

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ С КЛИНОПОДОБНОЙ КАМЕРОЙ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Дмитрий Милько*

*Таврический государственный агротехнологический университет  
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: milko\_dmitry@mail.ru*

**Dmitry Milko**

*Tavria State Agrotechnological University  
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: milko\_dmitry@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведен анализ последних актуальных исследований в области решений вопросов уплотнения растительных материалов. Большое внимание в статье уделено исследованиям качественных показателей процесса уплотнения, а именно плотности, энергоёмкости и продуктивности. Для исследования зависимостей плотности, продуктивности и энергоёмкости процесса уплотнения от конструктивно-кинематических параметров пресса предварительного уплотнения растительных материалов с клиноподобной камерой уплотнения был создан экспериментальный образец пресса с возможностью изменения скорости движения поршня и сменным углом наклона верхней стенки камеры уплотнения. В качестве растительного материала использовались люцерна в стадии цветения и ворох пшеничный с влажностью 54% и 16%. Изменение скорости движения поршня производилось в интервале от 0,001 до 0,002 м/с. Также в статье представлены элементы методики проведения экспериментальных исследований и анализ полученных данных.

Зависимость плотности, энергоёмкости и продуктивности уплотнения от конструктивно-кинематических параметров представлена как математически, так и графически в парных взаимодействиях факторов, а именно от скорости движения поршня и угла наклона верхней стенки камеры уплотнения растительного материала.

Представленные данные позволяют определить рациональные конструктивно-кинематические параметры пресса предварительного уплотнения, которые влияют на продуктивность, энергоёмкость и плотность растительного материала. Полученные данные позволяют определить оптимальные конструктивно-технологические параметры пресса предварительного уплотнения и использовать их как выходные данные для дальнейшей обработки уплотненного растительного материала.

**Ключевые слова:** пресс предварительного уплотнения, растительные материалы, экспериментальные исследования, клиноподобная камера уплотнения, энергоёмкость уплотнения.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных условий снижения себестоимости производства животноводческой продукции является полноценное кормление животных. Отрасль кормозаготовки включает в себя множество аспектов. Но неотъемлемой частью практически

всех процессов кормозаготовки является уплотнение. В связи с этим необходимо отметить необходимость создания средств механизации уплотнения с возможностями регулирования плотности в зависимости от дальнейшей технологии закладки на хранение. Достаточно известен факт о том, что повышая плотность растительного материала, значительно усложняется конструкция самого устройства, что приводит к повышению себестоимости производимого продукта. Исходя из этого ученые пытаются прибегнуть к компромиссу – создание недорогих прессов с приемлемыми качественными показателями которые используют физико-механические свойства растительных материалов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями влияния конструктивных и режимных параметров уплотнения на показатели качества и энергоёмкости их работы занимались ученые с давних времен

В этом направлении работали такие ученые как И.И. Вольф, А.А. Чапкевич, М.А. Пустыгин, А.А. Тулинов, С.А. Алферов, В.Д. Дутов, Е.И. Храпач, А.А. Григорьев, М.А. Перегожин [1].

Они исследовали влияние разнообразных технологических факторов на качество уплотнения стебельчатых материалов. Однако сути процесса уплотнения так и не удалось достигнуть.

При этом практически все исследователи пришли к выводу, что основным показателем, который характеризует качество уплотнения кормов является плотность полученных тюков, брикетов, гранул.

Очевидно, что плотность материалов, которые уплотняются, будет увеличиваться при повышении приложенного к ним давления.

В виду этого В.И. Особовым была выведена следующая функциональная зависимость [1]:

$$\frac{dp}{d\rho} = f(p), \quad (1)$$

где:  $p$  – усилия, которые воздействуют на материал;  
 $\rho$  – плотность материала.

После решения этого уравнения, благодаря интегрированию левой и правой части, была получена зависимость давления от плотности в явном виде:

$$\rho = C(e-1)\rho_0 + \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

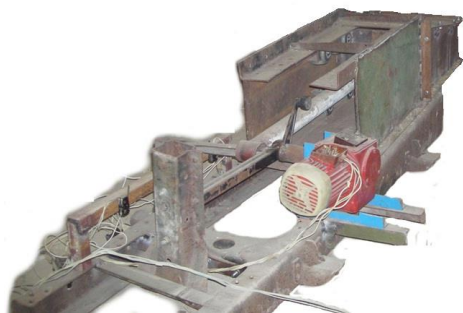
где:  $C = b/a$ .

Величина  $1/\alpha$  представляет собой приращение начальной плотности материала при давлении, которое равняется  $C(e-1)$ .

Многочисленные эксперименты, которые были проведены, позволили определить значения коэффициентов  $C$  и  $\alpha$  для многих видов кормовых культур, таких как степное, злаковое и бобовое сено, сено сена и солома.

Однако исследованиям подлежали материалы с незначительной влажностью, а именно люцерна (16%), клевер (16%), сено степное (16%), тимофеевка (9,35%), солома (10,34%), сено сена (14,7%) [1]. Поэтому актуальным на данный момент остается определение параметров растительных материалов с повышенной влажностью.

Для проведения экспериментальных исследований с учетом необходимых требований к процессу уплотнения растительных материалов на базе Таврического государственного агротехнологического университета был создан пресс предварительного уплотнения (рис. 1).



**Рис. 1.** Экспериментальный образец пресса предварительного уплотнения с клиноподобной камерой уплотнения

**Fig. 1.** The experimental sample of preliminary sealing press with wedge seal chamber

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Цель работы – получение экспериментальных зависимостей влияния конструктивно-кинематических параметров пресса предварительного уплотнения на плотность, энергоемкость и продуктивность процесса.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленного задания использована методика планирования многофакторного эксперимента и реализован трехуровневый план второго порядка Бокса – Бенкина [11-14].

В результате предварительных исследований было установлено, что основное влияние на выходную плотность растительного материала оказывают следующие факторы: скорость движения поршня пресса предварительного уплотнения  $V$  и угол наклона верхней стенки камеры уплотнения  $\alpha$  [12-14].

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Уровни и интервалы варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований

**Table 1.** Levels and intervals of varying factors in conducting experimental research

№ з/п	Уровень факторов			
	Кодированный		Раскодированный	
	$X_1$	$X_2$	$\alpha$	$V$
1	1	1	15,0	2,2
2	-1	1	0	2,2
3	1	-1	15,0	0,6
4	-1	-1	0	0,6
5	1	0	15,0	1,4
6	-1	0	0	1,4
7	0	1	7,5	2,2
8	0	-1	7,5	0,6
9	0	0	7,5	1,4

Выполнение экспериментальных исследований осуществлялось следующим образом. Испытуемый материал в порядке исследования засыпали в приемный бункер и включали пресс, в процессе работы пресса материал направлялся в клиноподобную камеру уплотнения. При выходе из камеры проводились измерения степени уплотнения.

Исследования выполнялись в трехкратной повторности со взятием согласно [9] тридцати проб.

После измерения линейных параметров проб пробы взвешивались на электронных весах с точностью дозирования 0,5 г.

Последовательность выполнения экспериментальных исследований выполнялась согласно с существующими методиками [15, 16].

Для получения регрессионной модели использовался пакет прикладных программ Statistica, который также автоматически рассчитывает и статистически оценивает значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, ее адекватность по критерию Фишера и работоспособность по коэффициенту детерминации [17-20].

В результате расчетов были получены уравнения регрессии плотности растительного материала, энергоемкости и производительности процесса уплотнения для сенажа, которые выглядят следующим образом:

$$\rho = 333,326 + 17,289\alpha + 9,667\alpha V - 1,366\alpha^2, \quad (3)$$

$$Q = 4,258\alpha + 395V + 2,292\alpha V - 0,225\alpha^2 - 40,885V^2 - 63,753, \quad (4)$$

$$E = 30,816 + 0,1552\alpha - 21,230V + 5,581V^2. \quad (5)$$

При исследовании пресса предварительного уплотнения растительного сырья получено статистически значимую позитивную и умеренную корреляцию плотности, продуктивности и энергоемкости с углом наклона верхней стенки как при подаче сенажа, так и вороха. Со скоростью подачи сенажа и вороха статистически коррелируют все исследуемые параметры на уровне от умеренного до достаточно высокого, тогда как для энергоемкости эта корреляция негативная.

Поверхности отклика уравнений (3, 4, 5) представлены на рис. 2, 3, 4.

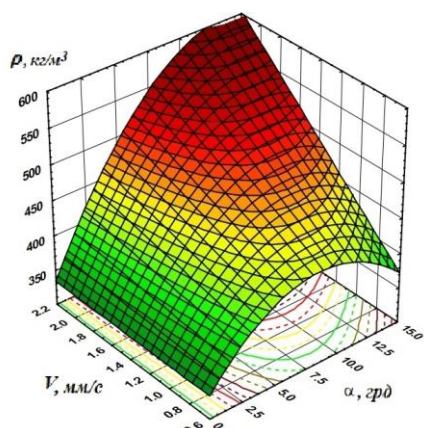


Рис. 2. Поверхность отклика зависимости плотности массы от угла наклона  $\alpha$  и скорости подачи  $V$

Fig. 2. Response surface of mass density dependence on the angle  $\alpha$  and the feed rate  $V$

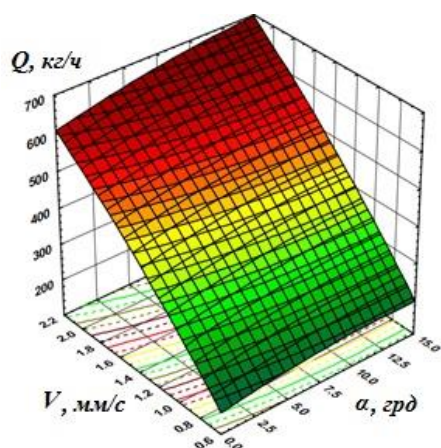


Рис. 3. Поверхность отклика зависимости продуктивности подачи массы от угла наклона  $\alpha$  и скорости подачи  $V$

Fig. 3. Response surface feed mass productivity depending on the tilt angle  $\alpha$  and a feed rate  $V$

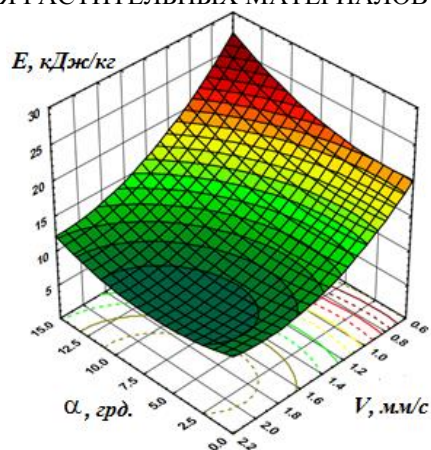


Рис. 4. Поверхность отклика зависимости энергоёмкости привода от угла наклона  $\alpha$  и скорости подачи  $V$

Fig. 4. Response surface of power consumption dependence on the angle  $\alpha$  and the feed rate  $V$

В ходе выполнения регрессионного анализа выполняется проверка нулевой гипотезы про отсутствие взаимосвязи независимых факторов. Для этой цели использована проверка независимых факторов на отсутствие сильной линейной взаимной корреляции с принятым уровнем значимости  $\alpha=0,05$ .

Рассматривая уравнения регрессии энергоёмкости привода пресса предварительного уплотнения от угла наклона и скорости подачи было отмечено, что они имеют эллиптическую форму, причем у обоих минимальное значение функции отклика определяется исследуемыми факторами в пределах их варьирования на уровне угла наклона от  $5,0^0$  до  $10,0^0$  и скорости движения пресса предварительного уплотнения от 1,5 до 2,2 мм/с.

Также следует отметить оптимальный угол наклона в  $7,5^0$  при скорости движения поршня пресса предварительного уплотнения в 2,2 мм/с при установке этих параметров наблюдается наименьшая энергоёмкость процесса предварительного уплотнения и составляет 9,5 кДж/кг для сенажа.

Таблица 2. Результаты критериальной оценки экспериментальных данных предварительного уплотнения сенажа и вороха

Table 2. Results of criteria evaluation of experimental data and preliminary haylage and strow compaction

Наименование критерия	Значения критерия	Показатель			
		Плотность	Продуктивность	Мощность	Энергоёмкость
Сенаж					
$t$ -критерий Стьюдента	максимальное	1,155	1,212	1,273	1,337
	критическое	4,303			
Размах усеченной выборки $k$	максимальное	0,909	0,900	0,891	0,882
	критическое	3,157			
Критерий Кохрена $G$	расчетное	0,254	0,213	0,275	0,350
	критичне	0,477			
Ворох					
$t$ -критерий Стьюдента	максимальное	1,104	1,159	1,155	1,152
	критическое	4,303			
Размах усеченной выборки $k$	максимальное	0,700	0,700	0,909	0,924
	критическое	3,157			
Критерий Кохрена $G$	расчетное	0,226	0,339	0,279	0,375
	критическое	0,477			

При параметрах минимальной энергоемкости процесса наблюдается приемлемая продуктивность на уровне 650 кг/год для сенажа.

Полученные в результате эксперимента данные были подвергнуты критериальной оценке, а именно оценке по трем критериям: критерию Стьюдента, размаху усеченной выборки и критерию Кохрена. Результаты критериальной оценки экспериментальных данных представлены в таблице 2.

#### ВЫВОДЫ

1. В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости влияния технологических и конструктивных параметров пресса предварительного уплотнения с клиноподобной камерой на плотность выходного растительного сырья, энергоемкость и продуктивность процесса уплотнения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Особов В.И. 2009.** Механическая технология кормов. М.: Колос, 344.
2. **Сиротюк В.М. 2011.** Экспериментальные исследования режимов работы энергосберегающего вибрационного дозатора сыпучих кормов. Мотрол. Механизация и электрификация растениеводства. Люблин. Том. 13D. 62-68.
3. **Сиротюк В.М. 2014.** Результаты экспериментального исследования энергосберегающего дозатора сыпучих кормов. Мотрол. Механизация и электрификация растениеводства. Люблин. Том. 16. 148-156.
4. **Мазоренко Д.И. 2014.** Моделирование процессов выхода сыпучих удобрений из дозирующего окна шнекового распределительного устройства. Мотрол. Механизация и электрификация растениеводства. Люблин. Том. 16. №7. 60-70.
5. **Русалев А.М. 2009.** Результаты экспериментальных исследований решетчатого дозатора сыпучих концентрированных кормов. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко Вып. 79. 64-72.
6. **ОСТ 70.19.2-83. 1984.** Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний. Отраслевой стандарт. М.: Издательство стандартов, 114.
7. **Веденеева Е.А. 2008.** Функции и формулы Excel 2007. Библиотека пользователя. СПб.: Питер, 384.
8. **Мельников С.В. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 168.
9. **Ушкаренко И.А. 1988.** Планирование эксперимента и дисперсный анализ данных полевого опыта. Киев; Одесса: Выща школа. Главное издательство, 120.
10. **Митков А.Я. 1978.** Статистические методы в сельхозмашиностроении. М.: Машиностроение, 390.
11. **Веденяпин Г.В. 1973.** Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. М.: Колос, 199.
12. **ГОСТ 11.004-74 СТ СЭВ 876-78. 1981.** Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для нормального распределения. – Введ. 10.07.1975. – М.: Издательство стандартов, 20.
13. **Кассандрова О.Н. 1970.** Обработка результатов измерений. М.: Наука, 104.
14. **Гонсалес Р. 2006.** Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 616.
15. **Дашенко А.Ф. 2003.** MATLAB в инженерных и научных расчетах. Одесса: Астропринт, 214.
16. **Дьяконов В.П. 2012.** MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 768.
17. **Боровиков В. 2003.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер, 688.
18. **Милько Д.А. 2015.** Особенности оценки результатов регрессионного анализа. Сборник научных трудов Кировоградского национального технического университета. Техника в сельскохозяйственном производстве, отраслевое машиностроение, автоматизация. Вып.28. Кировоград. – 2015. 196 – 202.
19. **Боровиков В.П. 2000.** Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере. М.: Финансы и статистика, 384.
20. **Вуколов Э.А. 2008.** Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel. М.: ФОРУМ, 464.

#### RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PRESS PRE-SEAL WITH WEDGE CHAMBERS FOR PLANT MATERIAL

**Summary.** The analysis of recent actual researches in the field of loose materials sealing issues solutions is given at the article. Much attention is paid to the research of sealing process qualitative indicators. The experimental sample of the pre-seal with the ability to change the angel of the up side incline and feed speed was created to investigate the dependence of the density from constructive and kinematic parameters of the sealer with lattice surface. Angle degrees varying with the next parameters  $0^{\circ}$ ,  $7,5^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ . Feed speed varied from 0,6 to 2,2 mm with an interval of change of 0,8 mm. The sequence of conducted experimental research and analysis of received data also are illustrated at the article.

The dependence the density from the constructive and kinematic parameters is represented mathematically and with paired interaction of factors, namely feed speed and angle of the up side incline.

Presented data allow to determine the rational constructive and kinematic parameters of the pre-sealer with wedge chambers that affect to density of the plant material.

**Key words:** pre-sealer, experimental research, wedge chambers, plant material, density.