

ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН

УДК 631.316.022

Гринченко А.С., Алферов А.И., Савченко В.Б., Полтавченко О.В.

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ S-ОБРАЗНОЙ СТОЙКИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Постановка проблемы. Существует много факторов, которые влияют на почву и приводят к снижению ее плодородия: ветровая и водная эрозия, образование плужной подложки и т.д. С целью улучшения качества обработки почвы используют почвозащитные технологии. Для этого в комбинированных машинах и агрегатах применяют специальные рабочие органы [1]. Одним из таких органов, является лапа, закрепленная на пружинящей S-образной стойке с подрессорником (см. рис. 1.) В результате ее использования в почвообрабатывающих агрегатах создаются благоприятные условия для оптимального водно-воздушного режима в почве.

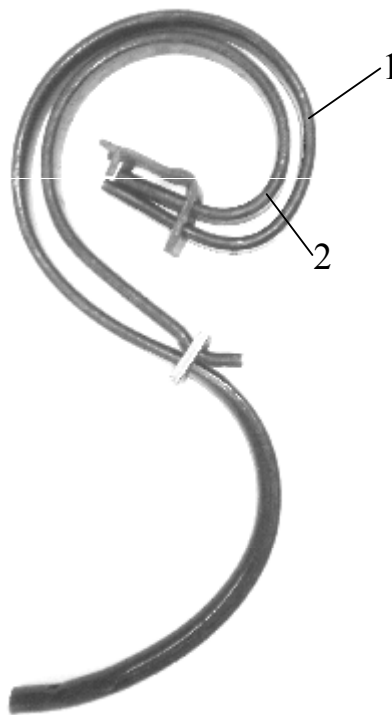


Рисунок 1 - S-образная стойка: 1 - основная часть; 2 – подрессорник

Упругая деформируемость S-образной стойки приводит к колебательному движению лапы в почве. Благодаря этому повышается качество крошения, понижается тяговое сопротивление, что способствует предупреждению забивания рабочего органа почвой и растительными остатками. Эффект снижения тягового сопротивления объясняется особенностями протекания двух фаз деформации почвы рабочим органом на упругой стойке [2]. Первая фаза сопровождается деформацией стойки и накоплением ею потенциальной энергии. Во второй фазе происходит скол блока почвы, а накопленная

потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию рабочего органа и скелотого блока почвы. Такой механизм взаимодействия рабочего органа с почвой сокращает расход энергии на деформацию почвы.

Однако рабочие органы почвообрабатывающего агрегата – лапы с пружинящими S-образными стойками подвержены значительным переменным деформациям. Это приводит к накоплению усталостных повреждений в материале стойки и полумкам, что подтверждается данными эксплуатации.

Цель и задачи работы. Целью работы является обеспечение надежности конструкции S-образной стойки. Для достижения указанной цели необходимо провести предварительный теоретический анализ нагруженности и деформируемости стойки с поддрессорником.

Основное содержание. При нагружении стойки в точке крепления лапы сосредоточенной силой P , направленной под углом φ к горизонтали (рис. 2а), уравнения для изгибающего момента в сечении, определяемом углом θ , имеют вид:

$$M_{p1}(\theta) = -P \left[2(R_2 + R_3 - R_2) \cos \varphi + 2R_1 \cos \varphi \sin^2 \frac{u}{2} + R_1 \sin \varphi \sin u \right] \text{ при } 0 \leq \theta \leq \pi;$$

$$M_{p2}(\theta) = -P \left[2(R_2 + R_3) \cos \varphi + R_2 \sin \varphi \sin u - 2R_2 \cos \varphi \cos^2 \frac{u}{2} \right] \text{ при } \pi \leq \theta \leq 2\pi; \quad (1)$$

$$M_{p3}(\theta_1) = -PR_3 \left[2 \cos \varphi \sin^2 \frac{u_1}{2} + \sin \varphi \sin u_1 \right] \text{ при } 0 \leq \theta_1 \leq \pi;$$

где $M_{p1}(\theta)$, $M_{p2}(\theta)$, $M_{p3}(\theta_1)$ – изгибающие моменты на выделенных при схематизации стойки участках;
 R_1, R_2, R_3 – радиусы участков;
 φ – угол между направлением силы P и горизонталью.

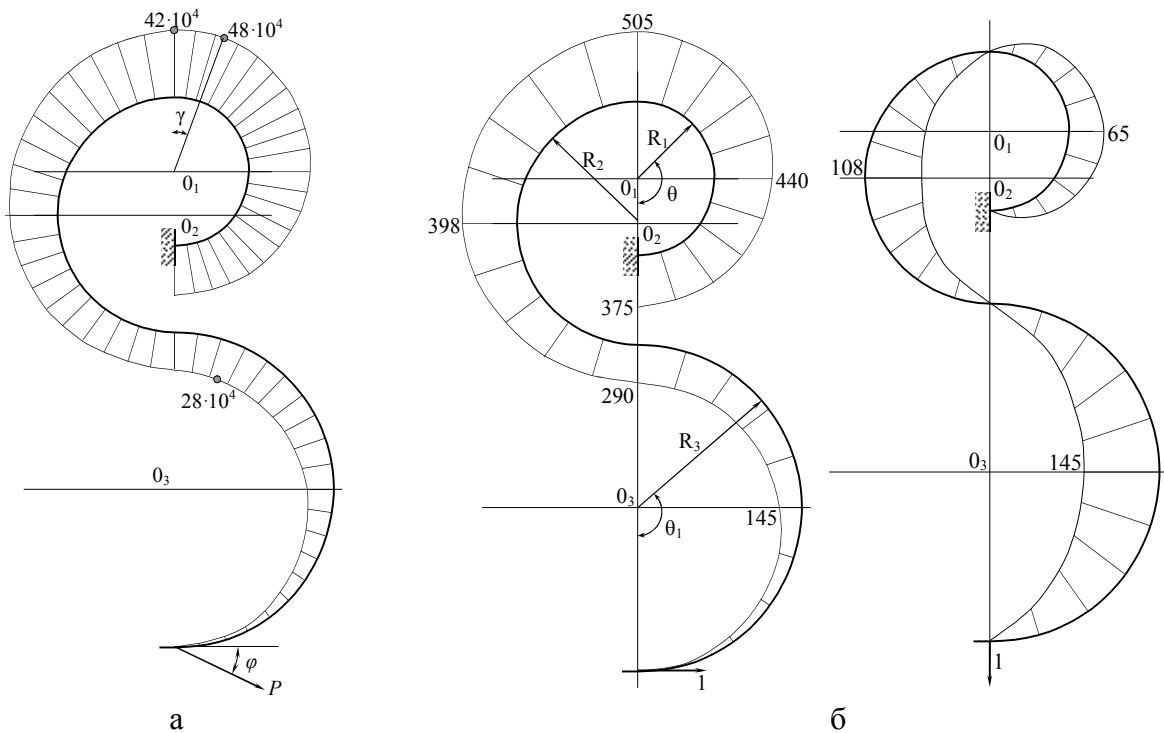


Рисунок 2 - Эпюры изгибающих моментов: (а) грузовая, (б) единичные

С помощью выражений (1) были построены грузовая (рис. 2а) и единичные (при $P=1$) эпюры моментов при действии единичной силы в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 2б).

Все расчеты проводились в программе Mathcad. На рис. 2а видно, что наибольший изгибающий момент возникает в верхней части S-образной стойки. При возрастании угла φ в пределах до 20° сечение, в котором действует максимальный изгибающий момент смещается на угол $\gamma \leq 20^\circ$ при незначительном уменьшении величины момента.

В соответствии с энергетическим методом определения перемещений, составив интегралы Мора, получим выражения для составляющих перемещения точки крепления лапы к стойке.

а) Горизонтальная составляющая перемещения:

$$\begin{aligned} \Delta_G(\varphi) = & \frac{R_1}{EI_1} \int_0^\pi P^2 \left[2(R_3 + R_2 - R_1) \cos \varphi + 2R_1 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \varphi + R_1 \sin \varphi \sin \theta \right] \times \\ & \times \left[2(R_2 + R_3 - R_1) + 2R_1 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right] d\theta + \\ & + \frac{R_2}{EI_1} \int_\pi^{2\pi} P^2 \left[2(R_2 + R_3) \cos \varphi + R_2 \sin \varphi \sin \theta - 2R_2 \cos \varphi \cos^2 \frac{\theta}{2} \right] \times \\ & \times \left[2(R_2 + R_3) - 2R_2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right] d\theta + \\ & + \frac{R_3}{EI_2} \int_0^\pi P^2 \left(2 \cos \varphi \cdot \sin^2 \frac{\theta_1}{2} + \sin \varphi \sin \theta_1 \right) \cdot 2 \sin^2 \frac{\theta_1}{2} d\theta_1; \end{aligned} \quad (2)$$

б) Вертикальная составляющая перемещения:

$$\begin{aligned} \Delta_B(\varphi) = & \frac{R_1}{EI_1} \int_0^\pi P^2 \left[2(R_3 + R_2 - R_1) \cos \varphi + 2R_1 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \varphi + R_1 \sin \varphi \sin \theta \right] \times \\ & \times R_1 \sin \theta d\theta + \frac{R_2}{EI_1} \int_\pi^{2\pi} P^2 \left[2(R_2 + R_3) \cos \varphi + R_2 \sin \varphi \sin \theta - 2R_2 \cos \varphi \cos^2 \frac{\theta}{2} \right] \times \\ & \times R_2 \sin \theta d\theta + \frac{R_3}{EI_2} \int_0^\pi P^2 \left(2 \cos \varphi \cdot \sin^2 \frac{\theta_1}{2} + \sin \varphi \sin \theta_1 \right) \sin \theta_1 d\theta_1; \end{aligned} \quad (3)$$

где E – модуль продольной упругости стали;

I_1 – осевой момент инерции поперечных сечений на 1 и 2 участке;

I_2 – осевой момент инерции поперечных сечений на 3 участке;

Полное перемещение точки крепления лапы к стойке определяется по формуле:

$$\Delta(\varphi) = \sqrt{\Delta_G^2 + \Delta_B^2} \quad (4)$$

При моментах инерции по участкам $I_1=4468 \text{ мм}^4$, $I_2=5782,48 \text{ мм}^4$ и радиусах участков $R_1=65 \text{ мм}$, $R_2=107,5 \text{ мм}$, $R_3=145 \text{ мм}$ получены графики зависимостей перемещений

точки крепления лапы к стойке от величины нагрузки, показанные на рис. 3. Для обеспечения статической прочности стойки с подрессорником из стали 65Г определена допустимая величина горизонтальной нагрузки $P=1000$ Н. Из рисунка 3 видно, что при отсутствии ограничения перемещения стойки и жесткой связи основной части с подрессорником, эта величина нагрузки может быть превышена и может возникать опасность разрушения.

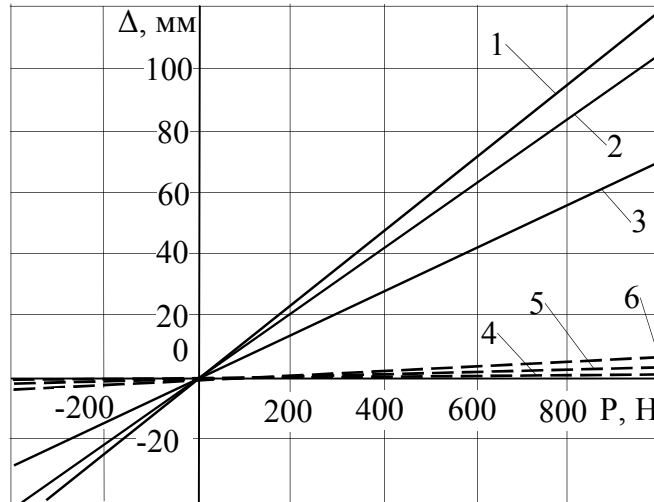


Рисунок 3 - Графики перемещения точки крепления лапы:

- полное перемещение: 1, 2, 3 при $\varphi=0^\circ, 27^\circ, 54^\circ$, соответственно;
 - - - - - вертикальная составляющая перемещения: 4, 5, 6
 при $\varphi=0^\circ, 27^\circ, 54^\circ$, соответственно

В работе [2] приведены результаты эксперимента по оценке величины перемещения носка рабочего органа под действием горизонтальной силы аналогичной S-образной стойки с подрессорником. Эти результаты свидетельствуют о том, что при горизонтальной нагрузке $P=1000$ Н соответствующее перемещение составляет $\Delta_r=165$ мм. Результаты проведенного расчета показывают, что если закрепить подрессорник жестко к основной части стойки, то перемещение составит $\Delta_r=120$ мм (рис 3, прямая 1), что даст уменьшение деформации на 28%.

Зависимости перемещения стойки и величины максимального изгибающего момента в стойке от направления усилия представлены на рис. 4.

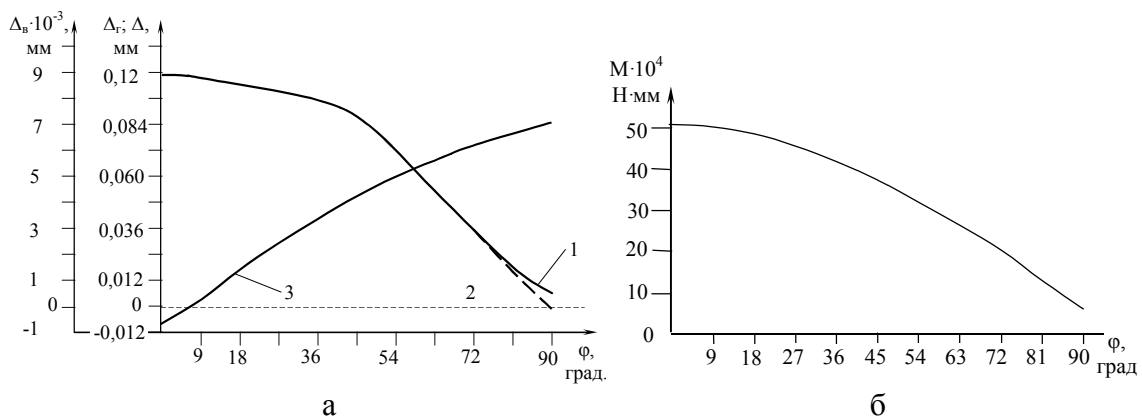


Рисунок 4 - Зависимости перемещения точки крепления лапы (а) и максимального изгибающего момента (б) от направления действия силы:

- 1 – полное перемещение; 2 – горизонтальная составляющая;
 3 – вертикальная составляющая

Из рис. 4а видно, что величина вертикальной составляющей Δ_v значительно меньше горизонтальной. Величина суммарного (полного) перемещения Δ и его горизонтальная составляющая Δ_r при значениях φ от $0^\circ - 70^\circ$ практически совпадают. Максимальное значение полной деформации стойки имеет место при малых углах $\varphi = 0^\circ \div 20^\circ$, когда направление силы близко к горизонтальному. При $\varphi > 40^\circ$ значения деформации начинают резко убывать. Так как величина переменной деформации стойки существенно сказывается на ее усталостной долговечности, можно считать, что наиболее опасным является направление нагрузки, близкое к горизонтальному.

На рис. 4б показано изменение максимального изгибающего момента в зависимости от угла направления φ действия силы. При малых значениях отклонения направления силы от горизонтального ($0^\circ < \varphi < 18^\circ$) максимальный изгибающий момент изменяется незначительно. При дальнейшем увеличении угла значение момента в опасном сечении существенно уменьшается. Учитывая то, что величина максимального изгибающего момента определяет прочность стойки, наиболее опасным следует считать отклонение направления равнодействующей силы от горизонтального в пределах: $\varphi = 0^\circ \div 18^\circ$

Выводы. По результатам проведенных расчетов определен диапазон изменения угла между направлением равнодействующей усилий на лапу и горизонталью, при котором в S-образной стойке возникают наибольшие деформации и напряжения. Выявлено также, что при отсутствии ограничителей деформаций стойки с подрессорником существует опасность квазистатического разрушения от перегрузки, а в процессе длительной эксплуатации и переменных деформаций возможны усталостные разрушения.

Литература: 1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.І (ч.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: Око, 2001. – 444 с. 2. Шевченко И.А. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров рабочих органов с упругими стойками культиваторов для предпосевной обработки почвы. Автореферат дис. канд. техн. наук – М: 1988. – 18 с.

Гринченко О.С., Алфьоров О.І., Савченко В.Б., Полтавченко О.В.

АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНОСТІ І ДЕФОРМОВАНOSTІ S-ОБРАЗНОЇ СТІЙКИ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ

В статті наведені результати розрахунків навантаженості та деформованості S-образної стійки. Виявлені фактори, які впливають на небезпеку руйнування стійки.

Grinchenco O.S., Alforov O.I., Savchenko V.B., Poltavchenko O.V.

THE ANALYSIS OF LOADING AND DEFORMATION OF S-SHAPED STAND OF SOIL CULTIVATING UNIT

The article presents the results of calculations of loading and deformation of S-shaped stand. Were identified the factors that influence for risk of stand destruction
