

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМА ПРИ УПЛОТНЕНИИ СИЛОСУЕМОЙ МАССЫ В КОНТЕЙНЕРАХ ИЗ ВОЗДУХОНЕПРОНИЦАЕМОЙ ПЛЕНКИ

Некрашевич Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор

Попов Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Афанасьева Кристина Сергеевна, аспирант

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»

390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, раб. тел.: +7(4912)35-07-60; e-mail sisim62@mail.ru

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

В статье рассмотрены теоретические исследования современной технологии силосования кормов в мягких вакуумированных контейнерах из воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки. Силосуемая масса уплотняется как за счёт собственного веса, так и за счет вакуумметрического давления, равного разности между атмосферным давлением и остаточным давлением в контейнере. В результате теоретических исследований установили, что на верхнюю грань контейнера действует только вакуумметрическое давление, на нижнюю – разность давлений между вакуумметрическим и давлением от силы тяжести, а на боковые грани – разность между вакуумметрическим давлением и давлением бокового распора. В свою очередь давление бокового распора зависит от параметров контейнера, силы бокового распора, коэффициентов трения и плотности материала. Суммарное давление в нижней части контейнера уменьшается на величину давления бокового распора. Если  $P_6 < P$ , то возможно истечение сока из прессованного монолита, а при  $P_6 > P$  истечение сока не наблюдается. Расчеты и практическая проверка показали достоверность 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 выводу сока из внутренних слоев монолита. При вакууме 60...70 кПа и влажности 70 % выделение сока не происходит. Такое действие вакуума позволяет сохранить в силосе сок, а следовательно, и питательные вещества, уносимые с соком при обычном силосовании.

### Введение

Современная технология силосования в железобетонных траншеях и в рукавах из полиэтиленовой пленки имеет ряд существенных недостатков, главный из которых – большие потери силоса, достигающие 10...15 % и более при её нарушении. Поэтому не всегда силос подается в кормушки животным свежим из-за повторной ферментации [1, 2, 3].

Для устранения указанного выше недостатка нами предложен способ силосования кормов в мягких вакуумированных контейнерах из воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки [4, 5]. Сущность этого способа заключается в следующем. Измельченная масса растений, подлежащих силосованию, загружается в контейнер, который затем герметизируют, после чего из него откачивают 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 отправляют 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 исследований

Рассмотрим процесс уплотнения силосуемой массы (далее – «материал») в мягком контейнере под действием собственного веса

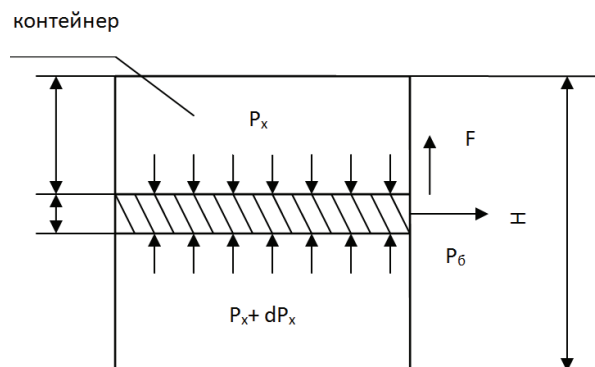


Рис. 1 - К определению уплотнения материала от действия собственного веса

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:

$P_x$  – осевое давление от собственного веса сверху, Па;

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

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

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

Элементарная сила трения

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

где  $f$  – коэффициент трения материала о стенки контейнера;  $\Pi$  – периметр поперечного сечения контейнера, м.

Боковое давление, возникающее под действием собственного веса, можно определить 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 следующее уравнение:

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

где  $S$  – площадь поперечного сечения контейнера, м<sup>2</sup>.

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:

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

где  $P$  – максимальное осевое давление от собственного веса, Па;

или

$$P_x = qgxe^{-f\xi \Pi X / S}, \quad (6)$$

где  $q$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Осевое давление сверху на массу будет равно нулю, а давление снизу можно определить по формуле:

$$P_{сн} = qgHe^{-f\xi \Pi H / S}, \quad (7)$$

где  $H$  – высота контейнера, м.

У куба высота  $H$  и длина ребра  $a$  равны. Поэтому формула (7) примет вид:

$$P_{сн} = qgHe^{-f\xi a^4}. \quad (8)$$

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

$$P_{сн} = qgHe^{-f\xi \Pi^4 H / d}, \quad (9)$$

где  $d$  – диаметр спрессованного монолита, м.

Рассмотрим уплотнение материала от воздействия вакуума. Величина вакуумметрического давления на материал

$$P_6 = P_a - P_o, \quad (10)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление, Па;  $P_o$  – остаточное давление воздуха в контейнере, Па.

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

При вакуумировании давление на верхнюю грань куба будет равно  $P_6$ , а давление на нижнюю грань можно определить по формуле:

$$P_{обн} = P_6 - qga e^{-4f\xi}. \quad (11)$$

Давление на боковые грани

$$P_{об} = P_6 - qga\xi e^{-4f\xi}. \quad (12)$$

Таким образом, установлено, что на верхнюю грань контейнера действует только вакуумметрическое давление, на нижнюю – разность давлений между вакуумметрическим и давлением от силы тяжести, а на боковые грани – разность между вакуумметрическим давлением и

давлением бокового распора, причем эти давления зависят от параметров контейнера, коэффициентов трения и бокового распора силосуемого материала, а также 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.

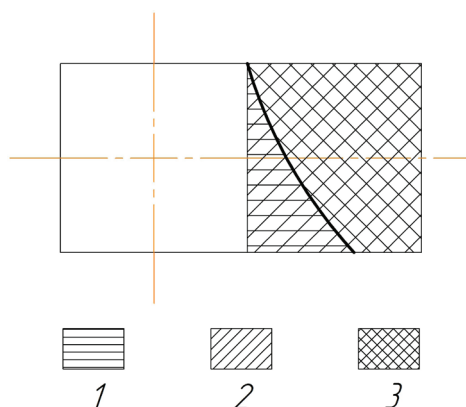
Из рисунка видно, что суммарное давление в нижней части контейнера уменьшается на величину давления бокового распора. Если  $P_b < P$ , то возможно истечение сока из прессованного монолита, при  $P_b > P$  истечение сока не наблюдается.

#### Выводы

Расчеты и экспериментальные исследования показывают достоверность приведенных выше 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 при влажности примерно 75...78 % при вакууме 20...30 кПа, в то время как при обычном силосовании с уплотнением массы трактором сок выделяется уже при влажности примерно 70 %. При вакууме 60...70 кПа и влажности силосной массы 70 % выделение сока не происходит. Такое действие вакуума позволяет сохранить в силосе сок, а следовательно, и питательные вещества, уносимые с соком при обычном силосовании.

#### Библиографический список

1. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. –



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

Рис. 2 - Примерная эпюра бокового давления

М.: Колос, 1999. – 327 с.

2. Авраменко, П.С. Приготовление силосованных кормов / П.С. Авраменко, Л.М. Поставалов. – Минск: Урожай, 1984. – 110 с.

3. Иванов, Дмитрий Владимирович Режимы и технические средства приготовления силосованных культур в упаковках с пониженным давлением газовой среды: Дисс. ... на соиск. уч. степ. канд. техн. наук специальность 05.20.01 / 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. – Опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С. Черномырдина»

5. Пат. 2584026, RU, МПК. Способ приготовления и хранения силосованного корма / Некрашевич В.Ф., Антоненко Н.А., Ревич Я.Л., Некрашевич К.С. – Опубл. 2016, Бюл. № 14. Заявитель и патентообладатель: Некрашевич В.Ф.

#### USAGE OF VACUUM WHEN COMPRESSING ENSILAGED MASS INTO CONTAINERS MADE OF AIR-PROOF FILM

Nekrashevich V.F., Popov A.S., Afanasyeva K.S.

FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev"

390044. Ryazan, Kostycheva st., 1,

Tel. +7 (4912) 35-07-60, e-mail: [sisim62@mail.ru](mailto:sisim62@mail.ru)

Key words: vacuum, ensilaged mass, vacuum gage pressure, side thrust pressure, axial pressure of its own weight.

The article represents research of modern technology of forage silaging in soft vacuum containers made of air-proof polyethylene film. The silaged mass is compacted both by its own weight and by a vacuum pressure equal to the difference between the atmospheric pressure and the residual pressure in the container. As a result of theoretical studies, it was established that only the vacuum pressure acts on the upper side of the container, the pressure difference between the vacuum pressure and the gravity pressure acts on the lower side of the container, and the difference between the vacuum pressure and the side thrust pressure. Whereas, the pressure of the side thrust depends on the parameters of the container, the force of the side thrust, the coefficients of friction and the density of the material. The total pressure in the lower part of the container is reduced by the value of the side thrust pressure. If  $P_b < P$ , then the juice may flow out from the compressed monolith, and at  $P_b > P$ , the outflow of juice is not observed. Calculations and practical verification have shown the validity of the theoretical propositions. During the experiments, it was found that as a result of the action of vacuum on the silaged material, the surface layers of the resulting monolith are thickened considerably more than internal layers. This phenomenon prevents the juice from escaping the inner layers of the monolith. With a vacuum of 60 ... 70 kPa and a humidity of 70%, the allocation of juice does not occur. This effect of the vacuum allows you to keep the juice in the silage, and, consequently, the nutrients carried away with the juice in the usual silage are thus preserved.

#### *Bibliography*

1. *Machinery and technology of production of livestock products / V.G. Koba, N.V. Braginets, D.N. Murusidze, V.F. Nekrashevich. - Moscow: Kolos, 1999. - 327 p.*
2. *Avramenko, P.S. Preparation of silage fodder / P.S. Avramenko, L.M. Postovalov. - Minsk: Urozhai, 1984. - 110 p.*
3. *Ivanov Dmitriy Vladimirovich Modes and technical means of preparation of silage crops in packages with a reduced pressure of the gas environment: dissertation of Candidate of Technical Sciences, specialty: 05.20.01 / D.V. Ivanov. - Stavropol, 2010. - 182 p.*
4. *Pat. 2528189, RU, IPC A23K 3/02. Method of preparation and storage of silaged fodder / Nekrashevich V.F., Antonenko N.A., Nekrashevich K.S. - publ. 09/10/2014, Bul. № 25. Applicant and patent holder FSBEI HPE "Moscow State Open University named after V.S. Chernomyrdin »*
5. *Pat. 2584026, RU, IPC. Method of preparation and storage of silaged fodder / Nekrashevich V.F., Antonenko N.A., Revich Y.L., Nekrashevich K.S. - publ. 2016, Bul. № 14. Applicant and patent holder Nekrashevich V.F.*