

УДК 630*:65.011.54

АНАЛИЗ КОНСТРУКТОРСКО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
РАБОТ ПО ВИБРАЦИОННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНАМ ЛЕСНЫХ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

Третьяков А.И. (ФГБОУ ВПО ВГЛТА)

Одним из перспективных способов повышения эффективности и качества обработки почвы на вырубках является использование принудительной вибрации на рабочих органах почвообрабатывающих орудий. Преимущество вибрационной и импульсной техники состоит в том, что концентрируя энергию во времени, она дает возможность расходовать ее более рационально и эффективно [1].

На практике широко применяются рабочие органы почвообрабатывающих орудий, работающие в режиме автоколебаний, и не требующие дополнительного расхода энергии на их возбуждение. По конструкции их можно условно разделить на два основных типа. Первый из них в качестве источника колебаний использует упругие стержни или S-образные стойки (а. с. и пат. РФ №№: 492248, 2105445, 2153788, и др.). Второй тип использует для возбуждения пружины (а. с. РФ №№: 181410, 387636, 398184, и др.). Предлагаются также комбинации этих двух типов.

Принцип работы рабочих органов автоколебательного типа состоит в следующем. При движении рабочего органа в почве упругий элемент, реализуя периодические изменения сил сопротивления почвы, создает колебания рабочего органа, параметры которых зависят от физико-механических свойств почвы, характеристик упругого элемента, и других факторов. Данные решения позволяют снизить тяговое сопротивление и уменьшить забивание рабочих органов растительными остатками.

Рабочие органы использующие эффект автоколебаний применяются на ряде серийных сельскохозяйственных культиваторов. Это отечественные культиваторы КПК-8, КППШ-6, КТ-3,9Г, КШУ-12 [2]. Также привод на основе автоколебательного процесса используется на сербском культиваторе ИМТ 616,16 [3].

По сравнению с пассивными, рабочие органы с автоколебаниями имеют несомненные преимущества: простота, неприхотливость в обслуживании, их

низкая стоимость. Однако, несмотря на отсутствие расхода энергии на возбуждение колебаний, данные конструкции все же не способны генерировать значительные по величине вынуждающие силы, необходимые в условиях тяжелых лесных почв на нераскорчеванных вырубках. По этой причине они не могут гарантировать требуемого качества обработки почвы.

Значительно более эффективным способом возбуждения колебаний являются приводы с принудительным наведением вибрации. В качестве источников таких колебаний могут служить механические, электрические, пневматические и гидравлические вибраторы. Также возможны комбинированные варианты их исполнения.

Механические вибраторы преобладают среди предлагаемых технических решений (а. с. РФ №№: 416029, 812203, 1014481, и др.). Типичным механическим приводом рабочих органов с эксцентриковым вибратором может служить техническое решение по а. с. РФ № 416029 (рис. 1). Механическим вибраторам присущ ряд недостатков, ограничивающий их широкое использование. К ним относят: шумность в работе, сравнительно быстрый износ трущихся деталей, невысокие значения КПД.

Электрический привод (а. с. и пат. РФ №№: 432873, 1410875, 2304371, и др.), по сравнению с гидравлическим и пневматическим имеет преимущества – высокое быстродействие, гибкость управления, хорошее компонование на ору-

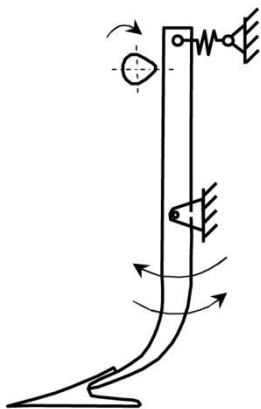


Рисунок 1 – Схема механического вибропривода рабочего органа почвообрабатывающей машины по а. с. РФ № 416029

ддии, возможность работы в программном режиме и др. Недостатки электроприводов заключаются в затрудненном пуске, так как требуемый пусковой момент может на порядок превышать номинальный, а также нерегулируемая амплитуда колебаний рабочего органа, зависящая от геометрических размеров выходного звена редуктора [4]. Электромагнитные вибраторы являются энерго- и материалоемкими, амплитуда их колебаний невысока и зависит от нагрузки [5].

Применение энергии сжатого воздуха (а. с. и пат. РФ №№: 912082, 1021345, и др.) для вибрации нашло использование в создании целой группы устройств различного типа. Но их приме-

нение ограничивается низкой амплитудой вибрации (до 0,2 мм), необходимостью в использовании компрессора, а расчет динамических показателей отличается повышенной сложностью [5].

От других типов вибраторов гидравлические выгодно отличаются повышенной удельной мощностью, небольшими размерами, герметичностью, пониженным уровнем шума, возможностью в широком диапазоне варьировать амплитуду и частоту вибрации. Известные недостатки гидровибраторов, такие, как меньшая эффективность преобразования энергии, повышенные требования к точности изготовления, монтажу и обслуживанию, зависимость рабочих параметров гидросистемы от температуры, высокая стоимость, ограничивают их применение, однако отмеченные недостатки могут быть сведены к минимуму при правильном проектировании и применении [6 ... 8].

Анализ литературных источников показал, что исследователями предлагается большое количество разнообразных вариантов исполнения гидравлических вибрационных механизмов, в частности наиболее распространенного их типа – гидропульсаторов [7]. К ним относят технические предложения гидропульсаторов клапанного (а. с. РФ №№: 556251, 750152, и др.) и золотникового типов (пат. РФ № 2157452, п. м. РФ № 11262, и др.), пружинные (а. с. и пат. РФ №№: 901677, 2197598, и др.), эксцентриковые (а. с. РФ №№: 180124, 309279, 339320, и др.), с элементами рабочих органов вращательного (а. с. РФ №№: 1138558, 1149062, и др.) и возвратно-поступательного движения (а. с. РФ №№: 832067, 1079918, 1174613, и др.), использующих энергию давления жидкости (а. с. РФ №№: 673765, 1060823, 1783179, и др.) и с приводом от механического источника (а. с. РФ №№: 520460, 672391, и др.).

Кроме того, по данным [9] известно, что в последние годы в ряде стран (США, Япония, Франция, Германия, Великобритания и др.) разработаны гидравлические и электрогидравлические вибраторы, обладающие высокой удельной мощностью, долговечностью и способностью плавного регулирования параметров вибрации в широких пределах.

Примером конструкции типичного гидравлического вибрационного механизма для рабочих органов почвообрабатывающих орудий может служить устройство, разработанное в ВИМе (рис. 2). Для возбуждения колебаний плуг 7 оборудован трехвинтовым гидравлическим насосом-вибратором 4, гидромотором 3 и гидроцилиндрами 5, установленными на каждом плужном корпусе. Си-

система возбуждения колебаний действует следующим образом: от ВОМ трактора через редуктор приводится во вращение насос 1, который через дроссель 2 подает масло из бака к гидромотору 3. Гидромотор соединен муфтой с насосом-вибратором 4. За каждый оборот ведущего винта насоса-вибратора по маслопроводу подается два импульса штоку 6 гидроцилиндра 5, а затем – нижней (подвижной) части плужного корпуса 7. Автоматическое настраивание гидровинтового вибратора обеспечивается за счет рычажной системы обратной связи (на рис. не показано). Рычажная система соединяет шток виброцилиндра 6 с тягой золотника вибратора 4 и рычагом дросселя 2, с таким расчетом, чтобы при отклонении штока 6 под действием повышенного тягового сопротивления плуга 7 увеличивалось число оборотов гидромотора и время впуска масла в виброцилиндр путем соответствующего поворота дросселя и осевого смещения валика золотника вибратора [1].

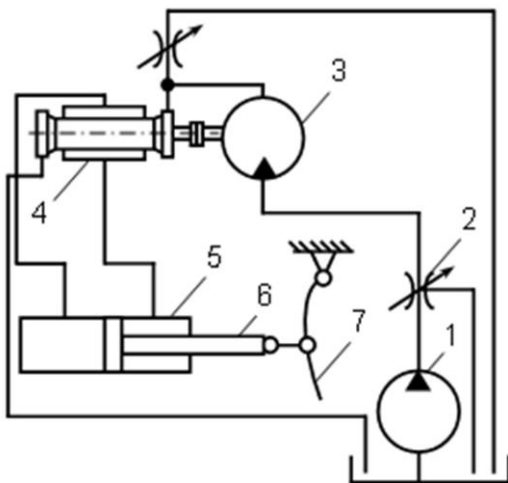


Рисунок 2 – Схема гидравлического вибрационного плуга по разработке ВИМ

Оригинальными техническими решениями являются также устройства по а. с. РФ №№: 1116985 и 671759. Так, в а. с. РФ № 1116985 вибродвигатель, выполнен в виде эластичных емкостей, размещенных между поперечным брусом, который закреплен на дополнительной раме вместе с рабочими органами почвообрабатывающего орудия. Гидравлический пульсатор попеременно подает давление в верхние и нижние эластичные емкости, которые сжимаясь и расширяясь, приводят в колебательное движение брус, и соответственно, рабочие органы. Вибродвигатель по а.

с. РФ № 671759 представляет собой плунжер, выполненный с цилиндрической проточкой и коническим переходом, и цилиндрический корпус, имеющий сопряженную проточку и суживающуюся часть со сливными отверстиями. Пульсирующее перемещение рабочего органа происходит за счет сообщения и разобщения проточек и сливных отверстий. Это обеспечивается движением плунжера под нагрузкой от подводимого давления гидронасоса, и обратный ход – от силы тяги трактора.

Представляет интерес техническое решение по пат. РФ № 2231241, которое снабжено блоками управления, формирования частоты и амплитуды колебаний (рис. 3). Датчики давления 9, скорости и тягового сопротивления (на рис. не показаны) подключены к входам блока управления. К входу блока управления через блоки формирования частоты и амплитуды колебаний подсоединены датчик частоты вращения 7 вала вибратора 3 и датчик перемещения 10 штока цилиндра 4. Регулирующие устройства насоса 6 и качающего узла вибратора 8 подключены к выходам блока управления.

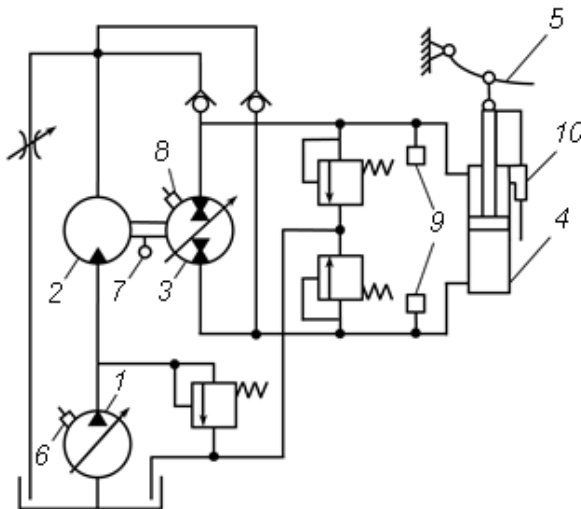


Рисунок 3 – Схема устройства по регулированию параметров колебаний вибрационных рабочих органов почвообрабатывающих машин по пат. РФ № 2231241

Регулирующее устройство 8 изменяет рабочий объем качающего узла вибратора 3 и тем самым ход штока гидроцилиндра 4 или амплитуду колебаний рабочего органа 5. Частота колебания рабочего органа зависит от частоты вращения вала гидромотора 2, которая устанавливается регулирующим устройством 6 за счет изменения рабочего объема насоса 1. Путем эффективного регулирования параметров колебаний вибрационных рабочих органов данное

техническое решение позволяет ограничивать затраты мощности на работу вибратора, и соответственно на функционирование самого почвообрабатывающего агрегата.

Таким образом, можно заключить, что наиболее эффективным приводом для полезной реализации энергии вибрации рабочими органами лесных почвообрабатывающих агрегатов является гидравлический привод.

Результаты выполненного патентного исследования показали, что разработчиками предложено большое количество технических решений по применению принудительной вибрации для различных рабочих органов почвообрабатывающих орудий: плугов (авт. св. и пат. РФ №№: 257178, 1012811, 2369057 и др.), культиваторов (авт. св. и пат. РФ №№: 425563, 1376960, 2240661 и др.), плоскорезов (авт. св. и пат. РФ №№: 424518, 453147, 2102844 и др.), рыхлите-

лей (авт. св. РФ №№: 250564, 741816, 1014481 и др.), борон (авт. св. РФ №№: 443638, 600975, 1387884 и др.). Особое место среди вибрационных рабочих органов почвообрабатывающих орудий занимают культиваторы, на которых в отличие от других типов орудий, помимо снижения тягового сопротивления, также наблюдается значительный положительный агротехнических эффект [1, 10]. Однако среди патентов и изобретений, практически отсутствуют технические решения по дисковым рабочим органам интенсифицирующего действия, в частности дисковым культиваторам.

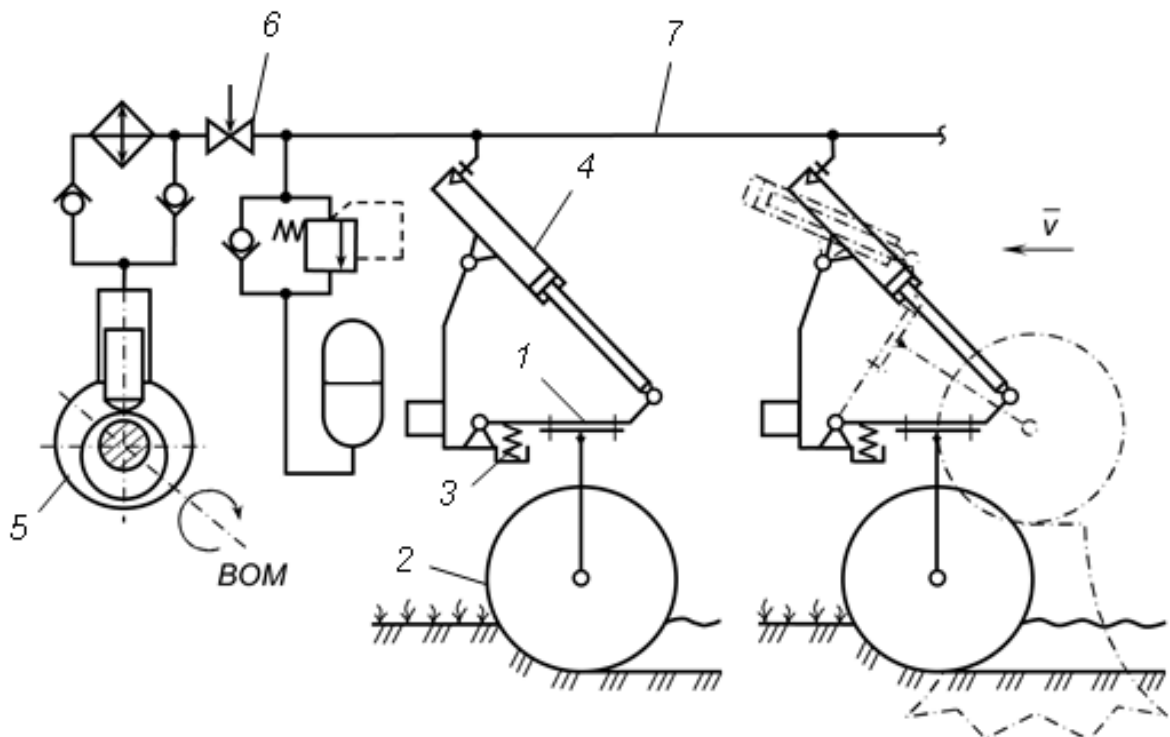


Рисунок 4 – Схема лесного дискового культиватора по пат. РФ № 2407260

Оригинальным техническим решением, в котором впервые применена принудительная вибрация дисковых рабочих органов, является полученный ВГЛТА патент РФ № 2407260 «Почвообрабатывающее орудие» (рис. 4). Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам этот патент награжден дипломом в номинации «100 лучших изобретений России».

Работа почвообрабатывающего орудия заключается в следующем. При движении рабочих органов 2 в почве на заданной глубине обработки почвы они вместе грядиллями 1 совершают вынужденные колебания в упругой системе «рабочий орган 2 – пружина 3 – почва» под воздействием пульсаций рабочей жидкости в гидроцилиндре 4, передаваемой по трубопроводу 7 от гидропульсатора 5. Регулирование амплитуды колебаний рабочего органа осуществляется

из кабины трактора с помощью вентиля б. Необходимую частоту колебаний рабочих органов устанавливают путем подбора частоты вращения ВОМ трактора. В случае необходимости гидропульсатор можно отключить либо при помощи перекрытия вентиля б, либо отключением ВОМ трактора.

Экспериментальные исследования этой конструкции на реальных лесных объектах показали ее эффективность, достигаемую за счет совмещения в одном устройстве двух механизмов – вибрационного и предохранительного. В тоже время она имеет относительно низкие надежность и КПД вибрационного механизма, вследствие использования в нем механической передачи для привода от вала отбора мощности агрегируемого трактора. Другой недостаток этой конструкции заключается в отсутствии возможности ею отключения вибратора при наезде и преодолении рабочими органами препятствий. Это ведет к неоправданному росту нагрузок на дисковые батареи и увеличению вероятности их поломки.

Одним из основных достоинств применения вибрации для лесных дисковых культиваторов является повышение заглубляющей способности и устойчивости хода на заданной глубине обработки, которая является основным показателем качества работы такого орудия [11].

Результаты ряда исследований подтверждают, что использование вибрации позволяет повысить стабильность хода рабочих органов по глубине обработки почвы. Так, Александрян К.В. в АрмНИИМЭСХ при обработке почв типа «киров» со цементированными слоями толщиной до 25 см, расположенных на глубине 20-40 см в виде скрытых сплошных и прерывистых массивов в виноградниках и садах Армении решил проблему неустойчивости рыхления. Из-за неоднородности почвы рыхлители «теряли» нужную глубину рыхления и сгребали только поверхностные слои почвы. Проведенные исследования показали, что почвы «киров» и цементированные слои гораздо слабее сопротивляются динамическим (вибрационным и ударным), чем статическим нагрузкам. Вибрационный рабочий орган обеспечивает более равномерное движение на заданной глубине и лучшее качество рыхления [1, 12].

Верняевым О.В. в Днепропетровской области проводились лабораторно-полевые испытания рабочих органов культиваторов – активного, совершающие угловые колебания в горизонтальной плоскости, и пассивного типов. Опыты показали, что на всех скоростях движения с увеличением частоты колебаний коэффициент заглубляющей способности лапы увеличивается, т. е. наблюдает-

ся некоторое увеличение заглубляющей способности активной лапы. Устойчивость глубины хода (средний коэффициент вариации) рабочих органов соответственно активного и пассивного орудий: 5,9 и 19,7 % [10].

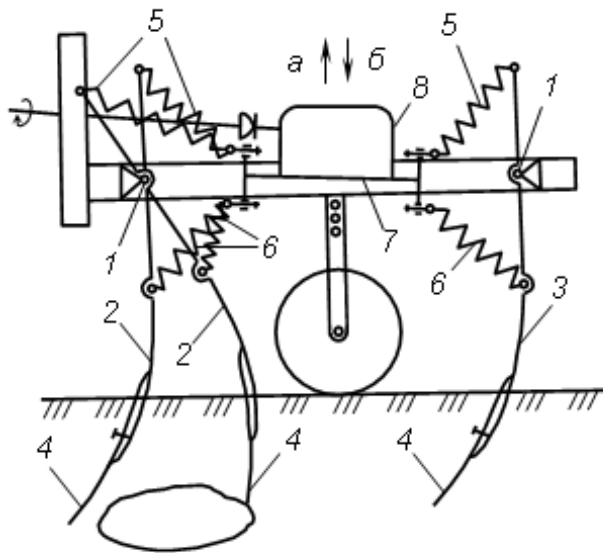


Рисунок 5 – Схема почвообрабатывающего орудия по а. с. РФ № 822774

Важным качеством почвообрабатывающего орудия в условиях нераскорчеванных вырубков, является сочетание в нем работы вибрационного механизма, и одновременно обеспечение защиты рабочих органов от перегрузок. Так, в устройстве по а. с. РФ № 822774 (рис. 5), при движении орудия с включенным валом отбора мощности трактора, вибратор 8 совершает совместно с платформой 7 вертикальные колебания. Во время подъема вибратора 8 с платформой 7

(по стрелке *а*) ослабляются верхние упругие элементы 5, а нижние 6 натягиваются, несколько сближая лемехи 4. При движении вниз (по стрелке *б*) верхние упругие элементы 5 натягиваются, а нижние элементы 6 ослабляются, и лемехи 4 совершают колебательные движения относительно шарниров 1. В случае наезда рабочего органа на препятствие один из рыхлительных зубьев 2 и 3 поворачивается в шарнире 1, натягивая верхний упругий элемент 5 и ослабляя нижний 6, подтягивая платформу 7, обходит препятствие сверху и возвращается в исходное положение. Аналогичное решение предложено в а. с. РФ № 155680. В этих устройствах совмещение функций вибратора и предохранителя рабочих органов заключается в том, что почвообрабатывающее орудие и вибратор в обоих случаях связаны упругим элементом, что дает возможность при значительном повышении рабочего усилия в момент встречи с препятствием отклонить рабочий орган.

Однако, данные предохранители с вибрационными механизмами для лесных почвообрабатывающих орудий непригодны по следующим причинам: их конструктивные параметры не обеспечивают отход рабочего органа на необходимую высоту (0,5 ... 0,6 м); наличие в их конструкциях опорных колес, которые не-

возможно защитить в условиях нераскорчеванных вырубок. Кроме того препятствия на сельскохозяйственных объектах не представляют такой опасности, как препятствия на лесных объектах. Препятствия на вырубках, как правило, не сдвигаемы, а нагрузки на орудия превышают их средние рабочие сопротивления: в момент встречи с препятствием – в 5 ... 10 раз, при подъеме рабочих органов по препятствию – в 3 ... 4 раза. Причем, наличие в конструкции орудий вибратора, при наезде на препятствие значения действующих нагрузок на рабочих органах, очевидно, будет увеличивать [11].

Проведенный анализ конструкторско-исследовательских работ позволил разработать эффективную и работоспособную конструкцию лесного дискового культиватора для выполнения агротехнических уходов в тяжелых условиях нераскорчеванных вырубок. Техническое решение защищено патентом РФ № 2444877.

Работа гидравлических вибрационного и предохранительного механизмов (рис. 6) заключается в следующем. При движении культиватора на вырубке его рабочие органы надежно удерживаются в почве на заданной глубине обработки благодаря установленному давлению p_n в гидроцилиндре 3, передаваемого из напорной магистрали 12 от гидросистемы агрегатируемого трактора. Импульсные изменения величины давления рабочей жидкости (частотой 5 ... 7 Гц) в

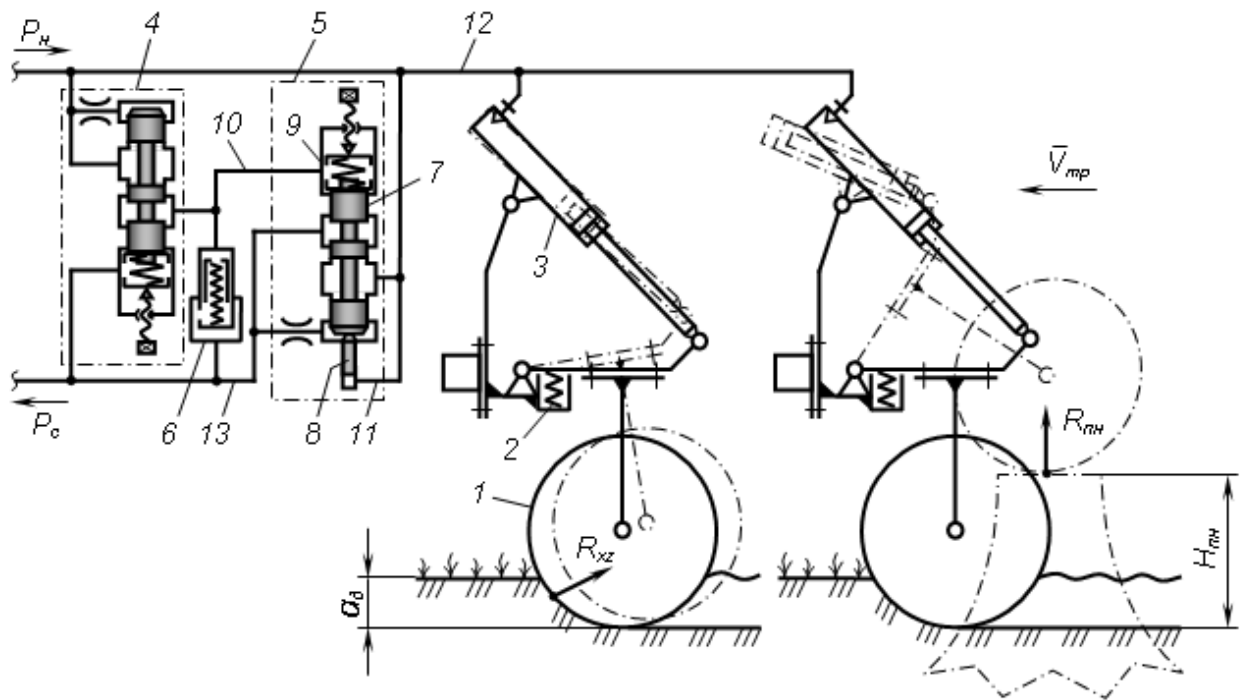


Рисунок 6 – Схема лесного дискового культиватора по пат. РФ № 2444877

гидроцилиндре 3 обеспечиваются работой золотника 7 клапана давления 5, который постоянно сбрасывает давление рабочей жидкости в сливную магистраль 13. Пульсация давлений в напорной магистрали приводит к колебаниям поршня со штоком гидроцилиндра 3, и соответственно к возбуждению вибрации на дисках культиватора 1.

В случае встречи рабочих органов культиватора с препятствием дисковая батарея 5 отклоняется назад и вверх, а поршень гидроцилиндра 3 вдвигается в цилиндр на величину l_n . Вытесненная при этом рабочая жидкость поступает в напорную гидромагистраль 12. Повышенное давление в напорной магистрали приводит к срабатыванию клапана 4, и перетеканию через него жидкости в соединительный трубопровод 10, к проточке 9 в корпусе клапана давления 5 и к клапану ограничителя расхода 6. Однако, так как по сравнению с диаметром золотника 7, диаметр плунжера 8 имеет существенно меньшую величину, то, несмотря на повышенное давление рабочей жидкости в подводящем трубопроводе 11, плунжер остается в исходном положении. Этим обеспечивается временная остановка в работе вибрационного механизма. Сброс рабочей жидкости через клапан ограничителя расхода 6 также невозможен, так как при повышенном давлении ограничитель расхода автоматически запирается. После преодоления препятствия дисковая батарея 1 культиватора возвращается в исходное положение, увлекая за собой шток и поршень гидроцилиндра 3, а вибрационный механизм при нормализации давления автоматически включается в работу.

Таким образом, при движении дискового рабочего органа в почве на заданной глубине обработки почвы, он вместе со стойкой совершает вынужденные колебания в упругой системе "рабочий орган 1 – пружина 2 – почва" под воздействием пульсаций рабочей жидкости в гидроцилиндре 3 предохранителя, передаваемой по трубопроводу 12 от клапана 5 вибрационного механизма. При этом гидроцилиндр 3 в конструкции культиватора совмещает в себе функцию вибродвигателя и гидроцилиндра в механизме предохранителя [13].

Экспериментальные исследования данной конструкции показали высокую ее эффективность, а именно: без использования дополнительных утяжелителей дисковые батареи культиватора устойчиво работают на заданной глубине в обрабатываемой борозде, благодаря чему число повреждаемых саженцев в 2 раза меньше чем у серийного культиватора; рабочие органы надежно преодолевает пни высотой до 50 см от дна борозды, против 27 см, в отличие от серийно-

го; повысилась производительность агрегата на 22,5 %; уменьшить затраты труда при уходе за почвой на 22 %.

Библиографический список

1 Дубровский, А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве / А. А. Дубровский. – М. : Машиностроение, 1968. – 204 с.

2 Крюков, И. В. Обратите внимание на отечественные машины / И. В. Крюков // Поле Августа. – 2006. – № 2. – С. 11.

3 Гузеев, И. Культиватор ИМТ 616,16 / И. Гузеев // Поле Августа. – 2007. – № 7. – С. 12.

4 Аипов, Р. С. Колебательный линейный электропривод машин в сельскохозяйственном производстве / Р. С. Аипов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 11. – С. 12-13.

5 Демьяченко, А. Г. Вибрационные технологии и вибровозбудители в сельхозпроизводстве / А. Г. Демьяченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 34-35.

6 Алимов, О. Д. Гидравлические виброударные системы / О. Д. Алимов, С. А. Басов. – М. : Наука, 1990. – 372 с.

7 Варсанюфьев, В. Д. Гидравлические вибраторы / В. Д. Варсанюфьев, О. В. Кузнецов. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 144 с.

8 Матвеев, И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия / И. Б. Матвеев. – М. : Машиностроение, 1974. – 184 с.

9 Олыштынский, Н. В. Исследование и создание гидравлического привода виброконвейера : дис. ... к.т.н. : 05.13.07 / Олыштынский Николай Васильевич. – Волгоград, 1999. – 178 с. – Библиогр. : с. 155-164.

10 Верняев, О. В. Активные рабочие органы культиваторов / О. В. Верняев. – М. : Машиностроение, 1983. – 80 с.

11 Третьяков, А. И. О полезной реализации энергии лесных почвообрабатывающих агрегатов при помощи вибрационных механизмов рабочих органов / А. И. Третьяков // Лес-2013 : материалы XIII международной научно-технической конференции. – Брянск. Режим доступа : http://science-bsea.bgita.ru/2013/les_2013/tretiyakov_pol.htm.

12 Александрян, К. В. Опыт создания конструкций виброприводов для

сообщения колебаний рабочим органам почвообрабатывающих машин / К. В. Александрян, Л. С. Хачатрян, О. А. Хачатрян // Материалы первой республиканской научно-технической конференции «Вибрация в машиностроении и сельскохозяйственной технике». – Ереван : АрмНИИМЭСХ, 1966. – С. 318-323.

13 Посметьев, В. И. Основные направления повышения эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, А. И. Третьяков, В. В. Посметьев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета / ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – Воронеж, 2013. – № 1. – С. 70-79.