

Бартенев Иван Михайлович – профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: kafedramehaniza@mail.ru

Information about authors

Pryadkin Vladimir Ilyich – Professor Department of Machines and Service, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Engineering), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: sorkol@mail.ru.

Bartenev Ivan Mikhailovich – Professor of Forestry Mechanization department, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

DOI: 10.12737/article_5c1a320a64e545.77850234

УДК 630*4

ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ФРЕЗЕРНЫХ МАШИН ОТ ПЕРЕГРУЗОК С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

кандидат технических наук **П. Н. Щерблыкин¹**

кандидат технических наук **Р. Г. Боровиков¹**

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

В статье представлены основные положения, на которые следует опираться при разработке конструктивных решений приводных узлов лесохозяйственных машин включающих в свою конструкцию предохранительные устройства позволяющих защищать их по крутящему моменту. Отмечено, что особое внимание при конструировании необходимо уделять снижению динамических нагрузок, возникающих в процессе нормальной эксплуатации в течение всего времени работы ротационной лесохозяйственной машины и возникающих при перегрузках в результате срабатывания их предохранительных устройств. Показано, что предохранительные устройства необходимо устанавливать как можно ближе к рабочему органу или непосредственно в нем, без изменения кинетической энергии движущих масс фрезерного барабана. Так же представлены и описаны основные характеристики и виды неметаллических упругих элементов, которые в совокупности с фрикционными элементами, представляющими собой отдельные вкладыши, позволяют преобразовывать обычные предохранительные устройства в упругопредохранительные, и следовательно в дальнейшем применяться при создании новых конструктивных решений ротационных лесохозяйственных машин с активными рабочими органами и их предохранительными устройствами позволяющими уменьшать жесткость и диссипацию системы с достаточной простотой и наименьшими затратами.

Ключевые слова: предохранительное устройство, упругий элемент, перегрузка, конструкция.

PROVISIONS AND REQUIREMENTS FORMED DURING DEVELOPMENT OF SECURITY FACILITIES WITH ELASTIC ELEMENTS TO PROTECT MILLING MACHINES FROM OVERLOADS

PhD (Engineering) **P. N. Shcheblykin¹**

PhD (Engineering) **R. G. Borovikov¹**

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

The article presents the main provisions on which to rely in the development of design solutions for drive units of forestry machines incorporating safety devices in their construction that allow them to be protected by torque. It is noted that, in designing, it is necessary to pay special attention to reducing the dynamic loads that occur during normal

operation during the entire operating time of a rotating forestry machine and occurring during overloads as a result of the operation of their safety devices. It is shown that safety devices must be installed as close as possible to the working body or directly on it, without changing kinetic energy of driving masses of milling drum. The main characteristics and types of non-metallic elastic elements are also presented and described. Together with the friction elements, which are separate liners, you can convert conventional safety devices into elastic safety devices, and therefore will be further used to create new structural solutions of rotary forestry machines with active working bodies and their safety devices allowing reducing rigidity and dissipation of the system with sufficient simplicity and the lowest cost.

Keywords: safety device, elastic element, overload, construction.

Введение. Все стадии разработки конструктивного решения узла или самой лесохозяйственной машины, включающего предохранительное устройство, связаны с решением комплексной задачи, суть которой заключается в том, что технические объекты необходимо рассматривать в виде единой системы взаимно связывающей лесохозяйственную машину, предохранительное устройство и его элементы, внешней средой, величину и характер изменения внешних и внутренних нагрузок, погодноклиматические условия и другие факторы. При этом разрабатываемая конструкция предохранительного устройства, учитывая, что в такой системе оно является основным ее составляющим, так как представляет главное звено, защищающее машину от перегрузок, должно удовлетворять основным лесотехническим требованиям. Естественно, учесть все факторы невозможно. Необходимо проводить анализ условий работы лесохозяйственных машин в реальных условиях, выявлять какие из них являются преобладающими и каковы их качественные и количественные характеристики. Очевидно, что преобладающим следует считать динамические нагрузки, возникающие при работе любой лесохозяйственной машины, в том числе и фрезерной, которые оказывают значительное влияние на прочность машины, а следовательно, и ее надежность.

Материалы и методы. Действующие на лесохозяйственную фрезерную машину динамические нагрузки можно разделить на два типа [1]:

- первый тип таких нагрузок соответствует периоду нормальной эксплуатации в течение всего времени работы, который подчиняется в основном закономерностям случайных явлений;

- второй тип нагрузок возникает при перегрузках в результате срабатывания предохранительных муфт, их относят к кратковременным динамическим нагрузкам (в период пуска и торможения также возник-

ают динамические нагрузки, но они ограничиваются предохранительными устройствами);

Величина динамических нагрузок фрезерных лесохозяйственных машин зависит от характера изменения нагрузки, наличия предохранителя, места его установки, моментов инерции масс и жесткости линий передач. Многие исследователи считают, что основным путем снижения динамических нагрузок является уменьшение моментов инерции масс и жесткости линий передач, отдавая предпочтение снижению жесткости системы. Можно также осуществлять снижение динамических нагрузок за счет рационального соотношения между жесткостями и моментами инерции масс. Однако такая задача затруднена ввиду возможного нарушения технологического процесса [2, 3].

С точки зрения снижения динамических нагрузок при перегрузках (кратковременных динамических нагрузок) необходимо, чтобы одновременно с возникновением перегрузки рабочих органов нагрузка на предохранитель соответствовала нагрузке (или моменту) срабатывания, то есть предохранительная муфта должна быть, как можно ближе установлена к рабочему органу или непосредственно в рабочем органе. С этих позиций конструкция фрезерного барабана рациональна, потому что его предохранители установлены именно в каждом рабочем органе. Это видно, если привести зависимость по определению величины момента на предохранителе в период перегрузки [4].

$$M_{кр} = \frac{M_1 I_2 + M_2 I_1}{I_1 + I_2} \gamma_D, \quad (1)$$

где M_1 – момент движущих сил,

M_2 – момент сопротивления;

I_1 и I_2 – приведенные моменты инерции ведущих и ведомых масс;

γ_D – коэффициент динамичности.

Приближая предохранительную муфту к концу кинематической цепи (рабочему органу фрезерной лесохозяйственной машины) увеличивается I_1 и уменьшается I_2 , а I_1 меньше отличается от I_2 .

При работе фрезерной лесохозяйственной машины вследствие неоднородности обрабатываемого грунта и его неровной поверхности возникают неравномерные сопротивления, что способствует к переменной нагруженности двигателя, выражающейся в значительных отклонениях крутящего момента на валу фрезерного барабана. Особенно это сказывается при возникающих кратковременных перегрузках (в момент встречи рабочих органов с пнями, крупными корнями и др.), которые не должны вызывать остановку двигателя или приводить к переключению на более низкие скорости. Такие явления должны преодолеваться за счет кинетической энергии движущих масс. В этом случае фрезерный барабан должен иметь рациональную величину момента инерции. Следовательно, момент инерции барабана определенный по зависимостям, не может быть уменьшен, так как кинетической энергии будет недостаточно для преодоления отрицательных явлений, вызываемых кратковременными перегрузками.

Снижение динамических нагрузок возможно осуществить за счет снижения диссипации системы. Однако изменение демпфирующих сопротивлений в большинстве случаев требует дополнительных узлов или приспособлений, что не всегда оправдано по конструктивным или другим соображениям.

Результаты и обсуждения. В [1] отмечено, что для лесохозяйственных машин более целесообразно снижать динамические нагрузки уменьшением жесткости системы, что должно быть осуществлено с достаточной простотой и наименьшими затратами. Причем, в этом случае надо стремиться к одновременному снижению обоих типов динамических нагрузок как кратковременных, так и длительных. Это возможно осуществить за счет введения упругого элемента в конструкцию предохранительной муфты, то есть преобразованием ее в упругопредохранительную муфту. Известны многие конструкции упругопредохранительных муфт [1, 5]. Но, как правило, они выполнены отдельным узлом и их невозможно вписать непосредственно в рабочие органы фрезерных лесохозяйственных машин (как они до сих пор и выполнялись). С этой целью предла-

гается вводить в конструкцию предохранительной муфты такой упругий элемент, который бы выполнял одновременно несколько функций [1]. Причем здесь следует отметить, что большое значение будет иметь место установки упругого элемента в предохранительной муфте: в ведомых ее частях или в ведущих, так как динамические нагрузки в этих случаях будут не одинаковы. Если упругие элементы будут установлены в ведущих частях, то снижение произойдет в основном только длительных динамических нагрузок. Постановка же упругих элементов в ведомых частях обеспечит снижение и кратковременных динамических нагрузок, возникающих при срабатывании предохранительной муфты, и длительных динамических нагрузок, действующих на протяжении всего нормального периода эксплуатации.

Принципиальные конструктивные схемы предохранительных муфт с упругим элементом, выполняющим несколько функций, приведены в работе [5, 6, 7]. Предлагается два варианта таких муфт кулачковые и фрикционные, у которых нажимной элемент (пружина), создающий усилие на рабочих поверхностях, используется одновременно для передачи крутящего момента (выполняет роль упругой связи). Однако такие предохранительные муфты, как и обычные упругопредохранительные, не вписываются в рабочие органы фрезерных лесохозяйственных машин. Кроме того, они не обладают демпфирующей способностью, имеют линейные характеристики и не позволяют выходить из резонансного состояния, если оно по каким-то причинам может возникнуть.

Очевидно, для этих целей лучше использовать неметаллические упругие элементы, в качестве которых в настоящее время в основном используют резину, потому что она обладает:

- высокой эластичностью;
- высокой демпфирующей способностью;
- электроизоляционной способностью.

Кроме того, упругие элементы из резины по сравнению с металлическими, проще и дешевле в изготовлении. Резина допускает относительные деформации, что позволяет аккумулировать большое количество энергии – в 10 раз больше, чем сталь. Причем, относительное рассеивание энергии (за счет внутреннего трения) может достигать 0.3-0.5. К достоинствам можно отнести и то, что в муфтах, имею-

щих резиновые упругие элементы, отсутствуют трущиеся поверхности.

К недостаткам резиновых упругих элементов относится меньшая их прочность, что приводит к увеличению габаритов конструкций. Однако этот недостаток может быть значительно устранен армированием упругих элементов.

В современных конструкциях, предназначенных для передачи крутящих моментов, используются в основном типы резиновых упругих элементов, которые приведены на рис. 1. Какой из представленных упругих элементов следует выбрать и каким образом ввести его в конструкцию предохранительных муфт рабочих органов фрезерной лесохозяйственной машины, будет сказано ниже.

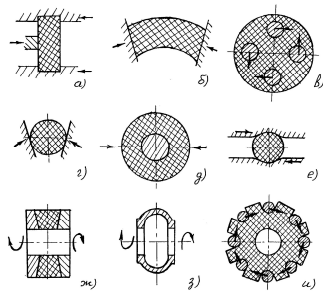


Рис. 1. Типы резиновых упругих элементов (стрелками показаны схемы их нагружения)

Надежная защита фрезерных лесохозяйственных машин во многом зависит от формы и материала фрикционных элементов предохранительных муфт. В основном для защиты ротационных лесохозяйственных машин от перегрузок применяют предохранительные муфты, встроенные в их рабочие органы, которые имеют фрикционные элементы в виде сплошных кольцевых плоских дисков. Однако, как отмечено в работе [8, 10, 11, 12, 13], более целесообразно использовать фрикционные элементы в виде вкладышей.

Применение вкладышей позволяет

- создание лучших, условий для охлаждения поверхностей трения;
- возможность самоустановки;
- более упрощенно производить замену изношенных фрикционных элементов при ремонте или техническом обслуживании.

Кроме того, использование фрикционных элементов в виде вкладышей (то есть разделение одного из тел соприкосновения на отдельные части) увеличи-

вают фактическую площадь поверхностей трения. Это приводит к увеличению коэффициента трения, а следовательно, и силы трения (при одной и той же нагрузке), что видно из формулы, приведенной в [9].

$$f = \frac{\alpha F_{\phi}}{N} \beta, \quad (2)$$

где α и β – константы для конкретной пары трения;

F_{ϕ} – фактическая площадь касания;

N – нормальная нагрузка.

Различные формы фрикционных вкладышей, которые наиболее часто встречаются в узлах трения, приведены на рис 2. Анализ приведенных вкладышей показал, что наиболее подходящими для возможного их использования в предохранительных муфтах фрезерных лесохозяйственных машин являются цилиндрические вкладыши (рис. 1, д), как обладающие простотой в конструктивном исполнении и технологии изготовления. Такое решение позволяет выбрать и упругие элементы для преобразования предохранительных муфт в упругопредохранительные. Очевидно, что для этих целей подходят также наиболее простые из приведенных на рис. 2 упругие элементы, которые представляют резиновые втулки (рис. 2, д).

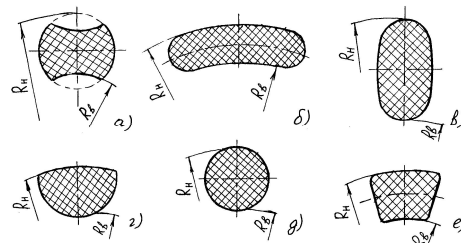


Рис. 2. Формы фрикционных вкладышей

При выборе материала фрикционных вставок необходимо ориентироваться на требования, предъявляемые к ним. Фрикционные материалы узлов трения различных машин должны обладать [8, 9]:

- достаточной механической прочностью;
- достаточной износостойкостью в широком диапазоне изменения температур, удельных давлений и скоростей скольжения;
- достаточной теплостойкостью, которая бы обеспечивала нормальную работоспособность узла при скольжении его элементов;

- стабильным и достаточно высоким коэффициентом трения в диапазоне рабочих температур, удельных давлений, скоростей нарастания нагрузки и скоростей скольжения;

- хорошей прирабатываемостью;
- несхватываемостью с сопряженным материалом;
- высокой теплопроводностью и теплоемкостью;
- неспособностью к намазыванию и наволакиванию на поверхность контртела;
- незначительной гигроскопичностью;
- коррозионной стойкостью;
- огнестойкостью;
- малой стоимостью.

Особое внимание при выборе фрикционных материалов для предохранительных муфт [9] следует обращать:

- на малую зависимость (или независимость) статического коэффициента трения от скорости нарастания нагрузки и величины удельного давления на контактирующих поверхностях, которые определяют динамику срабатывания и точность ограничения нагрузки предохранительных устройств;
- на время и скорость пробуксовки после сраба-

тывания, которые должны обеспечить допустимые износ и температуру, не вызывать схватываемость трущихся поверхностей и не привести к нарушению механической прочности.

Вместе с тем необходимо, чтобы конструкция предохранителя и место его установки в ротационной лесохозяйственной машине должны способствовать удобству обслуживания и устранению неисправностей, не снижая при этом прочность всей машины и ее качественные показатели (обработка почвы и др.).

Следует также отметить, что при разработке конструкции предохранителя надо опираться на существующие классификации предохранительных устройств и особенно на классификации защитных устройств от перегрузок лесохозяйственных машин, так как, ориентируясь на них, можно найти более точное и значимое направление в конструктивном решении.

Выводы. Таким образом, в статье с учетом комплексного подхода к организации защиты лесохозяйственных машин от перегрузок обоснованы основные положения, требования и рекомендации для разработки предохранительных механизмов почвообрабатывающих лесных фрез, которые направлены на повышение их основных характеристик, а следовательно, и качества защиты.

Библиографический список

1. Карамышев, В. Р. Защита лесохозяйственных машин от перегрузок [Текст] / В. Р. Карамышев. – Воронеж, 1991. – 168 с.
2. Посметьев, В. И. Методологические основы повышения эффективности почвообрабатывающих орудий с помощью предохранителей [Текст] / В. И. Посметьев. – Воронеж, 1999. – 196 с.
3. Карамышев, В. Р. Снижение динамических нагрузок фрезерных лесохозяйственных машин [Текст] / В. Р. Карамышев, О. Н. Логунов // Рациональное использование ресурсного потенциала в агролесном комплексе. – Воронеж, 1998 – С. 17.
4. Тепенкичиев, В. К. Предохранительные устройства от перегрузки станков [Текст] / В. К. Тепенкичиев. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
5. Щерблякин, П. Н. Совершенствование предохранительного оборудования от перегрузок фрезерных лесохозяйственных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / П.Н. Щерблякин. – Воронеж, 2005. – 151 с.
6. Справочник по муфтам [Текст] / под ред. О. А. Ряховского и С. С. Иванова. – Л. : Политехника, 1991. – 384 с.
7. Борисов, С. М. Фрикционные муфты и тормоза строительных и дорожных машин [Текст] / С. М. Борисов. – М. : Машиностроение, 1973. – 168 с.
8. Крагельский, И. В. Трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский – М. : Машиностроение, 1968. – 384 с.
9. Щерблякин, П. Н. Динамическая нагруженность лесохозяйственных машин [Текст] / П. Н. Щерблякин, Н. А. Бородин // Лес. Наука. Молодежь – 2009 : Материалы по итогам научно-исследовательской работы молодых ученых ВГЛТА за 2008-2009 годы. – Воронеж, 2009. – С. 116-118.
10. Ganzstahlkupplung gleicht Wellenversatz aus [Text] // Hanser Fachz. – 1998. – № 2, Suppl. Zuliefermarkt. – P. 30.
11. Kompart gebante Uberlastrabe- Sehutrt Maschinen vor schaden [Text] // Maschinenmarkt. – 1996. – 102, № 37. –

P. 55.

12. Freilanf bei Storfallen erhöht Maschinensicherheit [Text] // Encl. – Anz. – 1995. – JI. 17, № 12. – P. 80.
13. Überlastschutz kombinier mit dampfenden Elastomerelementen [Text] // Ind. – Anz. – 1998. – 120, № 42. – P. 165.

References

1. Karamyshev V. R. *Zashchita lesokhozaistvennykh mashin ot peregruzok* [Protection of forestry machinery from overloading]. Voronezh, 1991, 168 p. (In Russian).
2. Posmetyev V. I. *Metodologicheskie osnovy povsheniya effektivnosti pochvoobrabatvayshchykh orudiy s pomoshchyu predokhraniteley* [Methodological foundations for increasing the effectiveness of soil-cultivating tools with the help of fuses], Voronezh, 1999, 196 p. (In Russian).
3. Karamyshev V. R. *Snizhenie dinamicheskoy nagruzki frezernykh lesokhozaistvennykh mashin* [Reduction of dynamic loads of milling forestry machines] *Racional'noe ispol'zovanie resursnogo potentsiala v agrolesnom komplekse* [Rational use of resource potential in the agroforestry complex], Voronezh, 1998, pp. 17. (In Russian).
4. Tepenkichiev V. K. *Predokhranitel'nye ustroystva ot peregruzok stankov* [Safety devices against machine overloading], Moscow, 1984, 272 p. (In Russian).
5. Shchablykin P. N. *Sovershenstvovanie predokhranitel'nogo oborudovaniya ot peregruzok frezernykh lesokhozaistvennykh mashin* dis. kand. tehn. nauk [Improve safety of equipment against overload and milling of forest machines: Dis. PhD in Engineering], Voronezh, 2005, 151 p. (In Russian).
6. *Spravochnik po muftam* [Handbook of couplings] Leningrad, 1991, 384 p. (In Russian).
7. Borisov S. M. *Frikcionnye mufty i tormoza stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Friction clutches and brakes of construction and road machines], Moscow, 1973, 168 p. (In Russian).
8. Kragelsky I. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear], Moscow, 1968, 384 p. (In Russian).
9. Shchablykin P. N., Borodin N. A. *Dinamicheskaya nagruzhennost lesokhozaistvennykh mashin* [Dynamic loading of forestry machines] *Les. Nauka. Molodezh' – 2009 Materialy po itogam nauchno-issledovatel'skoj raboty molodykh uchennykh VGLTA za 2008-2009 gody* [Forest. The science. Youth - 2009 Materials on the results of the research work of young scientists of the University in 2008-2009]. Voronezh, 2009, pp. 116-118. (In Russian).
10. Ganzstahlkupplung gleicht Wellenversatz aus. Hanser Fachz, 1998, no. 2, p. 30.
11. Kompart gebante Überlastrabe- Schutrt Maschinen vor scha-den. Maschinenmarkt, 1996, 102, no. 37, p. 55.
12. Freilanf bei Storfallen erhöht Maschinensicherheit Encl. Anz, 1995, JI. 17, no. 12, p. 80.
13. Überlastschutz kombinier mit dampfenden Elastomerelementen Ind. Anz, 1998, 120, no. 42, p. 165.

Сведения об авторах

Щеблякин Павел Николаевич – 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: pashavai@mail.ru.

Боровиков Роман Геннадьевич – 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: borovikov_roman@mail.ru.

Information about authors

Shchablykin Pavel Nikolaevich – Associate Professor of the Department of Mechanization of Forestry and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: pashavai@mail.ru.

Borovikov Roman Gennadievich – Associate Professor of the Department of Mechanization of Forestry and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; email: borovikov_roman@mail.ru.