

1. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учеб. для студентов спец. «Техническая эксплуатация автомобилей» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования / М. М. Болбас [и др.]; под ред. М. М. Болбаса. — Мн. : Адукацыя і выхаванне, 2004.
2. Научные исследования и решение инженерных задач: уч. пособие / С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. — Мн. : Адукацыя і выхаванне, 2003.

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПОГРУЗКЕ ПРИЦЕПА-РОСПУСКА МАЗ-9008 НА ШАССИ ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА МАЗ-5434

С. А. Голякевич, С. П. Мохов

Проектирование и разработка новейших машин и механизмов осуществляют с учетом уже существующих прогрессивных моделей других стран с развитой лесной промышленностью, одновременно адаптируя их под присущие территории Республики Беларусь ландшафтные, климатические и природные условия.

В данной работе содержится описание конструкции и назначения лесовозного автопоезда МАЗ-5434+МАЗ-9008. Произведен расчет усилия возникающего в тросе лебедки при погрузке прицепа роспуска на шасси тягача с учетом динамической составляющей процесса и учета того, что канат является деформируемым.

Двухосный полноприводный автомобиль-тягач МАЗ-5434 совместно с прицепом-роспуском МАЗ-9008 образует лесовозный автопоезд, предназначенный для перевозки хлыстов по профилированным дорогам, а также для работы по дорогам с гравийным и усовершенствованным покрытиями с заходом на временные дороги лесосек (усы), укрепленные порубочными остатками или деревянными щитовыми покрытиями, по которым тягач может двигаться самостоятельно с груженым роспуском. В порожнем состоянии прицеп-роспуск погружается на платформу тягача.

Прицеп-роспуск — это одно- или двухосная тележка длиной базы до 1,5 м с установленным на нее поворотным коником. Прицеп-роспуск соединяется с автомобилем-тягачом при помощи металлического дышла, а также крестообразной сцепки при перевозке грузов длиной более 8,5 м.

Для изменения расстояния между кониками автомобиля-тягача и прицепа-роспуска передняя часть дышла удлиняется за счет выдвижения наконечника, а задняя — за счет перестановки шкворня прицепа-роспуска в другое отверстие в дышле.

Некоторые дышла в средней части имеют шарнир с горизонтальной осью, обеспечивающий возможность их складывания и погрузки прицепа-роспуска на шасси тягача. Погрузка осуществляется после того, как лебедка начинает наматывать канат, при натяжении которого замок шарнира дышла открывается, а дышло складывается и плавно поднимается вверх. Трос лебедки может присоединяться либо к передней части, либо к средней шарнирно-соединенной части дышла. При завершении погрузки колеса прицепа-роспуска должны попасть на специально отведенные для них накатные плоскости, закрепленные на конце рамы тягача, а дышло — в вырез ограждения кабины лесовозного автопоезда.

Перевозка прицепов-роспусков на шасси тягача дает целый ряд преимуществ. Во-первых, уменьшаются габариты порожнего лесовозного автопоезда; во-вторых, увеличивается средняя скорость движения; в-третьих, улучшается маневренность, а также плавность хода; наконец, в-четвертых, продлевается срок службы шин прицепа-роспуска. Если возможности перевозки прицепа-роспуска на шасси автомобиля-тягача нет, то его транспортируют при максимально сокращенной длине дышла. Помимо поворотного коника, подкониковой рамы и тягово-сцепного устройства, обязательным элементом тягача лесовозного автопоезда является ограждение кабины, которое закрепляется на передней части подкониковой рамы. Выглядит ограждение как металлическая стенка, возле которой часто размещают запасное колесо. В средней части ограждения делают седловину, в которую укладывается дышло прицепа-роспуска при перевозке его на шасси тягача. Здесь же размещают запорное устройство, удерживающее дышло в транспортном положении.

Для погрузки прицепа-роспуска на шасси лесовозного автопоезда применяется лебедка. Установленная на тягаче лебедка приводится в движение посредством карданной передачи от коробки отбора мощности, установленной на раздаточной коробке.

Предельное тяговое усилие лебедки 5000 кг. При перегрузках полумуфты коробки отбора мощности проворачиваются относительно друг друга, что предохраняет детали лебедки и трособлочной системы от поломки. Редуктор лебедки представляет собой червячную глобоидальную пару, состоящую из однозаходного червяка и червячного колеса.

На рисунке 1 показана расчетная схема прицепа-роспуска.

Для определения статического усилия возникающего в тросе лебедки запишем уравнения проекций сил и уравнения моментов действующих на прицеп — роспуск :

$$\sum M_B = 0; P_{cm} \cdot l_3 \cdot \sin \alpha - Q_1 \cdot \frac{l_1}{2} + Y_B \cdot l_1 = 0 \quad (1)$$

Рассмотрим подсистему правее точки А (см. рис. 1)

$$\sum OY = 0; -Y'_B - Q_2 + R = 0 \quad (2)$$

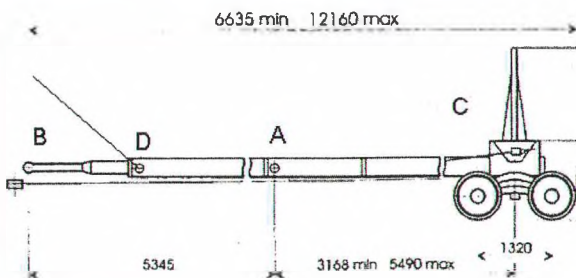


Рисунок 1 — Расчетная схема прицепа-роспуска.

$$\sum M_A = 0; R \cdot l_2 - R \cdot f \cdot 2r = 0 \quad (3)$$

где R — реакция шин прицепа роспуска,
 $f = 0,07$ — коэффициент сопротивления качению колес,
 r — радиус колес.
 Подставляя (3) и (2) в (1) и выражая $P_{ст}$ получим:

$$P_{ст} = \frac{Q_1 + Q_2 \frac{l_1}{2} + \frac{Q_2 l_2}{l_2 - f \cdot 2r}}{l_3 \sin \alpha} = \frac{2,264 + 1,039 + 1,238}{3,38 \cdot \sin 28^\circ} = 2,86 \text{ кН} \quad (4)$$

Рассмотрим случай работы лебедки, принимающей груз в виде прицепа роспуска. Тогда схема погрузки прицепа роспуска примет вид показанный на рисунке 2.

Принимаем канат, наматываемый на барабан лебедки деформируемым, с некоторой жесткостью c . Жесткость каната рассчитаем исходя из закона Гука

$$c = \frac{E \cdot A}{l} \quad (5)$$

где E — модуль Юнга;

A — площадь поперечного сечения;

l — свободной части каната.

Длину свободной части обозначим как величину переменную $l = var$. Чтобы учесть податливость каната, в нашем случае необходимо составить 2 уравнения движения

$$\begin{cases} m_1 \cdot R^2 \cdot \ddot{\varphi} = -c \cdot R \cdot (R \cdot \varphi - y + \Delta) + M_1 \\ m_2 \cdot (\ddot{y} + f) = c \cdot (R \cdot \varphi - y) \end{cases} \quad (6)$$

где R — радиус барабана лебедки ($R = 0,2 \text{ м}$);

M_1 — приведенный к барабану крутящий момент, создаваемый двигателем;

Δ — первоначальная деформация каната,

φ, y ак — обобщенные координаты.

Перейдем от угловой координаты φ к линейной обобщенной координате X

Введем обозначение:

$$P = (M_1 - m_2 g R) / R \quad (7)$$

Тогда систему уравнений (6) можно переписать в виде:

$$\begin{cases} X = \frac{P}{m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i))} \cdot \frac{t^2}{2} + V_0 \cdot t + \frac{P(m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2}{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2} \times \\ \times \left[1 - \cos \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))}} t \right] \\ Y = \frac{P}{m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i))} \cdot \frac{t^2}{2} + V_0 \cdot t + \frac{P(m_2 \cdot (f + \sin(i))) \cdot m_1}{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2} \times \\ \times \left[1 - \cos \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))}} t \right] \end{cases} \quad (8)$$

Для определения ускорения движения приведенной массы в заданный момент времени продифференцируем полученное выше уравнение по времени t .

В результате получим систему уравнений определяющих зависимость ускорений вдоль координатных осей от времени t .

$$\begin{cases} \ddot{X} = \frac{P}{m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i))} + \frac{P(m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2}{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2} \times \\ \times \frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))} \cdot \cos \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))}} t \\ \ddot{Y} = \frac{P}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))} + \frac{P(m_2 \cdot (f + \sin(i))) \cdot m_1}{c(m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i)))^2} \times \\ \times \frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))} \cdot \cos \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2 \cdot (f + \sin(i)))}{m_1 \cdot m_2 \cdot (f + \sin(i))}} t \end{cases} \tag{9}$$

Для определения крутящего момента на валу лебедки необходимо определить крутящий момент на валу двигателя и полное передаточное отношение коробки передач при включенной задней передаче $U1$ и передаточное число редуктора лебедки $U2$. $U1 = 5.48$ и $U2 = 31$, номинальный крутящий момент на валу $Nen=159$ кВт, номинальная частота вращения равна $nen = 2100$ об/мин.

Крутящий момент на валу двигателя рассчитаем по следующей формуле:

$$M_e = 9.55 \frac{N_e}{n} \tag{10}$$

Для нахождения мощности двигателя при заданной частоте вращения коленчатого вала n воспользуемся ниже следующей формулой:

$$Ne = Nen \left(a \frac{n}{nen} + b \left(\frac{n}{nen} \right)^2 - \left(\frac{n}{nen} \right)^3 \right) \tag{11}$$

По известным значениям передаваемых мощностей двигателя, подставляя данные в (10), получаем значения крутящих моментов при различных частотах вращения коленчатого вала n .

Зная значения ускорения по оси Y находим значения тягового усилия в тросе лебедки в зависимости от скорости вращения n коленчатого вала двигателя.

$$T = m_2 \cdot (\ddot{y} + f + \sin(i)) \tag{12}$$

При использовании программного пакета MathCAD 14 были получены соотношения между усилием T возникающем в тросе лебедки при различных частотах вращения коленчатого вала n , коэффициента сопротивления качению f и жесткости троса c .

На графике 1 представлена зависимость максимального усилия в тросе лебедки от частоты вращения коленчатого вала.

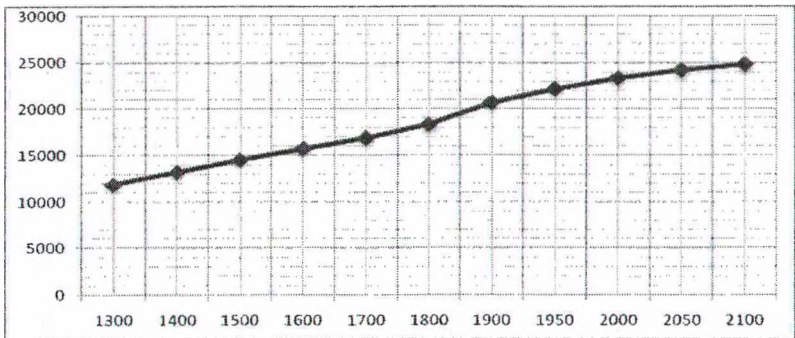


График 1 — Зависимость максимального усилия в тросе лебедки от частоты вращения коленчатого вала.

Ниже приведен график нарастания усилия с течением времени при $f= 0.015$.

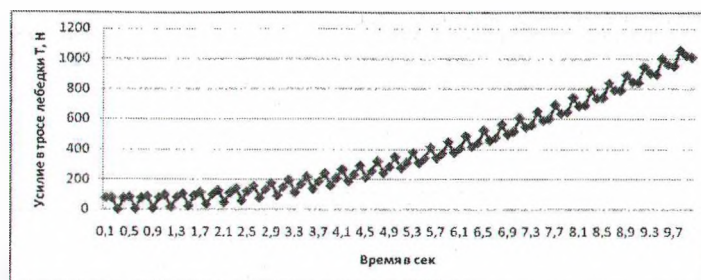


График 2 — Усилие в тросе лебедки в зависимости от времени подъема.

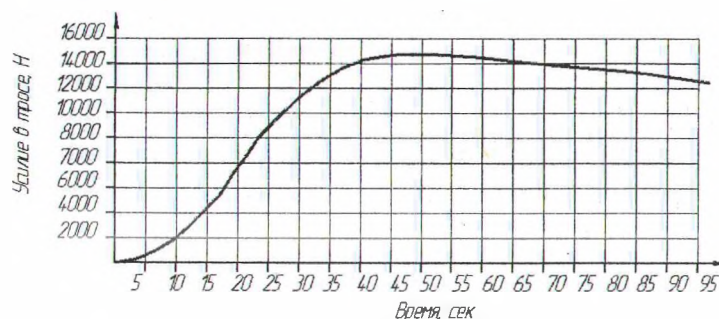


График 3 — Зависимость изменения усилия во время погрузки.

В виду того, что амплитуда колебаний мала, на графике 2 представлена лишь часть зависимости для возможности просмотра характера колебаний.

На графике 3 представлена полная зависимость изменения усилия во время погрузки.

Из полученных данных видно, что усилие в тросе имеет не линейную зависимость и нарастает с течением времени. При достижении максимального значения усилие начинает незначительно уменьшаться до достижения точки отрыва колес тандемной тележки прицепа роспуска от поверхности.

Из графика 1 видно, что значения максимального усилия в тросе лебедки увеличивается с увеличением скорости погрузки.

Приведем график зависимости изменения усилия в тросе от величины сопротивления качению (см. график 4).

Как видно из графика 4, максимальное усилие возникающее в тросе увеличивается с увеличением коэффициента сопротивления качению f .

В данной работе произведен расчет усилия возникающего в тросе лебедки при погрузке прицепа-роспуска, зависящего характера дорожного покрытия на котором производится погрузка, его физического состояния, а также колебаний возникающих в системе тягач-роспуск. На основании построенных графических зависимостей произведен анализ усилий возникающих в тросе при погрузке прицепа-роспуска на лесовозный тягач.

При помощи данной расчетной методики можно существенно облегчить работу, выполняемую при проектировании механизма погрузки прицепа-роспуска на лесовозный тягач. Соответственно, это значительно сокращает время, затрачиваемое на разработку узла, позволяет проектировщику подобрать силовые параметры механизма в зависимости от условий работы машины.

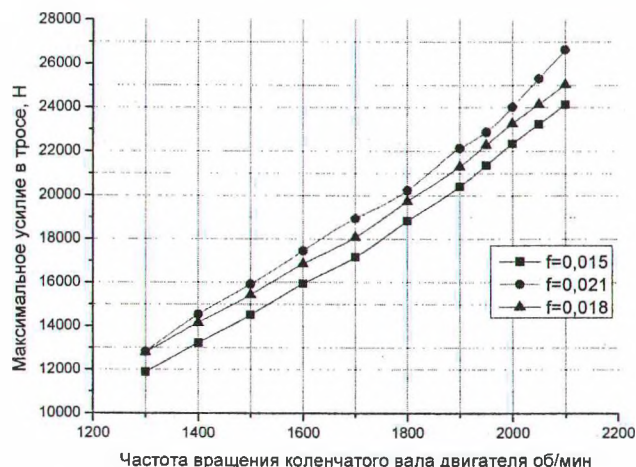


График 4 — Зависимость усилия от частоты вращения коленчатого вала двигателя.