DOI: 10.12737/14169
УДК 631.0.33: 634.958

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АГРЕГАТА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ ИЗ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ ПРИ РУБКАХ УХОДА

доктор сельскохозяйственных наук **Ю. М. Жданов**[1]
кандидат технических наук **Р. В. Юдин**[2]
кандидат технических наук **В. П. Попиков**[2]
Д. А. Канищев[2]
1 – ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации Россельхозакадемии, г. Волгоград, Российская Федерация
2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

При выращивании и эксплуатации насаждений важным лесоводственным мероприятием являются рубки ухода, которые включают: осветление, прочистку с вырубкой отдельных экземпляров деревьев, обрезку боковых ветвей и сухих вершин, обрезку кустарников и т.д. После проведения рубок ухода из лесной полосы необходимо удалить порубочные остатки и отдельные деревья. Выполнить это можно с помощью таких механизмов как стогометатель-погрузчик СНУ-550 или агрегат на базе трактора МТЗ-82, включающий фронтально размещенный подборщик-погрузчик ПП-2,1, а на задней гидравлической навеске трактора трелевщик ПТН 0,8 «Муравей». Повышение эксплуатационных характеристик гидропривода агрегата можно повысить эффективность и производительность лесных машин. Во время трелевки возникают большие динамические нагрузки, которые негативно воздействуют на гидропривод навесной системы трактора и захватного устройства. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение рекуперативного гидропривода. Нами предложено новое устройство для бесчокерной трелевки леса, содержащее дополнительный гидроцилиндр для рекуперации энергии колебаний челюстного захвата. Устойчивость к динамическим перегрузкам конструкции подборщика-погрузчика порубочных остатков ПП-2,1 во многом зависит от точек присоединения гидроцилиндров механизма подъема к подвижным и неподвижным элементам технологического оборудования. Предложена методика оптимизации положений точек присоединения гидроцилиндров механизма подъема, при которой учитывается то, что при использовании стандартных гидроцилиндров, имеющие определенные максимальную и минимальную длины и ход штока, при изменении расстояния от оси вращения стрелы до верхнего шарнира гидроцилиндра, также изменяется расстояние от оси вращения стрелы до нижнего шарнира гидроцилиндра. Испытания описанной технологии и агрегата, проведенные на участках защитных лесных насаждений, показали результаты, соответствующие исходным требованиям, что указывает на эффективность проводимых работ.

Ключевые слова: рабочие процессы, трелевка, лесотранспортная машина, пачка сортиментов, энергосберегающий гидропривод, гидроаккумулятор**.**

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE UNIT FOR REMOVAL OF LOGGING RESIDUES FROM THE FOREST FRINGE IN THE THINNIN

DSc in Agricultural **Yu. M. Zhdanov**[1]
PhD in Engineering **R. V. Yudin**[2]
PhD in Engineering **V. P. Popikov**[2]
D. A. Kanishev[2]
1 – GNU All-Russian Research Institute of agroforestry RAAS, Volgograd, Russian Federation
2 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

At cultivation and exploitation of forests is an important silvicultural thinnings, which include lighting, cleaning with the cutting of individual specimens of trees, pruning side branches and dry tops, pruning shrubs, etc. After the thinning of the forest zone is necessary to remove debris remains and some trees. Make it possible through such mechanisms as the stacker loader СНУ-550 or a unit on the basis of МТЗ-82, including pick-frontally positioned loader ПП-2.1, and on the back of the tractor hydraulic skidder ПТН 0.8 "Ant." Improving the performance of the hydraulic drive unit can improve the efficiency and productivity of forest machines. During skidding appear high dynamic loads, which negatively affect the hydraulic system of the tractor and mounted gripper. One solution to this problem is the use of regenerative hydraulic drive. We have proposed a new device for beschokernoy skidding, containing an additional cylinder for energy recovery fluctuations grapple. Resistance to dynamic overload the pick-loader design forest residues ПП-2.1 depends on the connection points of hydraulic cylinders lifting mechanism to the movable and fixed elements of the process equipment. The technique of optimization of the provisions of attachment points of hydraulic cylinders lifting mechanism, which takes into account, the fact that using standard cylinders with certain minimum and maximum length and stroke, when the distance from the axis of rotation of the boom to the upper hinge cylinder also changes the distance from the axis of rotation of the boom to the lower hinge cylinder. The tests described and tech-nology unit carried out in the areas of protective forest plantations, showed results that match the original requirements, which indicates the effectiveness of the work.

Keywords: workflow, skidding, lesotransportnaya car pack assortments, energy-saving hydraulic accumulators.

Одним из важнейших лесоводственных мероприятий в процессе выращивания и эксплуатации насаждений являются рубки ухода. В различные периоды жизни они включают: осветление и прочистку с вырубкой отдельных экземпляров деревьев, обрезку боковых ветвей и сухих вершин, обрезку кустарников и т.д. [1, 2, 5, 6].

После проведения рубок ухода из лесной полосы необходимо удалить порубочные остатки и отдельные деревья. Выполнить это можно с помощью таких механизмов как стогометатель-погрузчик СНУ-550 или агрегат на базе трактора МТЗ-82, включающий

фронтально размещенный подборщик-погрузчик ПП-2,1 [3], а на задней гидравлической навеске трактора трелевщик ПТН 0,8 «Муравей» (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Агрегат для удаления порубочных остатков из лесной полосы: а) подборка порубочных остатков и трелевка деревьев; б) имитация погрузки порубочных остатков орудием ПП-2,1

В технологический цикл работы подборщика-погрузчика ПП-2,1 входит ряд операций с определенной затратой времени на их выполнение:

заезд агрегата в междурядье лесополосы – $t_{з.аг.}$;

опускание подборщика в рабочее положение – $t_{оп.под.}$;

сбор порубочных остатков – $t_{сб.п.о.}$;

подъем заполненного подборщика с земли - $t_{под.}$;

выезд из междурядья – $t_{в.}$;

подъезд к транспортному средству – $t_{под.т.с.}$;

выгрузка порубочных остатков в транспортное средство – $t_{за.з.}$;

вывод подборщика-погрузчика в транспортное положение – $t_{тр.п.}$

Время, затраченное на цикл работы по сбору порубочных остатков в лесополосе, вывозу их оттуда и выгрузке на транспортное средство будет равно:

$$T= t_{з.аг.}+ t_{оп.под.}+ t_{сб.п.о.}+ t_{под.}+ t_{в.}+ t_{под.т.с.} + t_{за.з.}+ t_{тр.п.} \quad (1)$$

В свою очередь длительность каждого индивидуального элемента цикла зависит от воздействия определенных факторов, а именно: от размера порубочных остатков – диаметра $D_{п.о.}$ и длины – $l_{п.о.}$, угла их расположения – α в междурядье или закрайке, конструктивных параметров подборщика-погрузчика (его вместимости – W, веса G и др.), параметров гидропривода (давления P и расхода Q рабочей жидкости), скорости перемещения агрегата – V, и т. д.

Тогда производительность технического средства за технологический цикл можно найти по формуле:

$$П_ц=1/T \text{ или } П_ц=1/t\ . \quad (2)$$

На основании этого можно записать функционал:

$$t_i=F\ (D_{п.о.}, l_{п.о.}, \alpha, W, G, P, Q, V, \ldots). \quad (3)$$

Откуда, цикловая производительность технического средства может быть определена из выражения:

$$П_ц=1/F(D_{п.о.}, l_{п.о.}, \alpha, W, G, P, Q, V, \ldots). \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что если параметры $D_{n.o.}, l_{n.o}$ и α не зависят от конструкции устройства, а W и G постоянны, то параметры P,Q и V можно менять в процессе работы или при модернизации гидропривода, а значит влиять на производительность технического средства. На данный момент почти все машины, применяемые в лесном хозяйстве, оснащены гидравлическим оборудованием, поэтому повышение эксплуатационных характеристик гидропривода позволит повысить эффективность и производительность лесных машин.

Во время трелевки возникают большие динамические нагрузки, вследствие движения трактора по неровностям рельефа, и колебаний трелюемой пачки. Эти нагрузки негативно воздействуют на гидропривод навесной системы трактора и захватного устройства, что ведет к снижению надежности и производительности работы агрегата.

Одним из вариантов решения данной проблемы является применение рекуперативного гидропривода, что повышает эффективность работы и производительность трелевочных захватных устройств. Устройство для бесчокерной трелевки леса содержит (рис. 2) раму *1*, захват *2* с двумя челюстями *3* и гидроцилиндром *4*. Челюстной захват смонтирован на навесной системе трактора *5*, включающей верхнюю *6* и нижнюю *7* тяги, а также гидроцилиндр *8*. Захват *2* посредством двухшарнирного звена *9* связан с одним из концов двуплечего рычага *10*, который шарнирно закреплен на раме *1*. Между вторым свободным концом двуплечего рычага *10* и рамой *1* шарнирно установлен дополнительный гидроцилиндр *11* длярекуперирования энергии колебаний челюстного захвата. Между рамой *1* и двуплечим рычагом *10* установлены пружины *12*, фиксирующие двуплечий рычаг *10* в нейтральном положении и обеспечивающие ему повороты из этого положения в обе стороны под воздействием знакопеременных нагрузок со стороны захвата *2*. Для предотвращения поломок пружин *12* и гидроцилиндра *11* в крайних положениях двуплечего рычага *10* предусмотрены ограничительные шпильки *13*. Использование в устройстве двухшарнирного звена *9* позволяет снизить нагрузки на звенья навесного механизма при маневрировании трактора на вырубке. Кроме этого повышается эффективность удержания пачки деревьев за счет обеспечения поворота захвата *2* относительно горизонтальной оси двухшарнирного звена *9* и лучшего сцепления рабочих поверхностей челюстей *3* с комлевой частью трелюемых деревьев.

Гидропривод трелевочного устройства состоит из рекуперативной системы *14*, гидроцилиндра *4* челюстного захвата, гидроцилиндра *8* навесного механизма трактора, гидрораспределителя *15* и насосно-аккумуляторного узла *16*. Рекуперативная система *14* устройства включает гидроцилиндр *11* с присоединительными гибкимитрубопроводами *17* и *18*, а также обратные клапаны *19* и *20*. Насосно-аккумуляторный узел *16* включает насос *21*, гидробак *22*, фильтр *23*, обратный клапан *24*, гидроаккумулятор *25* и разгрузочного автоматического клапана *26*. Последний включает в себя обратный *27*, разгрузочный *28* и предохранительный *29* клапаны. Все системы гидропривода соединены между собой напорной *30* и сливной *31* гидрома-

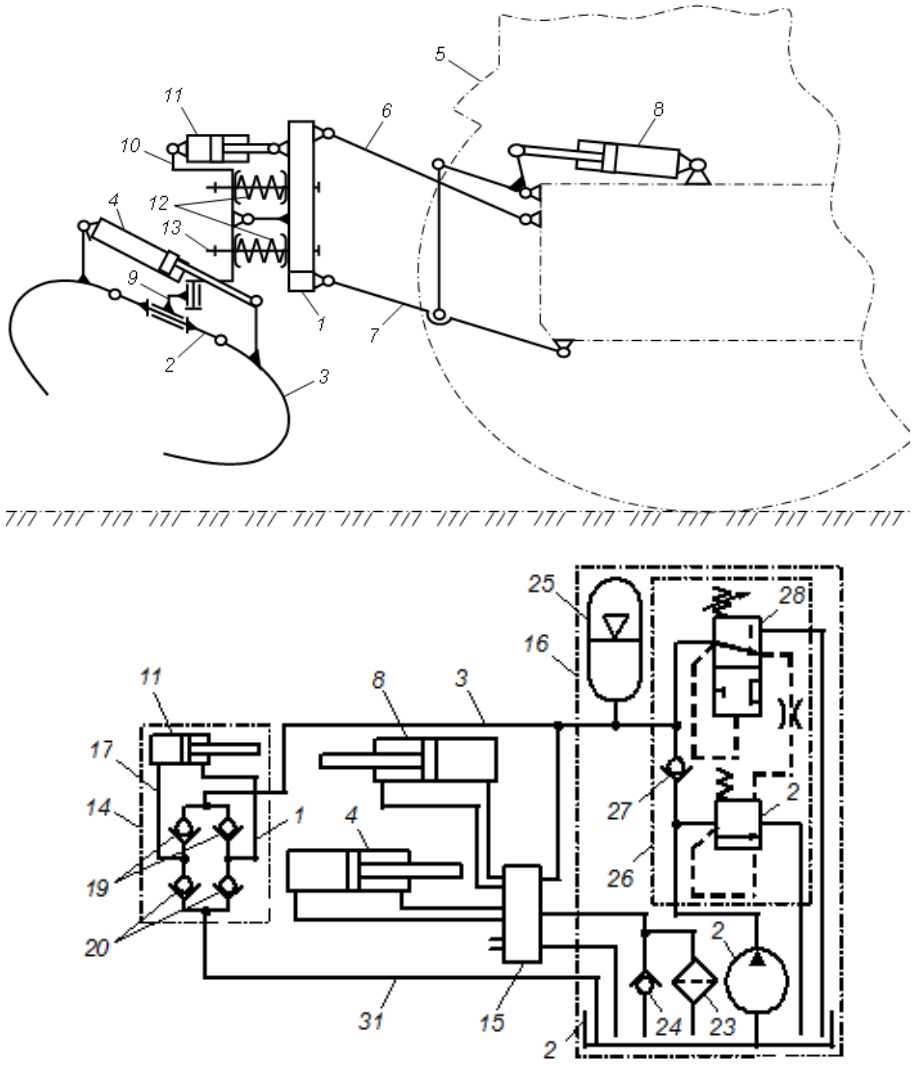


Рис. 2. Схемы кинематическая и гидравлическая энергосберегающего устройства для бесчокерной трелевки леса

гистралями. Трелевочное устройство работает следующим образом. Трактор *6* с поднятым захватом *2* и раскрытыми челюстями *3* задним ходом перемещается в положение, при котором захват *2* находится над комлевой частью срезанных деревьев.

Затем с помощью одной из секций гидрораспределителя *15* включается гидроцилиндр *8* навесного механизма и захват *2* опускается на срезанные деревья и прижимает их к земле. После этого с помощью другой секции гидрораспределителя *15* включается гидроцилиндр *4* захвата *2*, челюсти *3* которого сжимают комли деревьев с боков, формируя пачку. Далее включается гидроцилиндр *8* навесного механизма и происходит подъем захвата с пачкой деревьев в транспортное положение. При трелевке происходят неизбежные колебания пачки деревьев в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в результате чего подпружиненный двуплечий рычаг *10* совершает крутильные колебания относительно своего шарнира, закрепленного на раме *1* устройства. При этом верхний конец двуплечего рычага *10*, соединенный с одним из концов гидроцилиндра *11* системы рекуперации энер-

гии, обеспечивает возвратно-поступательное движение цилиндра относительно поршня. При вдвигании поршня в цилиндр рабочая жидкость вытесняется из поршневой полости гидроцилиндра *11* по гибкому трубопроводу *17* через обратный клапан *19* в напорную гидромагистраль *30*, подзаряжая таким образом гидроаккумулятор *25*. В это же время, за счет разряжения, штоковая полость гидроцилиндра *11* заполняется рабочей жидкостью из гидробака *22* через сливную гидромагистраль *31*, обратный клапан *20* и гибкий трубопровод *18*. Аналогично, при выдвижении поршня из цилиндра, рабочая жидкость из штоковой полости гидроцилиндра *11* вытесняется в гидроаккумулятор *25* через гибкий трубопровод *18*, обратный клапан *19* и напорную гидромагистраль *30*, а поршневая полость за счет разряжения заполняется рабочей жидкостью из гидробака *22* через сливную гидромагистраль *31* и обратный клапан *20*.

В процессе работы гидропривод трактора и устройства бесчокерной трелевки леса защищен от превышения заданной величины давления, при полностью заряженном гидроаккумуляторе *25*, с помощью разгрузочного *28* и предохранительного *29* клапанов насосно-аккумуляторного узла *16*. В случае недостаточной заряженности гидроаккумулятора *25* и снижения в нем давления ниже допустимого, бесперебойную работу гидропривода обеспечивает гидронасос *21* через нормально открытый обратный клапан *27*. Проведенные нами исследования показали, что за счет применения рекуперативного гидропривода можно добиться уменьшения энергоемкости трелевки древесины на 22 % .

Надежность, прочность и устойчивость к динамическим перегрузкам конструкции подборщика-погрузчика порубочных остатков ПП-2,1 во многом зависит от точек присоединения гидроцилиндров механизма подъема к подвижным и неподвижным элементам технологического оборудования. Расчетная схема механизма подъема подборщика-погрузчика порубочных остатков ПП-2,1 приведена на рис. 3. Пренебрегая потерями на трение, запишем систему дифференциальных уравнений движения стреловой группы погрузчика с учетом сил инерции и расхода рабочей жидкости в виде:

$$\begin{aligned}
&(J_c + ml^2)\frac{d^2\phi}{dt^2} = \frac{\pi d_{nc}^2}{4} P\, b_1 \sin\beta_1 - \\
&-g(ml + m_c l_{ЦМc})\cos\phi. \\
&Q\ K_t = \frac{\pi d_{nc}^2}{4} b_1 \sin\beta_1 \frac{d\phi}{dt} + \\
&+a_y P + K_p \frac{dP}{dt},
\end{aligned} \qquad (5)$$

где Q – номинальная производительность насоса, м^3/с;

K_t – коэффициент нарастания подачи рабочей жидкости;

t – время, с;

J_c – момент инерции стреловой группы относительно шарнира 0, кг-м^2;

m – масса груза, кг;

l – вылет стрелы, м;

g – ускорение сил тяжести, м/с^2;

b_1 – плечо приложения усилия гидроцилиндра, м;

m_c – масса стреловой группы, кг;

$l_{цмс}$ – расстояния от шарнира 0 до центра масс стреловой группы, м;

β_1 – текущее значение угла между осями звеньев ОА и АВ, град., которое определяется по формуле:

$$\sin\beta_1 = \frac{a_1 \cdot \sin(\gamma + \varphi)}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \cos(\gamma + \varphi)}}; \qquad (6)$$

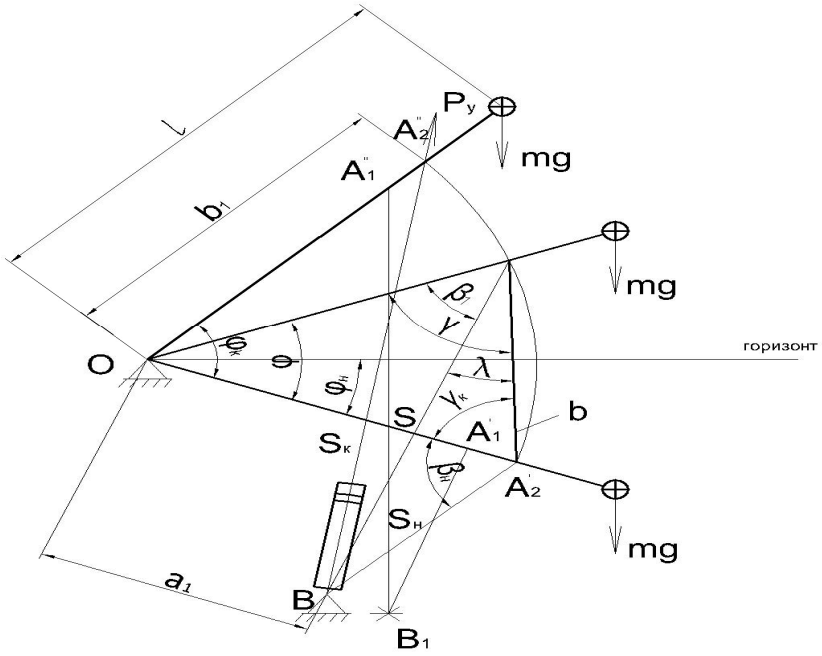


Рис. 3. Расчетная схема механизма подъема стрелы

$K_t = t/t_H$ при $t < t_H$; $K_t = 1$ при $t >= t_H$;

t_H – время нарастания расхода рабочей жидкости от 0 до номинального значения Q_H .

Коэффициент податливости упругих элементов гидропривода рассчитывается по эмпирической зависимости, полученной экспериментальным путем:

$$K_p = \frac{10^{-5}}{7{,}28 \cdot P + 106},\ м^5 / Па. \qquad (7)$$

Для решения данной системы дифференциальных уравнений составлена программа на языке программирования «Delphi» и реализована на ЭВМ (№ гос. Регистрации 2008613437).

Однако в этой программе переменным параметром является только b_1 - расстояние от оси вращения стрелы до верхнего шарнира гидроцилиндра, а расстояние a_1 от оси вращения стрелы до нижнего шарнира гидроцилиндра остается постоянным, что не соответствует действительности. При использовании стандартных гидроцилиндров, которые имеют определенные максимальную и минимальную длины и ход штока, при изменении расстояния b_1 от оси вращения стрелы до верхнего шарнира гидроцилиндра, также изменяется расстояние от оси вращения стрелы до нижнего шарнира гидроцилиндра. Чтобы устранить недостаток математической модели, ее следует дополнить следующими зависимостями (обозначение параметров см. рис. 3):

$$h = b_1 \sin\beta, \qquad (8)$$

где h – плечо усилия на штоке гидроцилиндра относительно шарнира O, остальные обозначения параметров.

$$\beta = \gamma - \lambda, \qquad (9)$$

$$\lambda = arc\sin\frac{S_н}{S}\sin(\beta_н + \gamma), \qquad (10)$$

$$S^2 = b^2 + S_н^2 - 2bS_н\cos(\beta_н + \gamma_к), \qquad (11)$$

$$b = 2b_1\sin\frac{\varphi}{2}, \qquad (12)$$

$$\beta_н = arc\cos\frac{b_к^2 + S_н^2 - S_к^2}{2b_к S_н} - \gamma_к, \qquad (13)$$

$$b_к = 2b_1 \sin\frac{\varphi_к}{2}, \qquad (14)$$

$$\gamma_к = 90 - \frac{\varphi_к}{2}, \qquad (15)$$

Подставляя в приведенные формулы разные значения длины отрезка b_1 и величины угла φ, определяем для каждого варианта длины b_1 при каких значениях угла φ сила на штоке гидроцилиндра имеет максимальную величину. Для разных вариантов длины отрезка b_1 будет иметь различное значение. Перебрав все варианты длины отрезка b_1, что можно сделать с помощью ЭВМ, выбирают такое из них, в котором сила на штоке гидроцилиндра имеет наименьшую величину. Следует отметить, что при решении данной задачи нет необходимости изменять величину второго параметра, характеризующего положение гидроцилиндра, так как каждому конкретному значению длины b_1 соответствует при заданных начальной длины стандартного гидроцилиндра $S_н$ и конечной длины $S_к$ соответствует определенная величина a1, что определяется анализом приведенных выше формул и легко доказывается геометрическим построением. На лучах, соответствующих крайним верхнему и нижнему положениям стрелы, откладывают величину отрезка b_1.. Из полученных точек проводят окружности радиусом $S_н$ и $S_к$. Нижняя точка пересечения этих окружностей и есть точка Б.

Оптимизация положений точек присоединения гидроцилиндров механизма подъема к подвижным и неподвижным элементам технологического оборудования подборщика-погрузчика порубочных остатков ПП-2,1 позволяет снизить всплески давления рабочей жидкости P при подъеме груза 10-15 % [4].

Испытания описанной технологии и агрегата, проведенные на участках защитных лесных насаждений (с шириной междурядий 3,0-4,0 м, высотой деревьев 6,0-10,0 м, кустарников 1,5-2,5 м), состоящих из вяза мелколистного, клена ясенелистного, смородины золотой и жимолости, показали результаты, соответствующие исходным требованиям, что указывает на эффективность проводимых работ.

Библиографический список

1. Агролесомелиорация [Текст] / под ред. акад. РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. – изд. 5-е, перераб. и допол. – Волгоград, 2006. – С. 508-509.

2. Жданов, Ю.М. Технологии и средства механизации агролесомелиоративных работ [Текст] / Ю.М. Жданов, И.М. Бартенев. – Волгоград, ВНИАЛМИ, 2011. – С. 148-168.

3. Совершенствование средств для технологических перевозок при техническом сервисе в сельском хозяйстве [Текст] / Д.Н. Афоничев, О.И. Поливаев, В.В. Труфанов, А.В. Ворохобин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2. – С. 103-106.

4. Попиков, П.И. Оптимизация положений гидроцилиндров с учетом инерционных нагрузок и податливости гидропривода [Текст] / П.И. Попиков, А.В. Крутцких, В.П. Попиков, Р.В. Юдин // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Российской Академии естественных наук Воронежской государственной лесотехнической ака-

демии. – 2002. – Вып. 4. – Ч. 2. – С. 136-143.

5. Патент на изобретение 2294613 РФ, МПК A01B 63/10, A01B 63/112, A01B 63/111 Рекуперативный гидропривод почвообрабатывающего агрегата [Текст] / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.В. Посметьев, В. С. Кухарев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2005124070/12; заяв.28.07.2005; опубл.10.03.2007, Бюл. – №7.

6. Смоляницкий, Э.А. Рекуперативный насосно-аккумуляторный гидропривод для мобильных машин-орудий циклического действия [Текст] / Э.А Смоляницкий. – СДМ. 2007. – № 5. – С. 3-10.

7. Афоничев, Д.Н. Оптимизация функции нескольких переменных в системе автоматизированного проектирования [Текст] / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев, И.И. Аксенов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – Вып. 4. – С. 9–11.

8.Никитин, А.А. Влияние нерастворенного газа в рабочей жидкости на динамику гидропривода лесопогрузчика [Текст] / А.А. Никитин, Мандраков Е.А. // Известя Томского политехнического университета. – 2014. – № 2. – С. 65-71

9. Zelikov, V.A. Substantiation Based on Simulation Modeling of Hitch for Tillage Tools Parameters [Электронныйресурс] / V.A. Zelikov, V.I. Posmetiev, M.A. Latysheva // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30. – № 4. – pp. 486-492. – Режим доступа: http://idosi.org/wasj/wasj30%284%2914/17.pdf.

10. Volodenkov, S.V. Increasing the stability of constant-speed hydromechanical systems [Text] / S.V. Volodenkov, K.I. Liutin, E.E. Chugunova // Russian Engineering Research. – 2013. – Vol. 33. – no. 9. – C. 505-508.

11. Заболоцкий, М.М. Совершенствование гидравлических систем техники «Белаз» [Текст] / М.М. Заболоцкий, В.А. Чайко // Gornyi Zhurnal. – 2013. – no. 1. – С. 67-69

References

1. Ivanov A.L., Kulik K.N. *Agrolesomelioracija* [Agroforestry]. Volgograd, 2006, pp. 508-509. (In Russian).

2. Zhdanov Yu.A., Bartenev I.M. *Tehnologii i sredstva mehanizacii agrolesomeliorativnyh rabot* [Technology and means of mechanization agronome-ligating works]. Volgograd, 2011, pp. 148-168. (In Russian).

3. Afonichev D.N., Polyview O.I., Trufanov V.V., Morkovin A.V. *Sovershenstvovanie sredstv dlja tehnologicheskih perevozok pri tehnicheskom servise v sel'skom hozjajstve* [Improvement funds for technological transport at the technical service in agriculture]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Herald of the Voronezh state agrarian University]. 2012, no. 2, pp. 103-106. (In Russian).

4. Popikov P.I., Krutskikh A.V., Parsons V.P., Yudin R.V. *Optimizacija polozhenij gidrocilindrov s uchetom inercionnyh nagruzok i podatlivosti gidroprivoda* [Optimization of the provisions of the cylinders taking into account the inertial loads and compliance of the hydraulic]. *Vestnik Central'no-Chernozemnogo regional'nogo otdelenija nauk o lese Rossijskoj Akademii estestvennyh*

nauk Voronezhskoj gosudarstvennoj lesotehnicheskoj akademii [Bulletin of the Central black soil regional office of forest Sciences of the Russian Academy of natural Sciences, Voronezh state forestry Academy]. 2002, Vol. 4, Part 2, pp. 136-14. (In Russian).

5. Posmet'ev V.I., Tarasov E.A., Posmet'ev V.V., Kuharev V.S. *Rekuperativnyj gidroprivod pochvoobrabatyvajushhego agregata* [Regenerative hydraulic tilling unit]. Patent RF, no. 2294613, 2005

6. Smolyanitsky E.A. *Rekuperativnyj nasosno-akkumuljatornyj gidroprivod dlja mobil'nyh mashin-orudij ciklicheskogo dejstvija* [Regenerative pump-and-accumulator for hydraulic mobeater machine-guns cyclic action]. SDM, 2007, no. 5, pp. 3-10. (In Russian).

7. Afonichev D.N., Piljaev S.N., Aksenov I.I. *Optimizacija funkcii neskol'kih peremennyh v sisteme avtoma-tizirovannogo proektirovanija* [Optimization of functions of several variables in the system automati-titiraupenga design]. *Modelirovanie sistem i processov* [Modeling of systems and processes]. 2014, Vol. 4, pp. 9-11. (In Russian).

8.Nikitin A.A., Mandrakov E.A. *Vlijanie nerastvorennogo gaza v rabochej zhidkosti na dinamiku gidroprivoda lesopogruzchika* [Influence of undissolved gas in the working fluid on the dynamics of a hydraulic drive logger]. *Izvestja Tomskogo politehnicheskogo universiteta* [Lime Tomsk Polytechnic University]. 2014, no. 2, pp. 65-71. (In Russian).

9. Zelikov V.A., Posmetiev V.I., Latysheva M.A. Substantiation Based on Simulation Modeling of Hitch for Tillage Tools Parameters. World Applied Sciences Journal, 2014, Vol. 30, no. 4, pp. 486-492. Available at: http://idosi.org/wasj/wasj30%284%2914/17.pdf.

10. Solodenko.In. Increasing the stability of constant-speed hydromechanical systems. Solodenko.In., Luting.And., Chugunova.E. Russian Engineering Research, 2013, Vol. 33, no. 9, pp. 505-508.

11. Zabolockij, M.M., Chajko V.A. Improvement of hydraulic systems of equipment of "BelAZ". Gornyi Zhurnal, 2013, no. 1, pp. 67-69

Сведения об авторах

Жданов Юрий Михайлович – главный научный сотрудник отдела защиты почв от эрозии и дифляции, механизации агролесомелиоративных работ ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации Россельхозакадемии, доктор сельскохозяйственных наук, г. Волгоград, Российская Федерация; e-mail: umjdanov@yandex.ru

Юдин Роман Викторович – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Попиков Виктор Петрович – доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: land_vor@mail.ru.

Канищев Денис Александрович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kanishef@.gmail.com.

Information about authors

Zhdanov Yury Mikhailovich – Chief Researcher at the Department of protection of soil from erosion and diflyatsii mechanization agroforestry work on GNU-Russian Science and Research Institute of agroforestry RAAS, DSc in Agricultural, Volgograd, Russian Federation; e-mail: umjdanov@yandex.ru

Yudin Roman Viktorovich – Associate Professor of Forestry Mechanization and Machine Design department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Popikov Viktor Petrovich – Associate Professor of Landscape Architecture and Soil Science department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: land_vor@mail.ru.

Kanishchev Denis Aleksandrovich – post-graduate student of Forestry Mechanization and Machine Design department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: kanishef@.gmail.com.

DOI: 10.12737/14170
УДК630*232

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛАСТА ВЫКОПОЧНОЙ МАШИНОЙ С АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

доктор сельскохозяйственных наук **В. И. Казаков**[1]
кандидат технических наук **И. В. Казаков**[2]
1 – ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», г. Пушкино, Российская Федерация
2 – ФБУ «Авиалесоохрана» г. Пушкино, Российская Федерация

Одной из наиболее важных технологических операций при выращивании посадочного материала для лесовосстановления является его выкопка. Для этой цели используются различные механизмы, основным недостатком большинства которых является низкое качество отряхивания почвы от корневых систем растений и обрыв тонких корней. В наибольшей мере требованием выкопки растений отвечают машины с активными рабочими органами, которые имеют привод от вала отбора мощности трактора. Особенностью конструкции таких машин являются рабочие органы, выполненные в виде подрезающего ножа, бил и отряхивателей и обеспечивающие разрушение почвенного пласта и отделения почвы от корневой системы растений. В статье приведены результаты аналитических исследований процесса разрушения почвенного пласта при выкопке посадочного материала машиной с активными рабочими органами в виде бил и отряхивателей. Предложены аналитические зависимости для определения наибольшего изгибающего момента, возникающего при разрушении почвенного пласта. Обосновано условие, позволяющее гарантировать разрушение пласта почвы и