



## К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ОТ МЕСТА УСТАНОВКИ ИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

✉ Павел Н. Щеплыкин<sup>1</sup>, pashavai@mail.ru, 0000-0002-8607-4099

Николай А. Бородин<sup>1</sup>, borodin nikol@mail.ru, 0000-0003-3561-1111

Роман Г. Боровиков<sup>1</sup>, borovikov\_roman@mail.ru 0000-0001-5872-6294

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Составной частью приводных элементов машин, работающих в лесном хозяйстве, являются устройства, обеспечивающие их защиту от поломок при перегрузках. Предохранительные устройства могут быть установлены на различных участках кинематической цепи приводных элементов машины: в начале, в конце или середине, а также могут быть встроены в рабочий узел (орган). Наиболее целесообразно осуществлять установку предохранителей ближе к концу приводных линий кинематической цепи машины. В случае, если предохранительные устройства по крутящему моменту установлены в начале или середине привода, они находятся вне зоны возникновения перегрузки (чаще перегрузка возникает рядом с рабочим узлом или непосредственно на нем). При таких условиях приводные звенья кинематической цепи подвержены перегрузкам различной величины. При удалении от места возникновения перегрузки значение величины динамического момента уменьшается вследствие упругих деформаций и потерь на трение в приводных звеньях машины. Следовательно, происходит поломка или разрушение деталей и узлов привода, а сам предохранитель не срабатывает. Таким образом, в настоящей статье, используя расчетную математическую модель процесса срабатывания предохранительных устройств с применением ЭВМ, проведены расчеты по определению значений величин динамических нагрузок и дана им оценка в случае установки предохранителя в начале и в конце кинематической цепи привода машины.

**Ключевые слова:** предохранительное устройство, динамические нагрузки, лесохозяйственная машина, перегрузка, конструкция.

**Благодарности:** Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Щеплыкин, П. Н. К оценке величины динамической нагруженности лесохозяйственных машин от места установки их предохранительных устройств / П. Н. Щеплыкин, Н. А. Бородин, Р. Г. Боровиков // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 166–174. – Библиогр.: с. 172–174 (15 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/15>.

**Поступила:** 26.01.2021 **Принята к публикации:** 15.06.2021 **Опубликована онлайн:** 01.07.2021

## TO ASSESSMENT OF THE VALUE OF DYNAMIC LOAD OF FORESTRY MACHINES FROM THE INSTALLATION PLACE OF ITS SAFETY DEVICES

✉ Pavel N. Shcheblykin<sup>1</sup>, pashavai@mail.ru,  0000-0002-8607-4099

Nikolay A. Borodin<sup>1</sup>, borodin nikol@mail.ru,  0000-0003-3561-1111

Roman G. Borovikov<sup>1</sup>, borovikov\_roman@mail.ru  0000-0001-5872-6294

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva street, Voronezh, 394087, Russian Federation

### Abstract

An integral part of the drive elements of machines in forestry are devices that ensure their protection against breakdowns during overloads. Safety devices can be installed on various parts of the kinematic chain of the machine drive elements: at the beginning, at the end or in the middle, and can also be built into the working unit (body). It is most advisable to install fuses closer to the end of the drive lines of the kinematic chain of the machine. If torque safety devices are installed at the beginning or in the middle of the drive, they are not in the overload zone (more often, overload occurs next to the working unit or directly on it). Under these conditions, the drive links of the kinematic chain are subject to overloads of various magnitudes. With distance from the place of occurrence of overload, the value of the value of the dynamic moment decreases due to elastic deformations and friction losses in the drive links of the machine. Consequently, there is a breakdown or destruction of parts and components of the drive, and the fuse itself does not work. Thus, in this article, using a calculated mathematical model of the actuation process of safety devices using a computer, calculations were carried out to determine the values of dynamic loads and an assessment was given in the case of installing a fuse at the beginning and at the end of the kinematic chain of the machine drive.

**Keywords:** safety device, dynamic loads, forestry machine, overload, structure

**Acknowledgments:** The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Shcheblykin P. N., Borodin N. A., Borovikov R. G. (2021) For the estimation of the dynamic loading value forestry machines from the place of installation of their safety devices. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 2 (42), pp. 166-174 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/15>.

**Received:** 26.01.2021 **Accepted for publication:** 15.06.2021 **Published online:** 01.07.2021

### Введение

Из-за полного отсутствия или несовершенства средств, предназначенных для защиты привода и рабочих элементов (органов) машины от перегрузок, они часто или преждевременно подвержены выходу из строя [1].

Большое количество машин, используемых в лесном хозяйстве, имеют в своей конструкции предохранительные устройства, позволяющие предохранить их от перегрузок, которые, как правило,

подлежат установке в начале привода машины [2, 3]. В конструктивном исполнении такое расположение предохранителей в процессе их работы (срабатывания) приводит к возрастанию значений пиковых (максимальных) динамических нагрузок [4, 5].

В плане уменьшения значений величин кратковременных динамических нагрузок, проявляющихся в момент возникновения перегрузки, необходимо стремиться к тому, чтобы возникаю-

щая перегрузка на исполнительных (рабочих) органах соответствовала моменту срабатывания, на который настроен предохранитель, т. е. он должен быть расположен по возможности ближе к объекту, подверженному защите, а в лучшем случае встроено в него [4, 6].

В настоящее время существует достаточное количество исследований, посвященных изучению динамической нагруженности как лесохозяйственных, так и других машин в целом [6, 7, 8, 9, 10, 14, 15]. Однако теоретических исследований, посвященных влиянию места установки предохранителя на величину кратковременных динамических нагрузок в момент его срабатывания, недостаточно. Поэтому реализованные в настоящей статье теоретические исследования являются актуальными и будут полезны при осуществлении дальнейших исследований в области динамической нагруженности лесохозяйственных машин.

## Материалы и методы

Параметры динамической нагруженности в упругих звеньях привода большинства машин, применяемых в лесном хозяйстве, в зависимости от места постановки предохранителя можно оценить, воспользовавшись математическими методами приведения, применяемыми для многомассовых расчетных схем [9].

Лесохозяйственные машины и их приведенные по крутящим колебаниям схемы характеризуются следующими параметрами:

- моментами инерций масс (инерционные свойства);
- жесткостью на кручение (свойства упругости);
- крутящим моментом (нагрузочная способность);
- демпфирующим сопротивлением.

На основе общих методов, которыми описываются простые (несложные) модели, составим систему дифференциальных уравнений и выполним расчеты для наших исследований. Механизм, подлежащий расчету, заменяется на приведенную эквивалентную схему, которая обладает таким же запасом энергии, как и система реальной (действительной) машины.

При исследовании динамических нагрузок при перегрузке машин, используемых в лесном хозяйстве, звеном приведения будем использовать вал, на котором установлено предохранительное устройство.

Важным условием при определении и составлении расчетных схем является правильность выбора количества степеней свободы. При увеличении их количества решение становится сложным, а при уменьшении снижается точность решения. Это зависит от конструктивных решений лесохозяйственной машины и предохранительного устройства, установленного для защиты машины от перегрузки. Известно, что при расчете динамической нагруженности простых систем и последующем переходе к расчету более сложных систем погрешность составляет не более 5 % [1, 11]. Таким образом, простыми системами приведения можно пользоваться для нахождения величин максимальных и минимальных динамических моментов, которые будут возникать в лесохозяйственных машинах в случае их перегрузок (рис. 1).

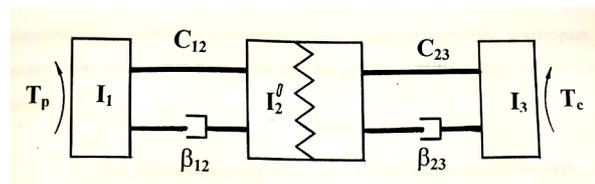


Рис. 1. Динамическая система с размыкающимся предохранительным устройством

Figure 1. Dynamic system with opening safety device

Источник: Собственные расчетные схемы авторов

Source: Own calculation schemes of the authors

Процесс срабатывания размыкающихся предохранительных устройств характеризуется следующими периодами работы.

Первый период (рис. 2, а) – динамическая нагрузка возрастает при возникновении перегрузки на рабочем органе машины до регулировочного момента, на который отрегулирован предохранитель.

Второй период (рис. 2, б) – срабатывание предохранительного устройства. Значение крутящего момента может возрастать до максимума. Его величина зависит от динамических параметров и характеристики машины.

Третий период (рис. 2, Ва) – привод системы ведущих валов вращается без нагрузки, а ведомая (рис. 2, Вб) находится в состоянии покоя (не совершает возвратно-поступательного движения) вследствие полного отключения предохранительного устройства.

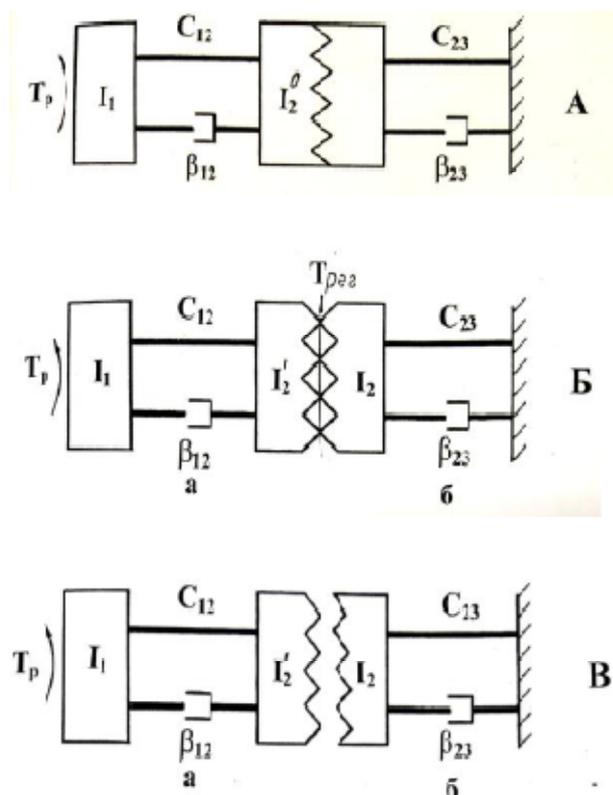


Рис. 2. Схемы для расчета динамических систем с размыкающимися предохранительными устройствами

Figure 2. Schemes for calculating dynamic systems with tripping safety devices

Источник: Собственные расчетные схемы авторов  
Source: Own calculation schemes of the authors

### Результаты и обсуждение

Оценка динамической нагруженности в конструктивных элементах лесных машин, которые защищены от возникающих перегрузок предохранителями размыкающегося типа, необходимо вы-

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) &= Tr; \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 - \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - C_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{23} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) + C_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0; \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 - \beta_{23} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - C_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{34} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) + C_{34} (\varphi_3 - \varphi_4) &= 0; \\ I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 - \beta_{34} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) - C_{34} (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_{40} \cdot \dot{\varphi}_4 + C_{40} \cdot \varphi_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

бирать такие периоды, в которых будут проявляться максимальные (пиковые) динамические нагрузки. В нашем случае эти значения проявляются во втором периоде [2].

При срабатывании предохранителя, расположенного ближе к двигателю (в начале кинематической цепи), рассчитываемая схема будет представлять собой четырехмассовую динамическую систему с жесткой заделкой (рис. 3, а). В случае, если предохранитель будет расположен ближе к объекту, подлежащему защите, рассчитываемая схема будет представлена трехмассовой динамической системой, также с жесткой заделкой [2, 4, 11].

Когда предохранительное защитное устройство расположено ближе к двигателю, движение системы, подлежащей расчету, в общем случае будет представлено четырьмя линейными дифференциальными уравнениями второго порядка (формула (1)).

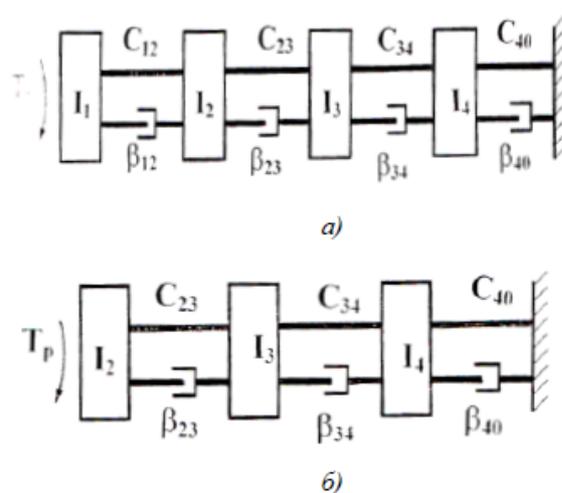


Рис. 3. Расчетные динамические схемы срабатывания средств защиты, расположенных у двигателя – а и приближенного к объекту защиты – б

Figure 3. Calculated dynamic schemes of triggering protective equipment located near the engine – а and close to the object of protection – б

Источник: Собственные расчетные схемы авторов  
Source: Own calculation schemes of the authors

В системе (1)  $I_1; I_2; I_3; I_4$  – это моменты инерции первой, второй, третьей и четвертой массы системы,  $\varphi_1; \varphi_2; \varphi_3; \varphi_4$  – углы закручивания первого, второго, третьего и четвертого упругого звена системы. Параметры жесткости упругих звеньев и их коэффициенты демпфирования обозначаются как  $C_{12}; C_{23}; C_{34}; C_{40}$  и  $\beta_{12}; \beta_{23}; \beta_{34}; \beta_{40}$  соответственно. Рабочий передаваемый крутящий момент, на который настроено предохранительное защитное устройство, обозначается как  $Tr$ .

Для расчета стандартных моделей дифференциальных уравнений применим метод Рунге-Кутты [12] и произведя некоторые преобразования представим систему (1) в относительных перемещениях

$$\left. \begin{aligned} \dot{\varphi}_{12} &= \frac{-\beta_{12}}{I_{12}^{PP}} \dot{\varphi}_{12} - \frac{C_{12}}{I_{12}^{PP}} \varphi_{12} + \frac{\beta_{23}}{I_2} \dot{\varphi}_{23} + \frac{C_{23}}{I_2} \varphi_{23} + \frac{Tr}{I_1}; \\ \dot{\varphi}_{23} &= \frac{\beta_{12}}{I_2} \dot{\varphi}_{12} + \frac{C_{12}}{I_2} \varphi_{12} - \frac{\beta_{23}}{I_{23}^{PP}} \dot{\varphi}_{23} - \frac{C_{23}}{I_{23}^{PP}} \varphi_{23} + \frac{\beta_{34}}{I_3} \dot{\varphi}_{34} + \frac{C_{34}}{I_3} \varphi_{34}; \\ \dot{\varphi}_{34} &= \frac{\beta_{23}}{I_3} \dot{\varphi}_{23} + \frac{C_{23}}{I_3} \varphi_{23} - \frac{\beta_{34}}{I_{34}^{PP}} \dot{\varphi}_{34} - \frac{C_{34}}{I_{34}^{PP}} \varphi_{34} + \frac{\beta_{40}}{I_4} \dot{\varphi}_{40} + \frac{C_{40}}{I_4} \varphi_{40}; \\ \dot{\varphi}_{40} &= \frac{\beta_{34}}{I_4} \dot{\varphi}_{34} + \frac{C_{34}}{I_4} \varphi_{34} - \frac{\beta_{40}}{I_{40}^{PP}} \dot{\varphi}_{40} - \frac{C_{40}}{I_{40}^{PP}} \varphi_{40}. \end{aligned} \right\},$$

В полученной системе обозначения  $I_{12}^{PP}, I_{23}^{PP}, I_{34}^{PP}, I_{40}^{PP}$  соответствуют приведенным моментам инерции первой, второй, третьей и четвертой массе системы.

Исходя из последующих преобразований, система уравнений будет состоять из восьми уравнений первого порядка

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_1 &= \dot{V}'_1; \\ \dot{V}'_1 &= \frac{-\beta_{12}}{I_{12}^{PP}} V'_1 - \frac{C_{12}}{I_{12}^{PP}} Y_1 + \frac{\beta_{23}}{I_2} V'_2 + \frac{C_{23}}{I_2} Y_2 + \frac{Tr}{I_1}; \\ \dot{V}_2 &= \dot{V}'_2; \\ \dot{V}'_2 &= \frac{\beta_{12}}{I_2} V'_1 + \frac{C_{12}}{I_2} Y_1 - \frac{\beta_{23}}{I_{23}^{PP}} V'_2 - \frac{C_{23}}{I_{23}^{PP}} Y_2 + \frac{\beta_{34}}{I_3} V'_3 + \frac{C_{34}}{I_3} Y_3; \\ \dot{V}_3 &= \dot{V}'_3; \\ \dot{V}'_3 &= \frac{\beta_{23}}{I_3} V'_2 + \frac{C_{23}}{I_3} Y_2 - \frac{\beta_{34}}{I_{34}^{PP}} V'_3 - \frac{C_{34}}{I_{34}^{PP}} Y_3 + \frac{\beta_{40}}{I_4} V'_4 + \frac{C_{40}}{I_4} Y_4; \\ \dot{V}_4 &= \dot{V}'_4; \\ \dot{V}'_4 &= \frac{\beta_{34}}{I_4} V'_3 + \frac{C_{34}}{I_4} Y_3 - \frac{\beta_{40}}{I_{40}^{PP}} V'_4 - \frac{C_{40}}{I_{40}^{PP}} Y_4. \end{aligned} \right\},$$

В полученной системе  $V_i = \varphi_i - \varphi_{i+1}$ ;

$$I_{i;i+1}^{PP} = \frac{I_i \cdot I_{i+1}}{I_i + I_{i+1}}; (i = 1, 2, 3, 4).$$

Вследствие остановки крайней массы, можно составить следующую запись:

$$I_5 \rightarrow \infty; \varphi_5 = 0. I_5 \rightarrow \infty; \varphi_5 = 0.$$

Движение системы, состоящей из трех масс (рис. 1, б) при расположении предохранителя у защищаемого объекта, может быть представлено следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} I_2 \ddot{\varphi}_2 + \beta_{23} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) + C_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) &= Tr; \\ I_3 \ddot{\varphi}_3 - \beta_{23} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - C_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{34} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) + C_{34} (\varphi_3 - \varphi_4) &= 0; \\ I_4 \ddot{\varphi}_4 - \beta_{34} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) - C_{34} (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_{40} \dot{\varphi}_4 + C_{40} \varphi_4 &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Если записать ее в относительных перемещениях, она запишется как

$$\left. \begin{aligned} \dot{\varphi}_{23} &= -\beta_{23} \left( \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3} \right) \dot{\varphi}_{23} - C_{23} \left( \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3} \right) \varphi_{23} + \frac{\beta_{34}}{I_3} \varphi_{34} + \frac{C_{34}}{I_3} \varphi_{34} + \frac{Tr}{I_2}; \\ \dot{\varphi}_{34} &= \frac{\beta_{23}}{I_3} \varphi_{23} + \frac{C_{23}}{I_3} \varphi_{23} - \beta_{34} \left( \frac{1}{I_3} + \frac{1}{I_4} \right) \dot{\varphi}_{34} - C_{34} \left( \frac{1}{I_3} + \frac{1}{I_4} \right) \varphi_{34} + \frac{\beta_{40}}{I_4} \dot{\varphi}_{40} + \frac{C_{40}}{I_4} \varphi_{40}; \\ \dot{\varphi}_{40} &= \frac{\beta_{34}}{I_4} \dot{\varphi}_{34} + \frac{C_{34}}{I_4} \varphi_{34} - \frac{\beta_{40}}{I_{40}} \dot{\varphi}_{40} - \frac{C_{40}}{I_{40}} \varphi_{40}. \end{aligned} \right\}$$

Далее после соответствующих преобразований система в относительных перемещениях можно представить в виде шести уравнений первого порядка:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Y}_2 &= \dot{V}_2; \\ \dot{V}_2 &= \frac{\beta_{12}}{I_2} V_1 + \frac{C_{12}}{I_2} Y_1 - \frac{\beta_{23}}{I_{23}^{ПП}} V_2 - \frac{C_{23}}{I_{23}^{ПП}} Y_2 + \frac{\beta_{34}}{I_3} V_3 + \frac{C_{34}}{I_3} Y_3; \\ \dot{Y}_3 &= \dot{V}_3; \\ \dot{V}_3 &= \frac{\beta_{23}}{I_3} V_2 + \frac{C_{23}}{I_3} Y_2 - \frac{\beta_{34}}{I_{34}^{ПП}} V_3 - \frac{C_{34}}{I_{34}^{ПП}} Y_3 + \frac{\beta_{40}}{I_4} V_4 + \frac{C_{40}}{I_4} Y_4; \\ \dot{Y}_4 &= \dot{V}_4; \\ \dot{V}_4 &= \frac{\beta_{34}}{I_4} V_3 + \frac{C_{34}}{I_4} Y_3 - \frac{\beta_{40}}{I_{40}^{ПП}} V_4 - \frac{C_{40}}{I_{40}^{ПП}} Y_4. \end{aligned} \right\}$$

После решения уравнений, входящих в систему, представляющих собой первый порядок при соответствующих начальных условиях:

– система представлена четырехмассовой динамической системой (предохранитель установлен в начале цепи):

$$\text{при } t = 0; T_{12} = T_{23} = T_{34} = T_{40} = Tr;$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{Tr}{C_{12}};$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = \frac{Tr}{C_{23}};$$

$$\varphi_3 - \varphi_4 = \frac{Tr}{C_{34}};$$

$$\varphi_4 = \frac{Tr}{C_{40}};$$

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_4 = \omega_0,$$

– система представлена трехмассовой динамической системой (предохранитель установлен у защищаемого объекта):

$$\text{при } t = 0; T_{23} = T_{34} = T_{40} = Tr;$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = \frac{Tr}{C_{23}};$$

$$\varphi_3 - \varphi_4 = \frac{Tr}{C_{34}};$$

$$\varphi_4 = \frac{Tr}{C_{40}};$$

$$\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_4 = \omega_0,$$

у нас есть возможность при помощи ЭВМ, используя динамическую систему с известными параметрами, методом подстановки значений [12] найти величину наибольшего значения максимального динамического момента в первом звене в период, когда происходит срабатывание предохранителя. Величина регулировочного момента равнялась 85 Нм, шаг интегрирования 0,00001.

### Заключение

Проведенные исследования и полученные на основе их результаты позволяют говорить о том, что при размещении предохранителя в начале приводных линий значения пиковых динамических нагрузок всегда превышают значения максимальных нагрузок в случае, когда предохранитель установлен рядом с исполнительными (рабочими) органами машины (рис. 4).

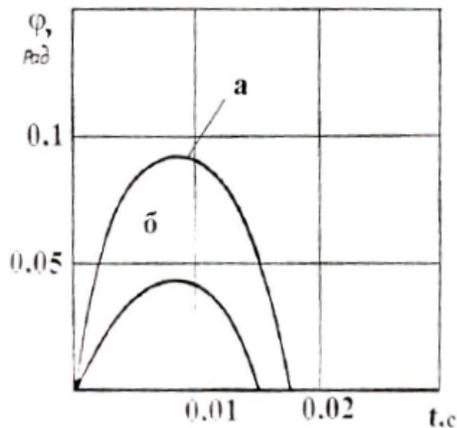


Рис. 4 График значений максимальных углов закручивания: а – предохранительное устройство расположено в начале кинематической цепи; б – предохранительное устройство приближено к объекту защиты

Figure 4 Graph of values of the maximum angles of twisting: a – the safety device is located at the beginning of the kinematic chain; b – the safety device is close to the object of protection

Источник: Собственные расчетные схемы авторов  
Source: Own calculation schemes of the authors

В итоге можно утверждать, что устройства, применяемые в конструкциях лесохозяйственных машин для защиты их от перегрузок, по крутящему моменту рациональней устанавливать рядом с исполнительными (рабочими) органами машины, а в лучшем случае объединять их в единый конструктивный узел.

## Список литературы

1. Казаков В. И., Блинов Е. К., Белов В. А., Сенников В. В., Главарский Г. Д. Справочник лесохозяйственных машин, оборудования и приборы. Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 134 с.
2. Бородин Н. А. Защита выкопочных л/х машин от перегрузок размыкающимися муфтами предельных моментов : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж. 2000. 158 с.: ил. DOI:10.12737/19965.
3. Посметьев В. И. Обоснование перспективных конструкций предохранителей для рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий: монография. Воронеж, 2000. 248 с. ISBN 5-7994-0074-7.
4. Икоева А. З., Свиридов Л. Т. Предохранительные устройства машин и оборудования от перегрузок. Воронеж, 2006. 18 с. Деп. в ВИНТИ 09.11.2006, № 1345 – В2006.
5. Икоева А. З. Анализ исследований по динамике приводов и защите машин от перегрузок предохранительными устройствами. Воронеж, 2006: 22 с. Деп. в ВИНТИ 09.11.2006, № 1344: В 2006.
6. Щерблякин П. Н. Выбор уровня параметра защиты машин от перегрузок по крутящему моменту. Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2019; 2: 26-28. DOI: 10.26160/2658-3305-2019-2-26-28.
7. Карамышев Е. В. Повышение качества ограничения предельных нагрузок лесохозяйственных машин : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. – Воронеж, 2000. 184 с.
8. Щерблякин П. Н., Боровиков Р. Г. Положения и требования, предъявляемые при разработке средств защиты фрезерных машин от перегрузок с упругим и элементами. Лесотехнический журнал. 2018; 8, 32: 259-264. DOI: 10.12737/article\_5c1a320a64e545.77850234.
9. Шишкарёв М. П. Вопросы динамики привода машины с адаптивной фрикционной муфтой. Вестник машиностроения. 2004; 5: 3-8.
10. Шишкарёв М. П. Повышение эффективности защиты приводов машин от перегрузок адаптивными фрикционными муфтами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.02. Ростов-на-Дону, 2007. 32 с.
11. Камкэ Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. Санкт Петербург : Лань, 2003. 576 с. ISBN 5-8114-0482-4.
12. Бахвалов Н. С., Жидковы Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. 6-е изд. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 636 с. ISBN 978-5-00101-836-0.

13. Perez-Diaz J. L., Diez-Jimenez E., Valiente-Blanco I. (et al.) Contactless Mechanical Components: Gears, Torque Limiters and Bearings. *Contactless Mechanical Components: Gears, Torque Limiters and Bearings. Machines.* 2014; 2: 312-324. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines2040312>.
14. Loveykin V. S., Rybalko V. M., Gudova A. V. Comparison of theoretical and experimental investigations of dynamics of start-up of screw conveyor mixer. *Науковий вісник нубіп України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2013; 185 (3): 304-311. ISSN: 2078-4481.
15. Meshingewko R., Klendiy O. *Науковий вісник нубіп України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2014; (194-1): 164-175. ISSN: 2222-8618.

### References

1. Kazakov V. I., Blinov E. K., Belov V. A., Sennikov V. V., G. D. Glavarsky *Spravochnik lesokhozyaystvennikh mashin, oborudovaniya i pribori* [Directory of forestry machines, equipment and devices]. Pushkino, VNIILM, 2001 (In Russian).
2. Borodin N. A. *Zashchita vikopochnikh l/h mashin ot peregruzok razmikaushcimisia muftami predelnikh momentov* [Protection of excavating cars from overloads by opening couplings of limiting moments]. Dis. kond.techn. Sciences: 05.21.01. Voronezh, 2000 (In Russian). DOI:10.12737/19965.
3. Posmetyev V. I. *Obosnovanie perspectivnykh konstruktsiy predokhraniteley dlya rabochikh organov lesnikh pochvoobrabatyvaushchikh orudiy* [Substantiation of promising designs of fuses for working bodies of forest soil-cultivating tools: monograph]. Voronezh, 2000 (In Russian). 248 p. ISBN 7-7994-0074-7.
4. Ikoeva A. Z., Siridov L. T. *Predokhranitelnye ustroystva mashin ot peregruzok* [Safety devices of machines and equipment against overloads]. Voronezh, 2006. Dep. VINITI 09.11.2006. No. 1345. B2006 (In Russian).
5. Ikoeva A. Z. *Analiz issledovaniy po dinamike privodov I zashchite mashin ot peregruzok predokhranitelnyimi ustroystvami* [Analysis of research on the dynamics of drives and protection of machines from overloads by safety devices]. Voronezh, 2006. Dep. VINITI 09.11.2006, No. 1344 (In Russian).
6. Scheblykin P. N. *Vibor urovnya parametra zashchity mashin ot peregruzok po krutayshchemu momentu* [The choice of the parameter level for the protection of machines against overload torque]. *Transport, mining and construction engineering: science and production.* 2019; 2 (In Russian). DOI:10.26160/2658-3305-2019-2-26-28.
7. Karamyshev E. V. *Povishenie kachestva ogranicheniy predelnikh nagruzok lesokhozyaystvennikh mashin* [Improving the quality of limiting the maximum loads of forestry machines] Dis. Cand. tech. sciences: 05.21.01. Voronezh, 2000 (In Russian).
8. Scheblykin P. N., Borovikov R. G. *Polozheniya i trebovaniya, predyavlyaemye pri razrabotke sredstv zashchitya frezernyah mashin ot peregruzok s uprugimi elementami* [Provisions and requirements for the development of protective equipment for milling machines against overloads with elastic and elements]. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forest Engineering journal.* 2018; 8, 4 (32): 259-264. DOI: 10.12737 / article\_5c1a320a64e545.77850234.
9. Shishkarev M. P. *Voprosy dinamiki privoda mashini s adaptivnoy frikcionnoy myfti* [Questions of the dynamics of the drive of a machine with an adaptive friction clutch]. *Bulletin of mechanical engineering.* 2004. No. 5.
10. Shishkarev M. P. *Povishenie effektivnosti zashchity privodov mashin ot peregruzok adaptivnimi frikcionnimi myftami* [Increase of efficiency of protection of machine drives from overloads by adaptive frictional couplings]: Author's abstract. Diss ... Doctor of Engineering Sciences: 05.02.02. Rostov-on-Don, 2007. 32 p.
11. Kamke E. *Spravochnik po obiknovennim differentsialnim uravneniyam* [Handbook of ordinary differential equations]. Sankt Peterburg: Lan', 2003. ISBN: 5-8114-0482-4 (In Russian).
12. Bakhvalov N. S., Jidkov N. P., Kobelkov G. M. *Chislennye metody* [Numerical methods]. 6<sup>th</sup> ed. Moscow: BINOM. Knowledge laboratory, 2008. 636 p. (In Russian). ISBN: 978-5-00101-836-0.

16. Perez-Diaz J. L., Diez-Jimenez E., Valiente-Blanco I. (et al.) Contactless Mechanical Components: Gears, Torque Limiters and Bearings. *Contactless Mechanical Components: Gears, Torque Limiters and Bearings. Machines.* 2014; 2: 312-324. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines2040312>.

14. Loveykin V. S., Rybalko V. M., Gudova A. V. Comparison of theoretical and experimental investigations of dynamics of start-up of screw conveyor mixer. *Scientific Herald of Ukraine. Series: technology and energetic in agriculture.* 2013; 185 (3): 304-311. ISSN: 2078-4481.

15. Meshingewko R., Klendiy O. *Scientific Herald of Ukraine. Series: technology and energetic in agriculture.* 2014 (194-1): 164-175. ISSN: 2222-8618.

### Сведения об авторах

✉ *Щеблыкин Павел Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8607-4099>, e-mail: [pashavai@mail.ru](mailto:pashavai@mail.ru).

*Бородин Николай Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3561-1111>, e-mail: [borodinnikol@mail.ru](mailto:borodinnikol@mail.ru).

*Боровиков Роман Геннадьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5872-6291>, e-mail: [borovikov\\_roman@mail.ru](mailto:borovikov_roman@mail.ru).

### Information about the authors

✉ *Shcheblykin Pavel Nikolaevich* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Mechanization of Forestry and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8607-4099>, e-mail: [pashavai@mail.ru](mailto:pashavai@mail.ru).

*Borodin Nikolay Aleksandrovich* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Mechanization of Forestry and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3561-1111>, e-mail: [borodinnikol@mail.ru](mailto:borodinnikol@mail.ru).

*Borovikov Roman Gennadievich* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Mechanization of Forestry and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5872-6291>, e-mail: [borovikov\\_roman@mail.ru](mailto:borovikov_roman@mail.ru).

✉ – Для контактов/Corresponding author