

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОБИЛЬНОЙ КОМБИКОРМОВОЙ УСТАНОВКИ

**А.И. Пунько**, кандидат технических наук доцент, заведующий лабораторией

**В.И. Хруцкий**, научный сотрудник

**М.В. Иванов**, младший научный сотрудник

**А.А. Кувшинов**, младший научный сотрудник

РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства"

E-mail: [punko@tut.by](mailto:punko@tut.by)

**Аннотация.** В повышении продуктивности животных, увеличении производства продуктов животноводства, улучшении их качества и конкурентоспособности первостепенную роль играет полнорационное кормление животных. Скармливать концентрированные корма сельскохозяйственным животным в составе рациона необходимо только в виде сбалансированных комбикормов. Производство комбикормов в хозяйствах с использованием промышленных белково-витаминно-минеральных добавок экономически выгодно и перспективно. Основным преимуществом при приближении производства комбикормов к местам потребления является снижение себестоимости продукции за счет значительного сокращения расходов на доставку сырья и готовой продукции. Комбикорма вырабатываются с учетом вида сельскохозяйственных животных, их пола, возраста, продуктивности и физиологического состояния. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование мобильных комбикормовых агрегатов. Мобильная комбикормовая установка представляет собой комплекс различного оборудования, смонтированного на шасси грузового автомобиля, полуприцепа или одноосной тележке, и состоит из оборудования для загрузки сырья, его измельчения, весового дозирования, ввода жидких компонентов, смешивания всех компонентов и выгрузки комбикорма. В статье приведены результаты исследования по обоснованию параметров оборудования мобильной комбикормовой установки. Произведенные расчеты позволяют определить необходимую производительность транспортировки зерновых или мучнистых компонентов, массовую концентрацию, общие потери давления, рассчитать необходимый по производительности диаметр пневмопроводов и обосновать схему пневмотранспорта. Результатом исследований стала разработка комплекта оборудования мобильной комбикормовой установки МКОК-4 для производства полнорационных комбикормов в условиях хозяйств из местных источников сырья и белково-витаминно-минеральных добавок.

**Ключевые слова:** мобильная установка для приготовления комбикормов, сбалансированность рациона, пневмозагрузка, эксплуатационные затраты.

**Введение.** Один из главных путей интенсификации животноводства – дальнейшее развитие и укрепление кормовой базы, улучшение качества кормов и сокращение затрат на производство продукции. Для решения этой задачи необходимо обеспечить внедрение прогрессивных технологий в кормопроизводстве, в частности, при производстве комбикормов. Необходимо повысить качество комбикормов, снизить удельный вес зерна в них за счет использования полноценных добавок.

В настоящее время достигнутый уровень производства комбикормов как по количе-

ству, так и по качеству не всегда удовлетворяет запросам потребителей – производителей животноводческой продукции. Зачастую как из-за отсутствия необходимых ингредиентов, так и из-за слабой технической и технологической базы в хозяйствах комбикорм производят с преобладающей долей зернофуража. Основным преимуществом при приближении производства комбикормов к местам потребления является снижение себестоимости продукции за счет значительного сокращения расходов на доставку сырья и готовой продукции. Появляется возможность обеспечить максимальную переработку в

полноценные комбикорма зерна, выделяемого на фуражные цели. При этом местные сырьевые ресурсы хозяйств и белково-витаминные добавки промышленного производства используются наиболее рационально. Комбикорма вырабатываются с учетом вида сельскохозяйственных животных, их пола, возраста, продуктивности и физиологического состояния. Биологическая полноценность комбикормов достигается за счет сбалансированности их по содержанию питательных веществ на основе норм потребностей животных в энергии, протеине, аминокислотах, витаминах, макро- и микроэлементах и других биологически активных веществах.

В связи с этим возникла необходимость в обеспечении производителей животноводческой продукции оборудованием, обеспечивающим качественное получение комбикормов на местах потребления. Решение этой задачи требует организации труда, технологической дисциплины, наличия соответствующих технических кадров непосредственно в хозяйствах. Возникает противоречие между потребностью в качественном комбикорме, наличием оборудования и организацией работы. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование мобильных комбикормовых агрегатов.

Мобильная комбикормовая установка – это комплект оборудования для производства комбикормов для крупного рогатого скота, свиней, птицы, а также белково-витаминно-минеральных компонентов. Представляет собой комплекс различного оборудования, смонтированного на шасси грузового автомобиля, полуприцепа или одноосной тележке. Состоит из оборудования для загрузки сырья, его измельчения, весового дозирования, ввода жидких компонентов, смешивания всех компонентов и выгрузки комбикорма.

**Результаты исследований.** Частично решенным вопросом во всех мобильных установках является загрузка исходного сырья (количество компонентов может достигать до десяти и более). Для загрузки таких компонентов в основном использует пневмотранспорт. Практика расчета пневмопро-

водов (воздухопроводов) показывает, что основной трудностью в расчете является определение потерь давления в пневмосистемах. Исходными данными для расчета пневмотранспортных установок служат: длина и схема расположения пневмопроводов; производительность пневмоустановки по воздуху; величина концентрации транспортируемого компонента; вид компонента (зерно, мука, добавки) и его аэродинамические и физико-механические свойства (скорость витания частиц, насыпная плотность, эквивалентный диаметр).

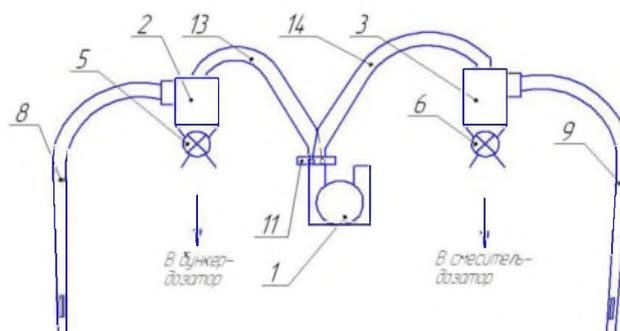
Линия пневмозагрузки исходных компонентов мобильной комбикормовой установки в соответствии с рисунком 1 состоит из пневмозагрузчика 1, циклонов 2, 3 со шлюзовыми затворами 5, 6, пневмопроводов 8, 9, 13, 14, пневмопереключателя 11.

Величина массовой концентрации зависит от размера частиц, насыпной плотности транспортируемого компонента, конфигурации трассы. Как показывают исследования, для зернистых компонентов  $\mu = 5 \dots 9$ , а для дерти, порошкообразных –  $\mu = 1,5 \dots 4$ .

Требуемый расход воздуха для загрузки зерновых компонентов и обогатительных добавок можно определить по формуле

$$Q_v = Q_k / 3,6\rho\mu \quad (1)$$

где  $Q_k$  – требуемая производительность по компоненту;  $\rho$  – плотность воздуха (для упрощения расчетов, поскольку длина пневмопроводов относительно небольшая, можно принять  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ );  $\mu$  – концентрация компонентов в воздухопроводе.



**Рис. 1. Технологическая схема линии пневмозагрузки исходных компонентов мобильной комбикормовой установки:** 1 – пневмозагрузчик; 2, 3 – циклоны; 5, 6 – шлюзовые затворы; 8, 9, 13, 14 – пневмопроводы; 11 – пневмопереключатель

Зная производительность по воздуху  $Q_B$ , можно определить диаметр воздухопровода:

$$D = \sqrt{1,273Q_B/V}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр воздухопровода, м;  $V$  – скорость воздуха, м/с.

Потери давления (Па) в пневмопроводе целесообразно определять по уравнению:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{осн}} + \Delta P_{\text{всп}}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{осн}}$  – потери давления в приемнике, в гибком трубопроводе и в циклоне;  $\Delta P_{\text{всп}}$  – потери давления во вспомогательных элементах (пылеотделители, отводы).

Потери давления в приемнике зависят от конструкции приемника, способа забора компонентов и т.д. и определяются:

$$\Delta P_{\text{осн}} = \beta \frac{\rho V^2}{2}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент сопротивления, зависящий от конструкции приемника, колеблется в пределах  $\beta = 0,5 \dots 1,6$ ;  $V$  – скорость воздуха (14-20 м/с).

Потери давления в гибком пневмопроводе (Па) определяются по уравнению:

$$\Delta P_B = \Delta P_p + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{мс}}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_p$  – потери давления на разгон материала в начале воздухопровода;  $\Delta P_{\text{тр}}$  – потери давления затрачиваемого на трение материала в воздухопроводе;  $\Delta P_{\text{п}}$  – потери давления на подъем материала;  $\Delta P_{\text{мс}}$  – потери давления на изгибах и поворотах.

Потери давления на разгон смеси (Па) после приемника можно определить:

$$\Delta P_p = \frac{mVQ_B}{D^2}, \quad (6)$$

где  $m$  – коэффициент потерь давления на разгон, который определяется экспериментальным путем и может быть принят для зерна равным 0,318, а для измельченного зерна, отрубей, пылеобразных частиц – 0,36.

Потери давления на трение зерновых компонентов на прямолинейных участках определяются из выражения

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_T \frac{l\rho V^2}{D^2}, \quad (7)$$

где  $\lambda_T$  – коэффициент потерь давления на трение, зависящий от вида компонентов, скорости воздуха и расположения воздухопроводов и определяющийся по достаточно сложным формулам.

$$\lambda_T = 14,5 \cdot 10^{-2} R_e^{-1,65} R_{e_{\text{виг}}}^{0,85} F_2^{0,4} \left(\frac{D}{d_r}\right)^{2,52} \mu^{0,9},$$

где  $R_e = VD/v$  – критерий Рейнольдса;

$$R_{e_{\text{виг}}} = V_{\text{виг}} \cdot d_2 / \nu,$$

где  $\nu$  – вязкость воздуха;  $d_2$  – диаметр транспортируемых частиц;  $F_2$  – критерий Фруда,  $F_2 = V^2/gD$ .

По исследованиям Володина Н.П. [2] коэффициент потерь давления (Па) и трения можно определить из выражения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_B(1+K\mu), \quad (8)$$

где  $\Delta P_B$  – потери давления на перемещение чистого воздуха;

$$\Delta P_B = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho V^2}{2},$$

где  $\lambda$  – гидравлический коэффициент сопротивления,  $\lambda = 0,3164/R_e^{0,25}$ .

$K$  – экспериментальный коэффициент,

$$K = ADV^{1,25},$$

где  $A$  – опытный коэффициент (для зерна  $A=150$ , для мучнистых материалов  $A=115$ ).

Потери давления на подъем зерновых компонентов присутствуют в мобильных установках, и их можно определить из выражения

$$\Delta P_{\text{п}} = \rho g H \frac{V}{V - V_{\text{виг}}}, \quad (9)$$

где  $H$  – высота подъема зерновых компонентов, м.

Местные потери давления (Па) складываются из потерь на отводы, повороты и т.д.

$$\Delta P_{\text{мс}} = \Delta P_{\text{отв}} + \Delta P_3,$$

где  $\Delta P_{\text{отв}}$  – потери давления при отводах,

$$\Delta P_{\text{отв}} = \Delta P_3 + \Delta P_{\text{раз}},$$

где  $\Delta P_3$  – потери давления (Па) при движении по закруглению,  $\Delta P_3 = \Delta P_{\text{вз}} + \gamma_T(\rho V^2/2)$ ,

где  $\Delta P_{\text{вз}}$  – потери давления в закруглении при движении воздуха,  $\Delta P_{\text{вз}} = \gamma_T(\rho V^2/2)$ ,

$\gamma_T$  – коэффициент, зависящий от вида компонента и равный:

$$\gamma_T = \left(\frac{R}{D}\right)^{0,5} R_e^{0,1} R_{e_{\text{виг}}}^{0,35} \left(\frac{D}{d^2}\right)^{0,2} F_2^{-0,05} \mu, \quad (10)$$

где  $\gamma$  – коэффициент для отводов под углом  $90^\circ$  и близким к нему, может быть взят из справочников или рассчитан по формуле:

$$\gamma = 0,0835 \left(\frac{R_{\text{отв}}}{D}\right)^{0,68}$$

Общие потери давления (Па) равны потерям, полученным при работе пневмоустановки плюс потери давления на неучтенные сопротивления:

$$\Delta P_{\text{расч}} = 1,1 (\Delta P_{\text{осн}} + \Delta P_{\text{всп}}).$$

При подборе пневмозагрузчика следует иметь в виду, что физические свойства транспортируемого материала отличаются от принятых при расчете. Поэтому выбирать оборудование следует не по расчетной величине перепада давления, а по давлению перемещенного воздуха:

$$P_{\text{вз}} = \Delta P_{\text{расч}} / (1 - 10^{-5} \Delta P_{\text{расч}})$$

где  $\Delta P_{\text{расч}}$  – общие потери давления в пневмосистеме и не по расчетному расходу воздуха, а по общему расходу воздуха с учетом подсосов в отделителе, пылеотделителе и в других местах и количество воздуха общее будет равно:

$$Q_{\text{в}} = 1,05(Q_{\text{расч}} + Q_{\text{подс}}).$$

Зная необходимую производительность транспортировки зерновых или мучнистых компонентов, массовую концентрацию, общие потери давления, можно подобрать необходимый по производительности пневмозагрузчик и диаметр пневмопроводов.

Результатом исследований стала разработка комплекта оборудования мобильной комбикормовой установки МКОК-4. Это готовое изделие, которое установлено на прицепе и может использоваться как в стационарном исполнении с установкой его в местах хранения зерна или кормления животных, так и в передвижном исполнении для выработки комбикормов с использованием местного сырья в хозяйствах (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид комплекта оборудования мобильной комбикормовой установки МКОК-4

Основные технические данные и характеристики установки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики комплекта оборудования мобильной комбикормовой установки МКОК-4

Наименование показателя	Значение
Источник электропитания	Дизель-генератор АД100 Т400 IP-M1
Номинальная мощность источника электропитания, кВт(кВА)	100 (120)
Коэффициент загрузки источника электропитания, не более, %	85
Напряжение, создаваемое источником электропитания (50 Гц), В	400/230
Диаметры патрубков пневмозагрузчика компонентов, мм:	
- входного всасывающего	140
- выходного напорного	155
Высота всасывания, не менее, м	3
Масса без транспортного средства, кг	6300
Производительность (при влажности зерновой массы не более 14% и диаметре отверстий сменных решет дробилки 4 мм), не менее, т/ч:	
- основного	4
- сменного	3,4
- эксплуатационного	2,8
Часовой расход топлива при номинальной нагрузке, кг	5,5
Количество используемых компонентов: зерновых / БВМД	3/4
Общая масса одной порции производимых комбикормов, кг	300
Количество обслуживающего персонала, чел.	1 (2)
Габаритные размеры (длина x ширина x высота), м	8,2 x 2,45 x 3,85

Комплект оборудования обеспечивает:

- автоматизированное весовое дозирование компонентов, качественное измельчение и равномерное смешивание согласно заданному рецепту при приготовлении порций комбикормов;

- управление технологическим процессом с помощью программируемого управляющего контроллера с выводом информации о работе технологического оборудования, расходе компонентов (зернофуража и БВМД), объеме произведенной готовой продукции на экран дисплея оператора.

Технологический процесс работы осуществляется следующим образом.

1. Установка располагается в помещении хранения фуражного зерна.

2. Оператор подсоединяет к пневмосистеме установки пневмозаборный рукав и запускает двигатель привода комбикормовой установки.

3. Зернофураж по загрузочному пневмопроводу, в который вмонтирован сепаратор, отделяющий посторонние примеси, потоком разряженного воздуха, создаваемого пневмозагрузчиком, направляется в весовой бункер, определяющий порцию.

4. Отдозированная порция зернофуража направляется в молотковую дробилку, откуда подается в двухкамерный смеситель, установленный на тензодатчиках для отслеживания процесса загрузки. Вся информация о работе оборудования выводится на дисплей панели оператора.

5. Различные кормовые БВМД пневмозагрузчиком загружают в предварительный смеситель. После полной загрузки всех компонентов происходит смешивание продукта.

6. Все компоненты (БВМД и измельченный зернофураж) смешиваются в двухкамерном смесителе.

7. Готовая смесь (комбикорм) с помощью поворотного выгрузного шнека выгружается в месте его складирования.

По результатам испытаний производительность разработанного комплекта оборудования составила до 4 т/ч, удельный расход топлива – не более 5,5 кг, равномерность смешивания – не менее 85% [4].

**Выводы.** Разработанный комплект оборудования мобильной комбикормовой установки позволяет производить полнорационные комбикорма в условиях хозяйств из местных источников сырья и белково-витаминно-минеральных добавок. Установка оснащена необходимым оборудованием для достижения высокого уровня автоматизации технологического процесса, что обеспечивает точное весовое дозирование, качественное измельчение и равномерное смешивание всех компонентов по заданному рецепту.

#### Литература:

1. Промышленные механотронные системы на основе пневмопровода / Пашков Е.В. и др. М., 2007.
2. Справочник по аспирации и пневмотранспортным установкам / Н.П. Володин и др. М., 1983. 288 с.
3. Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М., 1983.
4. Протокол приемочных испытаний мобильной комбикормовой установки МКОК-4 №095 Б1/4-2014.

#### Literatura:

1. Promyshlennye mekhanotronnye sistemy na osnove pnevmoproveda / Pashkov E.V. i dr. M., 2007.
2. Spravochnik po aspiracii i pnevmotransportnym ustanovkam / N.P. Volodin i dr. M., 1983. 288 s.
3. D'yachkov V.K. Transportiruyushchie mashiny. M., 1983.
4. Protokol priemochnyh ispytaniy mobil'noj kombikormovoj ustanovki MKOK-4 №095 B1/4-2014.

#### THE MOBILE COMBINED FEED INSTALLATION' EQUIPMENT PARAMETERS AND TESTS RESULTS' SUBSTANTIATION

**A.I. Punko**, candidate of technical sciences, professor, laboratory chief

**V.I. Khrutsky**, research worker

**M.V. Ivanov**, junior research worker

**A.A. Kuvshinov**, junior research worker

RUP "Belarus NPZ NAN on agriculture mechanization"

**Abstract.** *To improve the farm animals' productivity, livestock production's increasing, their quality and competitiveness' improving the primary role plays full-rations animals' feeding. The concentrated feed it is necessary to feed to farm animals only in the balanced combined feed's form. Combined feed's production in farms with commercial protein-vitamin-mineral additives' using is economically profitable and promising. The main advantage in the combined feed industry's approaching to the areas of consumption is the reducing of production costs through the costs of raw materials and finished products' delivery significant reductions. The combined feed are produced with the farm animals' type, their sex, age, productivity and physiological condition's account. One of this problem solutions is the mobile combined feed aggregates' using. Mobile combined feed's installation is a complex of various equipment mounted on chassis of truck, semi-trailer or a single axle truck and consists of the for raw material loading equipment, its grinding, weight's dosing, the liquid components inputting, all components' mixing and feed unloading. The article gives the results of researches on the mobile combined feed installation parameters' justification. The performed calculations allow to determine the required performance of the grain or floury components' transportation, the mass concentration, total losses of pressure, the required performance's diameter of pneumatic pipelines' to calculate and the pneumatic transport's scheme to justify. In the result of this research it was the MKOK-4 mobile combined feed's installation of equipment set for full rations combined feeds on the farms with local sources of raw materials and protein-vitamin-mineral additives developed.*

**Keywords:** *animal combined feed preparation's mobile installation, ration's balancing, pneumoloading, operating costs.*