УДК 621.01 632.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВНЕШНЕЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛОЙ И ПРОГИБОМ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ [1]

1 - Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-01-00250

М.В. Суханова
А.В. Бондарев

Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г.Зерноград, Россия

Аннотация. По сравнению с материалами, традиционно используемыми при изготовлении сельскохозяйственной техники, высокоэластичные материалы обладают способностью значительно деформироваться под действием внешних нагрузок в пределах выполнимости закона Гука, что позволит накопить больший запас потенциальной энергии, которым впоследствии можно воспользоваться. В работе приведено теоретическое исследование по определению зависимости между внешней сосредоточенной силой и прогибом высокоэластичной рабочей поверхности. Полученные зависимости позволят вычислить силу и допустимое напряжение в точке эластомерной рабочей поверхности при падении на нее частицы сыпучего тела, при которых полностью сохранятся упругие свойства высокоэластичной рабочей поверхности, обеспечивающие режим поглощенного удара.

***Ключевые слова**: семена, сельскохозяйственные машины, ударное взаимодействие, сила, прогиб, поглощенный удар.*

Abstract: Compared to materials traditionally used in the manufacture of agricultural machinery, highly elastic materials have the ability to deform significantly under the influence of external loads within the feasibility of the Hooke law, which will allow storing a larger supply of potential energy, which can subsequently be used. The paper presents a theoretical study to determine the relationship between the external concentrated force and the deflection of a highly elastic working surface. The obtained dependencies will make it possible to calculate the force and permissible tension at the point of the elastomeric working surface when a particle of a granular body falls on it, at which the elastic properties of the highly elastic working surface are fully preserved, ensuring the mode of absorbed impact.

Keywords: seeds, agricultural machines, impact interaction, force, deflection, tension, absorbed impact.

Введение. По сравнению с материалами, традиционно используемыми при изготовлении сельскохозяйственной техники, высокоэластичные материалы обладают способностью выдерживать значительные упругие деформации в пределах выполнимости закона Гука, позволяющие накопить больший запас потенциальной энергии [1]. Ранее проведенные экспериментальные исследования позволили доказать, что при ударном столкновении сыпучего тела с рабочей поверхностью, изготовленной из высокоэластичного полиуретана (эластомера), возникает «поглощение удара», характеризующееся переходом кинетической энергии движения сыпучего тела в потенциальную энергию продольного растяжения рабочей поверхности, при котором вероятность разрушения частиц сыпучего тела близка нулю [2].

Отличие высокоэластичных материалов от применяемых малодеформируемых материалов или других полимерных материалов в том, что при действии внешней нагрузки сыпучего тела поверхность высокоэластичного рабочего органа значительно деформируется в продольном направлении.

Методологической основой исследования являются анализ, синтез, аналогия, теоретизация, идеализация, использование законов механики твердого деформируемого тела и механики сыпучего тела.

Материалы и методы. Стоит отметить, что задача деформированного состояния упруго-эластичной оболочки относится к задачам об эластике, когда углы наклона и прогибы становятся большими. Известно, что в этом случае необходимо использовать точное, а не приближенное уравнение деформации. Точная форма упругой кривой, получающаяся из этого уравнения, называется эластикой [3]. Для описания закритического поведения стержня при больших прогибах вместо линеаризованного уравнения необходимо использовать полное нелинейное уравнение равновесия [3]:

$$\frac{E \cdot I_z \cdot \dfrac{d^2 y}{dx^2}}{\left(1+\left(\dfrac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}} + N \cdot y = 0 \qquad (1)$$

где N – продольная сила, возникающая при продольной деформации высокоэластичного волокна, Н;

J_z – момент инерции поперечного сечения рабочей поверхности, м^4;

E – модуль упругости материала рабочей поверхности, Па;

у – прогиб рабочей поверхности, м.

Деформация волокна оболочки увеличивает длительность взаимодействия сыпучего тела с рабочей поверхностью и снижает нагрузку на частицы сыпучего тела. В этом и заключается принцип «поглощенного удара» – способности эластомера испытывать значительные продольные деформации, превышающие первоначальную длину в сто и более раз и снимать ударное воздействие рабочей поверхности [4].

Рассмотрим сначала прогиб при падении одной частицы, представленной в виде сосредоточенной силы *F* (рисунок 1).

Ввиду натяжения оболочки под действием сыпучего тела принимаем, что длина дуги *L*, образуемой волокном между опорой и местом приложения нагрузки и длина хорды l, проведенной к этой дуге, практически одинаковы. Рассмотрим треугольники АОС и $АОС_1$

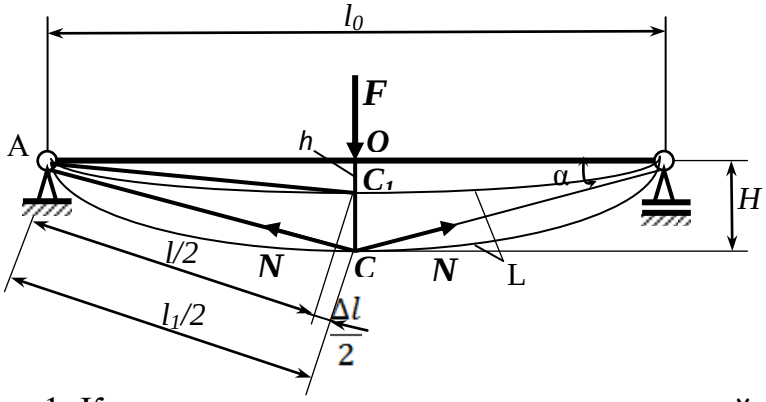


Рисунок 1. К определению зависимости между силой частицы сыпучего тела *F* и прогибом волокна рабочей поверхности Н

При действии сосредоточенной силы *F* в волокне эластомера возникают продольные растягивающие усилия *N*. Уравнение равновесия будет иметь вид:

$$F - 2 \cdot N \cdot sin\alpha = 0 \qquad (2)$$

Угол наклона волокна определится из треугольника АОС:

$$sin\alpha = \frac{2H}{l+\Delta l} \qquad (3)$$

где *H* – прогиб волокна под действием сосредоточенной силы, м;

h – прогиб волокна при свободном провисании, м;

$l_1 = l + \Delta l$ –длина волокна при действии сосредоточенной силы *F*, м;

l – длина волокна при его свободном провисании, м.

Δl – абсолютное удлинение волокна при действии сосредоточенной силы *F*, м.

Выражая внутреннюю продольную силу *N*, возникающую от действия внешней нагрузки, через напряжение и площадь поперечного сечения волокна *A*, получим:

$$N = \sigma \cdot A = E \cdot \varepsilon \cdot A = E \cdot A \cdot \frac{\Delta l}{l} \qquad (4)$$

где A – площадь поперечного сечения волокна эластомера, мм^2;
ε – относительная деформация волокна;
E – модуль продольной упругости эластомера, Па.

Определим абсолютное удлинение волокна Δl из соотношений прямоугольных треугольников АОС и АОС$_1$:

$$\Delta l = l_1 - l = \sqrt{4 \cdot H^2 + l_0^2} - \sqrt{4 \cdot h^2 + l_0^2} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (2) выражения (3), (4) и (5), получим формулу для определения допустимой нагрузки, действующей на высокоэластичную рабочую поверхность:

$$F = \frac{4 \cdot E \cdot A \cdot H \cdot \left(\sqrt{4 \cdot H^2 + l_0^2} - \sqrt{4 \cdot h^2 - l_0^2}\right)}{4 \cdot H^2 + l_0^2} \leq F_{\text{упр}} \quad (6)$$

Результаты. Принимая $k = \frac{H}{l_0}$ – коэффициент продольной деформации и выполнив преобразования, получим:

$$F = \frac{4 \cdot E \cdot A \cdot H \cdot \left(\sqrt{4 \cdot l_0^2 \cdot (k^2 + 1)} - \sqrt{4 \cdot h^2 - l_0^2}\right)}{4 \cdot l_0^2 \cdot (k^2 + 1)} \leq F_{\text{упр}} \quad (7)$$

Полученное условие позволяет определить допустимую величину внешней сосредоточенной силы или сравнить нагрузку, действующую на рабочую поверхность, с допустимой в пределах упругих деформаций,.

Разделив на площадь поперечного сечения рабочей поверхности, получим условие для определения предельно допустимых напряжений, возникающих от действия внешней сосредоточенной силы частицы сыпучего тела:

$$\sigma = \frac{4 \cdot E \cdot H \cdot \left(\sqrt{4 \cdot l_0^2 \cdot (k^2 + 1)} - \sqrt{4 \cdot h^2 - l_0^2}\right)}{4 \cdot l_0^2 \cdot (k^2 + 1)} \leq \sigma_{\text{упр}} \quad (8)$$

Полученное условие позволяет определить допустимое напряжение в точках высокоэластичной рабочей поверхности и задать внешнюю сосредоточенную силу или сравнить напряжения, возникающие в точках на рабочей поверхности при падении частиц, с пределом упругости эластомера.

Выводы.

В результате теоретических исследований:

1) определена зависимость между внешней сосредоточенной силой и прогибом высокоэластичной поверхности;

2) получена зависимость для определения напряжения в точке рабочей поверхности, при котором полностью сохранятся упругие свойства высокоэластичной рабочей поверхности, обеспечивающие режим поглощенного удара.

Литература

1. Артюх, Г.В. Перспективы применения полиуретанов в металлургических машинах / Г.В. Артюх // Вестник Приазовского державного технического университета. 2000. – № 10. – С. 161 – 163.

2. Суханова, М.В. Условия напряженно-деформированного состояния рабочей поверхности протравливателя, обеспечивающие инкрустацию семян без их повреждения / М.В. Суханова // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – №2 (50). – С.13 – 20.

3. Тимошенко, С.П. Механика материалов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. – СПб.: Лань, 2002. – 672 с.

4. Суханова, М. В. Экспериментальное определение силы ударного воздействия поверхности различной жесткости на семена / М. В. Суханова, А.А. Прохода, А.Н. Иванов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – №3. – С.17 –21.

Сведения об авторах

Суханова Майя Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и физика», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Зерноград, Россия, 8(928)755-11-21, e-mail: m_suhanova@list.ru

Бондарев Андрей Владимирович, аспирант кафедры «Техническая механика и физика», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Зерноград, Россия, 8(928)192-82-59

The information about the authors

Sukhanova Mayya Victorovna – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the High mathematics and mechanics department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8(928)192-82-59. e-mail: m_suhanova@list.ru

Bondarev Andrey Vladimirovich – graduate student of the High mathematics and mechanics department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8(928)192-82-59