

УДК 631.363.7  
Код ВАК 05.20.01

DOI: 10.52463/22274227\_2021\_40\_73

**В.В. Морозов, М.А. Фомичев, В.Г. Игнатенков, Е.Л. Лаппо, О.М. Фёдорова**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРМА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВЕЛИКОЛУКСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ», ВЕЛИКИЕ ЛУКИ, РОССИЯ

V.V. Morozov, M.A. Fomichev, V.G. Ignatenkov, E.L. Lappo, O.M. Fedorova

## THEORETICAL STUDIES OF THE FEED PREPARATION PROCESS

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION «STATE  
AGRICULTURAL ACADEMY OF VELIKIE LUKI», VELIKIE LUKI, RUSSIA

**Владимир Васильевич Морозов**

Vladimir Vasil'yevich Morozov  
доктор технических наук, профессор  
ORCID 0000-0003-2697-2249  
AuthorID 786350  
e-mail: priemnaja@vgsa.ru

**Максим Александрович Фомичев**

Maksim Aleksandrovich Fomichev  
ORCID 0000-0002-1003-8091  
AuthorID 1087451  
e-mail: fomichev1995@yandex.ru

**Валерий Геннадьевич Игнатенков**

Valerij Gennad'evich Ignatenkov  
кандидат технических наук, доцент  
ORCID 0000-0003-3266-7750  
AuthorID 330396  
e-mail: well\_79@mail.ru

**Евгений Леонидович Лаппо**

Evgeniy Leonidovich Lappo  
ORCID 0000-0002-8434-0373  
AuthorID 977849  
e-mail: evgenij-lappo@yandex.ru

**Олеся Михайловна Фёдорова**

Olesya Mikhaylovna Fedorova  
ORCID 0000-0003-2976-8286  
AuthorID 1087337  
e-mail: lesya\_1111@mail.ru

**Аннотация:** Цель исследования – повышение эффективности производства кормов для сельскохозяйственных животных путем улучшения их качества и снижения себестоимости. Такой корм должен быть хорошо усвояем, иметь низкую себестоимость, дополнять организм животного полезными минеральными веществами и витаминами. Повысить эффективность кормов можно путем использования местных органоминеральных ресурсов сырья. Одним из таких источников минеральных веществ и витаминов является сапропель – донные отложения пресноводных водоёмов. Исследованиями установлено, что добавление сапропеля в корм животного способствует повышению усвояемости и увеличению питательной ценности корма. Но с зоотехнической точки зрения важно не только ввести сапропель в корм животного, но и необходимо, чтобы он был равномерно распределен по всему объему корма. Для достижения этой цели необходимо совершенствование технологического процесса смешивания для приготовления кормов с добавлением сапропеля при достижении необходимой однородности смеси. Предложено новое устройство для смешивания сапропеля и комбикорма со спирально-ленточным рабочим органом, кинематические и конструктивные параметры которого обоснованы теоретически, через полученные математические модели, установленные рациональными параметрами работы смесителя, такими как скорость движения сапропеля, расстояние от инжектора до витка шнека, угол наклона распылителя инжектора. **Методика.** Для рассмотрения процесса смешивания компонентов в смесителе ленточного типа составлена схема движения частиц комбикорма и сапропеля естественной влажности. Из этой схемы выведена зависимость для определения направления движения компонентов и определения параметров работы смесителя. **Результаты.** Получена математическая зависимость, которая соответствует интервалу решения, описывающая движение частиц комбикорма и сапропеля. С помощью графического метода решения математической зависимости были получены точки на траекториях пересечения движения частиц комбикорма и сапропеля и проведён анализ разного направления движения сапропеля, а также выбран рациональный угол наклона инжектора для более эффективного смешивания компонентов корма. Установлено, что при изменении угла наклона распыления сапропеля траектория

движения пересечения частиц будет смещаться к центру смесителя или выходить за пределы корпуса смесителя. **Научная новизна.** Определены параметры и режимы работы смесителя, позволяющие оценивать наиболее эффективное совершенствование технологического процесса приготовления корма. Это дает возможность на этапе проектирования достигать наилучшей однородности корма при наименьшем времени смешивания.

**Ключевые слова:** смеситель, корм, сапропель, комбикорм, инжектор.

**Abstract:** The purpose of the study is increasing the efficiency of the production of feed for farm animals by improving their quality and reducing the cost. Such food should be well digestible, have a low cost, supplement the animal's body with useful minerals and vitamins. It is possible to increase the efficiency of feed by using local organomineral resources of raw materials. One of such sources of minerals and vitamins is sapropel-bottom sediments of freshwater reservoirs. Studies have found that the addition of the sapropel to animal feed increases the digestibility and increases the nutritional value of the feed. But from the zootechnical point of view, it is important not only to introduce sapropel into the animal's feed, but it is also necessary to distribute it evenly through the entire volume of feed. To achieve this goal, it is necessary to improve the technological process of mixing the preparation of feed with the addition of sapropel when the necessary uniformity of the mixture is achieved. A new device for mixing sapropel and compound feed with a spiral-belt working body is proposed, the kinematic and design parameters of which are theoretically justified through the obtained mathematical models with the rational parameters of the mixer operation, such as the speed of movement of the sapropel, the distance from the injector to the screw turn, the angle of inclination of the injector sprayer. **The methodology.** To consider the process of mixing components in a belt-type mixer, the diagram of mixed feed movement and sapropel particles of natural moisture is compiled. The dependence for determining the direction of movement of the components and determining the parameters of the mixer operation is derived from this scheme. **Results.** A mathematical dependence is obtained, which corresponds to the solution interval, describing the movement of feed and sapropel particles. Using the graphical method of solving the

mathematical dependence, points were obtained on the trajectories of the intersection of the movement of feed and sapropel particles, and the analysis of different directions of sapropel was carried out and the rational angle of inclination of the injector was selected for more efficient mixing of feed components. It is established that when the angle of inclination of the sapropel spray changes, the trajectory of the intersection of the particles will shift to the center of the mixer or go

beyond the mixer body. **Scientific novelty.** The parameters and operating modes of the mixer are determined, that allow evaluating the most effective improvement of the technological process of feed preparation. It allows us to achieve the best feed uniformity at the design stage with the shortest mixing time.

**Keywords:** mixer, feed, sapropel, compound feed, injector.

**Введение.** Задача повышения качества кормления животных и снижения себестоимости их рационов питания в данный момент развития животноводства, как основной отрасли сельскохозяйственного производства, является определяющей. При учёте всех особенностей выращивания поголовья пристальное внимание следует обратить на возможности использования при кормлении природных местных источников сырья, одним из которых является сапропель – донные отложения пресноводных водоёмов. Использование сапропеля в качестве кормовой добавки для обогащения основного рациона питания витаминами, минеральными веществами, биологически активными компонентами, фолиевой кислотой, стимуляторами роста, гормонами, антибиотиками природного происхождения перспективно и рационально, однако требует научно-обоснованных мероприятий [1, 2, 3].

Предлагаем использовать сапропель естественной влажности, сразу после добычи из водоёма, без предварительного обезвоживания, с целью сокращения затрат на такую обработку. Сапропель естественной влажности при этом нужно перемешать с основным компонентом смеси – комбикормом – и получить продукт высокой однородности и качества, только в этом случае возрастёт продуктивность поголовья, улучшится здоровье животных [4, 5].

Получение корма высокой степени однородности (более 90%) с внесением в качестве одного из компонентов жидкой составляющей (сапропеля) возможно на смесителях циклического действия, с использования в качестве рабочего органа спирального ленточного шнека, с дополнительными элементами в виде отдельных витков направленного действия и лопаток для очистки от налипания на корпусе такого липкого и влажного материала, каким будет являться смесь из сапропеля и комбикорма [6, 7].

При этом сапропель для лучшего распределения в общем объёме комбикорма следует вносить распылением, используя для этого инжекторы с широкой зоной охвата, ограниченной конструктивными параметрами смесителя (его размерами) [8].

Следовательно, целью исследований в данной статье стало научно-теоретическое обо-

снование возможности получения корма нужной однородности и качества, согласно предъявляемым зоотехническим требованиям, с учётом физико-механических свойства сапропеля и комбикорма, влияния этих компонентов на конструктивные параметры смесителя и режимы его работы.

**Методика.** Исследованию процессов смешивания различных материалов посвящены труды большого количества как советских, так и российских, а также иностранных учёных. Проектированием смесителей и обоснованием их работы в теоретическом и экспериментальном направлении занимались такие значимые исследователи в научном сообществе, как: В.Г. Артемьев, А.М. Григорьев, С.Г. Карташов, В.Г. Коба, Г.М. Кукта, С.В. Мельников, Ю.В. Назаренко, С.К. Филатов; В.Ю. Фролов, Voxer. Т.А. Oxley, A. Peterson и другие.

В результате их работы была сформирована определённая классификация смесителей, которые хотя и выпускаются промышленностью в большом количестве самых разнообразных конфигураций, но имеют различия, ограничивающие сферу их использования, в зависимости от условий работы, перерабатываемого материала, кинематических режимов, производительности.

При этом важно учитывать физико-механические свойства смешиваемых компонентов.

Анализ характеристик сапропеля и комбикорма представлен в таблицах 1, 2 и 3.

Оценка всех перечисленных выше факторов необходима для выбора смесителя для перемешивания таких компонентов, как сапропель естественной влажности и комбикорм, с соблюдением их процентного соотношения, согласно зоотехническим требованиям для выращиваемых животных.

Все смесители можно разделить, в соответствии с существующими схемами смешивания, на устройства непрерывного действия и периодического. По типу рабочего органа они делятся на барабанные; червячно-лопастные; бегунковые; комбинированные; пневмосмесители; шнековые смесители; циркуляционные смесители с активатором или без него; спирально-винтовые; шнеково-ло-

Таблица 1 – Основные физико-механические свойства сапропеля

Характеристики	Виды сапропелей			
	малозольные	среднезольные	повышено-зольные	высокозольные
Зольность, %	10...30	30...50	50...70	70...90
Органическое вещество, %	90...70	70...50	50...30	30...10
Тип сапропеля	Органические	Минерально-органические	Органоминеральные	Минерализованные
Естественная относительная влажность, %	94...97	90...94	80...89	70...80
Плотность сухой массы, кг/м <sup>3</sup>	1700... 1400	2000... 1700	2300... 2000	2600... 2300
Коэффициент пористости, %	23...30	16...23	9...16	3...9
Сцепление, г/см <sup>2</sup>	3...2	4...3	15...4	80...15
Угол внутреннего трения, гр	20...15	25...20	28...25	30...28
Усадка, %	95...97	93...95	85...93	60...85
Модуль упругости, г/см <sup>2</sup>	30...15	60...30	90...60	150...120
Минимальная вязкость, пуаз	20...10	60...20	120...60	150...120
Сопrotивление сдвигу при нагрузке, кгс/см <sup>2</sup>	0,04... 0,03	0,05... 0,04	0,07... 0,05	0,14... 0,07

Таблица 2 – Состав комбикорма

Наименование ингредиентов	Содержание ингредиентов в комбикорме, %
Кукуруза	28,0
Горох	10,5
Побочный продукт пшеницы	30,0
Сенная мука	2,5
Рыбная мука	2,5
Мясокостная мука	2,5
Шрот подсолнечный	18,5
Мел	5,0
Соль	0,5

Таблица 3 – Физико-механические показатели комбикорма

Наименование показателей	Единица измерения	Численные показатели комбикорма
Объёмный вес	г/см <sup>3</sup>	0,61
Угол естественного откоса	град	35,0
Влажность	%	11,2
Средневзвешенный размер частиц	мм	0,81
Коэффициент выравнивания	-	1,35

пастные; вибрационные; спирально-ленточные смесители [9, 10].

Анализируя положительные стороны смесителей и их недостатки, отмечаем: смесители периодического действия, как правило, имеют меньшую удельную производительность (то есть производительность, отнесенную к массе самого устройства [11]), чем агрегаты непрерывного действия.

В то же время энергоёмкость таких агрегатов в основном выше, чем у смесителей непрерывного действия, так как ограниченный объём корма циркулирует внутри смесителя многократно. При этом в смесителе периодического действия значительно проще получить высокое качество корма и обеспечить точность дозирования компонентов, а также равномерность распределения по всей массе концентрированного корма микродобавки (сапропель естественной влажности), количество которой в смеси не должно превышать 10%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что смесители непрерывного действия целесообразно использовать при больших объёмах производства кормов. При выращивании малого и среднего размера высокопродуктив-

ного поголовья, когда главную роль играет качество корма для животных, следует сделать выбор с пользу устройства периодического действия. В качестве базовой конструкции выбираем смеситель горизонтальный ленточного типа с продолжительностью смешивания – 3-4 минуты; коэффициентом заполнения смесителя – 0,7; однородностью смешивания – 95-98%.

В качестве рабочего органа рационально использовать ленточно-спиральный узел. При перемешивании смеси, одним из компонентов которой является сапропель, возникает явление налипания на рабочие органы смесителя материала, поэтому шнек не сплошной, а в виде спирали позволяет снизить энергозатраты на перемешивание, а лопатки, для очистки корпуса от лишнего материала, избавляют от появления так называемых «мёртвых зон» в конструкции смесителя.

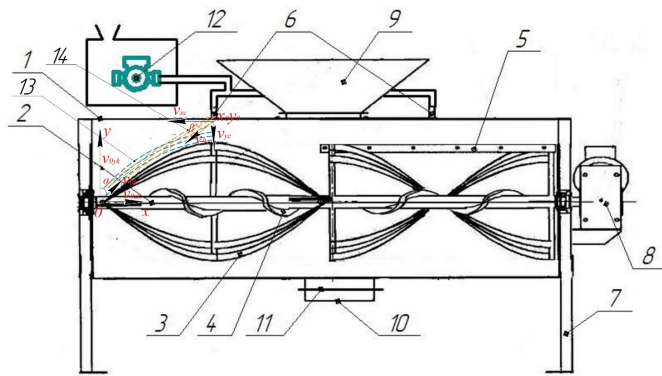
Сапропель необходимо вносить распылением, поэтому в устройстве предусматриваем инжекторы и гидросистему подачи данного материала насосом.

Для определения конструктивно-технологических параметров ленточного смесителя необходимо установить координаты взаимодей-

ствия частиц сухого комбикорма с сапропелем естественной влажности, который вводится как жидкая добавка для обогащения комбикорма витаминами и минеральными веществами. При такой технологии не требуется дополнительной операции для обезвоживания сапропеля, что значительно сокращает затраты на производство кормов [12, 13].

Для равномерного смешивания при технологическом процессе сапропель необходимо подавать равномерно в распыленном состоянии [14, 15]. Конструктивно отверстия инжектора распылителя расположены над спиральным шнеком смесителя и при движении под распылителями энергия частиц сапропеля и комбикорма взаимно поглощается (рисунок 1).

Эффективность смешивания будет определяться одновременным контактом частиц сапропеля и комбикорма в одной точке пространства объема смесителя. Увлажненная кормовая смесь под действием силы тяжести перемещается вниз [16, 17]. Учитывая, что в технологическом процессе смесителя комбикорм и сапропель подаются из разных точек, необходимо определить зону контактов пересечения траекторий движения частиц комбикорма и сапропеля.



1 – корпус смесителя циклического действия; 2 – вал шнека смесителя; 3 – спиральная лента шнека смесителя; 4 – внутренние витки направленного действия смесителя; 5 – лопатка для очистки корпуса от налипания смеси; 6 – инжекторы; 9 – загрузочная горловина; 10 – выгрузная горловина; 11 – заслонка выгрузной горловины; 12 – насос; 13 – траектория движения комбикорма; 14 – траектория движения сапропеля.

Рисунок 1 – Перемещение частиц комбикорма и сапропеля при технологическом процессе приготовления корма в смесителе ленточного типа

Чтобы определить координаты контакта частиц комбикорма и сапропеля сделаем допущения:

- частица комбикорма движется из точки (0; 0) по направлению оси  $X$  со скоростью  $v_{ок}$ ;

- частица сапропеля движется с инжектора под углом  $\beta$  из точки  $(x_0; y_0)$ , при этом начальная скорость равна  $v_c$ ;
- смеситель работает в установившемся режиме, и частицы движутся с постоянными начальными скоростями;
- допустим, что после взаимодействия комбикорма с витком на частицу комбикорма по всей траектории её движения действует только сила тяжести;
- из-за малых абсолютных значений сопротивление воздуха не учитываем.

**Результаты.** С учетом сделанных допущений составим уравнение движения материальных точек комбикорма и сапропеля, используя второй закон Ньютона. Вектор силы, действующий на частицу комбикорма, будет равен:

$$\frac{d}{dt} = (m\vec{v}) = \vec{F}, \quad (1)$$

где  $\vec{v}$  – вектор скорости, м/с;  $m$  – масса частицы комбикорма, кг;  $\vec{F}$  – вектор силы, Н.

Так как на частицу комбикорма действует только сила тяжести, то уравнение запишем в виде:

$$\frac{d}{dt} \vec{v} = \vec{g}, \quad (2)$$

Для определения уравнения движения материальной частицы комбикорма разложим вектор скорости частицы комбикорма по осям координат, в соответствии с уравнением (2) получим:

$$\begin{cases} \frac{dv_{xk}}{dt} = 0 \\ \frac{dv_{yk}}{dt} = -g \end{cases}, \quad (3)$$

Решив систему уравнений (3), получим:

$$\begin{cases} v_x = v_{0xk} \\ v_y = v_{0yk} - gt' \end{cases} \quad (4)$$

где  $v_{0xk}$  – горизонтальная составляющая скорости движения частицы комбикорма, м/с;  $v_{0yk}$  – вертикальная составляющая скорости движения частицы комбикорма, м/с.

Траекторию движения частицы комбикорма определим, решив систему уравнений:



$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_{0xk} \\ \frac{dy_1}{dt} = v_{0yk} - gt \end{cases} \quad (5)$$

Однозначным решением системы (5) являются уравнения:

$$\begin{cases} x = v_{0xk}t + x_{0k} \\ y_1 = y_{0k} + v_{0yk}t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (6)$$

Учитывая расчетную схему, определим:

$$\begin{cases} x_{0k} = 0 \\ y_{0k} = 0 \\ v_{0xk} = v_0 \cos \alpha \\ v_{0yk} = v_0 \sin \alpha \end{cases} \quad (7)$$

Тогда уравнение (6) можно записать в виде:

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \alpha t \\ y_1 = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (8)$$

Исключив время  $t$  из уравнения (8), получим уравнение траектории движения частицы комбикорма.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}, \quad (9)$$

$$y_1 = tgx - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (10)$$

Для определения уравнения движения частицы сапропеля естественной влажности разложим вектор скорости частицы сапропеля по осям координат в соответствии с уравнением (2), получим:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = -g \end{cases} \quad (11)$$

Решив систему уравнений (11), получим:

$$\begin{cases} v_x = -v_{0x} \\ v_y = -v_{0y} - gt \end{cases} \quad (12)$$

где  $v_{0x}$  – горизонтальная составляющая скорости сапропеля, м/с;  $v_{0y}$  – вертикальная составляющая скорости сапропеля, м/с.

Траекторию движения частицы сапропеля определим делением системы уравнения

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -v_{0x} \\ \frac{dy_2}{dt} = -v_{0y} - gt \end{cases} \quad (13)$$

Однозначным решением системы уравнений (13) являются уравнения:

$$\begin{cases} x = -v_{0x}t + x_0 \\ y_2 = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (14)$$

где  $x_0$  – расстояние от инжектора до точки, находящейся в центре витка смесителя, м;  $y_0$  – расстояние от потока координат до инжектора, м.

Учитывая расчетную схему, определяем:

$$\begin{cases} v_{0x} = -v_0 \cos \beta \\ v_{0y} = -v_0 \sin \beta \end{cases} \quad (15)$$

Тогда систему уравнений (13) можно записать:

$$\begin{cases} x = -v_0 \cos \beta t + x_0 \\ y_2 = y_0 - v_0 \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (16)$$

Исключив время  $t$  из уравнения (16), получим уравнение траектории движения частицы сапропеля

$$t = \frac{(x_0 - x)}{v_0 \cos \beta} \quad (17)$$

$$y_2 = y_0 - tg\beta(x_0 - x) - \frac{g(x - x_0)^2}{2v_0^2 \cos^2 \beta} \quad (18)$$

Эффективность смешивания комбикорма с сапропелем определяется одновременным нахождением частиц сапропеля в одной точке пространства. Учитывая, что в конструкции смесителя комбикорм и сапропель находятся

в разных точках, необходимо оценивать общие пространственные координаты или точки пересечения траекторий движения частиц сапропеля и комбикорма.

Точки пересечения частиц комбикорма и сапропеля естественной влажности являются общим решением уравнений (10) и (18) в интервале  $0 \leq x \leq x_0$ :

$$\begin{cases} y_1 = tg\alpha - \frac{gx^2}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} \\ y_2 = y_0 - tg\beta(x_0 - x) - \frac{g(x-x_0)^2}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} tg\alpha - \frac{gx^2}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} &= y_0 - tg\beta(x_0 - x) - \frac{g(x-x_0)^2}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \\ tg\alpha - \frac{gx^2}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} &= y_0 - x_0 tg\beta + x tg\beta - \frac{g(x-x_0)^2}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \\ tg\alpha - \frac{gx^2}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} - y_0 + x_0 tg\beta - x tg\beta + & \\ + \frac{gx^2}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} - \frac{2gx x_0}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} + \frac{x_0^2 g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} &= 0 \\ \left( \frac{g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} - \frac{g}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} \right) x^2 - \left( -tg\beta + \frac{g x_0}{v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \right) x + & \\ + \left( tg\alpha - y_0 + x_0 tg\beta + \frac{x_0^2 g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \right) &= 0 \\ x_{1,2} = \frac{\left( tg\beta + \frac{g x_0}{v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \right) \pm \sqrt{\left( tg\beta + \frac{g x_0}{v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \right)^2 - 4 \left( \frac{g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} - \frac{g}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} \right) \left( tg\alpha - y_0 + x_0 tg\beta + \frac{x_0^2 g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} \right)}}{2 \left( \frac{g}{2v_{0с}^2 \cos^2 \beta} - \frac{g}{2v_{0к}^2 \cos^2 \alpha} \right)} \end{aligned}$$

Для решения системы уравнений (19) применим графический метод. Точки построения графика запишем в таблице 4. По точкам таблицы построим графики  $y_1, y_2, y_3, y_4$  и найдём точки их пересечения. При построении графиков принимали: скорость движения комбикорма –  $v_{0к}=0,78$  м/с; скорость движения сапропеля –

$v_{0с}=1,2$  м/с; расстояние от инжектора до точки, находящейся в центре витка смесителя –  $x_0=0,2$  м; расстояние от потока координат до инжектора –  $y_0=0,5$  м; угол наклона витка шнека –  $\alpha=60^\circ$  и изменяли угол наклона распыления инжектора  $\beta$  в диапазоне значений, равном  $22^\circ, 24^\circ, 26^\circ$ .

В таблице 4 представлены следующие показатели:

- $y_1$  – траектория движения комбикорма;
- $y_2$  – угол наклона распыления инжектора  $\beta = 22^\circ$
- $y_3$  – угол наклона распыления инжектора  $\beta = 24^\circ$
- $y_4$  – угол наклона распыления инжектора  $\beta = 26^\circ$

Таблица 4 – Точки построения графиков

x	-0,12	-0,08	-0,04	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
$y_1$	0,19	0,26	0,31	0,32	0,31	0,26	0,19	0,09	-0,04
$y_2$	0,15	0,23	0,30	0,36	0,41	0,45	0,48	0,49	0,50
$y_3$	-0,75	-0,38	-0,08	0,17	0,36	0,48	0,55	0,56	0,50
$y_4$	-0,71	-0,47	-0,25	-0,06	0,10	0,24	0,35	0,44	0,50

Система уравнений (19) имеет одно решение, однако оно не соответствует условию  $0 \leq x \leq x_0$ .

Система уравнений (19) имеет решения условия  $0 \leq x \leq x_0$ . Это точка пересечения двух графиков  $y_1$  и  $y_2$  с координатами (0,36;0,025), но эта точка не соответствует условию решения; точка пересечения двух графиков  $y_1$  и  $y_3$  с координатами (0,36;0,025), в этой точке будет происходить смешивание; точка пересечения двух графиков  $y_1$  и  $y_4$  с координатами (0,23;0,82), в этой точке будет происходить смешивание.

Анализ точек пересечения графиков показал, что зона смешивания комбикорма и сапропеля естественной влажности при заданных значениях параметров смещена в сторону инжектора (рисунок 2). Это создает рациональные

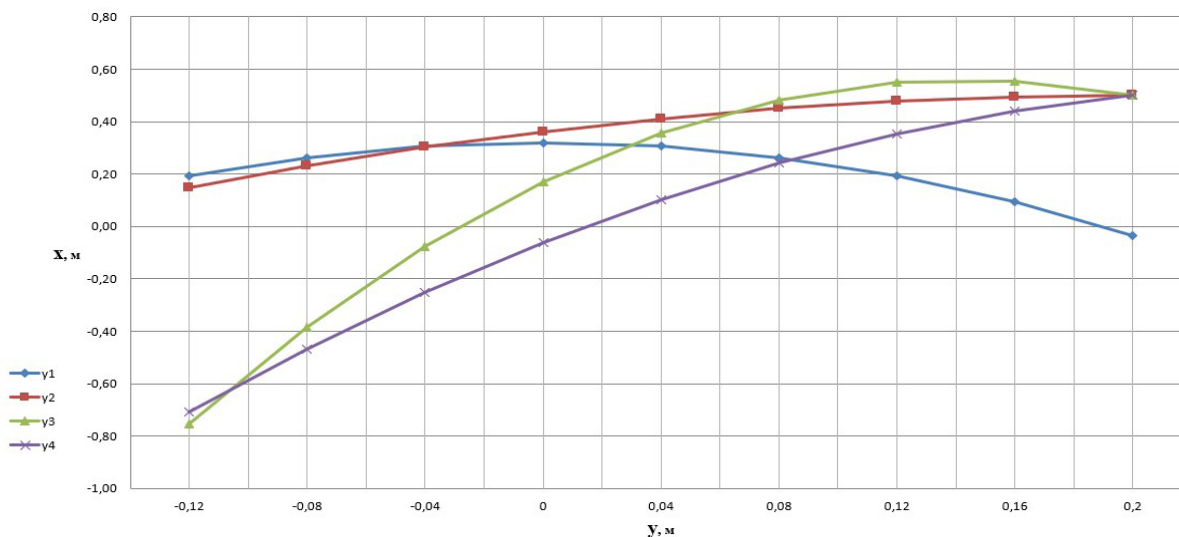


Рисунок 2 – Точки пересечения траекторий движения комбикорма и сапропеля

условия для смешивания компонентов.

**Выводы.** По результатам теоретического исследования получены математические модели (19) для определения траектории движения частиц комбикорма и сапропеля. Установлено, что наиболее рациональными параметрами работы смесителя будут следующие: скорость движения комбикорма –  $v_{ок}=0,78$  м/с; скорость движения сапропеля –  $v_{ос}=1,2$  м/с; расстояние от инжектора до точки, находящейся в центре витка смесителя –  $x_0=0,2$  м; расстояние от потока координат до инжектора –  $y_0=0,5$  м; угол наклона витка шнека –  $\alpha=60^\circ$ ; угол наклона распыления инжектора –  $\beta=24^\circ$ .

### Список литературы

- 1 Архицкая Е.В. Оценка эффективности применения кормовых добавок на основе сапропеля // *Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции.* Кемерово. 2017. С. 227-229.
- 2 Баранова Г.Х. Сапропель в составе комбикормов и его влияние на рентабельность производства // *Современные тенденции научного обеспечения в развитии АПК: фундаментальные и прикладные исследования: материалы научно-практической (очно-заочной) конференции с международным участием.* Омск. 2017. С. 108-111.
- 3 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С. Разработка технологии и оборудования для производства комбикормов с напылением термолабильных компонентов // *Инновационное предпринимательство в цифровой экономике: опыт регионов: сборник материалов Международной научно-практической конференции.* Воронеж. 2020. С. 116-119.
- 4 Гаганов А. Планирование кормовой базы в скотоводстве // *Эффективное животноводство.* 2016. № 3 (124). С. 13-17.
- 5 Бабаян И.В., Васильева О.А., Волощук Л.А. Особенности развития сельского хозяйства // *Вестник Алтайской академии экономики и права.* 2019. № 5-1. С. 19-23.
- 6 Качественные корма – путь к получению высокой продуктивности животных и птицы и экологически чистой продукции / Л.Н. Гамко [и др.] // *Зоотехния.* 2016. № 5. С. 6-7.
- 7 Мохнаткин В.Г., Солонщиков П.Н., Рылов А.А., Горбунов Р.М. Машины и оборудование в животноводстве: лабораторный практикум. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. 88 с.
- 8 Богданов К.А. Теоретическое исследование конструктивных и технологических параметров в экструдере для производства кормов с добавлением сапропеля // *Вестник Курганской ГСХА.* 2021. № 2 (38). С. 50-54. DOI 10.52463/22274227\_2021\_38\_71.
- 9 Фомичев М.А., Жаркой В.П., Солодчук Д.В. Математическое моделирование процесса перемешивания двухкомпонентных смесей // *Студенчество России: век XXI: материалы VII Всероссийской молодежной научно-практической конференции.* Орёл. 2020. С. 361-373.
- 10 Фомичев М.А., Морозов В.В., Игнатенков В.Г., Аржанкова Ю.В. Повышение эффективности смешивания кормовых смесей // *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сборник докладов XV Международной научно-практической конференции.* Великие Луки. 2020. С. 149-154.
- 11 Хмыров В.Д., Труфанов Б.С., Гребеникова Т.В., Аксеновский А.В. Обоснование некоторых параметров пресс-гранулятора подстилочного навоза // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.* 2015. № 2. С. 140-144.
- 12 Игнатенков В.Г., Фомичев М.А., Шлапаков В.В., Александров Д.А. Результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для обезвоживания сапропеля естественной влажности // *Вестник Курганской ГСХА.* 2020. № 2 (34). С. 62-66.
- 13 Савиных П.А., Турубанов Н.В. Исследование технологического процесса приготовления кормовых смесей // *Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства.* Киров. 2018. С. 283-288.
- 14 Турубанов Н.В., Медведев О.Ю., Исупов А.Ю. Исследование смешивания материала в горизонтальном ленточном смесителе // *Общество, наука, инновации (НПК-2016): сборник статей.* Киров. 2016. С. 864-870.
- 15 Фоминых А.В., Фомина С.В., Стрекаловских Н.С. Установка повышения концентрации жидких кормовых добавок // *Вестник Курганской ГСХА.* 2017. № 3 (23). С. 75-77.
- 16 Савиных П.А., Алешкин А.В., Турубанов Н.В., Зырянов Д.А. Определение рациональных параметров смесителя теоретическими

исследованиями взаимодействия винтовой поверхности шнека с материалом // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1 (41). С. 76-84. DOI 10.51794/27132064-2021-1-76.

17 Фомина М.Ю., Окунева А.А. К вопросу применения сапропеля в АПК // Инновационная деятельность в модернизации АПК: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск. 2017. С. 160-161.

### List of reference

1 Arhitskaya E.V. Evaluation of the effectiveness of the use of feed additives based on spropel // Fundamental scientific research: theoretical and practical aspects: collection of materials of the IV International scientific and practical conference. Kemerovo. 2017. Pp. 227-229.

2 Baranova G.Kh. Spropel in the composition of mixed fodders and its impact on the profitability of production // Modern trends in scientific support in the development of the agro-industrial complex: fundamental and applied research: materials of a scientific-practical (part-time) conference with international participation. Omsk. 2017. Pp. 108-111.

3 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Bogomolov I.S. Development of technology and equipment for the production of compound feeds with spraying of thermolabile components // Innovative entrepreneurship in the digital economy: the experience of the regions: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference. Voronezh. 2020. Pp. 116-119.

4 Gaganov A. Planning a forage base in cattle breeding // Effective animal husbandry. 2016. № 3 (124). Pp. 13-17.

5 Babayan I.V., Vasilyeva O.A., Voloshchuk L.A. Features of the development of agriculture // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2019. № 5-1. Pp. 19-23.

6 High-quality feed - a way to obtain high productivity of animals and poultry and environmentally friendly products / L.N. Gamko [et al.] // Zootechniya. 2016. № 5. Pp. 6-7.

7 Mokhnatkin V.G., Solonshchikov P.N., Rylov A.A., Gorbunov R.M. Machines and equipment in animal husbandry: laboratory practice. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2017. 88 p.

8 Bogdanov K.A. Theoretical study of design and technological parameters in an extruder for the production of feed with the addition of spropel // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2021. № 2 (38). Pp. 50-54. DOI 10.52463 / 22274227\_2021\_38\_71.

9 Fomichev M.A., Zharkoy V.P., Solodchuk D.V. Mathematical modeling of the mixing process of two-component mixtures // Students of Russia: XXI century: materials of the VII All-Russian Youth Scientific and Practical Conference. Orel. 2020. Pp. 361-373.

10 Fomichev M.A., Morozov V.V., Ignatenkov V.G., Arzhankova Yu.V. Improving the efficiency of mixing feed mixtures // Scientific and technical progress in agricultural production: collection of reports of the XV International scientific and practical conference. Velikie Luki. 2020. Pp. 149-154.

11 Khmyrov V.D., Trufanov B.S., Grebennikova T.V., Aksenovsky A.V. Substantiation of some parameters of the bedding manure pellet mill // Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2015. № 2. Pp. 140-144.

12 Ignatenkov V.G., Fomichev M.A., Shlapakov V.V., Alexandrov D.A. Results of experimental studies of a screw press for dehydration of spropel of natural moisture // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2020. № 2 (34). Pp. 62-66.

13 Savinykh P.A., Turubanov N.V. Investigation of the technological process of preparation of fodder mixtures // Energy-saving agricultural technologies and equipment for northern agriculture and animal husbandry. Kirov. 2018. Pp. 283-288.

14 Turubanov N.V., Medvedev O.Yu., Isupov A.Yu. Investigation of material mixing in a horizontal ribbon mixer // Society, science, innovations (NPK-2016): collection of articles. Kirov. 2016. Pp. 864-870.

15 Fominykh A.V., Fomina S.V., Strekalovskikh N.S. Installation for increasing the concentration of liquid feed additives // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2017. № 3 (23). Pp. 75-77.

16 Savinykh P.A., Aleshkin A.V., Turubanov N.V., Zyryanov D.A. Determination of the rational parameters of the mixer by theoretical studies of the interaction of the screw surface of the screw with the material // Machinery and technologies in livestock. 2021. № 1 (41). Pp. 76-84. DOI 10.51794 / 27132064-2021-1-76.

17 Fomina M.Yu., Okuneva A.A. On the issue of using spropel in the agro-industrial complex // Innovative activity in the modernization of the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Kursk. 2017. Pp. 160-161.