

УДК 621.878.62(27)

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ АГРЕГАТИРОВАНИЯ
ПРИЦЕПНОГО СКРЕПЕРА И ТЯГАЧА

PROGRESSIVE EQUIPMENT METHODS TRAILED SCRAPER AND TRAILER

Нилов В.А.¹, Федоров Е.В.², Гаврилов А.В.¹
Nilov V.A.¹, Fedorov E.V.², Gavrilov A.V.¹¹ – Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)² – ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (Воронеж, Россия)¹ – Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)² – Military Educational center of science of Military-air force, Military academy of a name of prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin (Voronezh, Russian Federation)

Аннотация. Рассмотрены вопросы изменения (стабилизации и увеличения) сцепного веса тягача прицепного скрепера при разработке грунта с различными прицепами устройствами. Исследования схемы сил, действующих на серийное прицепное устройство, подтвердили данные, полученные в ходе натурных исследований разработки грунта прицепами скреперами, об уменьшении сцепного веса тягача (колесного или гусеничного). Аналитическими исследованиями установлена причина уменьшения сцепного веса тягача и показана возможность стабилизации его сцепного веса. Предложено для оценки степени рациональности вертикального нагружения мостов тягача использовать коэффициент неравномерности вертикального нагружения его мостов. Это отношение вертикальных нагрузок на задний и передний мосты тягача. Такое соотношение на тяговом режиме не должно существенно отличаться от 1,0. Исследована оригинальная конструкция прицепа устройства, обеспечивающая увеличение сцепного веса тягача как за счет статической догрузки со стороны скрепера, так и за счет развиваемой тягачом силы тяги. Установлена возможность получения заданного коэффициента неравномерности вертикального нагружения мостов тягача путем изменения высоты передачи тягового усилия на ковш скрепера. Выполненные исследования позволяют проектировать конструкции прицепных устройств с минимальными изменениями. Приведены практические рекомендации по рациональному агрегатированию колесного тягача и прицепа скрепера.

Ключевые слова: сцепной вес, догрузка, сила тяги, коэффициент неравномерности.

Дата принятия к публикации: 27.05.2019
Дата публикации: 25.06.2019

Сведения об авторах:

Нилов Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Строительной техники и инженерной механики Воронежского государственного технического университета, e-mail: vladnil1014@mail.ru

Abstract. The issues of changing (stabilizing and increasing) the coupling weight of a towed scraper when developing a soil with various trailers are considered. Studies of the scheme of forces acting on the serial trailer device confirmed the data obtained in the course of field studies of the development of soil by trailed scrapers, on the reduction of the towing weight of the tractor (wheeled or tracked). Analytical studies have established the reason for reducing the coupling weight of the tractor and showed the possibility of stabilizing its coupling weight. Analytical studies have established the reason for reducing the coupling weight of the tractor and showed the possibility of stabilizing its coupling weight. It is proposed to use the coefficient of non-uniformity of the vertical loading of its bridges to assess the degree of rationality of the vertical loading of the axles of the tractor. This ratio in traction mode should not significantly differ from 1.0. The original design of the trailer hitch, which provides an increase in the coupling weight of the tractor, both due to static loading from the side of the scraper and due to the traction force developed by the tractor, is investigated. The possibility of obtaining the specified coefficient of non-uniformity of the vertical loading of the axles of the tractor by changing the height of the transfer of traction to the scraper bucket is established. The studies performed allow the design of towing devices with minimal changes. Practical recommendations for the rational aggregation of the wheel tractor and trailed scraper are given.

Keywords: coupling weight, loading, traction force, unevenness coefficient.

Date of acceptance for publication: 27.05.2019
Date of publication: 25.05.2019

Authors' information:

Vladimir A. Nilov – Doctor of Technical Science, Professor of Department Construction equipment and engineering mechanics at Voronezh State Technical University, e-mail: vladnil1014@mail.ru

Федоров Евгений Владимирович – кандидат технических наук, преподаватель Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), e-mail: geka.fv@mail.ru

Гаврилов Александр Васильевич – преподаватель кафедры Технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью Воронежского государственного технического университета, e-mail: gawriloff@mail.ru

Evgeny V. Fedorov – Candidate of Technical Sciences, Teacher of Military Educational center of science of Military-air force at Military academy of a name of prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, e-mail: geka.fv@mail.ru

Alexander V. Gavrilo – lecturer of Department of Technologies, construction organizations, expertise and property management at Voronezh State Technical University, e-mail: gawriloff@mail.ru

Прицепные скреперные агрегаты позволяют обеспечить круглогодичное использование тягачей, что является одним из их несомненных преимуществ. Соединение тягача и скреперного оборудования осуществляется прицепными устройствами. Рядом исследований [1, 2] отмечено, что при копании грунта прицепными скреперными агрегатами сцепной вес тягача уменьшается независимо от вида ходового оборудования.

Для исследования влияния конструкции прицепных устройств на тяговые качества трактора скреперного агрегата необходимо составить схемы сил, действующих на тягач, прицепной брус и скрепер с аркой-хоботом.

На рис. 1 приведена схема сил, действующих на тягач и прицепной брус серийного скрепера. Рассматривая отдельно равновесие тягача относительно точек O_1 и O_2 и прицепного бруса относительно точки O_3 , можно рассчитать вертикальные нагрузки на мосты тягача R_1 и R_2 .

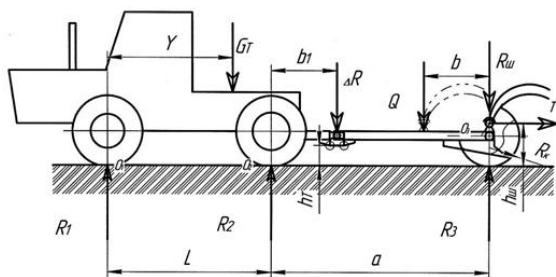


Рис. 1. Схема сил, действующих на тягач и прицепной брус

$$R_2 = \frac{1}{L} [G_T \cdot Y + \Delta R(L + b_1) + T \cdot h_T]; \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{1}{L} [G_T(L - Y) - \Delta R \cdot b_1 - T \cdot h_T], \quad (2)$$

где G_T – статический вес тягача, кН; ΔR – вертикальная догрузка от прицепного оборудования, кН; T – сила тяги тягача, кН; L –

база тягача, м; a , b , b_1 , Y , h_T – соответствующие плечи сил, м.

Для оценки степени неравномерности вертикального нагружения мостов тягача служит соотношение

$$K = R_2/R_1 = \frac{[G_T \cdot Y + \Delta R(L + b_1) + T \cdot h_T]}{[G_T(L - Y) - \Delta R \cdot b_1 - T \cdot h_T]}. \quad (3)$$

На тяговом режиме весьма желательно иметь это соотношение близким к 1,0.

Рассматривая отдельно равновесие прицепного бруса и ковша можно рассчитать величину вертикальной нагрузки на шаровую опору $R_{ш}$ и затем величину догрузки ΔR . На рис. 2 и 3 приведены соответствующие расчетные схемы.

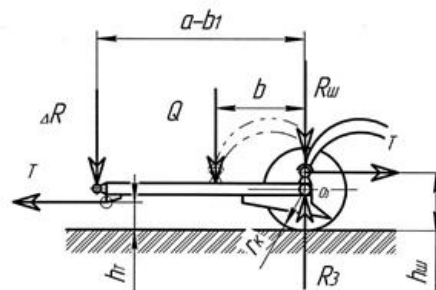


Рис. 2. Схема сил, действующих на прицепной брус серийного скрепера

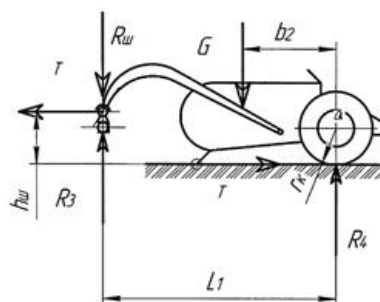


Рис. 3. Схема сил, действующих на ковш серийного скрепера (сила тяги передается через арку-хобот)

Поскольку вертикальная нагрузка на нож скрепера при копании меняет направление, то в данном расчете её целесообразнее не учитывать. Рассматривая равновесие ковша относительно шаровой опоры (рис. 3), получаем:

$$R_4 = \frac{1}{L_1} [G(L - b_2) - T \cdot h_{ш}]; \quad (4)$$

$$R_3 = |R_{ш}| = \frac{1}{L_1} [G \cdot b_2 + T \cdot h_{ш}]; \quad (5)$$

$$\Delta R = \frac{1}{(a-b_1)} [Q \cdot b + T(h_T - h_{ш})], \quad (6)$$

где G – вес прицепного скрепера без переднего моста, кН; Q – вертикальное воздействие догружающего устройства на прицепной брус, (на практике $Q=|R_{ш}| = R_3$), кН; L_1 – база ковша скрепера, м; $h_{ш}$ – высота шаровой опоры над грунтом.

На рис. 4 и 5 показано изменение сцепных качеств тягача в зависимости от развиваемой им силы тяги T без догрузки $\Delta R=0$ и в зависимости от плеча b приложения догрузки при копании грунта серийным скрепером ДЗ-111 с тягачом Т-150К.

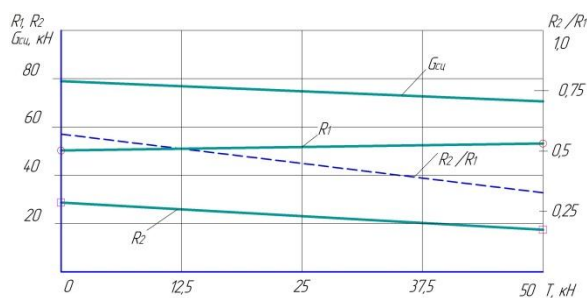


Рис. 4. Сцепные качества тягача в зависимости от силы тяги T (без догрузки $\Delta R=0$)

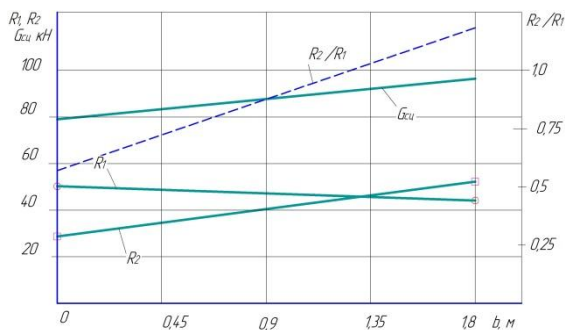


Рис. 5. Сцепные качества тягача в зависимости от плеча действия догрузки b при $T=0$ и $\Delta R=17,4$ кН

Как видно из рис. 4, сила тяги T существенно влияет на перераспределение верти-

кальных нагрузок по мостам тягача: коэффициент K уменьшается с 0,57 до 0,328. Но, что самое важное, уменьшается и сцепной вес тягача G_{cu} на 17,2% (с 79 кН до 65,44 кН). Это связано с тем, что сила тяги T приложена к шаровой опоре и тягачу на разных высотах от грунта ($h_{ш} \neq h_T$). В этом случае согласно выражению (6) величина догрузки ΔR будет уменьшаться, поскольку $h_{ш} > h_T$. Уменьшение сцепного веса тягача при работе с прицепным скрепером не зависит от вида его движителя [1, 2] и определяется только особенностью конструкции серийного прицепного устройства [3].

При выравнивании высот ($h_{ш} = h_T$) сила тяги T перестает влиять на величину догрузки ΔR тягача и его сцепной вес стабилизируется [4]. Если же применить конструкцию [5], в которой $h_{ш} < h_T$, то сила тяги тягача будет увеличивать сцепной вес тягача. Такое техническое решение приведено на рис. 6.

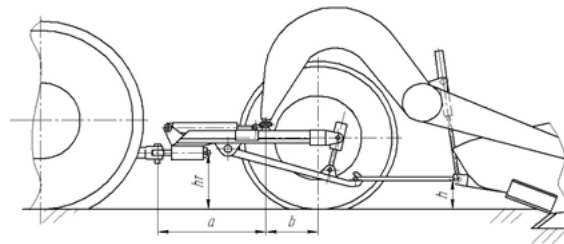


Рис. 6. Прицепное устройство ($h < h_T$)

Для аналитического исследования нового силового взаимодействия прицепного бруса и ковша скрепера составлены расчетные схемы (рис. 7 и 8).

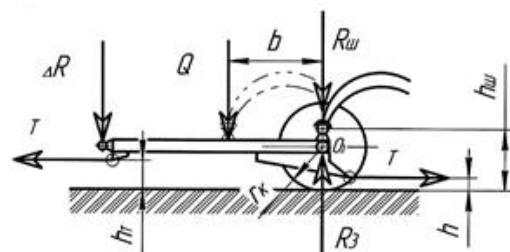


Рис. 7. Схема сил, действующих на прицепной брус при $h_{ш} < h_T$

Из равновесия сил (рис. 7) относительно точки O_3 имеем:

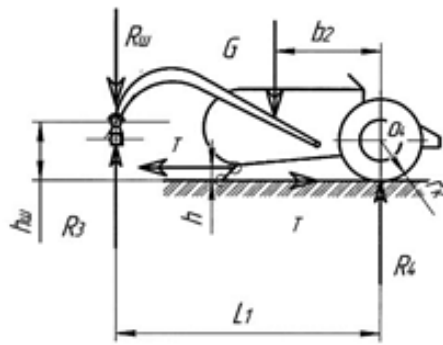


Рис. 8. Схема сил, действующих на ковш скрепера (сила тяги не передается через арку-хобот)

$$\Delta R = \frac{1}{(a-b_1)} [Q \cdot b + T(h_T - h)]. \quad (8)$$

Из суммы моментов относительно точки O_4 (ось колеса ковша, рис. 8) следует:

$$R_3 = |R_{ш}| = \frac{1}{L_1} [G \cdot b_2 + T \cdot h], \quad (7)$$

где h – высота приложения силы тяги к ковшу, м.

На рис. 9 и 10 приведены графики изменения сцепных качеств тягача для нового прицепного устройства (рис. 6).

Из приведенных данных на рис. 9 и 10 видно, что новое прицепное устройство увеличивает сцепной вес тягача в зависимости от развиваемой им силы тяги T и без догрузки (ΔR) обеспечивает хорошие значения неравномерности вертикального нагружения мостов тягача (при силе тяги от 25 до 50 кН $0,8 < K < 1,22$).

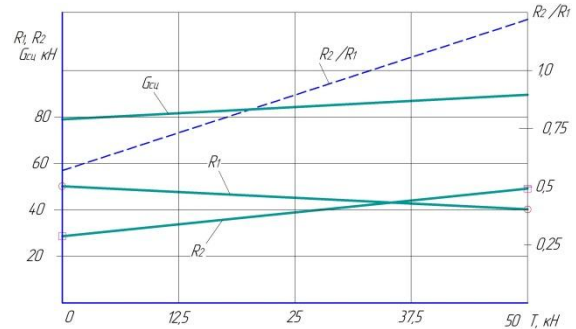


Рис. 9. Влияние силы тяги T на сцепные качества тягача для нового прицепного устройства ($b=0, h=0,15$)

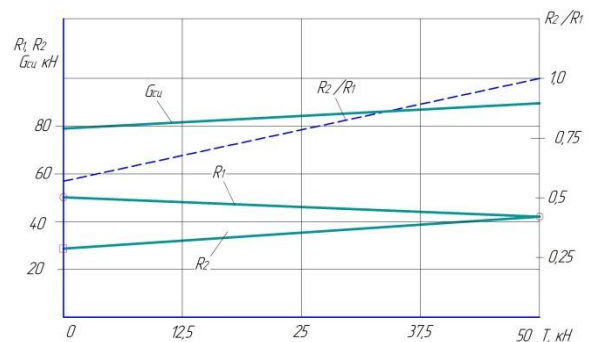


Рис. 10. Влияние силы тяги T на сцепные качества тягача для нового прицепного устройства ($b=0, h=0,17$)

В табл. 1 приведены результаты расчета сцепных качеств тягача для различных прицепных устройств при изменении положения шаровой опоры (b).

Таблица

Влияние расположения шаровой опоры и силы тяги на вертикальное нагружение мостов тягача

Виды работ	$R_{ш}$, кН	ΔR , кН	b , м	T , кН	R_1 , кН	R_2 , кН	$G_{сч}$, кН $T_{д.мах}$	R_2/R_1
Статика, тягач								
Без догрузки	-	-	-	-	50,27	28,72	<u>79</u> 44,44	0,571
С догрузкой максимальной	17,44	17,44	1,8	-	44,17	52,26	<u>96,43</u> 54,24	1,183
С догрузкой средней	17,44	8,72	0,9	-	47,22	40,5	<u>87,2</u> 49	0,85
Копание. Сила тяги T приложена к шаровой опоре								
Без догрузки	24,72	-8,33	0	50	53,18	17,48	<u>65,44</u> 36,81	0,328
С догрузкой средней	24,72	7,25	0,9	50	41,44	44,8	<u>86,24</u> 48,5	1,08

Окончание табл.

Виды работ	$R_{ш}$, кН	ΔR , кН	b , м	T , кН	R_1 , кН	R_2 , кН	$G_{сц}$, кН $T_{д.мах}$	R_2/R_1
Копание. Сила тяги приложена к ковшу								
Без догрузки $h=0,17$ м	19,1	5,27	0	50	42,13	42,13	$\frac{84,26}{47,39}$	1,0
Без догрузки $h=0,15$ м	19,1	10,5	0	50	40,3	49,2	$\frac{89,5}{50,34}$	1,22

Примечание: Допустимая сила тяги $T_{д.мах}$ рассчитана по зависимости [10]:
 $T_{д.мах} = G_{сц} \varphi(0,73...0,75)$.

Для обеспечения заданного значения коэффициента неравномерности K необходимо рассчитать величину догрузки ΔR по зависимости (3), а затем из формулы (7) рассчитать величину h при заданном значении h_T . На рис. 10 показаны результаты такого расчета.

Устойство [4] предполагает наименьшие изменения в конструкции серийного прицепного устройства, обеспечивает стабилизацию сцепного веса тягача, но не увеличивает его. Развиваемая тягачом сила тяги ($T = 50$ кН), вызывает благоприятное перераспределение вертикальных нагрузок на его мосты ($K = 1,04$). Однако, дальнейшее увеличение сцепного веса тягача за счет догрузки увеличивает коэффициент неравномерности K , что нежелательно.

Таким образом в результате исследования можно сделать следующие выводы:

1. Конструкция серийного прицепного устройства уменьшает сцепной вес тягача, за счет развиваемой им силы тяги, поэтому для компенсации снижения сцепного веса необходимо применять различные по конструкции догружающие устройства, в том числе с перемещением шаровой опоры.

2. Новое прицепное устройство, наоборот, увеличивает сцепной вес тягача, за счет развиваемой им силы тяги, однако конструктивно оно сложнее серийного прицепного устройства, хотя не нужно перемещать шаровую опору, но оно позволяет полностью разгрузить тяговую раму от растягивающего усилия тягача.

3. Устройство, стабилизирующее сцепной вес тягача, предусматривает минимум конструктивных изменений, однако большая высота приложения силы тяги к трактору способствует существенному перераспределению вертикальных нагрузок на его мосты без увеличения его сцепного веса.

Список литературы

1. Зинченко, Н.С. Исследование рабочего процесса прицепного скрепера, увеличивающего сцепной вес гусеничного тягача при копании грунта: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Омск, 1980. – 21 с.
2. Косенко, А.А. Повышение эффективности работы прицепного скрепера с колесным тягачом: Дисс. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 182 с.
3. Нилов, В.А., Косенко А.А., Гриднев Е.А. Влияние конструкции прицепного устройства ЗТМ на сцепной вес тягача / В.А. Нилов, А.А. Косенко, Е.А. Гриднев // Механизация строительства. – 2014. – № 1. – С. 28-31.

References

1. Zinchenko N.S. Study of the working process of the towed scraper, which increases the coupling weight of the crawler tractor when digging soil. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Omsk, 1980. 21 p. (In Russian)
2. Kosenko A.A. Improving the efficiency of the trailed scraper with a wheeled tractor. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Voronezh, 2003. 182 p. (In Russian)
3. Nilov V.A., Kosenko A.A., Gridnev E.A. Influence of the design of the trailed ZTM device on the drawbar weight of a pull-gach. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2014, No. 1, pp. 28-31. (In Russian)
4. Patent RU 2230158. *Pritsepnoe ustroyst-*

4. Патент РФ 2230158, E02F 3/64. Прицепное устройство скрепера / Нилов В.А., Косенко А.А. Заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. Заявл. 21.10.2002, № 2002128327/03. Опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16. - 6 с.

5. Патент РФ 2373336, E02F 3/64. Прицепное устройство скрепера / Нилов В.А., Никулин П.И., Иванищев П.И. Заявл. 02.07.2008, № 2008126972/03. Опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32.

6. Нилов, В.А., Федоров Е.В. Влияние конструкции прицепного бруса скрепера на сцепной вес тягача при копании / В.А. Нилов, Е.В. Федоров // Механизация строительства. – 2016. – № 1. – с. 25-28.

vo skrepera [Tow hitch scraper]. Nilov V.A., Kosenko A.A. Declared 10.21.2002. Published 10.06.2004 (In Russian)

5. Patent RU 2373336. *Pritsepnoe ustroystvo skrepera* [Tow hitch scraper]. Nilov V.A., Nikulin P.I., Ivanishchev P.I. Declared 02.07.2008. Published 20.11.2009 (In Russian)

6. Nilov V.A., Fedorov E.V. The influence of the construction of the tow bar scraper on the coupling weight of the tractor when digging. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2016, No. 1, pp. 25-28. (In Russian)