

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.363.28

## ТЕОРИЯ УПЛОТНЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ МАССЫ В МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРАХ ВАКУУМИРОВАНИЕМ ПРИ СИЛОСОВАНИИ

Некрашевич В.Ф., Попов А.С., Афанасьева К.С.

Целью исследования является проведение результатов теоретических исследований процесса уплотнения силосуемой массы в мягком контейнере под действием её собственного веса и вакуума и установление математических зависимостей для расчета. При этом необходимо обосновать воздействие вакуумметрического давления и собственного веса на верхние, нижние и боковые грани кубического контейнера в зависимости от геометрических параметров контейнера, коэффициентов трения и бокового распора силосуемого материала, а также его плотности.

**Ключевые слова:** вакуум, силосуемая масса, вакуумметрическое давление, боковое давление распора, осевое давление от собственного веса.

### Введение

Современная технология силосования в железобетонных траншеях и даже в рукавах из полиэтиленовой пленки имеют ряд существенных недостатков, главными из которых являются большие потери силоса, достигающие 10-15 % и выше при её нарушении; не всегда силос свежим подается в кормушки животным из-за повторной ферментации и ряд других [1, 2, 3]. Нами предложен способ силосования кормов в мягких вакуумированных контейнерах из воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки. Сущность этого способа заключается в следующем. Измельченная масса растений, подлежащих силосованию, загружается в контейнер, который затем герметизируется, после чего из него откачивается воздух. При этом силосуемая масса уплотняется как за счёт собственного веса, так и за счет вакуумметрического давления, равного разности между атмосферным давлением и остаточным давлением в контейнере. После вакуумирования контейнеры с силосом отправляются на хранение. Причем контейнеры могут быть выбраны любого объема, что позволяет за одну выдачу силоса животным, скармливать его свежим из одного или нескольких контейнеров. Контейнеры с силосом могут храниться неограниченное время и транспортироваться на любые расстояния, так как они предварительно закладываются в транспортные мешки.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим процесс уплотнения силосуемой массы (далее - материал) в мягком контейнере под действием собственного веса материала и вакуума.

Для упрощения теоретического исследования процесса применим принцип независимости действия сил, то есть рассмотрим отдельно уплотнение материала от собственного веса и вакуума, а полученные результаты сложим. Уплотнение материала под собственным весом осуществляется как при загрузке контейнера, так и при его вакуумировании.

Рассмотрим рабочую схему уплотнения под действием собственного веса (рис. 1).

На расстоянии  $X$  от верха контейнера на элементарный слой материала толщиной  $dX$  будут действовать давления:

$P_x$  – осевое давление от собственного веса сверху;

$P_x + dP_x$  – осевое давление от собственного веса снизу;

$P_6$  – боковое давление распора уплотняемого материала от собственного веса;

$F$  – сила трения, возникающая от бокового давления.

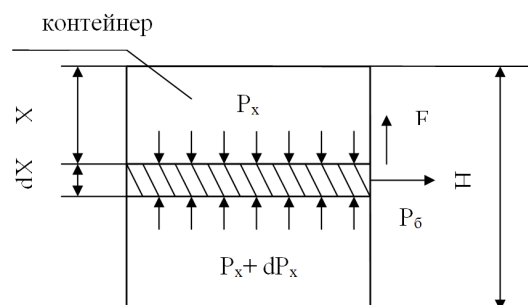


Рис. 1. Схема действующих давлений, вызывающих уплотнение материала от собственного веса

Элементарная сила трения  $F$  определяется по формуле

$$F = fP_6\Pi dX \quad (1)$$

где  $f$  – коэффициент трения материала о стенки

контейнера;

$\Pi$  – периметр поперечного сечения контейнера.

Боковое давление, возникающее под действием собственного веса, определяется из выражения

$$P_6 = P_x \xi \quad (2)$$

где  $\xi$  – коэффициент бокового распора.

Напишем уравнение равновесия слоя материала в проекции на вертикальную ось контейнера

$$P_x S - (P_x + dP_x) S - f \xi P_x \Pi dX = 0 \quad (3)$$

Сделав необходимые преобразования и разделив переменные, получим уравнение

$$\frac{dP_x}{P_x} = - \frac{f \xi \Pi dX}{S} \quad (4)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения контейнера

Интегрируя левую часть уравнения в пределах от  $P = 0$  до  $P$ , а правую от  $0$  до  $X$  определим закон распределения осевого давления по высоте контейнера

$$P_x = P e^{-f \xi \Pi X / S} \quad (5)$$

$P$  – максимальное осевое давление от собственного веса

или

$$P_x = q g x e^{-f \xi \Pi X / S} \quad (6)$$

где  $q$  – плотность материала;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

Осевое давление сверху на массу будет равно нулю, а снизу определится по формуле

$$P_{CH} = q g H e^{-f \xi \Pi H / S} \quad (7)$$

где  $H$  – высота контейнера.

Для куба высота  $H$  и длина ребра  $a$  равны, Поэтому формула (7) примет вид

$$P_{CH} = q g H e^{-f \xi a^4} \quad (8)$$

Для монолитов цилиндрической формы и высотой  $H$  формула будет иметь вид

$$P_{CH} = q g H e^{-f \xi \Pi 4 H / d} \quad (9)$$

где  $d$  – диаметр спрессованного монолита.

Рассмотрим уплотнение материала от воздействия вакуума. Величина вакуумметрического давления  $P_v$  на материал, определится по формуле

$$P_v = P_a - P_o, \quad (10)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление;

$P_o$  – остаточное давление воздуха в контейнере.

Поскольку вакуумметрическое давление действуют на все грани куба объемно и с одинаковой силой, а силы противоположных граней направлены навстречу друг другу и одинаковой величины, поэтому в центре куба давление от воздействия вакуума будет равно нулю [6].

На верхнюю грань куба при вакуумировании давление будет равно  $P_v$ , а на нижнюю грань определится по формуле

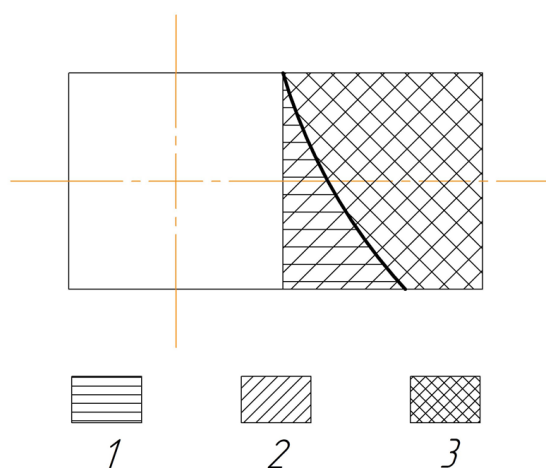
$$P_{обн} = P_v - q g a e^{-4 f \xi} \quad (11)$$

Давление на боковые грани  $P_{об}$  определится по формуле

$$P_{об} = P_v - q g a \xi e^{-4 f \xi} \quad (12)$$

Таким образом, установлено, что на верхнюю грань действует только вакуумметрическое давление, на нижнюю разность давлений между вакуумметрическим и осевым давлением от силы тяжести, а на боковые грани – разность между вакуумметрическим давлением и давлением бокового распора и зависит от параметров контейнера, коэффициентов трения и бокового распора силосуемого материала, его плотности.

На рисунке 2 показана примерная эпюра бокового давления на уплотняемый материал со стороны боковой грани от давления бокового распора материала и вакуумметрического давления. Из рисунка видно, что суммарное давление в нижней части контейнера уменьшается на величину давления бокового распора. Если  $P_v < P$  то возможно истечение сока из спрессованного монолита, при  $P_v > P$  истечение сока не наблюдается, что и происходит обычно на практике.



1-эпюра бокового давления  
2-эпюра вакуумметрического давления  
3- результирующая эпюра

Рис. 2. Примерная эпюра бокового давления

**Выводы**

Практика и расчеты показывают справедливость наших теоретических положений. При проведении опытов было установлено, что в результате воздействия вакуума на силосуемый материал, поверхностные слои получаемого монолита уплотняются значительно больше, чем внутренние. Такое явление препятствует выходу сока из внутренних слоев монолита. При этом небольшое количество

сока из монолита начинает выделяться, начиная с влажности примерно 75—78 % при вакууме 20–30 кПа, в то время как при обычном силосовании, то есть с уплотнением массы трактором, уже при влажности примерно 70 % и даже меньше. При вакууме 60–70 кПа и указанной влажности выделение сока не происходит. Такое действие вакуума позволяет сохранить в силосе сок, а, следовательно, и питательные вещества, уносимые с соком при обычном силосовании.

**Список литературы**

- [1] Коба, В. Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. – М.: Колос, 1999. – 327 с.
- [2] Авраменко, П. С. Приготовление силосованных кормов / П. С. Авраменко, Л. М. Постовалов. – Минск: Урожай, 1984. – 110 с.
- [3] Иванов, Д. В. Режимы и технические средства приготовления силосованных культур в упаковках с пониженным давлением газовой среды / Диссерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук/ Д. В. Иванов. – Ставрополь, 2010. – 182 с.
- [4] Пат. 2528189, RU, МПК А23К 3/02 . Способ приготовления и хранения силосованного корма / Некрашевич В.Ф., Антоненко Н.А., Некрашевич К.С. – Оpubл. 10.09.2014, бюл. № 25.
- [5] Пат. 2584026, RU, МПК А23К 3/02. Способ приготовления и хранения силосованного корма / Некрашевич В.Ф., Антоненко Н.А., Ревич Я.Л., Некрашевич К.С. – Оpubл. 2016, бюл. № 14.
- [6] Анализ процесса движения воздуха внутри козуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.Е. Каширин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2015. № 4 (28). С. 67–72.

## THEORY SEAL GREEN GROUND MASS IN SOFT CONTAINERS WITH A VACUUM IN THE SILAGE

*Nekrashevich V.F., Popov A.S., Afanasieva K.S.*

The Aim of the study is to conduct theoretical research results of the compaction process being siloed mass in a soft container under its own weight and its vacuum and establishing mathematical relationships for the calculation. It is necessary to substantiate the impact of vacuum pressure and its own weight on the top, bottom and side faces of the cubic container depending on the geometric parameters of the container, the coefficients of friction and side thrust being siloed material and its density.

*Keywords: evacuation, being siloed mass, vacuum pressure, lateral pressure thrust, axial pressure of its own weight.*

**References**

- [1] Koba, V. G. Mechanization and technology of production of livestock products / VG Koba, N. In. Braginetz, D. N. Murusidze, V. F. Nekrashevich. – M.: Kolos, 1999. – 327 p.
- [2] Avramenko, P. S. Preparation of feed silage / P. S. Avramenko, L. M. Postovalov. – Minsk: Harvest, 1984. – 110 p.
- [3] Ivanov, D. V. Modes and technical means of preparation of silage crops in packages with reduced pressure gas environment / the Dessert. on competition of a scientific degree. Kazan. step. Cand. tech. Sciences/ D. V. Ivanov. – Stavropol 2010,. – 182 p.
- [4] Pat. 2528189, RU, IPC A23K 3/02 . The method of preparation and storage of silage feed / Nekrashevich, V. F., Antonenko N. A. To Nekrashevich.With. – Publ. 10.09.2014, bull. No. 25.
- [5] Pat. 2584026, RU, IPC . The method of preparation and storage of silage feed / Nekrashevich, V. F., Antonenko N. A. I Revich.L., To Nekrashevich.With. – Publ. 2016, bull. No. 14.
- [6] Analiz protsesssa dvizheniya vozdukha vnutri kozhukha botvoudalyayushchego rabochego organa s obosnovaniem optimal'nogo ugla naklona nozhei / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.E. Kashirin // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2015. № 4 (28). S. 67–72.