

УДК 630\*375.5

**М.Ю. Смирнов**

Смирнов Михаил Юрьевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспорта леса Марийского государственного технического университета. Имеет 119 научных трудов в области транспорта лесоматериалов и эксплуатации лесовозных дорог.



### РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С НАВЕСНЫМ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРОМ

Рассмотрены варианты размещения навесного гидроманипулятора на лесовозном автопоезде. Изучено влияние погрузочного оборудования на размер допустимой полезной нагрузки транспортного средства.

гидроманипулятор, автомобиль, прицеп, полуприцеп, полезная нагрузка, грузоподъемность.

Оснащение лесовозного автопоезда навесным гидравлическим манипулятором влияет на объем полезного груза на той единице подвижного состава, где он установлен. Для сохранения расчетных нагрузок на транспортное средство и нормативных значений осевых нагрузок с учетом массы гидроманипулятора допустимая полезная нагрузка на него должна быть снижена. Нагрузка на автопоезд от веса гидроманипулятора и другого дополнительного оборудования зависит главным образом от конструкции манипулятора, места его установки, размещения стрелы и грейферного захвата в транспортном положении. Возможные варианты размещения манипулятора на лесовозных автопоездах представлены на рис. 1.

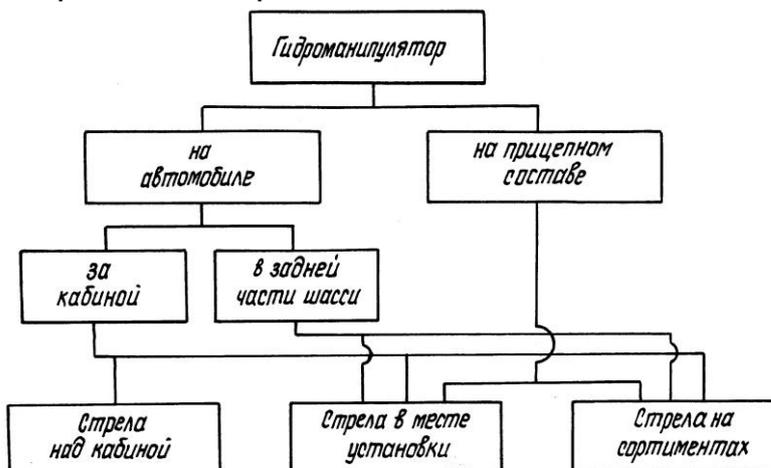


Рис. 1. Варианты размещения гидроманипулятора на лесовозном автопоезде

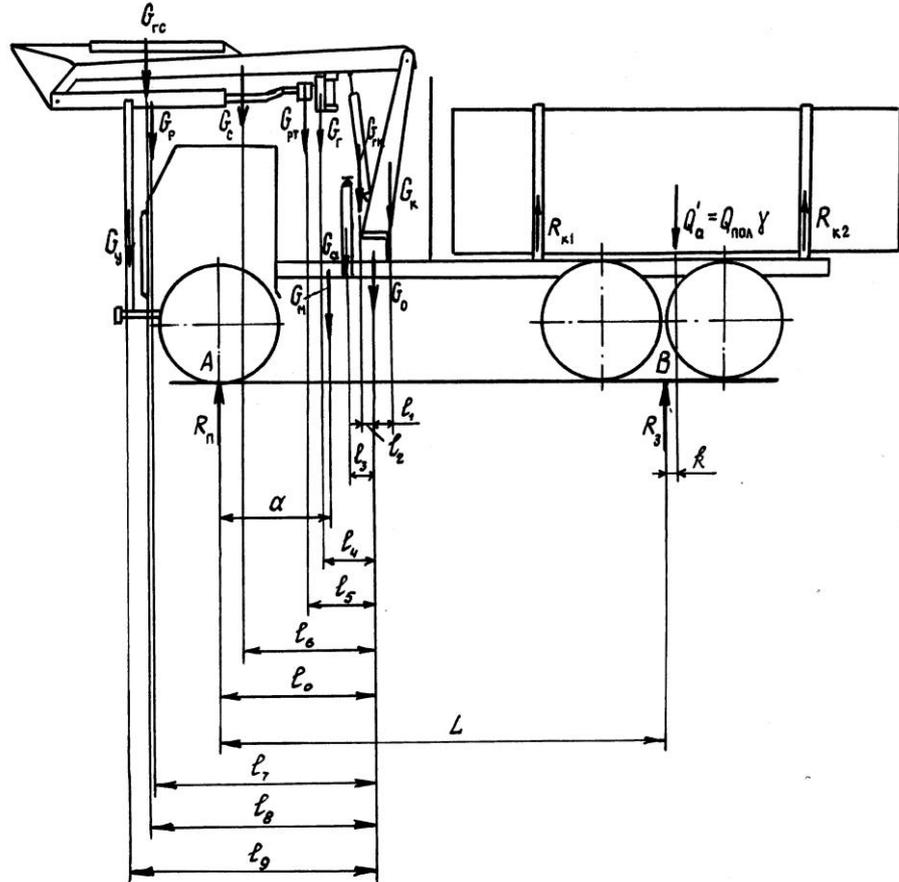


Рис. 2. Схема к расчету допустимой полезной нагрузки на автомобиль

На рис. 2 рассмотрен случай установки манипулятора на автомобиле за кабиной и размещения стрелы над ней в транспортном положении.

Допустимая полезная нагрузка на автомобиль должна быть равна

$$Q_a = R_{\epsilon 1} + R_{\epsilon 2} = Q_{\text{пн}} \gamma,$$

где  $Q_a$  – расчетная нагрузка на автомобиль, кН;

$R_{\kappa 1}, R_{\kappa 2}$  – реакции опорных частей коников, кН;

$Q_{\text{пол}}$  – полная нагрузка, кН;

$\gamma$  – доля веса манипулятора от полной нагрузки.

Нагрузки на переднюю ( $R_n$ ) и заднюю ( $R_3$ ) оси (тележки) автомобиля можно представить в виде суммы составляющих:

$$R_i = R_i^{\text{л}a} + R_i^{\text{а}i} + R_i^{\text{и}a};$$

$$R_{\zeta} = R_{\zeta}^{\text{л}a} + R_{\zeta}^{\text{а}i} + R_{\zeta}^{\text{и}a},$$

где  $R^{Ma}$ ,  $R^M$ ,  $R^{M\pi}$  – нагрузки на оси от собственно снаряженного автомобиля без гидроманипулятора, от веса манипулятора и от перевозимого груза, кН.

Для определения  $Q_a$  составим уравнение моментов сил относительно передней оси (точки  $A$ ).

В случае, когда автомобиль не имеет гидроманипулятора,

$$\sum M_A = 0; -Q_a(L+k) + R_{\zeta}^{i\ddot{a}} L - gC_M a + R_{\zeta}^{i\dot{a}} L = 0,$$

где  $k$  – смещение центра тяжести погруженных лесоматериалов относительно задней оси (тележки), м;

$L$  – база автомобиля, м;

$G_M$  – масса снаряженного автомобиля, т;

$a$  – расстояние от центра тяжести автомобиля до передней оси, м.

Из этого уравнения находим

$$Q_a = \frac{R_{\zeta}^{i\ddot{a}} + R_{\zeta}^{i\dot{a}} L - gG_i a}{L+k} = \frac{R_{\zeta} L - gG_i a}{L+k}. \quad (1)$$

При наличии погрузочного механизма

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; & -Q'_a(L+k) + R_{\zeta}^{i\ddot{a}} L - gC_M a + R_{\zeta}^{i\dot{a}} L - gG_o l_o - gG_K(l_o + l_1) - \\ & - gG_{ГК}(l_o - l_2) - gG_a(l_o - l_3) - gG_r(l_o - l_4) - gG_{рГ}(l_o - l_5) - gG_c(l_o - l_6) - \\ & - gG_p(l_o - l_7) - gG_{Гс}(l_o - l_8) - gG_y(l_o - l_9) + R_{\zeta}^{i\dot{a}} L = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$G_o$  – масса опорной части манипулятора, т;

$G_K$  – масса колонны, включая сиденье оператора погрузки, т;

$G_{ГК}$  – масса гидроцилиндра (гидроцилиндров) подъема стрелы, т;

$G_a$  – масса аутригеров, т;

$G_r$  – масса грузозахватного устройства, т;

$G_{рГ}$  – масса рогатора, т;

$G_c$  – масса стрелы (первой части), т;

$G_p$  – масса рукояти (второй части стрелы), т;

$G_{Гс}$  – масса гидроцилиндра складывания стрелы, т;

$G_y$  – масса упора, т;

$l_o$  – расстояние от передней оси до линии крепления гидроманипулятора, м;

$l_1, l_2, \dots, l_9$  – расстояния от линии крепления гидроманипулятора до центров масс составляющих его элементов, м.

В уравнении (2) обозначим

$$\begin{aligned} gG_o l_o + gG_K(l_o + l_1) + gG_{ГК}(l_o - l_2) + gG_a(l_o - l_3) + gG_r(l_o - l_4) + gG_{рГ}(l_o - l_5) + \\ + gG_c(l_o - l_6) + gG_p(l_o - l_7) + gG_{Гс}(l_o - l_8) + gG_y(l_o - l_9) = g \sum_{i=1}^n G_i (l_o \pm l_i), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $n$  – число составляющих элементов гидроманипулятора.

Из уравнения (2) с учетом (3) получим

$$Q'_a = \frac{R_{\zeta}^{\text{ia}} + R_{\zeta}^{\text{ia}} + R_{\zeta}^{\text{ai}} \cdot L - gG_i \cdot a - g \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left( \pm l_i \right)}{L + k} = \frac{R_{\zeta} L - gG_i \cdot a - g \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left( \pm l_i \right)}{L + k}. \quad (4)$$

Значит, снижение допустимой полезной нагрузки составит

$$\Delta Q_a = Q_a - Q'_a = \frac{g \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left( \pm l_i \right)}{L + k}. \quad (5)$$

Это выражение справедливо при условии, что параметр  $k$  не изменяется. В противном случае  $\Delta Q_a$  может быть найдена из разности формул (1) и (4).

При расположении стрелы гидроманипулятора над кабиной в транспортном положении в соответствии со схемой рис. 2 основная часть нагрузки от навешенного на автомобиль оборудования будет восприниматься его передней осью. Поэтому необходимо проверить нагрузку из условия, что она не превышает нормативного значения. Для этого составим уравнение равновесия сил относительно задней оси или оси крепления балансирной подвески (точка  $B$ ) и найдем из него искомую величину:

$$R_{\text{п}} = \frac{\tilde{O}}{L} \leq R_{\text{п}}^{\text{н}}. \quad (6)$$

где  $[R_{\text{п}}]$  – допустимая нагрузка на переднюю ось, кН;

$X$  – параметр, определяемый по формуле

$$X = gG_{\text{м}}(L - a) - Q'_a k + gG_0(L - l_0) + gG_{\text{к}}(L - l_0 - l_1) + gG_{\text{рк}}(L - l_0 + l_2) + gG_{\text{а}}(L - l_0 + l_3) + gG_{\text{р}}(L - l_0 + l_4) + gG_{\text{пр}}(L - l_0 + l_5) + gG_{\text{с}}(L - l_0 + l_6) + gG_{\text{п}}(L - l_0 + l_7) + gG_{\text{рс}}(L - l_0 + l_8) + gG_{\text{у}}(L - l_0 + l_9).$$

Если условие (6) нарушается, необходимо пересмотреть параметры размещения груза на автомобиле или его величину, т. е. уменьшить  $R_{\text{п}}^{\text{н}}$ . Если и в этом случае неравенство (6) не выполняется, то следует пересмотреть вариант расположения стрелы.

При установке манипулятора за кабиной и размещении стрелы на пачке сортиментов значение  $g \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left( \pm l_i \right)$  в формуле (5) определится по уравнению

$$g \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left( \pm l_i \right) = gG_0 l_0 + gG_{\text{к}}(l_0 - l_1) + gG_{\text{рк}}(l_0 + l_2) + gG_{\text{а}}(l_0 + l_3) + gG_{\text{р}}(l_0 + l_4) + gG_{\text{пр}}(l_0 + l_5) + gG_{\text{с}}(l_0 + l_6) + gG_{\text{п}}(l_0 + l_7) + gG_{\text{рс}}(l_0 + l_8).$$

При установке манипулятора в задней части шасси автомобиля и размещении стрелы на сортирентах из выражения (3) следует исключить последнее слагаемое  $gG_y(l_0 - l_9)$ , так как упора стрелы нет. Вместо него следует добавить слагаемое  $gG_{вр}(l_0 - l_{10})$ , где  $G_{вр}$  – масса выступающей за раму автомобиля части надрамника или специальной дополнительной рамы для крепления гидроманипулятора, т;  $l_{10}$  – расстояние от центра тяжести  $G_{вр}$  до оси крепления манипулятора, м. В этом случае  $l_0 > L$ .

При навешивании на автомобиль гидроманипулятора с z-образной схемой складывания стрелы и размещения ее в поперечной плоскости в пределах габарита выражение (3) значительно упростится и примет вид:

при установке за кабиной

$$g \sum_{i=1}^n G_i \left( \pm l_i \right) = gG_{аи} l_0 + gG_a \left( \pm l_c \right),$$

где  $G_{тм}$  – масса гидроманипулятора без аутригеров, т;  
при установке в задней части шасси

$$g \sum_{i=1}^n G_i \left( \pm l_i \right) = gG_{аи} l_0 + gG_a \left( \pm l_c \right) + gG_{ад} \left( \pm l_{10} \right).$$

Знак плюс – минус перед  $l_3$  зависит от места крепления аутригеров относительно опорной части манипулятора.

Снижение грузоподъемности прицепных единиц при размещении на них погрузочного оборудования определяется по аналогичной методике.

Расчеты показывают, что размещение гидроманипулятора за кабиной автомобиля, а стрелы над кабиной приводит к необходимости минимального снижения допустимой полезной нагрузки на автомобиль (на 0,4...10,6 % в зависимости от марки автомобиля и гидроманипулятора).

Размещение стрелы гидроманипулятора на лесоматериалах в транспортном положении при установке за кабиной требует снизить полезную нагрузку на автомобили КамАЗ (7,9 ... 16,4 %), «Урал» (21,5 ... 31,2 %). Применение манипулятора ПЛ-70 с поперечным размещением стрелы в транспортном положении приведет к ее уменьшению соответственно на 5,9 ... 8,3 и 18,3 ... 20,1 %.

Размещение гидроманипулятора в задней части шасси автомобиля, существенно снижает полезную нагрузку автомобиля (рис. 3). Это снижение зависит от длины грузовой платформы автомобиля и длины перевозимых лесоматериалов. При этом во всех исследуемых вариантах требуемое снижение превышает собственную массу манипулятора, особенно для гидроманипулятора ПЛ-70 с поперечным размещением стрелы в транспортном положении.

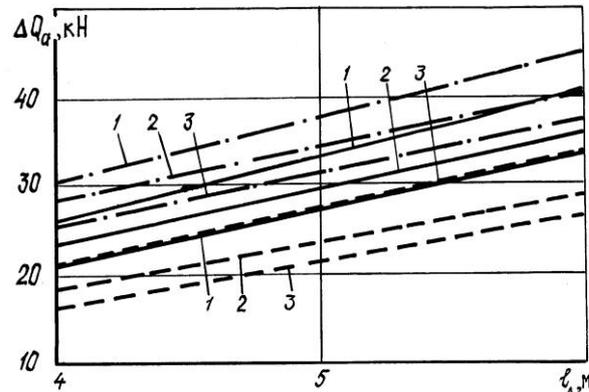


Рис. 3. Снижение допустимой полезной нагрузки автомобиля  $\Delta Q_a$  от массы гидроманипулятора при его размещении в задней части шасси машины в зависимости от длины перевозимых сортиментов  $l_d$ : сплошная линия – СФ-65С; пунктирная – F-65S; штрих-пунктирная – ПЛ-70; 1 – «Урал-43202»; 2 – КамАЗ-43105; 3 – КамАЗ-53212

При размещении гидроманипулятора в задней части шасси существенно разгружается передняя ось автомобиля. Во всех рассмотренных случаях нагрузка на переднюю ось в грузеном состоянии меньше, чем у порожней машины без навесного погрузочного оборудования. Чем дальше сдвигается манипулятор в заднюю часть шасси автомобиля в целях увеличения полезной длины его грузовой платформы, тем значительно снижается допустимая полезная нагрузка и нагрузка на переднюю ось.

При монтаже гидроманипулятора на прицепе или полуприцепе их допустимая полезная нагрузка должна быть уменьшена на величину, равную массе навешиваемого погрузочного оборудования. Обеспечить соответствие нормативам распределения полной массы прицепа или полуприцепа по осям в этом случае можно за счет продольного смещения лесоматериалов по платформе, чего нельзя сделать на автомобиле.

*M. Yu. Smirnov*

### Calculation of Bearing Capacity of Vehicle with Hydraulic Handling Device

The variants of placing hydraulic handling device on haul rig are considered. The influence of loading equipment on bearing capacity of the vehicle has been studied.