

**И. М. Лабоцкий, В. В. Микульский**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: Wadim\_501@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СИЛОСНОЙ МАССЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований влияния статических и вибродинамических нагрузок на процесс уплотнения силосной массы.

*Ключевые слова:* корм, силос, экспериментальная установка, плотность кормов, виброплита, статическая нагрузка, вибродинамическая нагрузка, вынуждающая сила, частота колебаний, удельное давление.

**I. M. Labotcky, V. V. Mikulsku**

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: Wadim\_501@mail.ru*

## **STUDY OF THE PROCESS OF SEALING SILAGE MASS UNDER THE ACTION OF VIBRODYNAMIC LOADS**

In the article were carried out the experimental research's results of the influence of static and vibrodynamic loads on the process of compaction of the silage mass.

*Keywords:* feed, silo, experimental setup, feed density, vibrating plate, static load, vibrodynamic load, driving force, oscillation frequency, specific pressure.

### **Введение**

Мировым опытом доказано, что продуктивность сельскохозяйственных животных и эффективность животноводческой отрасли на 60% зависят от уровня кормления и качества основных видов кормов [1].

Для нужд отечественного животноводства в республике ежегодно заготавливается свыше 25 миллионов тонн сенажа и силоса с хранением в траншейных хранилищах. Основными факторами, определяющими уровни качества и потерь в процессе заготовки кормов, являются: пригодность (фаза вегетации) растений к началу уборки; влажность сенажной и силосной массы; плотность укладки; герметичность укрытия (упаковки); продолжительность заполнения хранилища. Невыполнение любого из этих факторов ведет к потерям питательных веществ, как в процессе заполнения хранилища, так и в процессе хранения кормов [2].

Для реализации инновационных технологических процессов заготовки основных видов кормов из трав и силосных культур в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» создан и поставлен на производство комплекс машин для заготовки сенажа и силоса в измельченном виде с последующим хранением в траншейных хранилищах. При этом способом хранения основными факторами, определяющими качество кормов, являются плотность массы и герметичность укрытия хранилища.

В настоящее время для уплотнения кормов в траншейных хранилищах применяют колесные тракторы «Кировец», энергонасыщенные тракторы «Беларус» и импортные машины аналогичного класса, а также созданные и внедренные в производство новый агрегат АЗВК «Амкодор 352-02» и машина «АРУК-5» агрегируемая с трактором класса 5. Перечисленные средства механизации обеспечивают уплотнение сенажа до плотности от 500 до 560 кг/м<sup>3</sup>, кукурузного силоса – от 600 до 620 кг/м<sup>3</sup> [3].

В настоящее время технические возможности применяемых комплексов машин для заготовки силоса и сенажа: косилок, ворошилок, граблей-валкователей, кормоуборочных комбайнов, транспортных средств – по производительности в 1,5–2 раза выше, чем у агрегатов для их уплотнения. В результате сдерживаются темпы уборочных работ, корма не достигают требуемого качества и как следствие возрастают потери.

Известные агрегаты для уплотнения кормов осуществляют уплотнение под действием статической нагрузки, значение которой определяется величиной массы агрегата и площадью опорной поверхности ходовой системы. На практике для повышения нагрузки увеличивают массу агрегатов путем навешивания дополнительных грузов. Однако препятствием для наращивания массы агрегатов становятся допустимые нагрузки на оси тракторов. По этой причине производительность данных агрегатов ограничена.

Изложенное выше, является бесспорным основанием изыскания новых способов и механизмов, обеспечивающих повышение скорости уплотнения и плотности кормов в хранилищах.

### Основная часть

Для изучения влияния статических и вибродинамических нагрузок на процесс уплотнения силосной массы разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать технологические показатели данных нагрузок (нормальное удельное давление  $p$ , вынуждающую силу вибратора  $F_{вн.}$ , статический момент дебаланса  $M_{ст.}$  и частоту его вращения  $n$ ) на скорость уплотнения и плотность кормов.

Экспериментальная установка (рис. 1) включает *станину 1*, *ящик 2* с размерами 0,5×0,5×0,5 м и шкалой для измерения высоты столба исследуемых материалов, *плиту 3* с *вибратором ИВ-98Б (виброплита) 4*, *гидроцилиндр 5* с *гидростанцией 6* и *направляющим брусом 7*, осуществляющий перемещение виброплиты по *направляющим 8*, *шкафу управления 9*. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 2.

Регулировку нормального удельного давления на исследуемый материал осуществляли при помощи редукционного клапана, находящегося в *гидростанции 6*, а численное значение давления в гидросистеме определяли *манометром 10*.

Статический момент дебаланса вибратора изменяли путем изменения положения самих дебалансов, расположенных на валу *вибратора 4* (рис. 3), а частоту их вращения, при помощи частотного преобразователя INNOVERT (рис. 4), установленного в *шкафу управления 9*.

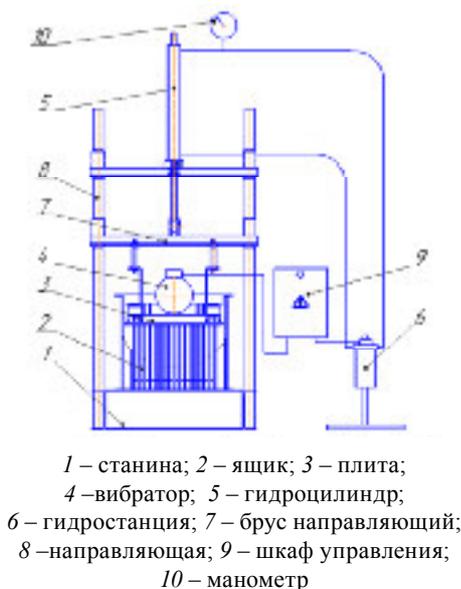


Рис. 1. – Схема экспериментальной установки



Рис. 2. – Общий вид экспериментальной установки

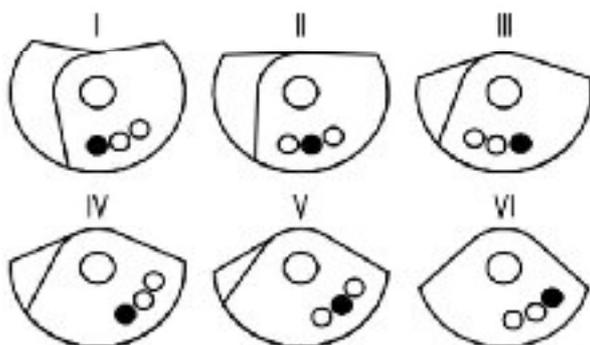


Рис. 3. – Схема регулировки статического момента вибратора (ИВ-98Б)



Рис. 4. – Частотный преобразователь INNOVERT

Вынуждающую силу виброплиты  $F_{вн.}$  определяли по формуле (1):

$$F_{вн.} = \frac{M_{ст.}}{100} \cdot \left( \frac{2\pi n}{60} \right)^2, \quad (1)$$

где  $M_{ст.}$  – статический момент дебаланса кг·см;

$n$  – частота вращения дебаланса, мин<sup>-1</sup>.

Экспериментальные исследования выполняли методом единственного различия фактора.

Порядок работы следующий. Ящик заполняли исследуемым материалом до высоты 0,4 м, устанавливали необходимое нормальное удельное давление на исследуемый материал, статический момент дебаланса вибратора и частоту его вращения. Затем включали привод гидростанции, через электро-механический клапан, включали подачу масла в верхнюю полость гидроцилиндра и, в момент, когда шток вместе с виброплитой опускался во внутреннее пространство ящика, – включали привод виброплиты. Процесс уплотнения материала виброплитой фиксировался на видеокамеру. После того как под действием статических и переменных динамических нагрузок процесс уплотнения прекращался, выключали привод виброплиты, переключали подачу масла в нижнюю полость гидроцилиндра, после чего шток вместе с виброплитой перемещались в исходное положение. В это время, уплотненный виброплитой материал переходил в фазу восстановления, которую фиксировала видеокамера до полной её остановки.

Опыты проводили в трехкратной повторности на силосе (кукуруза) влажностью 65% и длиной резки до 0,03 м. Затем полученные данные обрабатывали методом математической статистики.

Нормальное удельное давление на исследуемый материал устанавливали в пределах от 1600 до 5600 кг/м<sup>2</sup> с шагом 800 кг/м<sup>2</sup>. Исследованию подвергался вибратор ИВ-98Б со статическим моментом дебаланса 5,7, 7,7, 9,4 и 11,4 кг·см и синхронной частотой его вращения от 600 до 3000 мин<sup>-1</sup> с шагом 600 мин<sup>-1</sup>.

На рисунках 5, 6 представлены процесс уплотнения силосной массы под воздействием статических и совместно статических и вибродинамических нагрузок т.е. путем приложения на последних нормального удельного давления и вибрационных сил. Экспериментальные исследования проводили при нормальном удельном давлении 1600, 2400, 3200, 4000 и 4800 кг/м<sup>2</sup>, статическом моменте дебаланса вибратора 7,7 кг·см и частоте его вращения 1800 мин<sup>-1</sup>.

Поисковыми исследованиями установлено, что средняя продолжительность времени воздействий статических и вибродинамических нагрузок, свыше которой прекращается уплотнение исследуемых кормов, не превышает 90 с. Из рис. 6 также следует, что воздействие дополнительной вибродинамической нагрузки на кормовую массу, приводит к значительному увеличению их плотности. Так, плотность силоса в сравнении только со статическим на него воздействием (рис. 7), увеличилась на 25–36%, а после релаксации на 14,2–30%. Объясняется это тем, что при приложении к кормовой массе вертикального давления и сообщением их частицам вибрационных движений последние начинают перераспределяться, занимая более устойчивое положение, следовательно, уменьшается порозность между частицами, а, значит, и объем кормовой массы в ящике.

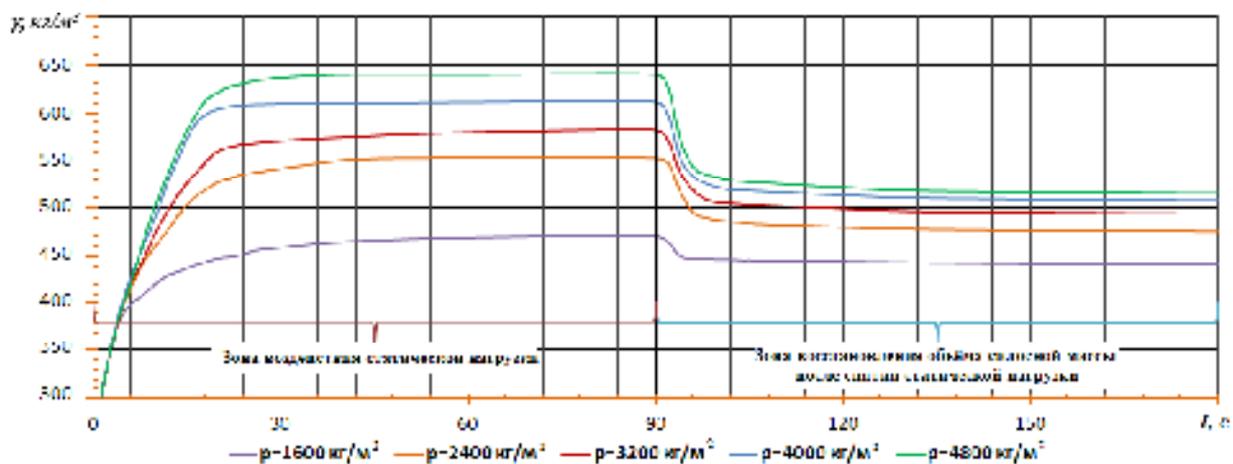


Рис. 5. – Процесс уплотнения силосной массы под воздействием статических нагрузок

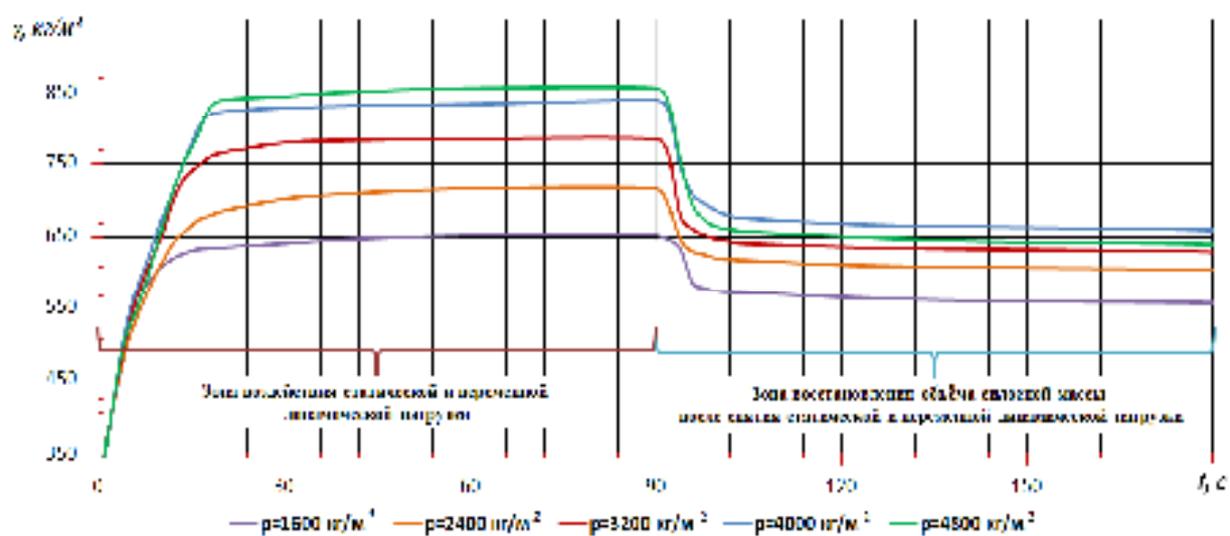


Рис. 6. – Процесс уплотнения силосной массы под воздействием статических и вибрационных нагрузок ( $M_{ст} = 7,7 \text{ кг}\cdot\text{см}$ ,  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ )

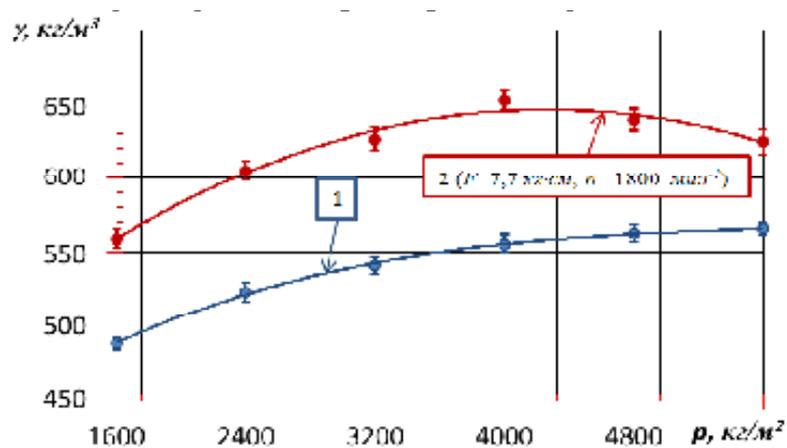


Рис. 7. – Влияние статической (1) и совместно статической и вибрационной нагрузки (2) на плотность силосной массы (после релаксации)

В этой связи вибратор играет роль дозаполнителя свободных зон в уплотняемой кормовой массе, приводя общий его объём к одинаковой плотности. Иными словами, осуществляется в определенной степени процесс приведения материала к критической порозности.

Кроме того, проводился анализ влияния статических и вибродинамических нагрузок на скорость уплотнения исследуемых кормов. В результате данного анализа было установлено, что при приложении к статической нагрузке дополнительно вибродинамических нагрузок, скорость уплотнения кормов увеличивалась в 3–6 раза (в зависимости от значения нормального удельного давления).

На рис. 8 представлены влияние частоты вращения дебаланса вибратора на плотность силосной массы. Экспериментальные исследования проводили при нормальном удельном давлении на исследуемый материал  $4800 \text{ кг/м}^2$  и статическом моменте дебаланса  $7,7 \text{ кг}\cdot\text{см}$ .

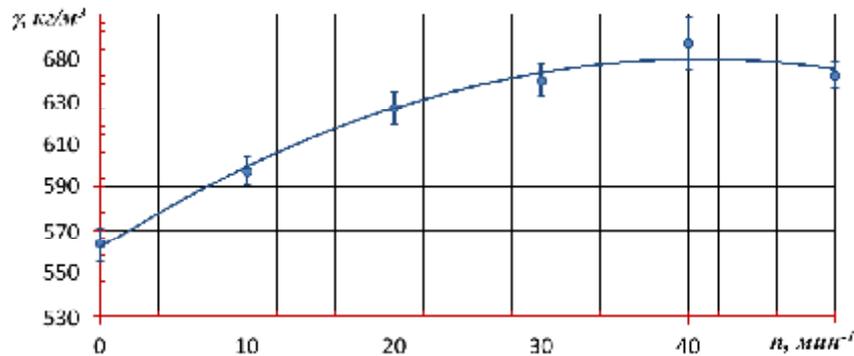


Рис. 8. – Зависимость плотности силосной массы от частоты вращения дебалансов при нормальном удельном давлении  $4800 \text{ кг/м}^2$  и статическом моменте дебаланса вибратора  $7,7 \text{ кг}\cdot\text{см}$  (после релаксации)

Из рис. 8 следует, что плотность силосной массы в исследуемом диапазоне частоты вращения дебаланса вибратора повышается при увеличении последнего до  $2400 \text{ мин}^{-1}$ . Дальнейшее увеличение частоты вращения дебаланса вибратора приводит к снижению насыпной плотности кормов. Это обусловлено тем, что при малой частоте вращения дебаланса не обеспечивается полное разрушения связей между частицами кормов, следовательно, процесс перераспределения частиц в общем массиве замедляется, ухудшая, таким образом, условия приведения материала к одинаковой плотности. При увеличении частоты вращения дебаланса более  $2400 \text{ мин}^{-1}$  создаются также неблагоприятные условия для их уплотнения, обусловленные повышенной скоростью движения частиц в общем массиве, что также приводит к замедлению перераспределения частиц.

На рис. 9 представлены влияние статического момента дебаланса вибратора на плотность силосной массы. Экспериментальные исследования проводили при нормальном удельном давлении  $4800 \text{ кг/м}^2$  и частоте вращения дебаланса вибратора  $1800 \text{ мин}^{-1}$ .

Из рис. 9 следует, что при увеличении статического момента дебаланса до  $9,0 \text{ кг}\cdot\text{см}$  насыпная плотность кормов резко увеличивается, что объясняется улучшением качества формирования мате-

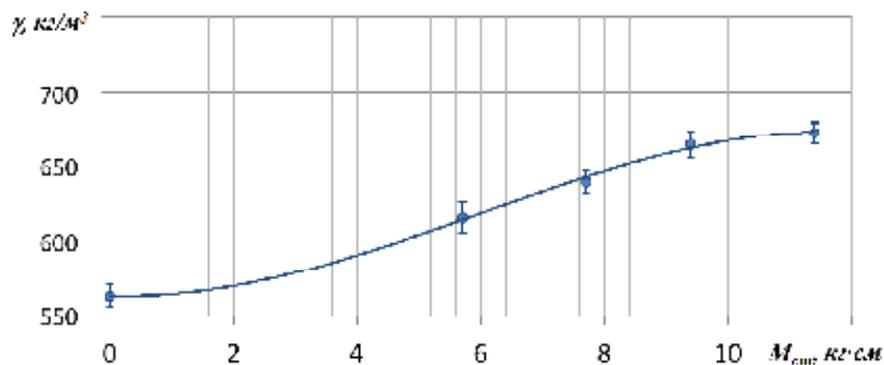


Рис. 9. – Зависимость плотности силосной массы от статического момента дебаланса вибратора при нормальном удельном давлении  $4800 \text{ кг/м}^2$  и частоте колебания вибратора  $1800 \text{ мин}^{-1}$  (после релаксации)

риала в исследуемом объёме вследствие приведения последнего к одинаковой плотности. При дальнейшем увеличении статического момента дебаланса, значение насыпной плотности исследуемых кормов продолжает увеличиваться, однако данный процесс происходит более замедленно, постепенно приближаясь к асимптотическому значению.

Таким образом, экспериментально, методом единственного различия установлены рациональные параметры исследуемых факторов, при которых обеспечивается более близкое к оптимальному значению уплотнения силосной массы:  $p = 3200 - 4800 \text{ кг/м}^2$ ,  $M_{ст.} = 9,4 - 11,4 \text{ кг}\cdot\text{см}$ ,  $n = 1200 - 3000 \text{ мин}^{-1}$ ). При таких параметрах вынуждающая сила вибратора (формула 1) составит  $F_{ви.} = 1,5 - 11,2 \text{ кН}$ , а плотность силосной массы будет находиться в пределах от 640,0 до 680 кг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

Экспериментальными исследованиями доказана эффективность статических и переменных динамических нагрузок на процесс уплотнения кормов. Установлено, что роль переменных динамических нагрузок, создаваемых вибрацией, сводятся не только к тому, чтобы облегчить процесс уплотнения кормовой массы, но и обеспечить дозаполнение их свободных зон, приводя общий объём последних к одинаковой плотности. Это позволило ускорить процесс уплотнения силосной массы в 3–6 раза, повысить их плотность на 14–24% и, соответственно, снизить потери кормов.

### Список использованных источников

1. Привалов, Ф. И. Стратегия развития кормопроизводства до 2020 года / Ф. И. Привалов // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1. – С. 68.
2. Силос из кормовых растений. Общие технические условия: ГОСТ 55986–2014. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2014. – 10 с.
3. Протокол № 020 Б1/4–2016 приемочных испытаний агрегата для распределения и уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5 / ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2016. – 73 с.
4. Промышленные вибраторы. Виброоборудование: Ярославский завод «Красный маяк» / каталог продукции, 2012 – 33 с.

УДК 63:(620.95:631.86)

Поступила в редакцию 11.06.2019  
Received 11.06.2019

**В. А. Тарас, Н. Ф. Капустин, В. В. Величко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: belagromech@tut.by*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА МЕТАНА ПРИ АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ РАПСОВОЙ СОЛОМЫ В СМЕСЯХ С НАВОЗОМ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА (КРС) ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЕЁ СООТНОШЕНИИ**

В результате выполненных исследований определен выход метана при анаэробном разложении соломы рапса яровой и озимой форм вегетации сортов белорусской селекции в смеси с навозом КРС в различных соотношениях, проведен сравнительный анализ энергопотенциала исследованных субстратов и скорости извлечения метана из них. Установлено, что рапсовая солома в смеси с навозом КРС может быть использована в качестве субстрата для выработки биогаза, но, для реализации максимального энергетического потенциала, её содержание в смеси не должно превышать 40% по органическому сухому веществу. При более высоком содержании ее в смеси – отмечено снижение скорости извлечения метана и его удельного выхода.

*Ключевые слова:* рапсовая солома, выход метана, биогазовые установки, навоз КРС, энергопотенциал.