

Igor S. Kruk¹⁾, Waclaw Romaniuk²⁾, Yuri V. Chigariev¹⁾, Kinga Borek²⁾

¹⁾ Białoruski Państwowy Uniwersytet Rolniczo-Techniczny, Mińsk, Republika Białorusi

²⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie, Polska

SPOSOBY ZABEZPIECZENIA PŁYNNOŚCI DZIAŁANIA OPRYSKIWACZA ROLNICZEGO

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАВНОСТИ ХОДА ШТАНГИ ПОЛЕВОГО ОПРYSКИВАТЕЛЯ

Аннотация

В статье приведены результаты анализа причин возникновения колебаний штанг полевых опрыскивателей в горизонтальной, продольно-вертикальной и поперечно-вертикальной плоскостях. Обоснованы способы обеспечения плавности ее хода при выполнении технологического процесса внесения средств химизации для обеспечения требуемого качества внесения и снижения нагрузки на экологию окружающей среды. Приведен обзор конструкций подвесок и систем стабилизации штанг современных полевых опрыскивателей.

Ключевые слова: опрыскивание, колебания, штанга, система стабилизации, подвеска

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование конструкций опрыскивателей, направленное на повышение производительности за счет увеличения ширины захвата и рабочей скорости движения агрегатов, нераздельно связано с обеспечением качества внесения средств химизации при наименьшем воздействии на экологию окружающей среды. При выполнении технологического процесса опрыскивания агрегат, находится под воздействием непрерывно изменяющихся возмущений, обусловленных рельефом поверхности поля под опорными колесами трактора и опрыскивателя. Эти возмущения вызывают колебания штанги опрыскивателя в продольно-вертикальной и поперечно-вертикальной плоскостях. Кроме того, при движении возникают случаи резкого изменения рабочей скорости, приводящие к возникновению колебаний в горизонтальной плоскости.

В результате возникающих колебаний штанги при движении опрыскивателя по полю изменяются расстояния между обрабатываемой поверхностью поля и распылителями, расположенными на различных расстояниях от центра штанги, что существенно влияет на равномерность распределения рабочей жидкости по обрабатываемому объекту.

Динамические колебания штанги в вертикальной плоскости влияют не только на качество выполнения технологической операции, но и определяют надежность конструкции сельскохозяйственной машины. Даже в условиях хорошо выровненной поверхности поля при скорости движения трактора $8 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ амплитуда колебаний штанги длиной 12 м может достигать значений $\pm 20 \text{ см}$ [1, 2, 3]. 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 [4]. Поэтому все большее внимание уделяется разработке несущих конструкций и схем навешивания штанг, как основных элементов конструкции опрыскивателя, определяющих равномерность распределения рабочих растворов по поверхности обрабатываемого объекта.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известно, что на параметры колебаний штанги влияют ее масса и микронеровности поверхности поля.

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 $6...7 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ [5].

В зависимости от принципа обеспечения постоянного расстояния между обрабатываемой поверхностью штангой по ширине захвата различают системы активной, пассивной и комбинированной стабилизации [6].

К системам активной стабилизации относятся штанги с опорными колесами (рис. 1) и автоматической стабилизации. 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.

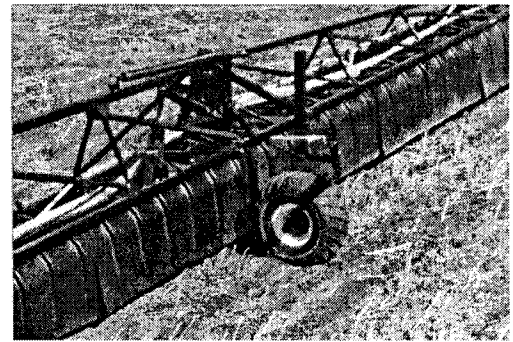
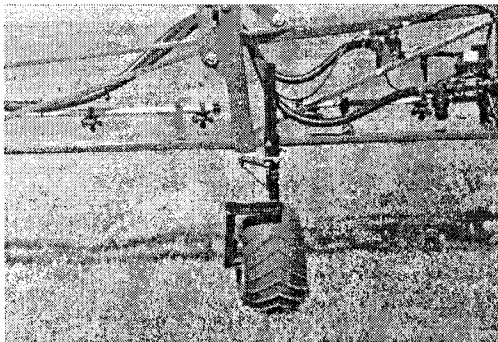


Рис. 1. Подвеска штанги с опорными колесами-копирами GFS AG SHIELD [7]

Поэтому на практике широкое применение получили навески с пассивными и комбинированными системами стабилизации. При пассивной стабилизации штанги используются маятниковые и шарнирно-рычажные подвески. В конструкциях опрыскивателей, работающих на склонах, используется комбинированная система стабилизации, так как возникает необходимость корректировки параллельности штанги обрабатываемой поверхности.

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

В подвесках должен выполняться основной принцип виброизоляции, который требует, чтобы собственная частота объекта виброизоляции была ниже частоты возбуждения (собственная частота подвески должна быть меньше собственной частоты рамы опрыскивателя) [4]. 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.

Следовательно, 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.

Для борьбы с вибрацией используются четыре основных метода: снижение виброактивности источника, внутренняя виброзащита объекта, динамическое гашение колебаний, виброизоляция [4]. Высокая плавность хода штанги может быть достигнута при использовании метода снижения виброактивности источника колебаний путем отличной амортизации самого опрыскивателя достигнут низкий уровень виброактивности рамы (рис. 2), а также повышенной культурой зем-

леделия, позволяющего более качественно выровнять поверхность поля и снизить интенсивность возбуждающего воздействия его фона.

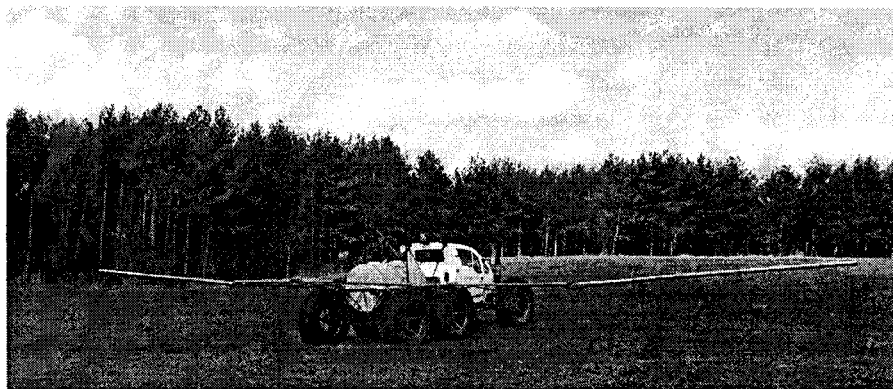


Рис. 2. Опрыскиватель на пневматических шинах

Существуют два способа снижения интенсивности колебаний в резонансном и околорезонансном режимах (реализация метода внутренней виброзащиты объекта) [4]: устранение резонансных явлений и увеличение диссипации механической энергии в объекте. Они основаны на должной отстройке собственной частоты объекта (отличная от частоты возбуждения; собственная частота должна быть меньше низшей из основных полос частот возбуждения), обеспечении 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% [4]. 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 [4].

Динамическое гашение колебаний основывается на присоединении к объекту виброизолирующих 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 уравновешивает динамическое воздействие, возбуждаемое источником. Реализацией данного метода для штанг является установка на ее краях динамических гасителей (рисунок 3, 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 (рисунок 3, б).

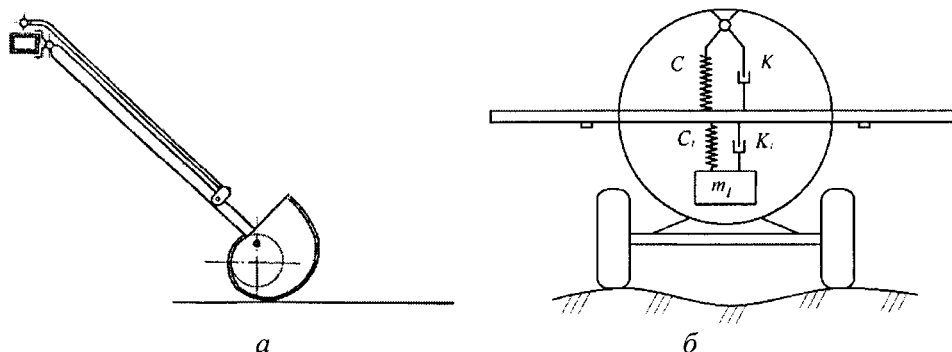


Рис. 3. Схемы динамических крайнего (а) и центрального (б) гасителей колебаний штанги

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

Для обеспечения равномерности распределения жидкости по ширине штанги в конструкции опрыскивателей должны использоваться системы стабилизации (гашения колебаний, обеспечения плавности хода).

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 элементами для стабилизации в вертикальной плоскости (пружины, азотные энергоаккумуляторы, пневматические или гидравлические амортизаторы) и амортизирующими элементами (фрикционные накладки и сайлент-блоки) – для стабилизации в горизонтальной.

Недостатками некоторых подвесок является передача возмущающих толчков и колебаний от ашинного агрегата непосредственно на штангу, ее низкая виброзащищенность, длительное тухание колебаний, возможность повреждения штанги при ударах крайних секций о поверхность поля. 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 удается 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 [4]. При гашении источника колебаний штанги, приближается к частоте колебаний подвески, т. е. может возникнуть резонанс. Особенно это возможно при полностью заполненной основной емкостью опрыскивателя рабочей жидкостью.

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.

Задачами подвесок, систем стабилизации штанг и гашения колебаний является повышение виброзащищенности штанги, 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. На начальной стадии возникновения возмущений от копирования колесами микронеровностей поля гашение динамических нагрузок осуществляется шинами (рисунок 2) и навеской ходовой системы (рисунок 4, а, б). Конструкцию и параметры элементов данных подвесок выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось эффективное гашение возмущений при изменяющейся массе опрыскивателя (опорожнении основной емкости).

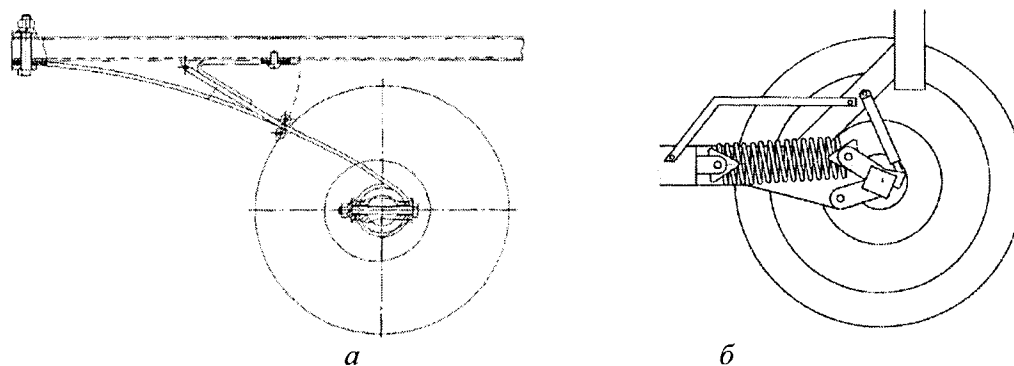


Рис. 4. Схема подвесок колес опрыскивателей

Следует отметить влияние степени заполнения емкости основной емкости опрыскивателя на амплитуды колебаний штанги. 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 тележки и емкостью опрыскивателя рессоры с жесткостью, обеспечивающей плавный ход опрыскивателя с полной емкостью, был отмечен высокий уровень ускорений рамы при движении с пустой емкостью [4].

В процессе расходования рабочей жидкости изменяется полная масса опрыскивателя. При этом диапазон ее изменения может почти в 2 раза превышать собственную массу опрыскивателя без жидкости [8]. Это влияет на положение центра масс опрыскивателя и на процесс колебаний подвески штанги, а следовательно, на качество распределения рабочей жидкости по обрабатываемой поверхности (рис. 5).

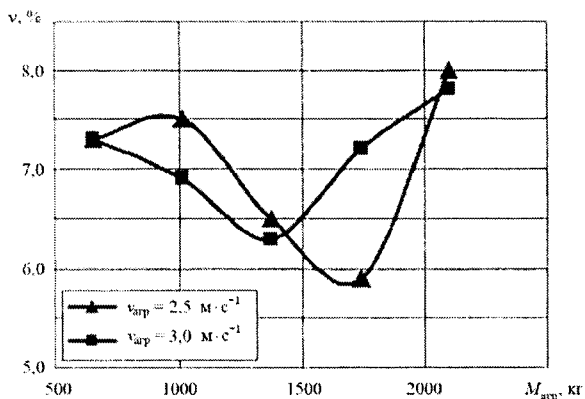


Рис. 5. Графики влияния массы опрыскивателя и рабочей скорости движения на коэффициент вариации распределения рабочей жидкости по ширине захвата [8]

Результаты, представленные в работе [7], учитывают не только изменения массы опрыскивателя, но и колебания рабочей жидкости в основной емкости во время движения агрегата на амплитуды колебаний подвески штанги. Влияние колебаний рабочей жидкости на параметры колебаний штанги снижаются установкой дополнительных поверхностей в основной емкости (рис. 6, а, б) [4, 9, 10], которые позволяют гасить колебания жидкости. Предполагается, что данные 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 полях с различным рельефом.

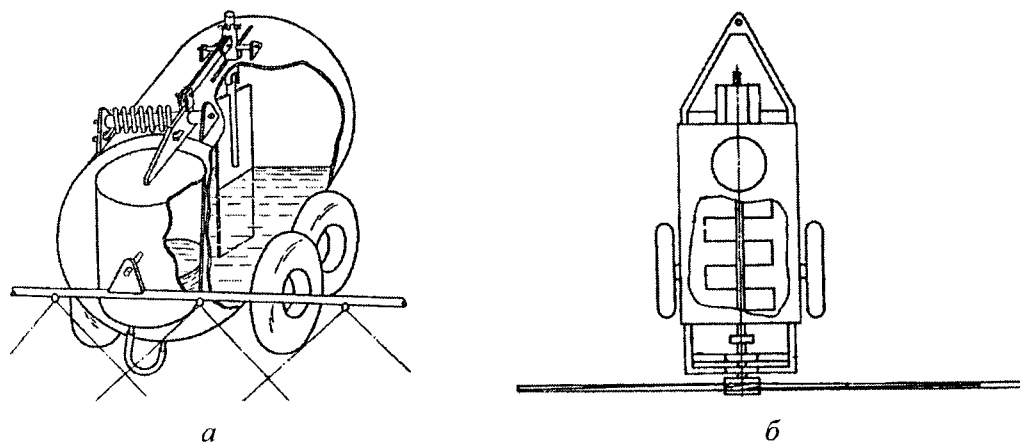


Рис. 6. Схемы устройств для гашения колебаний жидкости в основной емкости опрыскивателя и использования энергии колебаний штанги

В опрыскивателях *KUHN* 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 демпфируют 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. 7, а): распределительная штанга крепится к раме опрыскивателя при помощи маятниковой подвески. Для плавности хода штанги в вертикальной плоскости используются резинометаллические буферы с горизонтальными боковыми направляющими, сменные элементы скольжения и амортизаторы. Для демпфирования колебаний штанги в горизонтальной плоскости используются амортизаторы. Изменение рабочей высоты установки распределительной штанги осуществляется с помощью гидравлической системы с использованием роликово-тросового механизма.

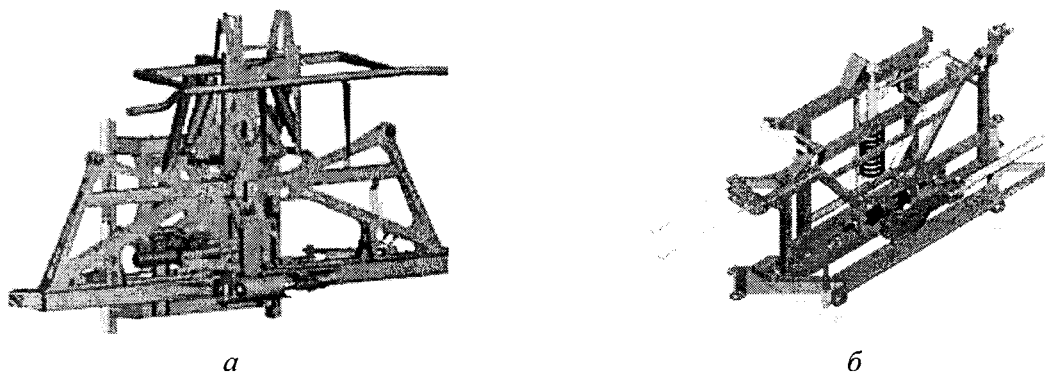


Рис. 7. Подвески с системами стабилизации штанги опрыскивателей *Lemken* (а) и *Hardi* (б)

Система стабилизации штанги, применяемая фирмой *Hardi*, представляет собой маятниковый механизм (рисунок 7, б), причем штанга опирается на центральный кронштейн подвески через блок пружин, тем самым имея возможность колебаться в плоскости подвески, а центральный кронштейн, в свою очередь, крепится к рамке при помощи горизонтальной оси с возможностью совершать вращение на ней. Гашение колебаний, возникающих при работе, происходит с помощью гидравлических амортизаторов и блока пружин. 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.

В конструкциях опрыскивателей *Amazone* используется штанга 1 (рисунок 8), состоящая из центральной и боковых частей, которые соединены между собой через шарниры. Боковые составляющие переводятся в транспортное и рабочее положения при помощи гидроцилиндров. Центральная часть несущей конструкции распределительной штанги крепится к рамке опрыскивателя по принципу маятниковой подвески через пластину и шарнир. Система стабилизации в вертикальной плоскости состоит из блока пружин растяжения и амортизаторов. Изменение угла установки штанги при работе на склонах осуществляется при помощи гидроцилиндра. В транспортном положении штанга фиксируется стопорами. Для исключения раскачивания штанги в горизонтальной плоскости применяются скользящий элемент, пружинный демпфер и шарнир.

Несущая конструкция распределительной штанги опрыскивателей фирмы *Jacto*. 5 крепится по принципу шарнирно-рычажной А-образной подвески шарнирно к балке 4, закрепленной на раме 3 (рисунок 9). Сама балка может передвигаться в плоскости рамки с помощью гидроци-

цилиндра 2, тем самым изменяя высоту установки штанги над обрабатываемым объектом. В нижней части несущей конструкции штанги, находящейся за емкостью, установлен брус 6 большой 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. 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.

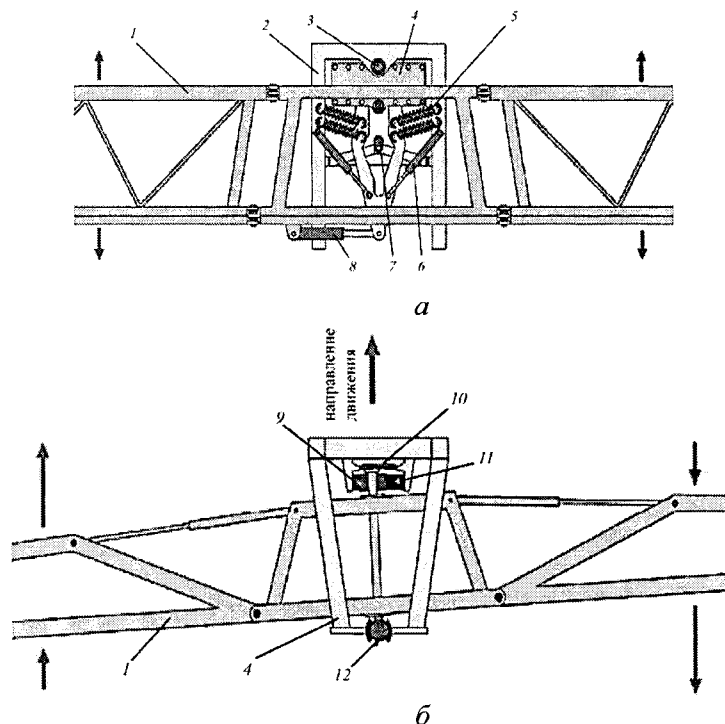


Рис. 8. Система навески штанги с системами стабилизации опрыскивателей *Amazone* в вертикальной поперечной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

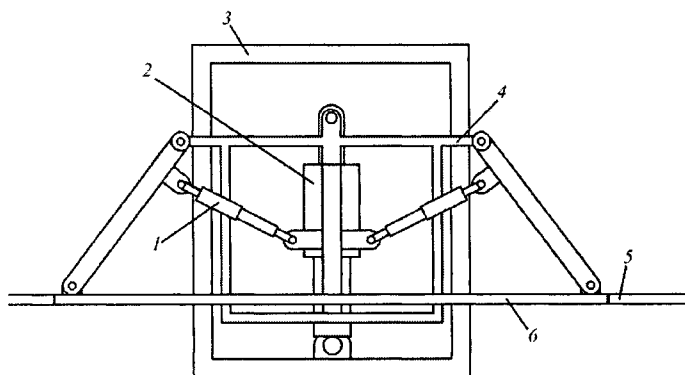


Рис. 9. Схема системы навески опрыскивателей *Jacto*

Штанга 1 (рисунок 10, а, б) опрыскивателей «Мекосан-2500-18П» и «Мекосан-2500-24П» навешена на подвижную рамку 7, которая может совершать поступательное движение в направляющих рамки 9. При этом подвижная рамка 7 опирается нижней поверхностью на две цилиндрические пружины, которые установлены на верхней поверхности нижней балки рамки 9. Угол наклона штанги 1 изменяется при помощи кронштейна 5 и рычага 6. Вертикальные колебания подвижной рамки 7, следовательно, и подвески штанги гасятся при помощи вертикальных пружин 10, колебания которых компенсирует амортизатор 11. Колебания штанги гасятся амортизаторами 8. Рамка 9 навешена на раму 3 опрыскивателя при помощи параллелограммного механизма 2 (рисунок 11, в, з). Высота установки штанги регулируется гидроцилиндром 4.

Штанга 5 (рис. 11, а, б) опрыскивателей ОШ-2500-18, ОШ-2500-24 навешена на подвижную раму 2, которая может совершать поступательное движение в направляющих рамки 1. При этом подвижная рамка закреплена на штоке гидроцилиндра 3, нижний шарнир которого установлен на горизонтальной пластине 12. Горизонтальная пластина 12 опирается нижней поверхностью на две цилиндрические пружины 13, которые установлены на верхней поверхности кней балки рамы 1. Пружины 13 гасят вертикальные колебания подвижной рамки 2 и подки штанги при одновременном наезде на препятствие колес опрыскивателя, а установленные симметрично между штангой и подвижной рамкой амортизаторы 5 гасят колебания штанги. Для гашения упругих колебаний пружин 13 используются фрикционные материалы в со-
 вложении «подвижная рамка–рама». Для гашения колебаний штанги в горизонтальной плоскости используется шарнирно-рычажный механизм с упругими элементами.

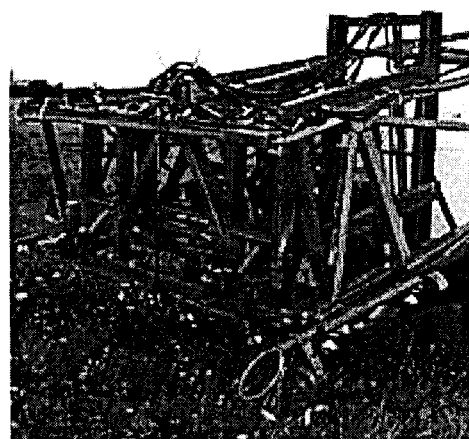
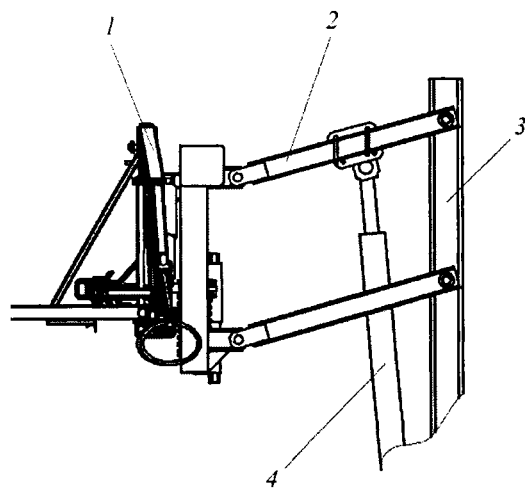
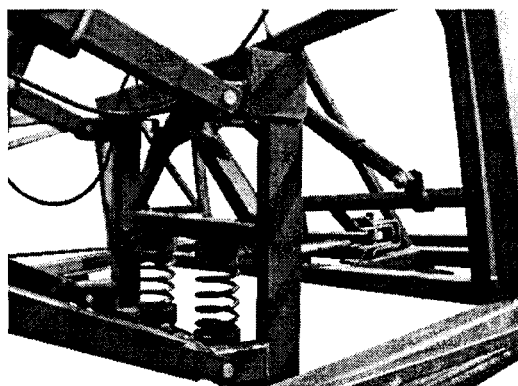
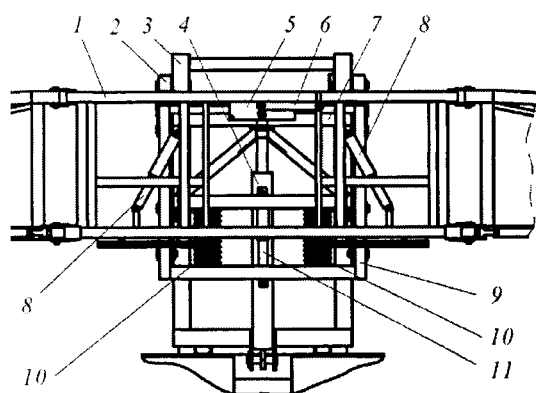


рис. 10. Схема подвески штанги с системой стабилизации опрыскивателей «Мекосан-2500-18П» (а, б) и «Мекосан-2500-24П» (в, з)

В поперечно-вертикальной плоскости штанга, в зависимости от схемы подвески, может совершать независимые движения (рис. 12) [11]: вертикальные и угловые (вращательные) вместе с точкой подвески, линейные и угловые относительно точки подвески.

При жестком способе крепления штанги на раме опрыскивателя (рис. 12, а), штанга совершает вертикальные и угловые движения вместе с точкой подвески и угловые, определяемые жесткостью штанги, ее упругими и жесткими свойствами. Вертикальные и угловые движения штанги вызваны поочередным или одновременным копированием колесами опрыскивателя неровностей поверхности поля.

При шарнирной подвеске (рис. 12, б, в) штанга совершает вертикальные и угловые движения вместе с шарниром, закрепленным на раме опрыскивателя, а также угловые относительно шарнира. Величина отклонений концов штанги определяется величиной возмущений, сопротивлением в шарнире, конструкцией штанги (ее упругими и жесткими свойствами) и системой ее стабилизации.

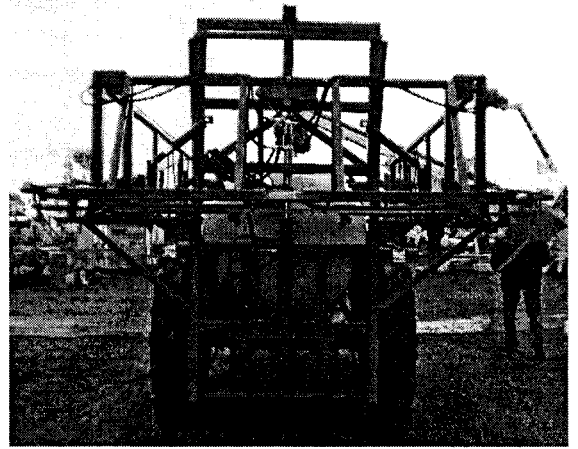
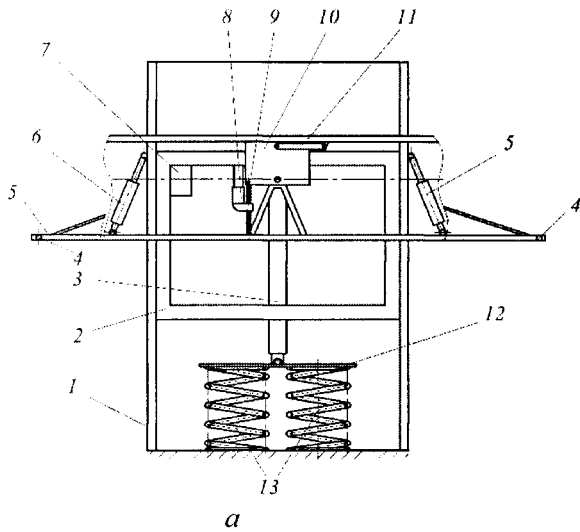


Рис. 11. Схема подвески штанги с системой стабилизации опрыскивателей ОШ-2500-18 и ОШ-2500-24

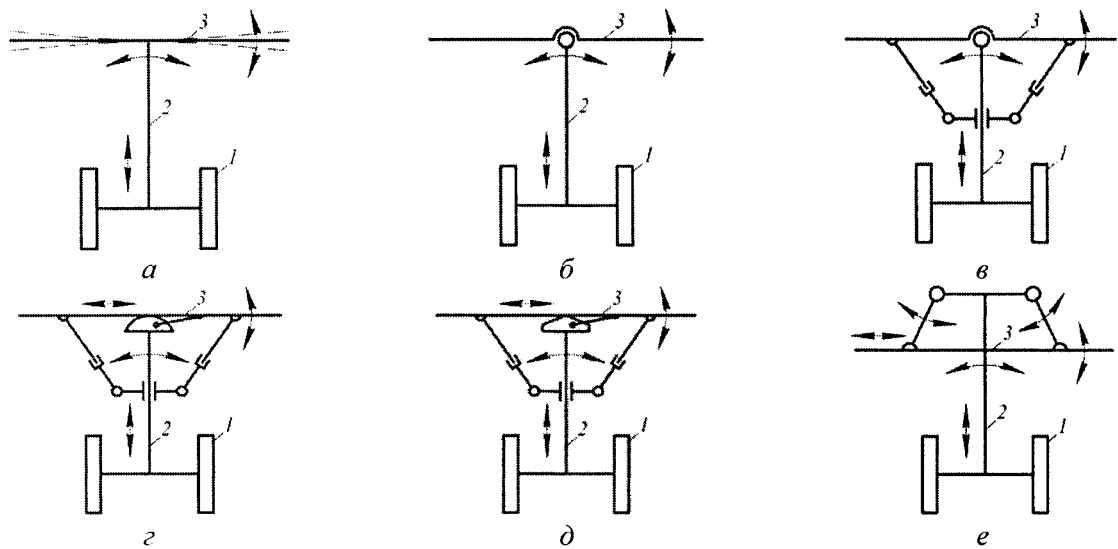


Рис. 12. Схемы навесок штанг полевых опрыскивателей: *а* – жесткая; *б* – шарнирная, *в* – шарнирная с элементами гашения колебаний; *г* – с использованием криволинейной опорной поверхности; *д* – с использованием прямолинейной опорной поверхности; 1 – ходовая система; 2 – рама опрыскивателя; 3 – штанга

При установке штанги на криволинейные и прямолинейные опорные поверхности (рисунок 12, *г, д*) штанга совершает вертикальные и угловые движения вместе с опорной поверхностью и, в зависимости от конструкции системы стабилизации, параметров установки гасителей и упоров, может совершать как угловые, так и горизонтальные движения по отдельности и одновременно.

При рычажно-шарнирных маятниковых подвесках (рисунок 1, *е*) штанга также совершает вертикальные и угловые движения вместе с точками подвеса и, в зависимости от конструкции и соотношений размеров маятников и рычагов, может совершать как угловые, так и горизонтальные движения по отдельности и одновременно.

Для уменьшения массы штанги используются специальные облегченные профили и материалы из сплавов алюминия (рисунок 13, *а-г*).

Секция штанги (рисунок 9, *в, г*) разработана в виде трехмерной конструкции из углеволокна, которое улучшает характеристики всей штанги, вследствие низкого веса (уменьшение приблизительно в 4 раза) и жесткости материала. Более низкий вес крайней секции позволяет центральной части затрачивать меньше усилий при управлении штангой при движении по неровной поверхности.

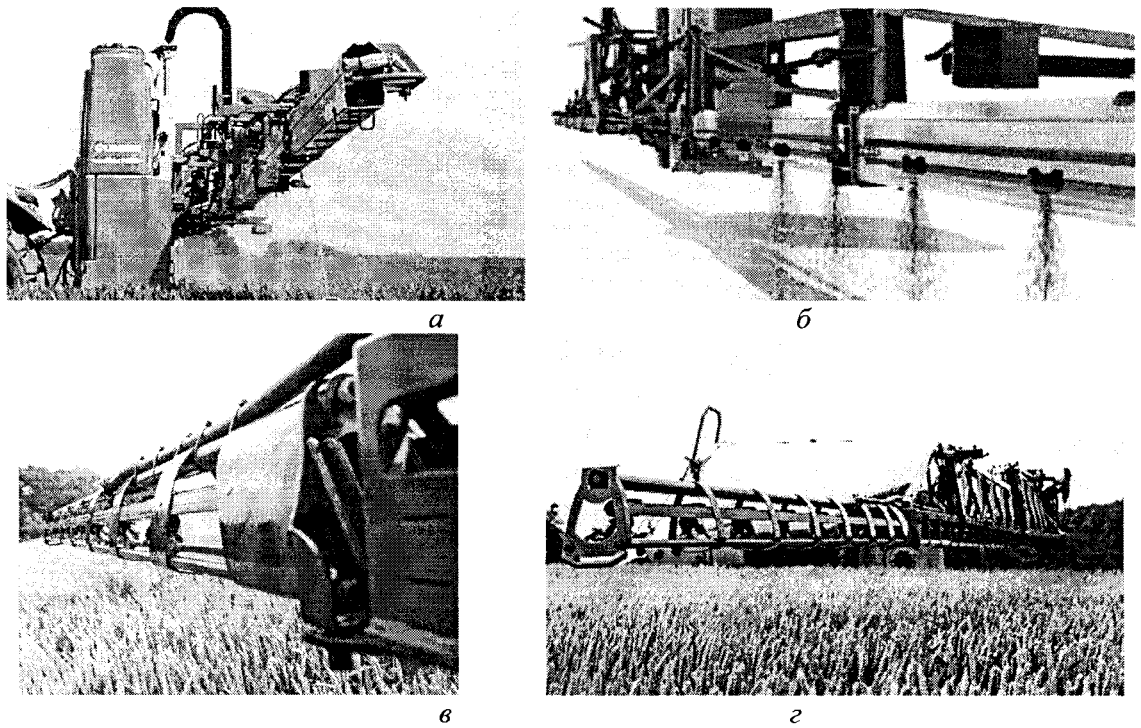


Рис. 13. Штанги облегченной конструкции: *Lemken* (а, б) [12], *Hardi* (в, г) [13]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведен анализ способов стабилизации штанги при работе полевых опрыскивателей с точки зрения обеспечения требуемого качества внесения средств химизации и наименьшего воздействия на экологию окружающей среды.

Приведены схемы подвесок и систем стабилизации штанги в конструкциях современных полевых опрыскивателей. Выполнен анализ возможных движений штанги в зависимости от схемы подвески и установленных элементов системы стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. РОТЕНБЕРГ Ю.Ю. 2011. Высота штанги полевого опрыскивателя / Ю. Ю. Ротенберг, Т.В. Раскатова, И. А. Редкозубов // Защита и карантин растений. – 2011. № 5, с. 42–43.
2. ПЕТРОВСКАЯ Е.В. 2006. Повышение равномерности распределения рабочей жидкости штангового опрыскивателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Е. В. Петровская. – Челябинск, 195 с.
3. КРУК И.С. 2018. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И. С. Крук. – Минск: БГАТУ, 272 с.
4. ВАРТУКАПТЕЙНИС К.Э. 1984. Обоснование параметров и элементов конструкции штанговых опрыскивателей: Дис. ... к-та тех. наук. – Елгава: 1984, 250 с.
5. ВІКОВИЧ І.А. 2003. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія. – Львів: Видавн. Нац. універс. «Львівська політехніка», 460 с.
6. Сельскохозяйственные машины (основные тенденции развития тракторных опрыскивателей) / Отв. за выпуск Ченцов В.В. С.-х. машины и орудия: Обзор информ. /). – М. ЦНИИТЭИ Тракторное и с.-х. машиностроение; вып. 12, 1984. – 58 с.
7. Ground Following system / AG SHIELD. – URL: <http://www.agshield.com>.
8. КУЗНЕЦОВ В.В. 2010. Методика оценки свойств опрыскивающего агрегата / В.В. Кузнецов, А.В. Кузнецов, Е.В. Кузнецов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. № 2, с. 81–84.
9. Подвеска штанги опрыскивателя : SU 1033103 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL: <https://www.findpatent.ru>
10. Опрыскиватель: SU 912125 / FindPatent.ru. Патентный поиск. – URL : <https://www.findpatent.ru>
11. КРУК И.С. 2019. Система стабилизации штанги полевого опрыскивателя / Мат. Междун. научн.-техн. конф. «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. – Минск, 24-25 октября 2019 года : в 2 ч. / редкол.: И.Н. Шило [и др.]. – Минск : БГАТУ, Ч. 1, с. 183–185.
12. Lemken. – URL: <https://www.lemken.ru>.
13. Hardi. The spraytr. – URL : <http://old.hardi-international.com>.

METHODS OF SECURING THE FLOW OPERATION OF THE AGRICULTURAL SPRAYER

Igor S. Kruk, Waław Romaniuk, Yuri V. Chigariev, Kinga Borek

Summary

The article presents the results of the analysis of the causes of vibrations of the booms of field sprayers in the horizontal, longitudinal-vertical and transverse-vertical planes. The ways of ensuring the smoothness of its course when performing the technological process of applying chemicalization agents to ensure the required quality of application and reduce the load on the environment are substantiated. An overview of suspension structures and boom stabilization systems for modern field sprayers is given.

Key words: spraying, vibrations, boom, stabilization system, suspension

SPOSOBY ZABEZPIECZENIA PŁYNNOŚCI DZIAŁANIA ROLNICZEGO OPRYSKIWACZA

Igor S. Kruk, Waław Romaniuk, Yuri V. Chigariev, Kinga Borek

Streszczenie

W pracy przedstawiono rezultaty analizy przyczyn drgań belek opryskiwaczy polowych w płaszczyźnie poziomej, wzdłużno-pionowej i poprzecznie-pionowej. Określono sposoby zapewnienia stabilności realizacji technologicznego procesu zastosowania środków chemicznych w celu zapewnienia wymaganej jakości aplikacji i zmniejszenia obciążenia środowiska. Przeprowadzono przegląd konstrukcji zawieszenia i systemów stabilizacji belki dla nowoczesnych opryskiwaczy polowych.

Słowa kluczowe: oprysk, wibracje, belka, system stabilizacji oprysku