

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПОЛУПРИЦЕП-РАЗБРАСЫВАТЕЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Николай Филиппович Скурятин<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса в АПК  
 Михаил Иванович Романченко<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса в АПК  
 Сергей Владимирович Соловьёв<sup>2</sup>, старший преподаватель кафедры электроэнергетики и автоматизации  
 Евгений Владимирович Соловьёв<sup>1</sup>, ассистент кафедры технического сервиса в АПК

<sup>1</sup>Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

Предметом исследований являются закономерности изменения сил, действующих на прицепное устройство трактора со стороны полуприцепа-разбрасывателя при рабочем ходе агрегата. Использованы аналитический и расчётный методы исследований. Установлены закономерности изменения догружающего усилия прицепного устройства трактора при рабочем ходе агрегата для вариантов: исходное положение кронштейна колёсного хода полуприцепа-разбрасывателя и его балансиров; смещённые назад кронштейны колёсного хода; смещённые назад кронштейны колёсного хода и поднятые вверх передние колёса разбрасывателя. Для полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений грузоподъёмностью 6 т получены значения долей опорожнения кузова, когда целесообразно осуществлять смещение кронштейнов колёсного хода и выполнять подъём передних колёс разбрасывателя. Установлено, что при внесении 25 т/га органических удобрений, ширине разбрасывания 5 м и рабочей скорости агрегата 2,5 м/с смещение кронштейнов колёсного хода разбрасывателя и подъём его передних колёс необходимо осуществлять соответственно через 1,16 и 1,68 мин.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полуприцеп-разбрасыватель, удобрение, подача, догрузка, сила.

The subject of research includes the patterns of changes in forces acting on the trailing appliance of a tractor from the side of a dispensing semi-trailer during the operation of the unit. Analytical and computational methods were used for research. The authors defined the patterns of changes in the finishing load of the trailing appliance during operation for the following options: starting position of the wheel frame of a dispensing semi-trailer and its balance weights; wheel frames shifted backwards; wheel frames shifted backwards with lifted front wheels of the dispenser. For a semi-trailer dispensing organic fertilizers with the loading capacity of 6 tons the authors obtained the values of shares in cargo body discharge, at which it is reasonable to shift the wheel frames and lift the front wheels of the dispenser. It was established that when applying organic fertilizers at the rate of 25 tons per hectare with the scattering width of 5 m and operating speed of the unit of 2.5 m/s it is necessary to shift the wheel frames of the dispenser and lift its front wheels every 1.16 and 1.68 minutes, respectively.

**KEY WORDS:** dispensing semi-trailer, fertilizer, supply, finishing load, force.

**К**ак известно, преимущество полуприцепного транспортно-технологического агрегата состоит в том, что трактор становится грузонесущим, а это ведет к повышению его сцепного веса и, как следствие, к снижению буксования и часового расхода топлива. Но так как при движении масса агрегата уменьшается, то уменьшается и догружающая сила, действующая на сцепное устройство трактора, и сила сопротивления перекачиванию. С точки зрения снижения буксирования трактора и часового расхода топлива следовало бы догрузку сцепного устройства трактора сохранить постоянной, но в конструкции известных полуприцепов-разбрасывателей [1, 3, 4] это не предусмотрено.

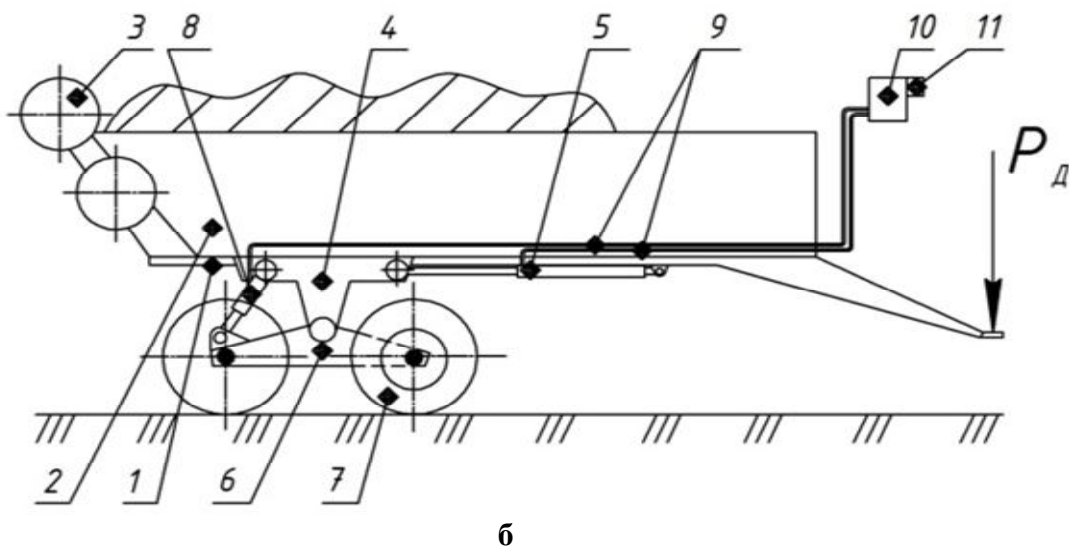
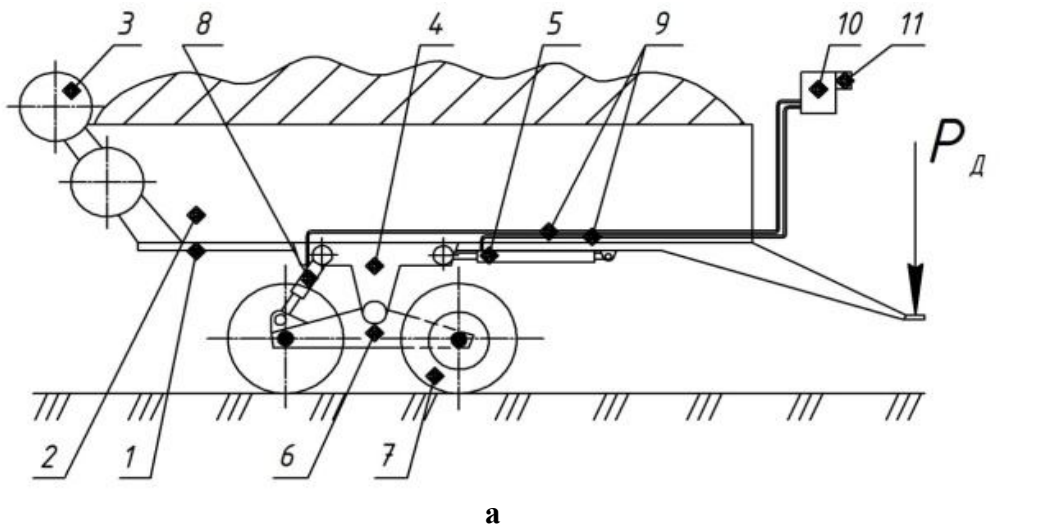
Специфика работы кузовных разбрасывателей органических удобрений заключается в том, что опорожнение кузова при внесении удобрений осуществляется с передней части, это ведет к интенсивному снижению догрузки сцепного устройства трактора. В работах [2, 5, 6, 7] достаточно полно исследован вопрос эффективного агрегатирования полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений с колёсным трактором, но управление догружа-

ющим усилием сцепного устройства трактора в них не рассматривалось. Уменьшить или исключить снижение догрузки сцепного устройства трактора возможно несколькими путями:

- осуществлять синхронное перемещение кузова относительно рамы разбрасывателя вперед, но это обуславливает кардинальное изменение конструкции машины;
- осуществить установку распределяющих рабочих органов (битеров) не в задней, а в передней части кузова, т.е. органические удобрения подавать не назад (от трактора), а в переднюю часть кузова, но это потребует серьезного вмешательства в конструктивно-технологическую схему машины;
- модернизировать разбрасыватель посредством смещения назад относительно рамы кронштейнов балансиров колес, а также последующего подъема передних колес при соответствующем опорожнении кузова.

Третий вариант обеспечения стабильной догрузки сцепного устройства трактора менее эффективен по сравнению и с первым, и со вторым вариантами, но он менее затратен по времени реализации и средствам. Рассмотрим его.

Модернизацию проведем на примере полуприцепа-разбрасывателя, оснащенного планчатым подающим транспортером и распределяющими рабочими органами в виде двух горизонтальных битеров, установленных в задней части кузова. Сущность модернизации будет понятна из рисунка 1 и описания работы полуприцепа-разбрасывателя.



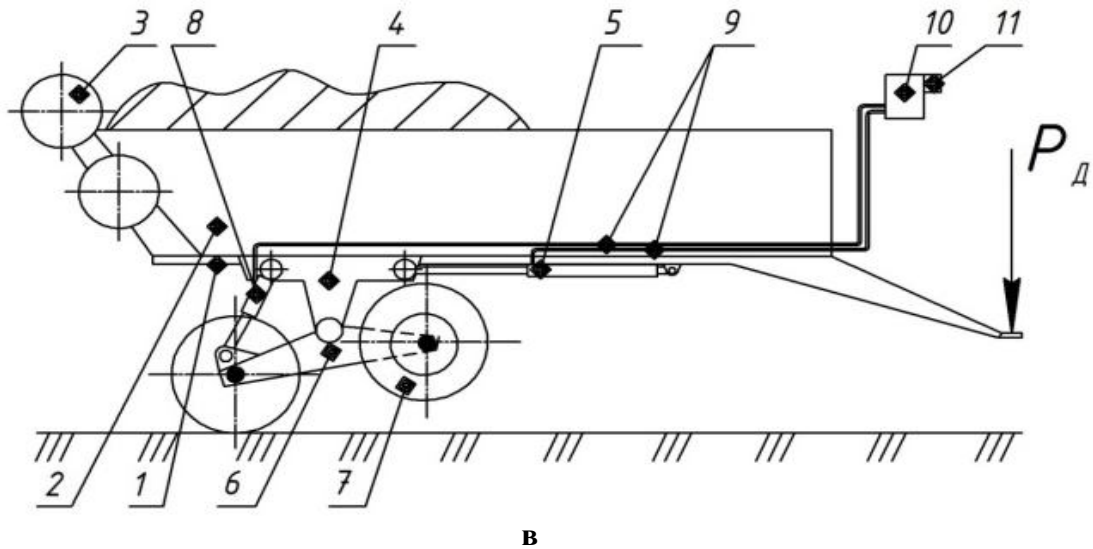


Рис. 1. Конструктивная схема модернизированного полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений: а) полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений; б) полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений со смещенными назад кронштейнами (вид сбоку); в) полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений со смещенными назад кронштейнами и поднятыми вверх передними колесами (вид сбоку); 1 – рама; 2 – кузов; 3 – рабочие органы; 4 – кронштейны; 5 – гидроцилиндр; 6 – балансиры; 7 – колеса; 8 – гидроцилиндры; 9 – гидравлическая арматура; 10 – гидрораспределитель; 11 – таймер

На рисунке 1 представлен полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений (вид сбоку); на рисунке 2 – принципиальная схема изменения догружающего усилия сцепного устройства трактора со стороны полуприцепа-разбрасывателя от степени опорожнения кузова.

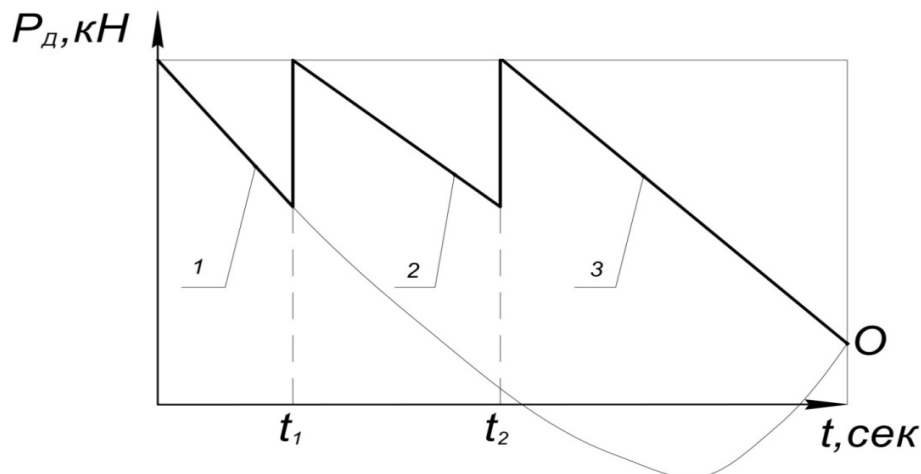


Рис. 2. Принципиальная схема изменения догружающего усилия сцепного устройства трактора от степени опорожнения кузова полуприцепа-разбрасывателя: 1, 2, 3 – кривые, характеризующие соответственно базовый вариант, при смещении кронштейнов назад и при одновременном смещении кронштейнов и подъёме вверх передних колёс

Полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений состоит (рис. 1) из рамы 1, на которую установлен кузов 2, рабочие органы 3, к нижней части рамы 1 по обе стороны с возможностью продольного перемещения установлены кронштейны 4, причём к их передним частям шарнирно закреплены штоки гидроцилиндров 5, а корпуса гидроцилинд-

ров 5 шарнирно прикреплены к раме 1. К нижней части кронштейнов шарнирно закреплены балансиры 6, на концах которых установлены колёса 7, причём на задних концах балансиров 6 установлены гидроцилиндры 8, их штоки шарнирно соединены с задними частями кронштейнов 4. Гидроцилиндры 5 и 8 соединены гидравлической арматурой 9 с гидрораспределителем трактора 10, оснащённым таймером 11.

Устройство работает следующим образом.

При рабочем ходе полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений разгрузка кузова 2 начинается с передней его части, в результате чего центр масс полуприцепа-разбрасывателя смещается назад и, как следствие, уменьшается догрузка  $P_d$  сцепного устройства трактора (рис. 2, отрезок кривой 1), что неизбежно ведёт к увеличению буксования. При известной грузоподъёмности  $Q$  полуприцепа-разбрасывателя, его рабочей ширине захвата  $B_p$ , установленной дозы внесения органических удобрений  $d$ , рабочей скорости  $\mathcal{G}_p$ , определяется время  $t$  опорожнения кузова 2 зависимостью.

$$t = \frac{Q}{B_p \cdot d \cdot \mathcal{G}_p}, \quad (1)$$

где  $Q$  – грузоподъёмность полуприцепа-разбрасывателя, кг;

$B_p$  – рабочая ширина захвата, м;

$d$  – доза внесения органических удобрений, кг/м<sup>2</sup>;

$\mathcal{G}_p$  – рабочая скорость, м/с.

В расчётное время  $t_1$  (рис. 2) посредством таймера 11, гидрораспределителя трактора 10 гидравлической арматуры 9 включаются гидроцилиндры 5, что приводит к смещению кронштейнов 4 назад (рис. 1 б), в результате чего достигается исходная догрузка  $P_d$  на сцепное устройство трактора. При дальнейшем уменьшении органических удобрений в кузове догрузка трактора со стороны полуприцепа-разбрасывателя изменяется по отрезку кривой 2 (рис. 2). В момент времени  $t_2$ , также посредством таймера 11, гидрораспределителя трактора 10 гидравлической арматуры 9 включаются гидроцилиндры 8, что приводит к подъёму передних колёс (рис. 1 в) и, как следствие, к достижению исходной догрузки  $P_d$  на сцепное устройство трактора. Последующее уменьшение органических удобрений в кузове ведёт к снижению величины догрузки, характеризуемой отрезком кривой 3 (рис. 2). Точка О указывает на полное опорожнение кузова полуприцепа-разбрасывателя.

Для обоснования основных конструктивно-технологических параметров модернизированного полуприцепа-разбрасывателя необходимо знать его техническую характеристику.

Исходя из технической характеристики определим величину догрузки сцепного устройства трактора при полной загрузке кузова полуприцепа-разбрасывателя (рис. 3).

Составим уравнение моментов относительно точки А аналогично зависимости

$$(G_{np} + Q_p^H - R_\delta^H) \cdot l_{o\delta} + R_\delta^H \cdot l_p = Q_p^H \frac{l_k}{2} + G_{np} \cdot l_u. \quad (2)$$

Откуда находим

$$R_\delta^H = \frac{Q_p^H \frac{l_k}{2} + G_{np} \cdot l_u - (G_{np} + Q_p^H) \cdot l_{o\delta}}{l_p - l_{o\delta}}. \quad (3)$$

Полученная зависимость (3) позволяет определить нагрузку со стороны полуприцепа-разбрасывателя на сцепное устройство трактора при номинальной его загрузке, равной  $Q_p^H$ .

Выше было показано, что при разгрузке кузова происходит изменение сил, действующих на полуприцеп-разбрасыватель, кроме того, происходит непрерывное изменение и центра масс.

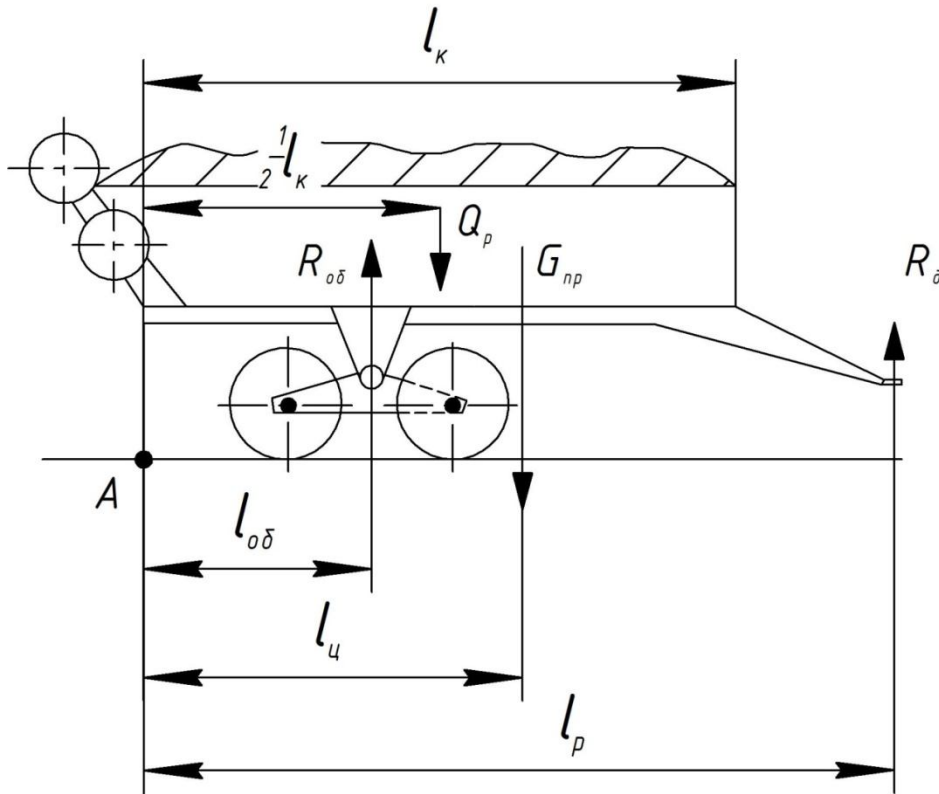


Рис. 3. Схема сил, действующих на загруженный полуприцеп-разбрасыватель

Рассмотрим этот процесс с учетом вышесказанного при:

- исходном положении кронштейнов колесного хода полуприцепа-разбрасывателя и его балансира;
- смещённых назад кронштейнах колесного хода;
- смещённых назад кронштейнах колесного хода и поднятых передних колесах разбрасывателя.

Представим грузоподъемность полуприцепа-разбрасывателя  $Q_p$  как произведение

$$Q_p = \frac{Q_p^H}{l_k} \cdot l_k = q \cdot l_k, \quad (4)$$

где  $q$  – удельный вес груза в кузове полуприцепа-разбрасывателя, приходящийся на один метр его длины, кН/м.

Для текущего значения веса груза в кузове  $Q_{pi}$  его значение будет равно

$$Q_{pi} = \frac{Q_p^H}{l_k} \cdot l_i = q \cdot l_i, \quad (5)$$

где  $l_i$  – длина кузова полуприцепа-разбрасывателя, на которой размещен груз весом  $Q_{pi}$ .

Представим текущее значение длины кузова полуприцепа-разбрасывателя как произведение

$$l_i = l_k \cdot \lambda,$$

здесь  $\lambda$  – доля длины кузова, занятая грузом.

Тогда текущее значение веса груза в кузове запишется как:

$$Q_p = l_k \cdot \lambda \cdot q.$$

Составим уравнение моментов относительно точки А (рис. 4)

$$R_{o\delta} \cdot l_{o\delta} + R_{\delta}^H \cdot l_p = Q_p \frac{l_k}{2} + G_{np} \cdot l_u \quad (6)$$

или

$$(G_{np} + q \cdot l_k \cdot \lambda - R_{\delta}^H) \cdot l_{o\delta} + R_{\delta}^H \cdot l_p = q \cdot l_k \cdot \lambda \cdot \frac{\lambda \cdot l_k}{2} + G_{np} \cdot l_u,$$

$$G_{np} \cdot l_{o\delta} + q \cdot l_k \cdot \lambda \cdot l_{o\delta} - R_{\delta}^H \cdot l_{o\delta} + R_{\delta}^H \cdot l_p = l_k^2 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{q}{2} + G_{np} \cdot l_u.$$

После преобразований

$$l_k^2 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{q}{2} - q \cdot l_k \cdot \lambda \cdot l_{o\delta} + G_{np} \cdot l_u + R_{\delta}^H (l_{o\delta} - l_p) = 0$$

или

$$A\lambda^2 - B\lambda + C = 0, \quad (7)$$

$$\text{где } A = \frac{q}{2} l_k^2; B = q \cdot l_k \cdot l_{o\delta}; C = G_{np} \cdot l_u + R_{\delta}^H (l_{o\delta} - l_p). \quad (8)$$

Для условий, когда кронштейны колесного хода полуприцепа-разбрасывателя остаются в исходном положении, а передние колеса не подняты, решением уравнения (7) будет  $\lambda = 1$ .

Как уже ранее отмечалось, опорожнение кузова полуприцепа-разбрасывателя происходит с передней части. Для восстановления исходного значения догружающего усилия прицепного устройства трактора необходимо посредством гидроцилиндров 5 (рис. 1) переместить кронштейны 4 назад на некоторую величину. Это позволит уменьшить плечо приложения реакции силы, действующей на колесный ход.

Решая квадратное уравнение (7) при значениях постоянных коэффициентов (8), равных

$$A = \frac{q}{2} l_k^2; B = q \cdot l_k (l_{o\delta} - l_u) \text{ и } C = G_{np} \cdot l_u + R_{\delta}^H (l_{o\delta} - l_u - l_p), \quad (9)$$

(где  $l_u$  – ход поршня гидроцилиндра, м), получим значения, степени опорожнения кузова полуприцепа-разбрасывателя  $\lambda_1$ , когда догружающее усилие прицепного устройства трактора достигнет своего исходного значения, равного  $R_{\delta}^H$ . При последующем опорожнении кузова уменьшение догружающего усилия будет определяться другой закономерностью, чем в начальный момент (рис. 2).

При включении гидроцилиндра 5 (рис. 1) в кузове полуприцепа-разбрасывателя количество груза будет равным

$$Q_1 = Q_p (1 - \lambda_1). \quad (10)$$

Это произойдет через промежуток времени  $t_1$ , равный

$$t_1 = \frac{Q_1}{q_p} = \frac{Q_p \cdot (1 - \lambda_1)}{B_p \cdot d \cdot v_p}, \quad (11)$$

где  $q$  – секундная производительность разбрасывателя, кг/с;  
 $B_p$  – рабочая ширина захвата полуприцепа-разбрасывателя, м;  
 $d$  – доза внесения органических удобрений, кг/м<sup>2</sup>;  
 $v_p$  – рабочая скорость агрегата, м/с;

Дальнейшая разгрузка кузова полуприцепа-разбрасывателя снова приведет к уменьшению догружающего усилия прицепного устройства трактора. Восстановление догрузки до исходного значения  $R_o^n$  осуществляется за счет подъема передних колес полуприцепа-разбрасывателя посредством включения гидроцилиндров 8 (рис. 1). В этом случае плечо приложения реакции опоры на колесный ход  $R_{o\sigma}$  сократится на величину  $l_z$ , равную радиусу колеса полуприцепа-разбрасывателя  $r_k$ , так как колёса балансиров колёсного хода полуприцепа-разбрасывателя установлены с минимальным зазором относительно друг друга  $l_z = r_k$ .

Степень опорожнения кузова полуприцепа-разбрасывателя в момент подъема передних колес должна быть равна  $\lambda_2$ , ее значения также находятся из квадратичного уравнения (7), причём значения постоянных коэффициентов (8) должны быть равны

$$\begin{aligned} B &= q \cdot l_k (l_{o\sigma} - l_u - r_k), \\ C &= G_{np} \cdot l_u + R_o^H (l_{o\sigma} - l_u - r_k - l_p). \end{aligned} \quad (12)$$

Время включения гидроцилиндров 8 (рис. 1) от начала процесса опорожнения кузова  $t_2$  равно

$$t_2 = \frac{Q_2}{q_p} = \frac{Q_p \cdot (1 - \lambda_2)}{B_p \cdot d \cdot v_p}.$$

Поскольку время включения гидроцилиндров 5 и 8 (рис. 1) известно, то целесообразно использовать таймер 11 (рис. 1), управляющий звуковым сигналом, который будет подаваться через время  $t_1$  и  $t_2$ , оповещающий тракториста включить гидроцилиндры сначала 5, а затем 8. Возможно автоматизировать процесс перевода соответствующих секций гидрораспределителя 10 (рис. 1) трактора с нейтрального положения в рабочее «на подъем» или «опускание».

Следует заметить, что подъем передних колес полуприцепа-разбрасывателя возможно тогда, когда его общий вес не будет превышать несущей способности шин задних колес, то есть

$$2N_k \geq G_{np} + Q_p^H \lambda_2^* - R_o^H.$$

где  $N_k$  – несущая способность шины заднего колеса полуприцепа-разбрасывателя, кН;

$\lambda_2^*$  – степень опорожнения кузова перед включением гидроцилиндра 8 (рис. 1).

Откуда находим необходимую степень опорожнения кузова разбрасывателя

$$\lambda_2^* = \frac{2N_k - G_{np} + R_o^H}{Q_p^H}. \quad (13)$$

Если окажется, что  $\lambda_2^* < \lambda_2$ , то включение гидроцилиндров 8 (рис. 1) необходимо осуществлять при степени опорожнения кузова, равной  $\lambda_2^*$ .

Для транспортно-распределительного агрегата в составе трактора типа МТЗ-80, разбрасывателя органических удобрений типа РОУ-6, грузоподъемность которого равна 6 т, при внесении 25 т/га удобрений, ширине захвата агрегата 5 м и скорости движения 2,5 м/с установлено, что смещение кронштейнов колёсного хода и последующий подъём передних колёс разбрасывателя необходимо осуществлять при степени опорожнения кузова, равной соответственно 0,29 и 0,42. Другими словами, последовательное включение гидроцилиндров 5 и 8 необходимо осуществлять через 1,16 и 1,68 мин.

---

**Список литературы**

1. Пат. 1572834 СССР, МПК В60С5/00. Транспортное средство / Ю.И. Гудков, В.Д. Щербаков, П.И. Семенов; заявитель и патентообладатель Всесоюзный конструкторско-технологический институт по механизации монтажных и специальных строительных работ. – № 24409081/23-11; заявл. 13.04.1988; опубл. 23.06.1990, Бюл. № 23. – 4 с.
2. Пат. 2148499 Российская Федерация, МПК В60D1/00. Тягово-догрузочное устройство / Н.Ф. Скурятин, И.К. Исаев, Б.С. Зданович; заявитель и патентообладатель Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. – № 99100590/28; заявл. 10.01.1999; опубл. 10.05.2000, Бюл. № 13. – 6 с.
3. Пат. 2278496 Российская Федерация, МПК А01С 15/00 (2006.01), В60G 5/02 (2006.01), В60G 21/05 (2006.01). Разбрасыватель органических удобрений / Н.Ф. Скурятин, С.В. Шерстюк; заявитель и патентообладатель Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2004120887/11; заявл. 08.07.2004; опубл. 27.06.2006, Бюл. № 18. – 6 с.
4. Сельскохозяйственная техника. Каталог-дополнение. Ч. I-II / под ред. Л.П. Кормановского. – Ч. I. – Москва, 1993. – С. 56.
5. Скурятин Н.Ф. Исследование распределения веса по опорам тракторного транспортного агрегата / Н.Ф. Скурятин, Б.С. Зданович. – Москва, 2000. – 48 с. – Деп. в ВНИИТЭИагропрома. – № 139.
6. Скурятин Н.Ф. Исследование распределения веса транспортно-технологического агрегата по опорам при использовании тягово-догрузочного устройства / Н.Ф. Скурятин, Б.С. Зданович // Совершенствование средств механизации для производства сельскохозяйственной продукции / Курская ГСХА: материалы науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской работы за 1999 г. – Курск, 2000. – С. 15.
7. Скурятин Н.Ф. Метод перераспределения веса транспортно-технологического агрегата по его опорам / Н.Ф. Скурятин, Б.С. Зданович // Экология ЦЧО РФ. – 2000. – № 2. – С. 118–121.