрыскивающего агрегата / В. В. Кузнецов, А. В. Кузнецов, Е. В. Кузнецов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2010. – № 2. – С. 81–84.

22. Hardi. The spraytr. – URL: <http://old.hardi-international.com>. – Дата обращения: 16.11.2018.

23. ОАО «Мекосан». – URL: <http://www.mekosan.com>. – Дата обращения: 16.10.2018.

24. ООО «Ремком». – URL: <https://www.remkom.by>. – Дата обращения: 16.10.2018.

25. ООО «СелАгро». – URL: <http://www.selagro.com>. – Дата обращения: 16.10.2018.

26. УП «Азат». – URL: <http://rall-azat.by>. – Дата обращения: 17.10.2018.

27. ООО «Дятловская сельхозтехника». – URL: <http://dyatlovosht.by>. – Дата обращения: 17.10.2018.

28. ООО НПП «Белама Плюс». – URL: <http://belama.com>. – Дата обращения: 17.10.2018.

29. ОАО «БАТЭ». – URL: <http://www.starter.by>. – Дата обращения: 17.10.2018.

30. ОАО «Лидагропромаш». – URL: <http://lidagro.by>. – Дата обращения: 17.10.2018.

31. ОАО «Верхнедвинский райагросервис». – URL: <https://verhnedvinskij-rajagroservis.all.biz>. – Дата обращения: 17.10.2018.

32. ООО «Агромашресурс». – URL: <http://agromashresurs.com>. – Дата обращения: 17.10.2018.

33. TeeJet. Каталог 50-RU / TeeJet Technologies. A Subsidiary of Spraying Systems Co. Каталог 50A-RU. – URL: <https://www.teejet.it>. – Дата обращения: 30.07.2016.

34. Штанга опрыскивателя: RU 2017419 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

35. Кузнецов В. В. Методика оценки свойств опрыскивающего агрегата / В. В. Кузнецов, А. В. Кузнецов, Е. В. Кузнецов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2010. – № 2. – С. 81–84.

36. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 1033103 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 11.01.2018.

37. Опрыскиватель: SU 912125 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 11.01.2018.

38. Підвіска колісного одновісного причепа : UA 36664 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 16.01.2018.

39. Підвіска обприскувача : UA 66880 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 16.01.2018.

40. Подвеска штанги опрыскивателя : RU 2650530 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 11.01.2018.

41. Опрыскиватель прицепной штанговый : RU 2160534 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 11.01.2018.

42. Штанговый опрыскиватель : SU 1147315 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 11.01.2018.

43. Штанга обприскувача з динамічним гасником коливань : UA 18721 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

44. Штанги обприскувача : UA 75664 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

45. Штанги обприскувача : UA 77241 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

46. Механізм навіски штанги обприскувача : UA 55280 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

47. Штанга опрыскивателя : SU 940719 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 16.01.2018.

48. Штанги опрыскивателя : RU 2540113 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 16.01.2018.

49. Підвіска штанги обприскувача : UA 11792 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

50. Штанга к опрыскивателю : SU 1106464 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 16.01.2018.

51. Штанга штангового опрыскивателя : RU 2220573 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 16.01.2018.

52. Механізм навішення штанги обприскувача : UA 49100 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

53. Схема управления штангой опрыскивателя : SU 1794430 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 16.01.2018.

54. Опрыскиватель : SU 180921 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

55. Механизм подвески распределительной штанги: SU 2327327 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

56. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 2594973 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

57. Подвеска штанги опрыскивателя : RU 2650530 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

58. Підвіска штанги обприскувача : UA 61629 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

59. Підвіска штанги обприскувача : UA 56758 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

60. Підвіска штанги обприскувача : UA 57396 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 17.03.2018.

61. Штанга малогабаритного обприскувача : UA 55199 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 26.03.2018.

62. Рама причіпного вентиляторного обприскувача : UA 48663 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 26.03.2018.

63. Підвіска штанги обприскувача : UA 11766 / База патентів України. – URL: <https://www.uapatents.com>. – Дата обращения: 26.03.2018.

64. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 1085579 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL : <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

65. Штанговый опрыскиватель: SU 1611307 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

66. Штанговый опрыскиватель: SU 1147315 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

67. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 1500230 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

68. Штанговый опрыскиватель : SU 1001905 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

69. Штанга опрыскивателя: RU 2017419 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

70. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 1113070 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>. – Дата обращения: 14.01.2018.

71. Озолс, Я. Г. Оценка подвесок штанг опрыскивателей, применяемых в Латвийской ССР / Я. Г. Озолс [и др.] // Динамика и надежность сельскохозяйственных машин : тр. ЛСХА. – Елгава, 1982. – Вып. 202. – С. 3–7.

72. Рыбак, Т. И. Методы оценки несущей способности и долговечности машин для химической защиты в растениеводстве / Т. И. Рыбак. – Киев : Наукова думка, 1985. – 232 с.

73. Кузнецов, В. В. Обоснование способа гашения энергии колебаний штанги полевого опрыскивателя / В. В. Кузнецов // Сб. науч. тр. института энергетике и природопользования. – Брянск, 2017. – С. 93–100.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Репозиторий БГАТУ

Научное издание

Крук Игорь Степанович,
Карпович Станислав Константинович,
Маркевич Александр Евгеньевич и др.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ,
СХЕМ ПОДВЕСОК И СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ШТАНГ
ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ. РЕКОМЕНДАЦИИ

Ответственный за выпуск *М. А. Прищепов*
Редактор *Т. В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *Е. А. Хмельницкой, Т. В. Каркоцкой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 15.01.2019. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 7,82. Тираж 30 экз. Заказ 986.

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.