

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАННОГО ДОЗАТОРА С ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ СЫПУЧИХ 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. Khmel'nitsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: milko_dmitry@mail.ru*

Аннотация. В статье приведен анализ последних актуальных исследований в области решений вопросов дозирования сыпучих материалов. Большое внимание в статье уделено исследованиям качественных показателей процесса дозирования, а именно неравномерности внесения сыпучих материалов. Для исследования зависимостей неравномерности дозирования от конструктивно-кинематических параметров барабанного дозатора сыпучих материалов с решетчатой поверхностью был создан экспериментальный образец дозатора с возможностью изменения частоты вращения барабана и сменными рабочими поверхностями с различным диаметром ячеек. В качестве дозируемого сыпучего материала использовалась поваренная соль различной степени помола и строительная смесь для штукатурных работ соответственно с размерами 0,8, 0,41, 0,02 мм. Размеры диаметра ячеек изменялись в пределах от 3,5 до 5,5 мм с интервалом изменения в 1 мм. Изменение частоты вращения барабана с ячеистой поверхностью производилось в интервале от 16 до 82 об/мин. Также в статье представлены элементы методики проведения экспериментальных исследований и анализ полученных данных.

Зависимость неравномерности дозирования от конструктивно-кинематических параметров представлена как математически, так и графически в парных взаимодействиях факторов, а именно от частоты вращения и размера дозируемого материала при разных значениях диаметра ячеек на поверхности дозирования барабанного дозатора.

Представленные данные позволяют определить рациональные конструктивно-кинематические параметры барабанного дозатора с ячеистой поверхностью дозирования, которые влияют на неравномерность процесса дозирования. Полученный коэффициент вариации может говорить о сравнительно низкой неравномерности процесса дозирования а, следовательно, и возможности применения данной конструкции в промышленных целях.

Ключевые слова: барабанный дозатор, сыпучие материалы, экспериментальные исследования, ячеистая поверхность, неравномерность дозирования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных условий снижения себестоимости производства животноводческой продукции является полноценное кормление животных. Отрасль кормоприготовления включает в себя множество аспектов. Но неотъемлемой частью практически всех процессов кормозаготовки, кормоприготовления и раздачи кормов является дозирование. Причем дозирование сыпучих компонентов по-прежнему занимает преимущественные позиции. В связи с этим необходимо отметить необходимость создания средств механизации дозирования с возможностями регулирования неравномерности дозирования в зависимости от требуемой точности. Достаточно известен факт о том, что повышая качество дозирования (неравномерность), значительно усложняется конструкция самого устройства, что приводит к повышению себестоимости производимого продукта. Исходя из этого ученые пытаются прибегнуть к компромиссу – создание недорогих дозирующих устройств с приемлемыми качественными показателями. Именно такая задача и преследовалась при создании барабанного дозатора с ячеистой поверхностью.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Весомый вклад в развитие и решение вопросов дозирования сыпучих материалов внесли Ю. Д. Видинеев, П. М. Василенко, Л. Я. Степук, Г. А. Рогатинский, С. П. Орлов, И. Г. Бойко и ряд других. Учитывая исследования названных авторов можно прийти к однозначному выводу, о том, что основным качественным показателем процесса является неравномерность дозирования. В свою очередь неравномерность дозирования зависит от конструктивных особенностей дозирующей установки [1, 2, 3, 4], которые и влияют на формирование и выдачу дозы материала [5, 6]. В исследованиях процессов дозирования оценивание качества процесса производится согласно отраслевому стандарту, через относительное среднеквадратическое отклонение или коэффициент вариации [7, 8, 9].

$$V = 100 \cdot \frac{s}{\bar{x}}, \quad (1)$$

где: \bar{x} – среднее значение массы порции; s – среднеквадратичное отклонение.

Определение \bar{x} и s производится с использование статистических функций пакета анализа MS Excel соответственно СРЗНАЧ и СТАНДОТКЛОН.В [10].

Для проведения экспериментальных исследований с учетом необходимых требований к процессу дозирования сыпучих компонентов на базе Таврического государственного агротехнологического университета был создан дозатор с ячеистой поверхностью барабана (рис. 1).

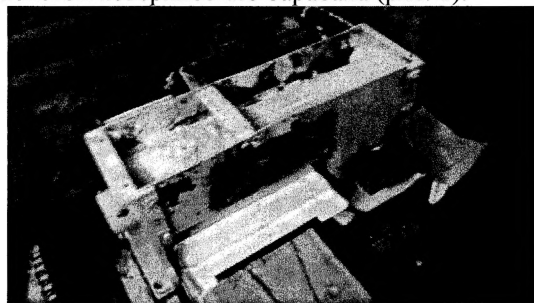


Рис. 1. Экспериментальный образец барабанного дозатора с ячеистой поверхностью.

Fig. 1. The experimental sample of drum dispenser with mesh surface.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Цель работы - получение экспериментальных зависимостей влияния конструктивно-кинематических параметров барабанного дозатора сыпучих компонентов с ячеистой поверхностью на неравномерность дозирования.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленного задания использована методика планирования многофакторного эксперимента и реализован трехуровневый план второго порядка Бокса – Бенкина [11, 12, 13, 14].

В результате предварительных исследований было установлено, что основное влияние на неравномерность дозирования предложенного образца оказывают следующие факторы: частота вращения барабана n , диаметр ячеек поверхности

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

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

Уровни и интервалы варьирования	Кодовое обозначение	Факторы и их обозначение		
		Скорость вращения барабана n , об/мин.	Средняя длина частиц материала l , мм	Диаметр ячеек поверхности барабана d , мм
		X_1	X_2	X_3
Верхний уровень	+1	82	0,8	5,5
Основной уровень	0	49	0,41	4,5
Нижний уровень	-1	16	0,02	3,5
Интервал варьирования	ϵ	33	0,39	1

барабана d , а так же величина частиц дозируемого материала l [12, 13, 14].

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Выполнение экспериментальных исследований осуществлялось следующим образом. Испытуемый материал в порядке исследования (смесь для стартовой обработки стен $l = 0,02$ мм, соль поваренная «экстра» $l = 0,41$ мм, соль поваренная «каменная» $l = 0,8$ мм) засыпали в бункер и включали дозатор, в процессе работы дозатора материал направлялся в пробоотборник.

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

После заполнения пробоотборника пробы взвешивались на электронных весах с точностью дозирования 0,5 г. По полученным результатам согласно формулы (1) определялся коэффициент вариации, который и характеризует качество работы дозирующего устройства. 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].

В результате расчетов было получено уравнение регрессии неравномерности дозирования, которое выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} v = & 14,45031 - 0,00466n - 4,23687d - 5,81171l - \\ & - 0,00265nd + 0,05525nl - 2,74105dl - \\ & - 0,00013n^2 + 0,51696d^2 + 59,1934l^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Статистический анализ уравнения (2) показал, что все коэффициенты регрессионной модели статистически значимы на принятом уровне значимости 0,05, модель адекватна, т. к. фактическое значение критерия Фишера больше критического - $F_p = 13,797 > F_{05(9,71)} = 2,015$. Коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,798 > 0,75$, что свидетельствует о работоспособности модели.

Для графической интерпретации полученных результатов исследования были построены поверхности отклика с помощью прикладной программы MATLAB [18, 19, 20], которые представлены на (рис. 2, 3, 4).

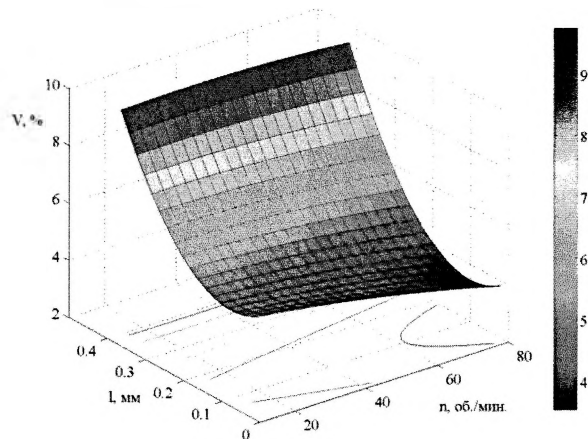


Рис. 2. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 3,5$ мм

Fig. 2. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 3,5$ mm

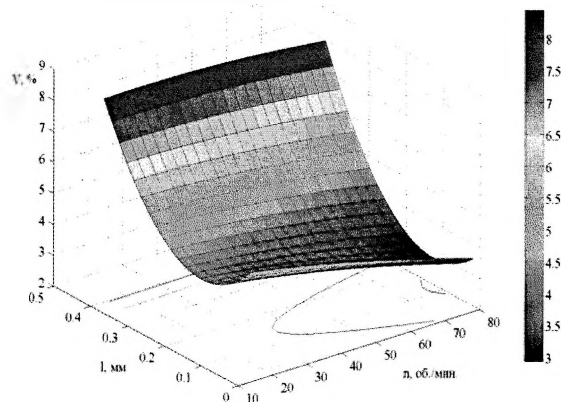


Рис. 3. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 4,5$ мм

Fig. 3. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 4,5$ mm

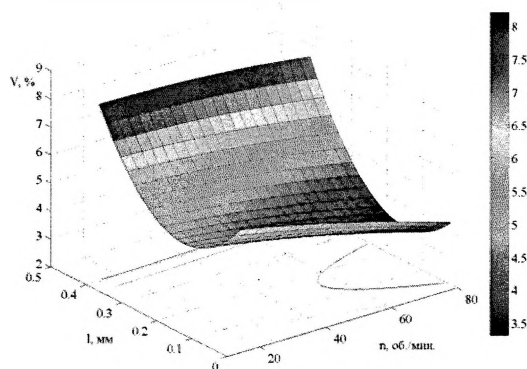


Рис. 4. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 5,5$ мм

Fig. 4. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 5,5$ mm

Анализируя приведенные поверхности следует отметить, что наблюдается снижение коэффициента вариации с увеличением частоты вращения барабана и находится в пределах 2,8%, однако учитывая тот факт, что дальнейшее повышение частоты вращения (свыше 82 об./мин.) приводит к повышенным энергетическим затратам считаем это не целесообразным [21]. Также следует учесть размер дозируемого материала, величина которого должна находиться в пределах 0,15-0,17 мм, тем самым обеспечивая наименьшую неравномерность дозирования. При этом наилучший эффект покажут барабаны с ячеистой поверхностью, у которых диаметр будет приближен к 5 мм.

ВЫВОДЫ

1. Применение методики планирования многофакторного эксперимента позволило определить оптимальные технологические и конструктивные параметры барабанного дозатора с ячеистой поверхностью дозирования.

2. Для обеспечения минимального значения коэффициента вариации, равного 2,8 %: скорость вращения барабана составляет 78 - 82 об./мин., диаметр ячеек дозирующей поверхности барабана 5 мм, размер частиц дозируемого материала 0,15-0,17 мм

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Степук Л.Я. 1986. Механизация дозирования в кормоприготовлении. Минск: Ураджай, 152.
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. Бойко И.Г. 2015. Методика определения неравномерности дозирования сыпучих материалов с помощью автоматизированного устройства. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко Вып. 157. 78-82.
7. Орлов С.П. 1966. Дозирующие устройства. М.: Машиностроение, 288.
8. 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.
9. Веденеева Е.А. 2008. Функции и формулы Excel 2007. Библиотека пользователя. СПб.: Питер. 384.
10. Мельников С.В. 1980. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 168.
11. Ушкаренко И.А. 1988. Планирование эксперимента и дисперсный анализ данных полевого опыта. Киев; Одесса: Выща школа. Головное издательство. 120.
12. Митков А.Я. 1978. Статистические методы в сельхозмашиностроении. М.: Машиностроение. 390.
13. Веденяпин Г.В. 1973. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. М.: Колос. 199.
14. 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, 1981. 20.
15. Кассандрова О.Н. 1970. Обработка результатов измерений. М.: Наука. 104.
16. Боровиков В. 2003. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер. 688.
17. Дашенко А.Ф. 2003. MATLAB в инженерных и научных расчетах. Одесса: Астропринт. 214.
18. Дьяконов В.П. 2012. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс. 768.
19. Гонсалес Р. 2006. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера. 616.
20. Безпалов Р.И. 2014. Критериальная модель неравномерности подачи мелкодисперсных материалов. Труды Таврического агротехнологического университета. Вып. 14. Т.3. 210-216.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DRUM DISPENSER WITH CELLULAR SURFACE FOR LOOSE MATERIALS

Summary. The analysis of recent actual researches in the field of loose materials dosing issues is given at the article. Much attention is paid to the research of dosing process qualitative indicators, namely the unevenness of loose component adding. The experimental sample of the dispenser with the ability to change the drum speed and replaceable working surfaces with different diameter of the cells was created to investigate the dependence of the dosing unevenness from constructive and kinematic parameters of the drum dispenser for loose components with lattice surface Salt varying degrees of grinding and building mixture for plaster works accordingly with the size 0.8, 0.41, 0.02 mm was used as the dosing loose material. Cells diameter sizes varied from 3.5 to 5.5 mm with an interval of change of 1 mm. The changing the rotational speed of the drum surface with cellular was made in the interval between 16 to 82 rotations per minute. The sequence of conducted experimental research and analysis of received data also are illustrated at the article.

The dependence the unevenness dosing from the constructive and kinematic parameters is represented mathematically and with paired interaction of factors, namely rotation frequency and dosing material size or various cell diameter values on the drum dispenser dosing surface.

Presented data allow to determine the rational constructive and kinematic parameters of the drum dispenser with cellular dosing surface that affect to unevenness of the dosing process. Obtained coefficient of variation may indicate comparatively low unevenness of the dosing process and, consequently, the possibility of using this construction for industrial purposes.

Key words: drum dispenser, loose ingredients, experimental research, cellular surface, unevenness of dosing process.