

УДК 630\*31:630\*848

Е. М. Царев, М. Н. Волдаев

## РАСЧЕТ УСИЛИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНОМУ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ БРЕВЕН В ПАЧКЕ ПРИ ТОРЦЕВЫРАВНИВАНИИ ПОВОРОТНЫМИ ЩИТАМИ

*Дан анализ торцевывравнивания пачек круглых лесоматериалов. Представлены результаты исследования гравитационных торцевывравнивателей. Получена формула для определения среднего усилия сопротивления продольному перемещению бревен в пачке, преодолеваемого при торцевывравнивании.*

**Введение.** Пакетирование круглых лесоматериалов – один из эффективных способов повышения производительности труда при производстве работ на участках штабелевки и отгрузки продукции нижних лесопромышленных складов, увеличения статической нагрузки подвижного состава, повышения культуры складского хозяйства.

Одной из основных операций при формировании пакетов круглых лесоматериалов является выравнивание их торцов. Выполнение этой операции вручную связано со значительными физическими и материальными затратами.

Для механизации работ по выравниванию торцов пачек круглых лесоматериалов сотрудниками отраслевых НИИ, производственных конструкторско-технических бюро и лесотехнических вузов разработан ряд устройств. Основными классификационными признаками данных устройств являются: 1) способ выравнивания (поштучное, послонное, пакетное выравнивание); 2) принцип выравнивания (силовое, гравитационное, комбинированное, «напроход»); 3) по месту расположения (в накопителе, на подштабельном месте у фронта погрузки, на крюке крана) [1].

Анализ исследований торцевывравнивателей пачек круглых лесоматериалов показал, что одним из перспективных направлений работы является совершенствование конструкции гравитационного торцевывравнивателя в целях повышения качества выравнивания торцов пачек при их однократном опускании в устройство [2].

На рис.1 представлен разработанный нами гравитационный торцевывравниватель [3].

**Цель исследования.** Вывод формулы для определения среднего преодолеваемого усилия сопротивления продольному перемещению бревен в пачке при торцевывравнивании поворотными щитами без учета трения торцов о щит.

**Теоретическое обоснование и постановка задачи.** Анализ теоретических исследований гравитационных торцевывравнивателей показывает, что в ранее опубликованных работах [1, 4] одним из основных условий определения усилия торцевания было наличие данных об ускорении движения пакета  $\ddot{y}$ . При этом следует отметить, что если в какой-то момент прекращается движение щитов вследствие недостаточности на них усилия для преодоления сопротивления продольному движению бревен, то впоследствии при аккумуляции на щитах достаточной энергии происходит так называемый срыв пакета [5], а пакет при этом продолжает двигаться с ускорением. Так как в большинстве случаев, как показывает практика, при обработке пакетов круглых лесоматериалов в торцевывравнивателях гравитационного типа возникают и зацепы, и срывы бревен, то логично предположить, что применение результатов теоретических исследований, приведенных в [1, 4], для реальных расчетов довольно проблематично из-за невыясненности вопроса о величинах ускорений  $\ddot{y}$ .

Нами разработана математическая модель процесса торцевывравнивания в гравитационных торцевывравнивателях, позволяющая отследить процесс в динамике как в устройствах с шарнирно соединенными щитами, так и в классических устройствах [6].

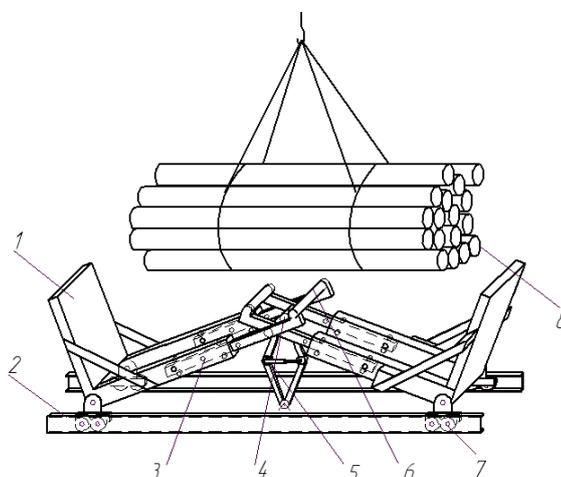


Рис. 1. Гравитационный торцевывравнитель с шарнирно соединенными торцующими щитами и гидроприводом, применяемый для изменения расстояния между щитами и поддержания усилия торцевывравнивания на щитах: 1 – вертикальная часть Г-образного торцующего щита; 2 – направляющая кареток; 3 – горизонтальная часть Г-образного торцующего щита; 4 – металлический стержень кругового поперечного профиля; 5 – пантограф; 6 – грузовая балка; 7 – каретка; 8 – пачка круглых лесоматериалов

Данная модель позволяет при заданных конструктивных параметрах устройства и параметрах пакета получить зависимости от времени угла между горизонтальной частью Г-образного щита и ровной поверхностью (линией горизонта), угловых скорости ( $\dot{\theta}$ ) и ускорения ( $\ddot{\theta}$ ) вращения щита, а на их основе скорости и ускорения движения пакета. На основе этого возможен расчет и торцевывравнивающих усилий на щите.

При использовании данной модели необходимым условием является наличие данных о величине усилия сопротивления продольному перемещению бревен в пачке при торцевывравнивании горизонтальным вертикально надвигающимся щитом (усилия торцевывравнивания). Полученные ранее выражения нельзя назвать объективно оценивающими процесс торцевывравнивания, так как в них не учитывается неравномерный выступ торцов бревен из пачки, а расчет производится исходя из условия одновременного смещения всех слоев пачки.

Данную проблему возможно решить, определив среднее усилие сопротивления продольному перемещению бревен в пачке при торцевывравнивании поворотными щитами без учета трения торцов о щит при одновременном соприкосновении всех слоев пачки с торцевывравнивающим щитом. Такой процесс считаем наиболее близким реальному процессу торцевывравнивания вертикальными щитами.

**Интерпретация результатов.** Очевидно, что процесс торцевывравнивания вертикально расположенными горизонтально надвигающимися на торцы пакета (пачки) щитами существенно отличается от торцевывравнивания поворотными щитами.

Для определения величины усилий, которые необходимо нормально приложить к поворотному щиту, чтобы преодолеть сопротивление бревен продольному перемещению, нами предлагается использовать выражение:

$$R_{cp} = \frac{A}{s_{cp}}, \quad (1)$$

где  $A$  – работа сил, направленных на перемещение всех слоев пакета (пачки) и приложенных нормально к щиту;  $s_{cp}$  – длина траектории действия силы  $R_{cp}$ .

Среднюю величину усилия сопротивления бревен продольному перемещению, которое необходимо преодолеть при торцевывравнивании пакетов (пачек) гравитационными устройствами (см. рис.2), определим следующим образом:

$$F_m = \frac{R_{cp}}{\cos\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right)}, \quad (2)$$

где  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – соответственно начальный и конечный угол подъема горизонтальной части Г-образного щита по отношению к направляющим.

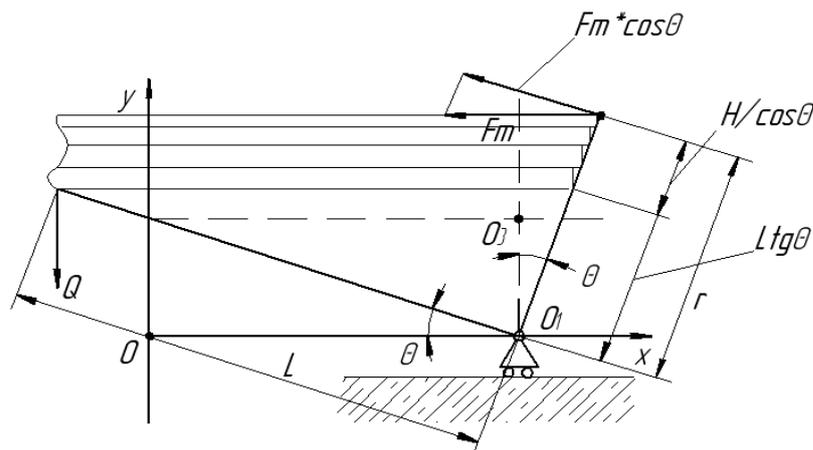


Рис.2. К расчету усилия сопротивления продольному перемещению бревен в пакете (пачке) при торцевывравнивании гравитационными устройствами

Для вычисления усилия торцевания любого слоя ( $F_c$ ) поворотным щитом применяем формулу И. П. Донского и Я. И. Виноградова [7]:

$$F_c = 2K \cdot f \cdot (1+m) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot Bn, \quad (3)$$

где  $K$  – относительное число выступающих торцов бревен в слое;  $f$  – коэффициент трения между бревнами при их относительном перемещении вдоль волокон;  $m$  – коэффициент распора;  $\gamma$  – объемный вес древесины;  $\eta$  – коэффициент полндревесности пакета;  $l$  – длина бревен;  $h$  – высота вышележащего слоя бревен;  $Bn$  – ширина пачки.

Формула для нахождения работы, совершаемой силой, приложенной нормально к щиту и достаточной, чтобы преодолеть силу  $F_m$ , в любой момент времени:

$$A_r = F_m \cdot \cos\theta \cdot \theta \cdot r, \quad (4)$$

где  $r$  – расстояние от оси вращения щита  $O$  до точки приложения силы.

Преобразовав формулу (4) следующим образом, мы получим выражение, отражающее специфику процесса торцевывравнивания в гравитационных торцевывравнивателях с поворотными щитами:

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \int_{r_1}^{r_2} 2K \cdot f \cdot (1+m) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot Bn \cdot \cos\theta \right) dr d\theta. \quad (5)$$

Пределы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  соответственно начальный и конечный угол подъема горизонтальной части Г-образного щита по отношению к направляющим. При нахождении пределов  $r_1$  и  $r_2$  используем рис. 2:

$$r_1 = L \cdot \operatorname{tg}\theta, \quad (6)$$

где  $L$  – длина горизонтальной части Г-образного торцевывравнивающего щита.

$$r_2 = L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}, \quad (7)$$

где  $H$  – высота пачки.

Для удобства вычислений величину  $r_2$  предлагаем брать равной половине высоты пакета (пачки)  $H$ .

Таким образом, окончательный вид выражения для определения работы сил, равных силам сопротивления продольному перемещению бревен в пакете (пачке) и направленных противоположно им, для случая торцевывравнивания пакета (пачки) в устройстве гравитационного типа с поворотными щитами следующий:

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \int_{L \operatorname{tg} \theta}^{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}} 2K \cdot f \cdot (1+m) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot Bn \cdot \cos \theta \right) dr d\theta. \quad (8)$$

Величину  $s_{cp}$  найдем как:

$$s_{cp} = \frac{r_2}{2} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad (9)$$

или, с учетом (7):

$$s_{cp} = \frac{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}}{2} \cdot (\theta_1 - \theta_2). \quad (10)$$

Таким образом, с учетом (8) и (10) выражение (1) можно представить следующим образом:

$$R_{cp} = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \int_{L \operatorname{tg} \theta}^{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}} 2K \cdot f \cdot (1+m) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot Bn \cdot \cos \theta \right) dr d\theta}{\frac{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}}{2} \cdot (\theta_1 - \theta_2)}. \quad (11)$$

Поделив данное выражение на  $\cos \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2}$ , получим среднюю силу сопротивления продольному перемещению, которую преодолевает  $R_{cp}$ :

$$F_m = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \int_{L \operatorname{tg} \theta}^{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}} 2K \cdot f \cdot (1+m) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot l \cdot h \cdot Bn \cdot \cos \theta \right) dr d\theta}{\left( \frac{L \operatorname{tg} \theta + \frac{H}{\cos \theta}}{2} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \right) \cdot \cos \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2}}. \quad (12)$$

Проведенные расчеты показали, что величина средней силы сопротивления продольному перемещению бревен в пачке, которую необходимо преодолеть при торцевывравнивании, составляет 0,5–0,7 веса пачки (пакета).

**Вывод.** Получено выражение для определения силы сопротивления продольному перемещению бревен, которую преодолевает  $R_{cp}$ . Это позволит повысить качество расчетов параметров гравитационных устройств, производимых на основе разработанной нами математической модели, позволяющей целостно отследить процесс торцевывравнивания в динамике. Кроме того, данное выражение возможно использовать и в дальней-

шем – в случае получения моделей, описывающих в динамике процесс торцевывравнивания в устройствах иного типа (силовых, гравитационно-силовых), а также в случае получения универсальной модели, с помощью которой можно отследить процесс в устройствах любого типа.

### Список литературы

1. *Фадеев, А. С.* Обоснование параметров гравитационного торцевывравнивателя с поворотными щитами для формирования пачек круглых лесоматериалов: дис. ... канд.техн.наук: 05.21.01: защищена 27.06.99/ Фадеев Анатолий Степанович. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 249 с.
2. *Волдаев, М. Н.* К вопросу совершенствования торцевывравнивателей пачек круглых лесоматериалов /М. Н. Волдаев //Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Сборник докладов молодых ученых на ежегодной научной конференции Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2006. – Вып.11. – С.72–77.
3. Патент №2303566 Россия. МПК В 65G 69/00, 57/18. Устройство для выравнивания торцов пачек (пучков) круглых лесоматериалов / М. Н. Волдаев, Е. М. Царев (РФ). - Заявл. 06.02.2006; опубл. 27.07.2007; Бюл.№21.
4. *Войтко, П. Ф.* Совершенствование процессов выгрузки лесоматериалов с воды и их торцевания на рейдах приплава: автореф. дис. ... докт.техн.наук: 05.21.01/ Войтко Петр Филиппович. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 24 с.
5. *Свиридюк, К.А.* Исследование процесса выравнивания торцов бревен устройствами гравитационного действия и влияния этих устройств на конструкцию крана: автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.06.02 / Свиридюк К. А. – Львов: ЛЛТИ, 1977. – 24 с.
6. *Волдаев, М. Н.* Математическое и физическое моделирование процесса выравнивания торцов пакетов круглых лесоматериалов гравитационными торцевывравнивателями/М. Н. Волдаев, Е. А. Журавлев, Е. М. Царев //Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007.– Вып.180.– С.110–117.
7. *Донской, И. П.* Усилия выравнивания торцов пакетов бревен /И. П. Донской, Я. И. Виноградов // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. Межвуз. сб. научн. тр. – Л., РИО ЛТА, 1974. – Вып. III. – С.84–89.

Статья поступила в редакцию 19.02.08

*Ye. M. Tzarev, M. N. Voldayev*

### CALCULATION OF THE EFFORT OF RESISTANCE TO LONGITUDINAL TRAVEL OF LOGS IN A BUNDLE AT BUMPING BY HINGED GATES

*A brief analysis of the issue of bumping of bundles of logs is given. The results of the research of gravitational bumping appliances done by the authors are described, and the solution to the task given in the paper is substantiated. The development of the formula for defining the average effort of resistance to longitudinal travel of logs in a bundle to be overcome at bumping by hinged gates is presented.*

---

*ЦАРЕВ Евгений Михайлович* – профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – вопросы охраны окружающей среды: сбор отходов лесозаготовок на водохранилищах, обустройство прибрежной полосы, разработка средств, обеспечивающих решение экологических вопросов на водных объектах. Автор 81 публикации.

*ВОЛДАЕВ Максим Николаевич* – инженер кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – разработка оборудования для производства погрузочно-разгрузочных работ на лесных складах. Автор 6 научных работ.