

УДК 631.372

**С. И. ОВСЯННИКОВ**, канд. техн. наук, доц. ХНТУСХ, Харьков

## СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОТОАГРЕГАТОМ

Представлены конструкция установки для тяговых исследований мотоагрегатов, результаты исследования силового взаимодействия оператора при управлении мотоагрегатом. Определены статистические характеристики силового взаимодействия на штангах управления в горизонтальной и вертикальной плоскостях в зависимости от нагрузки на крюке и параметров поверхности движения.

**Ключевые слова:** мотоблок, мотоагрегат, штанги управления, усилие управления.

**Введение.** Производительность мотоагротехники на базе мотоблоков зависит от многих факторов, но в большей степени от доли участия в работе агрегата оператора [1], который выполняет следующие операции управления [2]: - обеспечение курсового направления движения; - управление глубиной обработки рабочих органов; - управление работой двигателя; - переключение передач КПП; - управление работой муфты сцепления; - силовое участие в тяговой динамике. В данной работе приводятся результаты исследований силового взаимодействия между оператором и мотоагрегатом на штангах управления в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

**Анализ литературных источников** по данной теме представлен результатами исследований вибрации на рукоятках штанг мотоблока [3], источником которых является вибрация двигателя.

**Цель и задачи исследования** – провести оценку силового воздействия оператора при управлении движением мотоагрегата и определить факторы, влияющие на управляемость.

**Результаты работы.** Мотоблок является одноосным пешеходным транспортным средством, управление которым осуществляется шагающим вслед за агрегатом оператором через штанги управления [4]. Вес агрегата распределяется на опорные колеса мотоблока, опорные поверхности (устройства) орудия и на оператора через штанги управления (рис. 1). Во время работы (движения) под действием реактивного момента, действующего на остов агрегата, происходит перераспределение нормальной нагрузки с опорных колес мотоблока на опорные устройства орудия и штанги управления, что приводит к изменению глубины обработки, а соответственно увеличению тягового сопротивления орудия. Поэтому, регулирование глубины рабочих органов зачастую осуществляется физическим усилием оператора в вертикальной плоскости через штанги управления.

В статическом состоянии усилие на штангах управления  $F_{on}$  в вертикальной плоскости определяется по условию равенства моментов относительно точки  $O'$  (рис. 1):

$$\sum M(O') = G \cdot a + F_{on} \cdot L - G_o \cdot l_o + Y_o \cdot b = 0, \quad (1)$$

Отсюда: 
$$F_{on} = \frac{G_o \cdot l_o - G \cdot a - Y_o \cdot b}{L} \quad (2)$$

где  $G$  - вес мотоблока, Н;  $a$  – расстояние от центра масс мотоблока до точки  $O'$ , м;  $G_o$  – вес орудия, Н;  $l_o$  – расстояние до центра масс орудия от точки  $O'$ , м;  $Y_o$  – реакция почвы на опорные элементы орудия, Н;  $b$  – плечо приложения реакции почвы на опорный элемент орудия относительно точки  $O'$ , м;  $L$  – плечо приложения силы оператора на штангах управления относительно точки  $O'$ , м.

При отрицательных значениях сила  $F_{on}$  будет направлена в противоположную сторону.

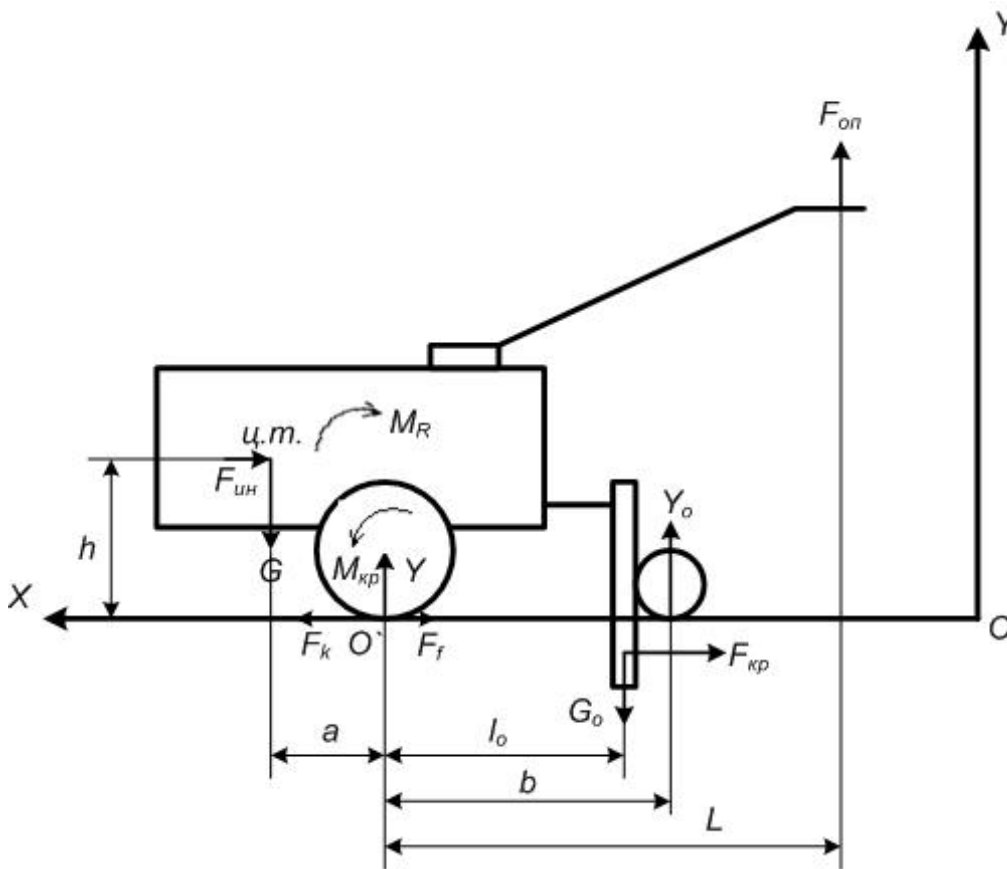


Рисунок 1 - Схема сил, действующих на мотоагрегат во время работы

В процессе движения агрегата возникают дополнительные динамические силы: сила сопротивления рабочих органов орудия  $F_{кр}$ , сила сопротивления движению мотоблока  $F_f$ , сила сопротивления движению орудия  $F_{fo}$ , силы инерции агрегата  $F_{ин}$ , а также другие силы, которые в данной работе не рассматриваются. Результирующей этих сил является касательная сила тяги  $F_k$ , развиваемая под действием крутящего момента  $M_{кр}$  на оси ведущих колес. Тогда на остова мотоблока будет действовать реактивный момент  $M_r$ , численно равный крутящему моменту и направленный в противоположную сторону. Уравнение моментов относительно точки  $O'$  примет вид:

$$\sum M(O') = G \cdot a + F_{on} \cdot L - G_o \cdot l_o + Y_o \cdot b - M_r \pm F_{un} \cdot h = 0. \quad (3)$$

Отсюда 
$$F_{on} = \frac{G_o \cdot l_o + M_r - G \cdot a - Y_o \cdot b \pm F_{un} \cdot h}{L} \quad (4)$$

где 
$$M_r = M_{кр} = F_k \cdot r_k = (F_f + F_{кр} + F_{fo} \pm F_{un}) \cdot r_k \quad (5)$$

$h$  – высота расположения центра масс, м.

В процессе работы агрегата силы сопротивления движению зависят от многих факторов и носят случайный характер изменения, подчиняющийся нормальному закону распределения. В большинстве случаев их можно представить изменяющимися по гармоническому закону распределения.

Оценить силовое взаимодействие между оператором и мотоагрегатом во время движения достаточно сложно, т.к. необходимо заменить оператора измерительными элементами в вертикальной, горизонтальной и продольной плоскостях, а также вращательными вдоль продольной оси движения. Частично решить поставленную задачу удалось при помощи установки (рис. 2).

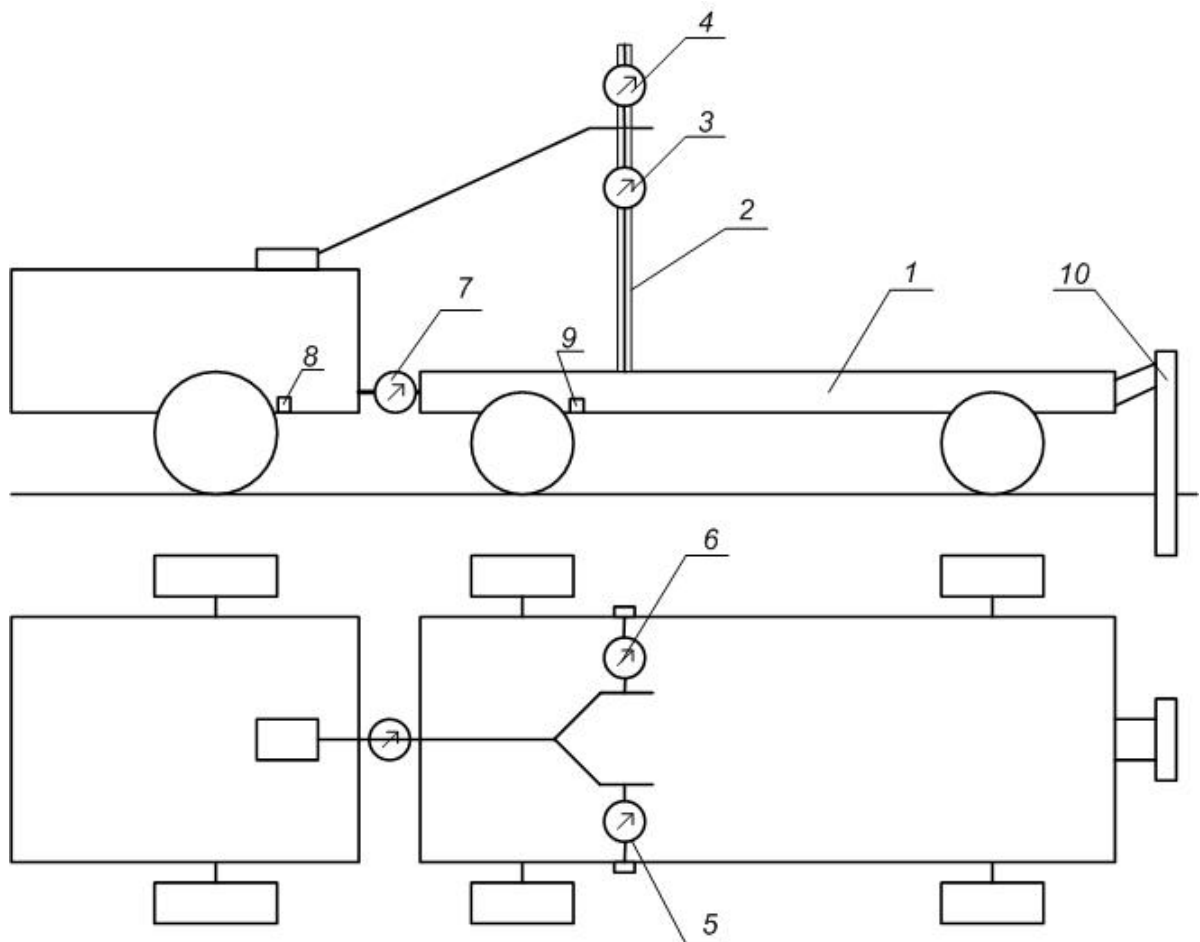


Рисунок 2 - Схема установки для тяговых испытаний мотоагрегатов

Установка состоит из: тележки 1, опорной рамки 2, тензометрических звеньев 3 и 4 измерения усилий в вертикальной плоскости, 5 и 6 – в горизонтальной плоскости, 7 - измерения тягового усилия на крюке. Тяговая нагрузка задавалась тормозным моментом на колесах тележки, а также загрузочным устройством 10 на задней навеске прицепа. Во время проведения экспериментов измерялись углы поворота ведущего 8 и путеизмерительного 9 колес. Результаты измерений регистрировались измерительным комплексом в цифровом формате [5].

В процессе экспериментов измерялись усилия в вертикальной и горизонтальной плоскостях на штангах управления, тяговое усилие на крюке, угол поворота ведущего и путеизмерительного колес. Фоновой поверхностью движения служили задернелая 2-х летняя целина и грунтовая дорога. Угол наклона поверхности движения не превышал  $0,5^\circ$ , температура воздуха составляла  $17-19^\circ\text{C}$ , скорость ветра - до 3 м/с. Влажность почвы измерялась методом высушивания образцов и составляла 18-21%.

Перед проведением экспериментов выполнялась тарировка тензометрических звеньев и путеизмерительного колеса. Полученные тарировочные коэффициенты использовались в расчетной программе регистрации результатов измерений. Исследования проводились на базе мотоблока "Мотор-Сич" при движении на 1 передаче.

Полученные в ходе исследования данные подвергались статистическим методам обработки результатов эксперимента, а именно рассчитывалось среднее значение параметров, среднеквадратичное отклонение и дисперсия. Результаты экспериментов представлены в табл.

Таблица – Усилия  $F$ , среднеквадратичные отклонения  $\sigma$ , скорость изменения силы  $V_{F_{cp}}$ , среднеквадратичное отклонение скорости  $\sigma_v$  на штангах управления при движении мотоблока "Мотор Сич" на стерне и грунтовой дороге

Почвенный фон	$F_{кр.ср.}$ Н	Верт. плоскость				Гориз. плоскость			
		$F_{cp}$ , Н	$\sigma$ , Н	$V_{F_{cp}}$ , Н/с	$\sigma_v$ , Н/с	$F_{cp}$ , Н	$\sigma$ , Н	$V_{F_{cp}}$ , Н/с	$\sigma_v$ , Н/с
Стерня	770	176	240	-3,7	134	-72	16,6	-1	64,8
Грунтовая дорога	228	-54	72,6	-1,8	30	1,38	12,3	-0,2	8,5

На рис. 3 представлен график изменения сил на штангах мотоблока и на крюке в подсистеме "оператор-мотоблок" в процессе движения по задернелой стерне. Кривые усилий в вертикальной плоскости на штанге управления достаточно четко отслеживают изменение усилия на крюке, что подтверждает зависимость (4). Характер рассеивания величин подчиняется закону нормального распределения.

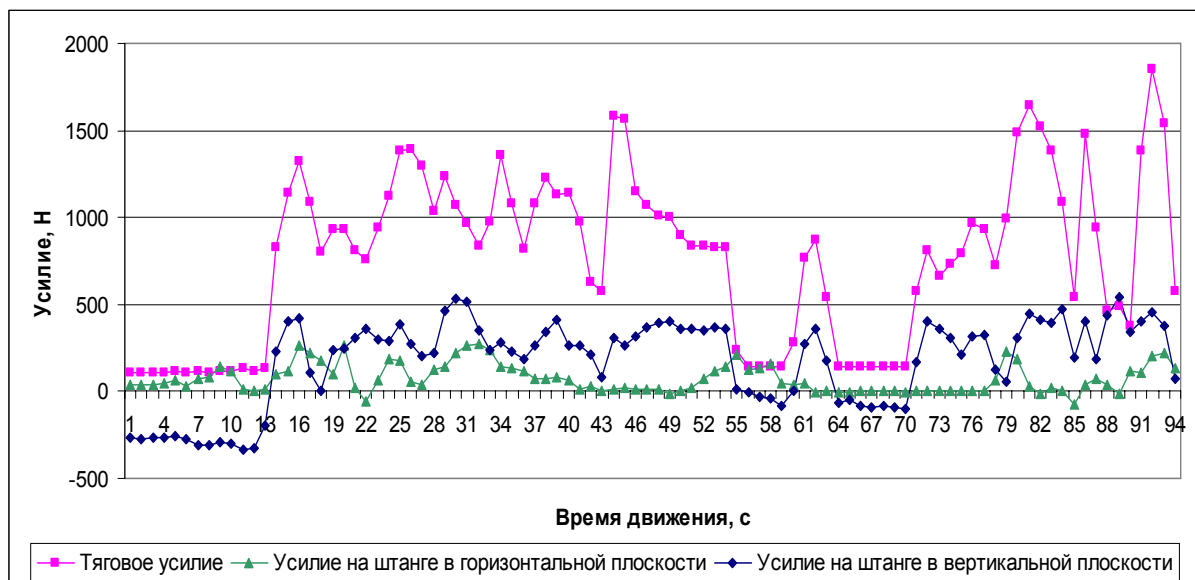


Рисунок 3 - График изменения усилий в горизонтальной и вертикальной плоскостях на штанге управления мотоблока в процессе движения мотоагрегата

По результатам исследования установлено, что усилия, необходимые для управления мотоагрегатом, более чем в 2-3 раза превышают допустимые (в соответствии с ГОСТ 12.2.120-2002 – 50...100 Н, а для РФ до 250 Н). В соответствии с антропометрическими характеристиками человека [6] известно, что скорость реакции рук от тактильных раздражителей составляет 90-220 мс, а под воздействием нагрузки – в два раза дольше, т.е. до 450 мс. Скорость движения рук на органах управления под нагрузкой составляет примерно 0,17 м/с. Следовательно, время на стабилизацию штанг управления необходимо не менее 1с. Поэтому, оператор на уровне подсознания не реагирует на колебания нагрузки на протяжении первой секунды, а включается в процесс управления примерно на второй секунде действия однонаправленной нагрузки. Результаты исследования скорости изменения нагрузки и реакции оператора на нее подтверждают гипотезу. Установлено, что оператор постоянно находится в состоянии мышечного напряжения, особенно рук, что приводит к быстрой утомляемости и снижению реакции. Через 15-20 мин работы у оператора появляется дрожание рук и ухудшение реакции, что указывает на чрезмерную физическую усталость.

Основными факторами, влияющими на силовое управляющее взаимодействие оператора с мотоагрегатом в вертикальной плоскости, являются колебания силы тягового сопротивления орудия, сцепные свойства движителей и профиль поверхности движения, что приводит к изменению значений касательной силы тяги и крутящего момента на движителях, а, следовательно, и реактивного момента. В свою очередь, тяговое сопротивление орудия при прочих равных условиях будет зависеть от изменения внутренней структуры грунта и глубины (ширины) обрабатываемого слоя. Для снижения воздействия колебаний тягового сопротивления орудия целесообразно применять опорные колеса (поверхности), позволяющие стабилизировать глубину обработки рабочих органов. Расчет площади опорной поверхности необходимо производить с учетом воздействия реактивного момента, действующего на остов агрегата.

В горизонтальній площині основними факторами являються відхилення вектора сили опору інструменту відносно продольного напрямку руху, профіль поверхні руху і неоднорідність сцепних властивостей ґрунту під двигачами.

### Висновки

Розроблена установка дозволяє оцінити силове впливання оператора і мотоблока в горизонтальній і вертикальній площинах. Дослідженнями встановлено, що силове впливання оператора з мотоагрегатом значно перевищує допустимі норми (в 3 і більше раз), що призводить до швидкої втоми оператора і зниженню продуктивності агрегату. Основними факторами, впливними на величину силового впливання управління мотоагрегатом, являються коливання тягового опору робочих органів інструменту і нерівності поверхні руху.

**Список літератури:** 1. *Овсянников С.И.* Класифікація і концепція розвитку міні-агротехніки / Вісн. наук. праць ХНТУСХ, вип. 94. –Х.: ХНТУСХ, 2010. - С. 304-309. 2. *Овсянников С.И., Ремарчук Н.П.* Аспекти функціональної стабільності сільськогосподарських агрегатів на базі мотоблоків. // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.. – Вип. 20. – Луцьк: Ред.. – вид. відділ ЛНТУ, 2010 – С. 234 – 242. 3. *Шкляр А.* Аналіз вібраційних характеристик, що діють на оператора засобів малої механізації // Техніка і технології АПК, 2009. №2. – С.32-34. 4. [http: \ ru.wikipedia.org / wiki / Мотоблок](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мотоблок) 5. *Овсянников С.И., Шевченко С.А., Мостепанюк Е.А.* Аналіз вимірних систем для визначення параметрів поверхні руху самоходних машин // Межвузовский сборник научных трудов. Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте. - Воронеж: ГОУ ВПО "ВГЛТА", 2009. - Вып. 4. - С. 150-155.

*Поступила в редколлегию 20.11.2012*

УДК 631.372

**Силова взаємодія оператора під час керування мотоагрегатом / С. І. Овсянников // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 25–30. – Бібліогр.: 5 назв.**

Представлені конструкція установки для дослідження силової взаємодії оператора і мотоагрегату під час керування та результати дослідження. Визначені статистичні характеристики силової взаємодії на штангах керування в горизонтальній і вертикальній площинах в залежності від навантаження на гаку і параметрів поверхні руху.

**Ключові слова:** мотоблок, мотоагрегат, штанги керування, зусилля керування.

Results of research of power interaction of the operator are presented a design of installation for measurement of forces on control levers Walking Tractor, at management of the unit on Walking Tractor. Statistical characteristics of power interaction on a control lever in horizontal and vertical planes depending on loading on a hook and parameters of a surface of movement are defined.

**Key words:** Walking Tractor, aggregate on Walking Tractor, management barbells, management effort.