

УДК 631.3.01

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СОШНИК СЕЯЛКИ ПРИ ВСТРЕЧЕ С КАМНЯМИ

Агейчик В.А., Романюк Н.Н., Михайловский Е.В. (БГАТУ), Агейчик М.В. (БГУИР)

В статье рассмотрены вопросы силового взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин. Полученные данные могут быть использованы при проектировании новых машин.

Введение

Одним из существенных факторов снижающих надежность и долговечность работы сельскохозяйственной техники является засоренность полей камнями. Проведенные нами исследования показали, что при работе сеялки на практически некаменистых почвах (содержание камней на поверхности поля до 5 м³/га) при ее нормативной наработке в 150 га, каждый сошник около 10000 раз встретится с камнем размером более 100 мм, а с камнями более 330 мм в диаметре – 150 раз.

При проектировании рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин, подвесок колес надо знать максимальные значения сил, которые могут встречаться при их соприкосновении с камнями.

Теоретические исследования, проведенные академиком М.М. Северным [1, 2], в полной мере позволяют определить максимальные значения сил, действующих на жестко закрепленные в раме рабочие органы сельскохозяйственных машин при встрече их с камнем.

Аналитические зависимости, полученные в работе [3], дают возможность определить усилия, действующие на рабочие органы, шарнирно навешанные на раму машины. Однако они требуют предварительного экспериментального определения ускорения рабочего органа, возникающего в момент удара его о камень. Это в значительной мере снижает ценность и ограничивает возможность их применения. Поэтому этот вопрос требует своего дальнейшего развития.

Косой удар рабочего органа о камень рассмотрен в работах [4, 5], анализ исследований которых показывает, что строгое определение и нахождение наиболее рациональных прочностных характеристик механизма навески представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Решение ее в полной мере возможно лишь в рамках специальной работы, посвященной только этому вопросу.

При проектировании механизма навески сошников зерновой сеялки для почв, засоренных камнями, надо знать максимальные значения сил, которые могут встречаться в процессе работы сеялки. Поэтому важно хотя бы приближенно изучить общие закономерности, влияющие на величину этих сил.

Наиболее просто эту задачу можно решить, если, изучив процесс лобового удара о камень, в дальнейшем экспериментально выявить связь между продольным усилием и изгибающим и скручивающим моментами и основными факторами, влияющими на их величину.

Основная часть

Схема сил, действующих на поводок и сошник при ударе сошника о камень, представлена на рисунке 1. Задачу будем решать при помощи уравнений Лагранжа, приняв в качестве обобщенных координат x и ε .

Уравнения Лагранжа для рассмотренной системы запишутся так:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} &= Q_x, \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{\varepsilon}} - \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} &= Q_\varepsilon, \end{aligned} \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы, Дж;

Q_x и Q_ε – обобщенные силы, Н.

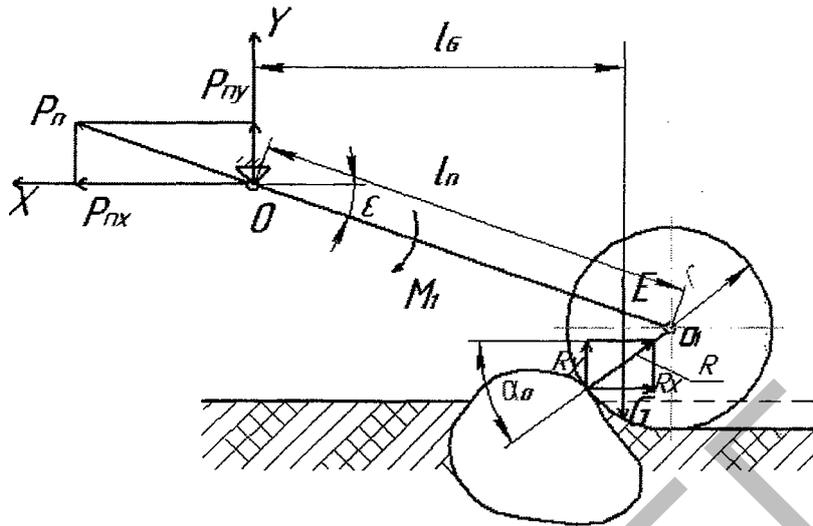


Рисунок 1. Схема сил, действующих на поводок и сошник при ударе сошников о камень

Если пренебречь кинетической энергией вращающихся дисков сошников, то кинетическая энергия системы равна

$$T = \frac{m\dot{x}^2 + I\dot{\varepsilon}^2}{2}, \quad (2)$$

где m – масса сошника с поводком, кг.
Обобщенные силы равны

$$Q_x = P_n \cos \varepsilon - R \cos \alpha_0, \quad (3)$$

$$Q_\varepsilon = R \sin \alpha_0 (l_n \cos \varepsilon + r \cos \alpha_0) + R \cos \alpha_0 (l_n \sin \varepsilon + r \sin \alpha_0) - Gl_G - M_{zi} = 0, \quad (4)$$

где G – общий вес сошника с поводком, Н;
 l_G – плечо веса сошника с поводком относительно точки подвеса O , м;
 P_n – реакция в шарнире O , направлена вдоль поводка, Н;
 R – сила взаимодействия сошника с камнем (принимается, что она направлена в центр вращения дисков сошника), Н;
 α_0 – угол контакта сошника с камнем, рад;
 M_{zi} – заглубляющий момент со стороны механизма навески при установке сошника на заданную глубину, Н·м.

Так как

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} &= m\dot{x}; & \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} &= m\ddot{x}; & \frac{\partial T}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varepsilon}} &= I\dot{\varepsilon}; & \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varepsilon}} &= I\ddot{\varepsilon}; & \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

то с учетом выражений (3) и (4) система уравнений (1) переписывается так:

$$m\ddot{x} = P_n \cos \varepsilon - R \cos \alpha_0,$$

$$I\ddot{\varepsilon} = R \sin \alpha_0 (l_n \cos \varepsilon + r \cos \alpha_0) + R \cos \alpha_0 (l_n \sin \varepsilon + r \sin \alpha_0) - Gl_G - M_{zi} = 0. \quad (6)$$

Если сеялка движется равномерно, то система уравнений (6) имеет вид:

$$P_n \cos \varepsilon - R \cos \alpha_0 = 0,$$

$$I\ddot{\varepsilon} = R \sin \alpha_0 (l_n \cos \varepsilon + r \cos \alpha_0) + R \cos \alpha_0 (l_n \sin \varepsilon + r \sin \alpha_0) - Gl_G - M_{zi} = 0. \quad (7)$$

Для определения углового ускорения сошника в момент удара, рассмотрим схему перемещения системы поводок-сошник в этот момент (рисунок 2).

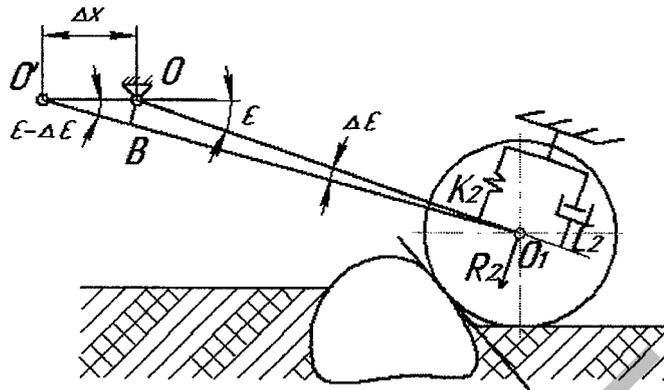


Рисунок 2. Схема перемещения системы поводок-сошник в момент удара сошника о камень

За время, равное половине продолжительности контакта между сошником и камнем, скорость сошника уменьшится до нуля, точка подвеса O переместится на расстояние ΔX и займет положение O' , а сошник повернется вокруг этой точки на угол $\Delta \varepsilon$.

Так как $\Delta \varepsilon$ достаточно мало (рисунок 2), то из треугольника OO_1B

$$OB = l_n \cdot \Delta \varepsilon. \quad (8)$$

Считая, что $\sin(\varepsilon - \Delta \varepsilon) \approx \sin \varepsilon$, из треугольника $OO'B$, находим

$$OB = \Delta X \sin \varepsilon, \quad (9)$$

откуда

$$\Delta \varepsilon = \Delta X \sin \varepsilon / l_n. \quad (10)$$

Поскольку

$$\Delta X = V \cdot t / 2, \quad (11)$$

где t – время контакта сошника с камнем, с;

V – скорость поступательного движения сеялки, м/с,

то

$$\ddot{\varepsilon} = 2V \sin \varepsilon / (l_n t). \quad (12)$$

В этом случае система уравнений (7) приводится к следующему виду:

$$P_n \cos \varepsilon - R \cos \alpha_0 = 0,$$

$$\frac{2V \cdot I \cdot \sin \varepsilon}{l_n t} = R \sin \alpha_0 (l_n \cos \varepsilon + r \cos \alpha_0) + R \cos \alpha_0 (l_n \sin \varepsilon + r \sin \alpha_0) - Gl_G - M_1. \quad (13)$$

Откуда

$$P_n = \frac{2V \cdot I \cdot l_n^{-1} \cdot t^{-1} \sin \varepsilon + G \cdot l_G + M_1}{l_n \cos \varepsilon \cos^{-1} \alpha_0 \sin(\alpha_0 + \varepsilon)}. \quad (14)$$

Известно [6], что продолжительность контакта соударяемых тел определяется формулами:

$$t = \frac{2.9432}{V^{0.2}} \left(\frac{5}{4K_1' K_2'} \right)^{0.4}, \quad (15)$$

$$K_1' = \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}, \quad (16)$$

где K_1' – коэффициент, учитывающий соотношение масс соударяемых тел, 1/кг;
 K_2' – коэффициент, зависящий от геометрических параметров и физико-механических свойств соударяемых тел, 1/кг;
 m_1 и m_2 – масса соударяемых тел, кг.

При ударе в неподвижное препятствие

$$K_1' = 1/m, \quad (17)$$

где m – масса подвижного тела, кг.

Определение коэффициента K_2' представляет собой значительную сложность и результаты вычислений по формулам теории удара не всегда достаточно точно соответствуют экспериментальным данным, поэтому наиболее целесообразно представить формулу (15) в виде

$$t = K_0 \frac{m^{0,4}}{V^{0,2}}, \quad (18)$$

где K_0 – обобщенный коэффициент, учитывающий геометрические параметры и физико-механические свойства соударяемых тел.

Рассчитав значение коэффициента K_0 на основании экспериментальных данных по формуле

$$K_0 = \frac{tV^{0,2}}{m^{0,4}}, \quad (19)$$

можно в дальнейшем при изучении различных режимов соударения рассматриваемых тел пользоваться зависимостью (18). Тогда силу, действующую на механизм навески при ударе сошника о неподвижное препятствие можно определить на основании выражений (14) и (18) по формуле:

$$P_n = \frac{2V^{1,2} \cdot I \cdot m^{-0,4} \cdot K_0^{-1} \cdot I_n^{-1} \sin \varepsilon + G \cdot l_G + M_1}{l_n \cos \varepsilon \cdot \cos^{-1} \alpha_0 \sin(\alpha_0 + \varepsilon)}. \quad (20)$$

Помимо инерционных сил, при угловом перемещении поводка со стороны упругого элемента механизма навески возникает приращение заглубляющей силы ΔR_2 (рисунок 2):

$$\Delta R_2 = K_2 \Delta \varepsilon + C_2 \dot{\varepsilon} = K_2 \cdot \frac{V_t}{2l_n} \sin \varepsilon + C_2 \cdot \frac{V}{2l_n} \sin \varepsilon. \quad (21)$$

где R_2 – заглубляющая сила, Н;

K_2 – коэффициент жесткости механизма навески, Н/рад;

C_2 – приведенный коэффициент демпфирования навески сошников, Н·с/рад.

Расчеты показывают, что величина упругой составляющей усилия ΔR_2 близка к нулю. При наибольшем значении $C_2 = 200$ Н·с/рад, в момент удара сошника о камень величина усилия ΔR_2 не превышает 10% от силы, направленной вдоль поводка. Таким образом, влиянием коэффициента жесткости механизма навески K_2 можно пренебречь, а повышение коэффициента демпфирования C_2 несколько увеличивает силу удара сошника о камень. Из формулы 20 видно, что с увеличением поступательной скорости сеялки и массы сошника, а также с уменьшением длины поводка и угла контакта α_0 ударные усилия возрастают.

Нами экспериментально было установлено, что время взаимодействия сошника с неподвижным камнем равно 0,007...0,008 с, что подтверждается также результатами и других исследований [7...10]. Данные теоретического расчета и результаты экспериментальных исследований, замера действующих сил приведены на рисунке 3.

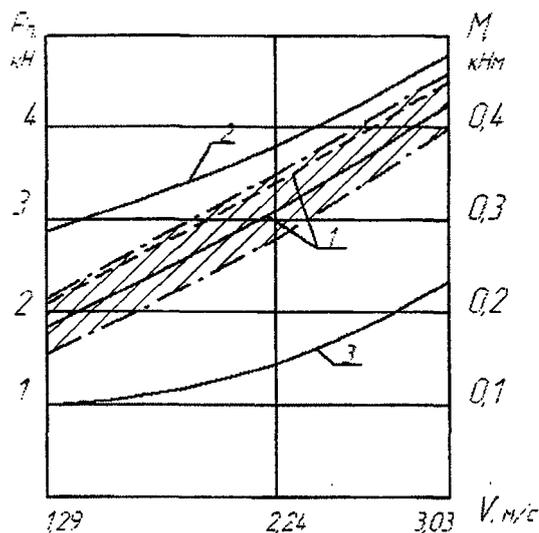


Рисунок 3. Зависимость величины максимальных усилий, имеющих место при работе сеялки на почвах, засоренных камнями, от скорости ее движения:

- 1 – продольное усилие; 2 – изгибающий момент; 3 – скручивающий момент
 - - - - - теоретический расчёт; ————— экспериментальная кривая;
 - · - · - границы доверительного интервала при уровне значимости 0,02

Вывод: полученные результаты позволяют оценить факторы, влияющие на силы, действующие на рабочие органы сельскохозяйственных машин при их ударе о камни. Они могут быть использованы при проектировании новой сельскохозяйственной техники.

Литература

- Севернев, М.М. Научные основы работоспособности сельскохозяйственных машин: дис. доктора техн. наук / М.М. Севернев. – ЦНИИМЭСХ, Минск, 1964. – 267 л.
- Севернев, М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев. – Л.: Колос, 1972. – 312 с.
- Гиммельфарб, В.Н. Динамика предохранительного механизма глубоко-рыхлящей лапы почвенного агрегата / В.Н. Гиммельфарб, В.М. Кудрявцев. – Научные труды НИИП-ТИММЭСХ Северо-Запад, вып. 19Д, 1975. – 54–58 с.
- Александрян, В.В. Расчёт на прочность рабочих органов почвообрабатывающих машин с учётом свойств почвообрабатываемой среды / В.В. Александрян, Р.С. Минасян: доклады первой научно-механической конференции по проблеме “Комплексная механизация освоения каменистых земель”. Арм НИИМЭСХ, Ереван, 1969. – С.17–25.
- Александрян, В.В. Динамическая прочность рабочих органов почвообрабатывающих машин при изгибе в плоскости, перпендикулярной к направлению движения / В.В. Александрян, Р.С. Минасян: доклады первой научно-технической конференции по проблеме “Комплексная механизация освоения каменистых земель”. Арм НИИМЭСХ, Ереван, 1969. – С.32–38.
- Гольделист, В. Удар / В. Гольделист. – Изд. литературы по строительству, М. 1965. – 461 с.
- Теория удара в строительстве и машиностроении / В.Н. Тарасов [и др.]. – Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 336 с.
- Власенков, В.М. Удар: теория и практика / В.М. Власенков, С.И. Феоктистов. – Владивосток, изд. Дальневосточного университета, 1987. – 156 с.
- Астафьев, В.Д. О теоретическом определении продолжительности соударения элементов ударных механизмов / Астафьев В.Д.. – М.: Московский горный институт, 1965. – 19 с.

10. Харрис, С.М. Справочник по ударным нагрузкам / С.М. Харрис, Ч.П. Крид. – Л., Судостроение, 1980. – 359 с.

УДК 631.333/82

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ КОМБИНИРОВАННЫМ МОДУЛЕМ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Лахмаков В.С., Зубович Д.Г. (БГАТУ)

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, выявили преимущества локального внесения основной дозы удобрений непосредственно в слой почвы в сравнении с обычно применяемым разбрасыванием по поверхности полей надземными средствами механизации. От способа внесения туков в значительной степени зависит доступность питательных веществ и возможность их потребления растениями. Кроме того, технология внесения удобрений должна обеспечить и высокую производительность труда механизаторов, занятых на этих работах, что в свою очередь поставило вопрос о создании специализированных машин.

При внесении сухих минеральных удобрений в почву сначала производится разбрасывание их по поверхности, а затем заделка при вспашке, дисковании, культивации или бороновании, в результате чего удобрения перемешиваются с почвой на различную глубину. Локальное же внесение предусматривает заделку последних на заданную глубину в виде ленты, строчки или очагов (гнезд). Этот способ внесения удобрений не предполагает их смешивания с почвой. Хотя перемешивание с почвой в какой-то степени и тут имеет место, но выражено оно намного слабее, чем при разбросном способе.

Из всех факторов, влияющих на урожай картофеля, отзывчивость его на удобрения и эффект от локализации последних зависит в первую очередь от количества осадков, выпадающих в период от начала роста до созревания. Поэтому, если засушливый период наступает в середине лета, то от этого в первую очередь страдают растения, под которые минеральные удобрения были внесены локальным способом, так как у них обычно лучше развита надземная масса и, следовательно, больше испаряющая поверхность листьев.

Удобрения локальным способом следует вносить непосредственно перед или при посеве сельскохозяйственных культур. В Белорусском государственном аграрном техническом университете проведена значительная работа по разработке конструкций комбинированных машин для основной и предпосадочной обработок почвы, нарезки гребней. Только совершенствование системы обработки, правильное сочетание агротехнических приемов, комбинирование операций, а также локализация минеральных удобрений позволят достичь желаемого результата и урожая картофеля.

В настоящее время в нашей стране машин для локального внесения минеральных удобрений под картофель не достаточно, по этой причине республика недополучает огромное количество зерна, картофеля и другой растениеводческой продукции. Нам необходимо изучить закономерности распределения удобрений по площади и глубине, а также наиболее благоприятные параметры расположения ленты в гребне.

Поэтому дальнейшее исследование и разработка рабочих органов для внесения минеральных удобрений локальным способом на оптимальную глубину и ширину полосы, а также комбинирование операций, как основа создания будущего урожая картофеля, является актуальной народнохозяйственной задачей.

Нами были проведены полевые эксперименты, касающиеся путей повышения эффективности минеральных удобрений за счет локального их внесения на требуемую глубину и ширину полосы в зависимости от почвенно-климатических условий, а также целесообразно-