

Фомин Артем Сергеевич,

аспирант ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», г. Пенза

as_fomin@bk.ru

Коновалов Владимир Викторович,

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза

konovalov-penza@rambler.ru

Обоснование параметров винтового смесителя-конвейера

Аннотация. Приведены результаты исследований процесса смешивания сыпучих материалов винтовым смесителем-конвейером непрерывного действия. Получены выражения, позволяющие определить неравномерность смеси и энергоемкость смесеобразования с учетом частоты вращения винта, диаметра прутка и шага его спирали. Определена функциональная зависимость указанных показателей.

Ключевые слова: смеситель-конвейер, спираль, винт, шнек, рабочий орган, смесь, неравномерность смеси, качество смеси, коэффициент вариации, энергоемкость, комбикорм.

В существующих кормоприготовительных установках и агрегатах смесители являются лишь отдельными устройствами, осуществляющих смешение компонентов, а расположенные после них конвейеры перемещают приготовленную смесь к последующей машине. Использование смесителей-конвейеров позволит совместить операции, как по смешиванию, так и по транспортировке компонентов и смеси, что позволит снизить стоимость агрегата за счет устранения освободившегося привода и энергоемкость выполнения указанных операций [1, 2].

Получение однородной смеси в результате процесса перемешивания различных компонентов широко используется для приготовления сыпучих кормов. Применяемые конструкции смесителей сыпучих кормов не в полной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемых к качеству приготавливаемых смесей, в связи с многообразием факторов, влияющих на смешивание сыпучих компонентов [3...5]. Меньшую энергоемкость смешивания обеспечивают смесители кормов непрерывного действия [2...9].

В ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» разработан смеситель-конвейер сухих концентрированных кормов (рисунок 1) непрерывного действия [1].

Смеситель представляет собой спирально-винтовой шнек (конвейер), состоящий из кожуха 2, загрузочной воронки 3, выгрузного лотка 1, привода 6, прутковой спирали 5 рабочего органа. Внутри кожуха на подшипниках установлен рабочий орган, представляющий собой вал 4 с крепящейся к нему на радиальных поддерживающих лопастях винтовой спиралью 5 из металлического прутка. Диаметр прутка спирали соответствует 5,0; 6,5 и 8,0 мм при шаге спирали 50, 120 и 175 мм. Диаметр кожуха 100 мм. Частота вращения рабочего органа изменяется от 190 до 440 мин⁻¹. Длина кожуха лабораторного конвейера составляет 2,3 метра.

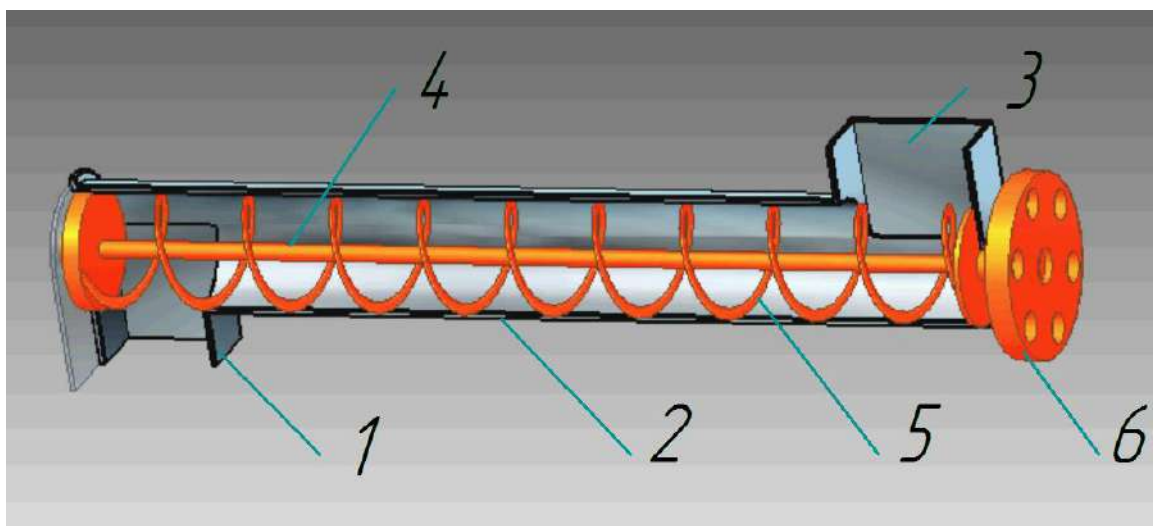


Рисунок 1 – Винтовой смеситель-конвейер сухих кормов:

1 – выгрузной лоток; 2 – кожух; 3 – загрузочная воронка; 4 – опорный вал;
5 – прутковая спираль; 6 – шкив привода

Учитывая, что суммарная производительность дозаторов $Q=0,41$ кг/с [1], обеспечивает работу устройства при всех значениях исследуемых параметров (таблица 1), данная производительность используется при проведении исследований качества приготавливаемой смеси спирально-винтовым смесителем-конвейером при добавлении в качестве контрольного компонента зерен ячменя в количестве 1% от образуемой смеси.

Таблица 1 - План проведения экспериментов по оптимизации конструктивных параметров смесителя-конвейера

Обозначение и наименование факторов	Уровни факторов			Интервалы варьирования
	Основной	Верхний	Нижний	
d – диаметр прутка спирали, мм;	6,5	8,0	5,0	1,5
S – шаг витка спирали, мм;	120	190	50	70
n – частота вращения винта спирали, мин ⁻¹ ;	340	410	270	120

В результате проведения эксперимента получены опытные данные коэффициента вариации. Корреляционный анализ полученных данных по неравномерности смешивания не показал четкой линейной зависимости исследуемых факторов на коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах (рисунок 2.а), поэтому используем уравнение второго порядка (рисунок 3). После подстановки числовых значений коэффициентов уравнение регрессии запишется:

$$v = 93,4168 - 9,0915 \cdot d + 0,437548 \cdot S - 0,33113 \cdot n - 0,00276 \cdot d \cdot S - 0,003296 \cdot d \cdot n - 0,00066 \cdot S \cdot n + 0,820084 \cdot d^2 + 0,000457 \cdot S^2 + 0,0004743 \cdot n^2. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции – $R=0,99853$. F-тест= $0,99407$.

Учитывая высокие значения R (более 0,85) и F-теста (более 0,95), уравнение второго порядка (ф.1) адекватно описывает опытные данные (рисунок 2.б).

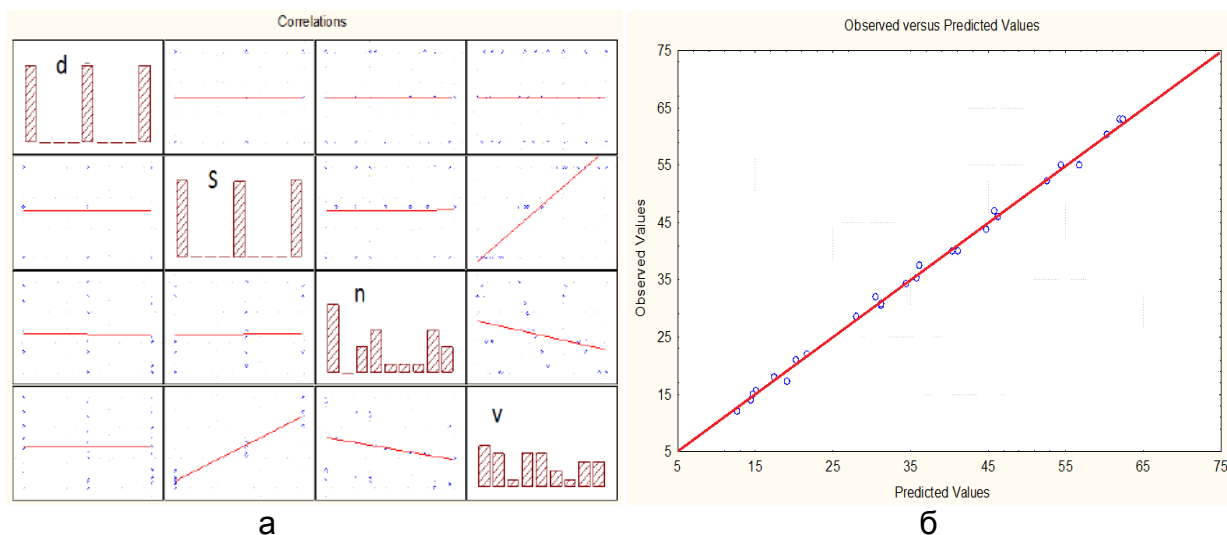


Рисунок 2 – График статистической оценки неравномерности смешивания v , %:
а) линейной корреляции между независимыми факторами S, d, n и критерием оценки процесса – неравномерностью смешивания v ; б) соответствия опытных и расчётных значений

Графический анализ полученного выражения позволил определить оптимальные параметры смесителя-конвейера. Наименьшее значение коэффициента вариации содержания контрольного компонента в пробах соответствует диаметру прутка спирали 6,5 мм и частоте вращения спирали рабочего органа порядка 400 мин⁻¹. Шаг витка спирали должен быть менее 50 мм.

Однако, учитывая, что уменьшение шага спирали снижает производительность устройства использовать данный показатель с малым шагом нерационально. Уменьшение шага приводит к увеличению количества воздействий спирали на материал, повышая качество смеси. Однако, при этом, снижается скорость осевого смещения, что уменьшает производительность.

Тонкая (менее 6,5 мм) спираль не обеспечивает достаточного смещения слоев материала, а увеличение диаметра более 6,5 мм способствует образованию «пробки», которая перемещается без внутреннего перемешивания.

С ростом частоты вращения до 400 мин⁻¹ качество смеси улучшается. Это связано с увеличением турбулентности движения частиц. Дальнейшее увеличение частоты вращения приводит к частичному уравниванию центробежных сил и сил тяжести, что ухудшает ссыпание частиц.

В результате проведения эксперимента получены опытные данные энергоемкости смешения. Корреляционный анализ полученных данных по энергоемкости не показал четкой линейной зависимости исследуемых факторов на энергоемкость (рисунок 4.11), поэтому используем уравнение второго порядка. После подстановки числовых значений коэффициентов уравнение регрессии запишется:

$$Y = 489,1715 + 50,05107 \cdot d - 2,54974 \cdot S - 1,56386 \cdot n - 0,04299611 \cdot d \cdot S + 0,032304 \cdot d \cdot n + 0,001312 \cdot S \cdot n - 3,1338 \cdot d^2 + 0,010551 \cdot S^2 + 0,00258 \cdot n^2 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции – $R = 0,96658$. F-тест = 0,96372.

Учитывая значения F-теста, уравнение второго порядка (ф.2) адекватно описывает опытные данные.

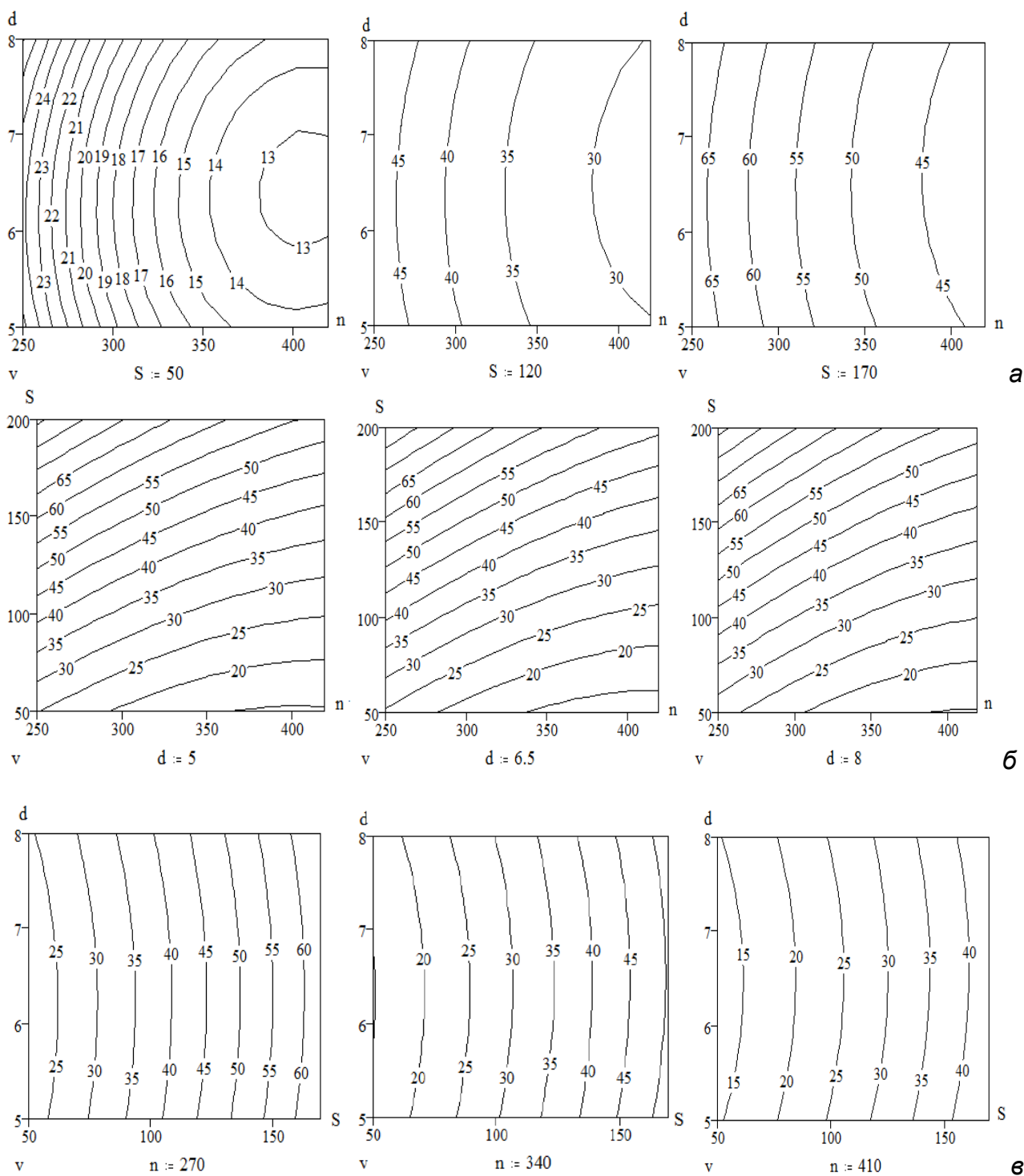


Рисунок 3 – Двумерные поверхности отклика неравномерности смешивания (%) от:
а) частоты вращения n (мин^{-1}) и диаметра прутка спирали d (мм); б) частоты вращения n (мин^{-1}) и шага спирали S (мм); в) шага спирали S (мм) и диаметра прутка спирали d (мм)

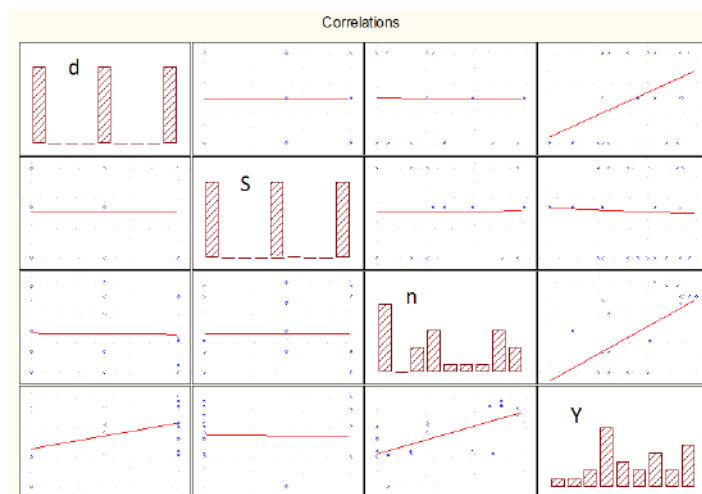


Рисунок 4 – График статистической оценки энергоёмкости, Дж/кг:
а) линейной корреляции между независимыми факторами S, d, n и критерием оценки процесса – энергоёмкости смешивания Y

Полученная модель позволяет выявить общие тенденции изменения энергоёмкости. С увеличением диаметра прутка спирали и частотой вращения рабочего органа энергоёмкость возрастает. Наименьшей энергоёмкости смешения соответствует шагу витка спирали 100...120 мм.

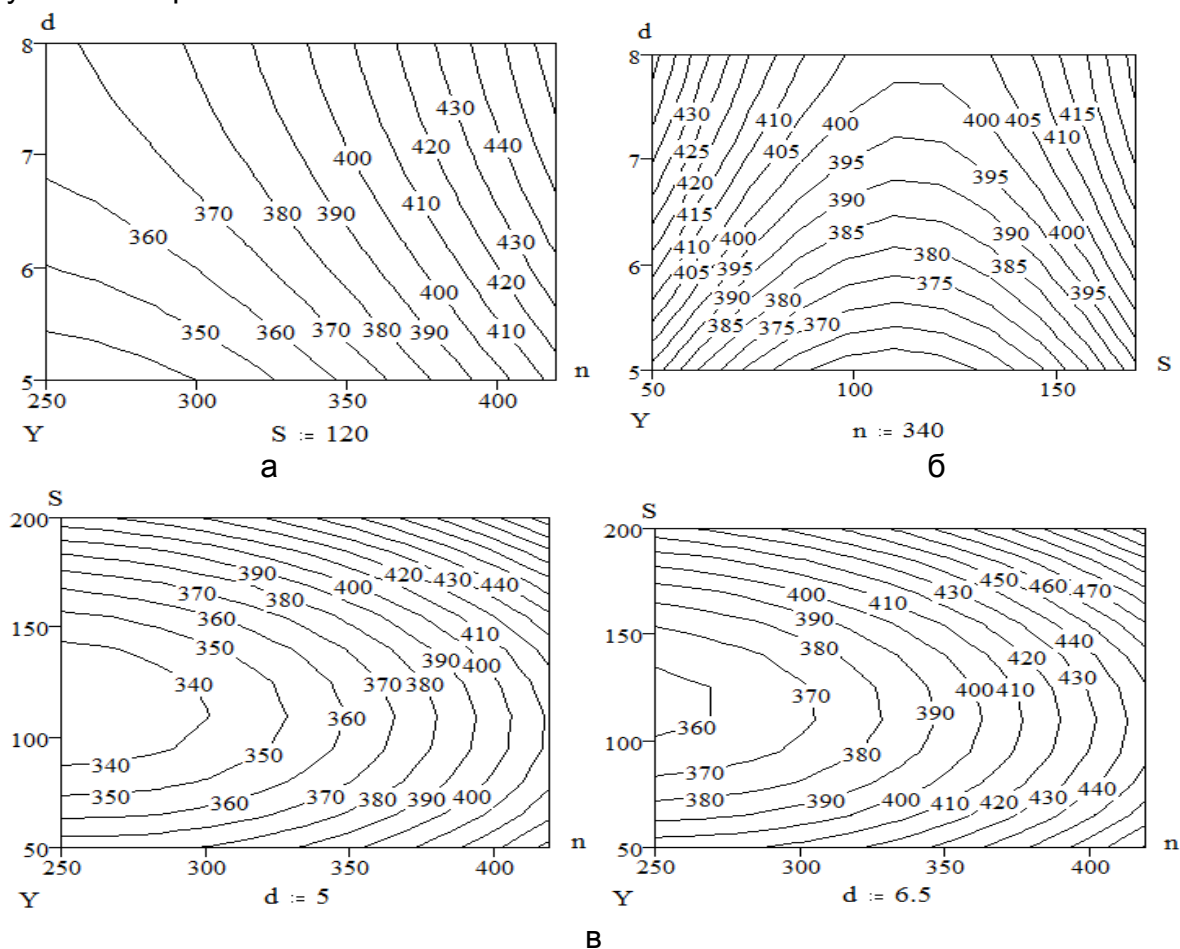


Рисунок 5 – Двумерные поверхности отклика энергоёмкости (Дж/кг) от:
а) частоты вращения n (мин⁻¹) и диаметра прутка спирали d (мм); б) шага спирали S (мм) и диаметра прутка спирали d (мм); в) частоты вращения n (мин⁻¹) и шага спирали S (мм)

Таким образом, выбираем для практического использования смесителя-конвейера диаметр прутка спирали 6,5 мм как оптимальный по неравномерности смешивания, а на основе данных энергоемкости принимаем рациональный шаг спирали 100...120 мм, обеспечивающий наименьшую энергоемкость смешения. При этом в зависимости от используемой частоты вращения рабочего органа энергоемкость составляет 360...420 Дж/кг.

Ссылки на источники

1. Коновалов, В.В. Определение подачи винтового смесителя-конвейера / Коновалов В.В., Фомин А.С. // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2013. – Т. 4. – № 34. – С. 2916-2920.
2. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов: Справочник / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
3. Ведищев, С.М. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей / С.М. Ведищев, Н.В. Хольшев, А.В. Прохоров // Журнал: «Вопросы современной науки и практики». – №4. – 2012. – С.326-328.
4. Терюшков, В.П. Смеситель сухих кормов / В.П. Терюшков, В.В. Коновалов, И.А. Боровиков, С.В. Гусев // Сельский механизатор. – №7. – 2006. – С. 32.
5. Мишин, К.М. Устройство для внесения жира в концентрированные корма / К.М. Мишин, В.В. Коновалов, А.А. Курочкин // Механизация и электрификация с/х. – №5. – 2002. – С. 12-13.
6. Кухарев, О.Н. Результаты исследования барабанного дражировщика / О.Н. Кухарев, И.Н. Сёмов, А.М. Чирков // Нива Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 54-57.
7. Коновалов, В.В. Обоснование расположения распылителей смесительных устройств // Механизация и электрификация с/х. – №10. – 2003. – С. 16-18.
8. Коновалов, В.В. Обоснование параметров увлажнителя концентрированных кормов / В.В. Коновалов, Л.В. Иноземцева // Достижения науки и техники АПК. – №7. – 2003. – С. 23-24.
9. Гусев, С.В. Мобильный раздатчик для сухих и жидких кормов / С.В. Гусев, В.В. Коновалов, С.И. Щербаков // Молочное и мясное скотоводство. – №1. – 2003. – С. 23-24.
10. Лянденбургский, В.В. Основы научных исследований / В.В. Лянденбургский, В.В. Коновалов, А.П. Бажанов // Пенза: ПГУАС. – 2010. – 176 с.

Artem Fomin,

graduate student VPO "Penza State Agricultural Academy", Penza

as_fomin@bk.ru

Vladimir Konovalov,

Doctor of Technical Sciences, professor of VPO "Penza State Technological University", Penza

konovalov-penza@rambler.ru

RATIONALE PARAMETERS MIXER-CONVEYOR

The results of studies of the mixing process of bulk materials conveyor screw mixer - continuous. Obtained expressions, allowing the mixture to determine uneven mixing and energy to the frequency of rotation of the screw, rod diameter and pitch of his spiral. Determine the functional dependence of these indicators.

Keywords: mixer-conveyor, spiral, screw, auger, working body mixture uneven mixture, mixing quality, the coefficient of variation, power consumption, feed.