

УДК 631.363.7

UDC 631.363.7

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1 Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО СМЕСИТЕЛЯ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ВИТАМИННО-КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ

JUSTIFICATION OF THE DESIGN PARAMETERS AND OPERATING MODES OF A MULTI-PURPOSE MIXER-GRINDER FOR VITAMIN-FEED ADDITIVES BASED ON SAPROPEL

Ружьев Вячеслав Анатольевич
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 8134-7231
AuthorID: 715750
ORCIDiD: 0000-0003-3011-639X
ResearcherID: AAI-1032-2019

Ruzhev Vyacheslav Anatolievich
Cand.Tech.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 8134-7231
AuthorID: 715750
ORCIDiD: 0000-0003-3011-639X
ResearcherID: AAI-1032-2019

ruzhev_va@mail.ru

ruzhev_va@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

Игнатенков Валерий Геннадьевич
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 9771-5486
AuthorID: 330396

Ignatenkov Valery Gennadievich
Cand.Tech.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 9771-5486
AuthorID: 330396

well_79@mail.ru

well_79@mail.ru

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, г. Великие Луки, Россия

Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Russia

Фомичев Максим Александрович
SPIN-код: 1142-9664
AuthorID: 1087451

Fomichev Maxim Alexandrovich
RSCI SPIN-code: 1142-9664
AuthorID: 1087451

fomichev1995@yandex.ru

fomichev1995@yandex.ru

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, г. Великие Луки, Россия

Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Russia

Лаппо Евгений Леонидович
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 1900-7992
AuthorID: 977849

Lappo Evgeniy Leonidovich
Cand.Tech.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 1900-7992
AuthorID: 977849

evgenij_lappo@yantex.ru

evgenij_lappo@yantex.ru

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, г. Великие Луки, Россия

Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Russia

В статье рассматриваются вопросы производства витаминно-кормовых добавок из сапропеля из пророщенной на нём зелёной растительности и её корневой структуры. Для приготовления и переработки такого корма используют предложенный авторами универсальный многоцелевой смеситель-измельчитель. Последний задействуется в циклах проращивания зелёной массы и переработки готовой продукции. В статье приведены результаты теоретико-

The article discusses the production of vitamin-feed additives from sapropel from green vegetation sprouted on it and its root structure. For the preparation and processing of such feed, a universal multi-purpose mixer-grinder proposed by the authors is used. The latter is involved in the cycles of germination of green mass and processing of finished products. The article presents the results of a theoretical and practical substantiation of the process of destruction of vitamin-feed additives by blades. To

практического обоснования процесса разрушения лопатками витаминно-кормовой добавки. Для объяснения происходящих процессов правомерно использована модель упруго-вязко-пластичного тела (витаминно-кормовой добавки). Приведены результаты исследований по проблеме. Обоснован рациональный угол заточки лопатки ножа в 20 градусов многоцелевого смесителя-измельчителя

Ключевые слова: СМЕСИТЕЛЬ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ, ВИТАМИННО-КОРМОВАЯ ДОБАВКА, САПРОПЕЛЬ

explain the ongoing processes, the model of an elastic-visco-plastic body (vitamin-feed additive) is rightfully used. The results of research on the problem are presented. The rational sharpening angle of the knife blade at 20° for a multi-purpose mixer-chopper is substantiated

Keywords: MIXER-GRINDER, VITAMIN-FEED ADDITIVE, SAPROPEL

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-016>

Введение.

Не безызвестный факт, что увеличения объемов производства продукции животноводства, необходимо сконцентрировать многочисленные усилия в области улучшения кормовой базы содержащегося поголовья. Это актуальное научно-практическое направление рационально развивать с, как показывает сегодняшняя ситуация, возможным применением с недостаточно востребованным источником сырья, которым является сапропель – естественное отложение пресноводных водоемов. Сапропель богат минеральными веществами и витаминами, его, по нашему мнению, целесообразно применять в качестве базы для приготовления кормовых добавок.

Исследованиями [1, 2] выявлено, что один из вариантов добавки может стать пророщенная на сапропеле зеленая масса зерновых культур, которая обогатит готовый продукт, как дополнительными витаминами, так и улучшит его по вкусовым качествам. Не мало важно, что витаминно-кормовая добавка поедается животными полностью, т.е. безотходно. Такая витаминно-кормовая добавка целесообразна при кормлении поголовья с.-х. животных, в тот период, когда наблюдается нехватка витаминов и минеральных веществ.

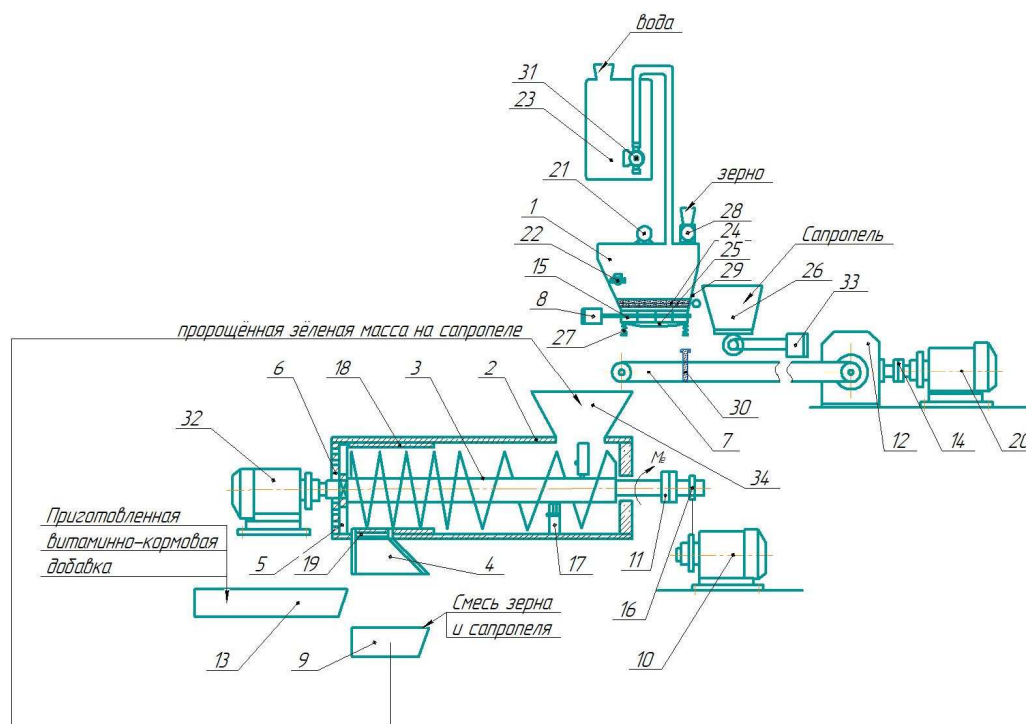
Для лучшего применения сапропелевых кормовых добавок следует обеспечить их производство техническими системами, рабочие органы которых, должны быть приспособлены к физико-механическим свойствам

<http://ej.kubagro.ru/2024/05/pdf/16.pdf>

сапропеля и других компонентов, входящих в продукт скармливания сельскохозяйственным животным.

Условия, материалы, методы.

Разработанный научным коллективом [3, 4] многоцелевой смеситель-измельчитель (рис. 1) витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля участвует как в цикле проращивания зеленой массы зерновых на сапропеле, так и в цикле переработки готового продукта в соответствии с зоотехническими требованиями к кормлению поголовья.



а



б



в

Рисунок 1 – Многоцелевой смеситель-измельчитель витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля (пояснения в тексте):

а – конструктивно-технологическая схема; *б* – 3D-модель; *в* – общий вид

Технологический процесс двухэтапного получения витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля с помощью разработанного смесителя-измельчителя представлен ниже.

Зерно, на примере ячменя, перед высевом подвергается барботации (12 ч), для этой цели предусмотрен резервуар (23), из которого вода насосом (31) направляется в бункер дозатор (1), куда, в свою очередь, поступает посредством роторно-лопастного дозатора (28) и зерно. Температура воды 20-24°C, соотношение воды к количеству посадочного материала 4:1.

Для барботации зерна в воде используем кислородный насос (22), после процесса замачивания, вода удаляется через сливное отверстие (29). Перед высевом открывается прорезиненная заслонка бункера-дозатора (24); включается барабанный составной ячеистый дозатор (15), конструкция которого обусловлена возможностью залипания влажных семян между доньшком (25), предназначенным для направления движения зерен и регулирования угла высева, и самим ячеистым дозатором (при составной конструкции, залипание части элементов не выведет из строя весь дозатор, остальные участки ячеистого вала продолжат вращаться, за счёт чего будет преодолено залипание отдельных элементов).

Для разрушения сводообразования влажных зерен на бункере установлен вибратор (21), который при включении создаёт колебания конструкции на амортизаторах (27). Регулировка количества поступающих семян в загрузочную горловину смесителя-измельчителя (34) происходит согласованием двух основных факторов: частоты вращения ячеистого вала дозатора и скорости движения сапропеля на ленте транспортера (7).

После попадания сапропеля и зерна в загрузочную горловину (34), сапропеле-зерновой материал (СЗМ) встречается с вращающимися лопатками (17), которые установлены перпендикулярно к оси вала шнека (3), они дополнительно перемешивают сапропель и зерно, затем этот

материал перемещается и смешивается витками шнека и выходит через открытую заслонку выгрузной горловины (4) на поддоны или ленту транспортера, где проращивается зерно. Соотношение сапропеля к зерну (4:1) или (3:1), в зависимости от выращиваемого поголовья (молодняк или взрослые животные).

Затем по технологии проращивания зерна на сапропеле идет опрыскивание водой, с 3-го по 6-й день, опрыскивание питательным раствором два раза в сутки, с 7-го по 9-й день выращивания, полив водой один раз в сутки. При проращивании на 4-й день появляются всходы, на 6-7 день пророщенное зерно представляет собой зеленый ковер.

Сигналом к уборке зеленого корма служит снижение в нем аскорбиновой кислоты и каротина – веществ, наиболее ценных в зимний период питания животных. Ленточный конвейер (7) подает витаминно-кормовую добавку (ВКД) (сапропеле-растительный материал (СРМ)) в загрузочную горловину (34) и начинается 2 цикл технологического процесса производства – приготовление ВКД для поедания животными в соответствии с гранулометрическими требованиями по степени измельчения и однородности.

На 2-м этапе СРМ (ВКД) после загрузочной горловины (34) попадает на лопатки (17), которые изготовлены с возможностью поворота петлевым механизмом и изменением наклона лопатки к горизонтальной плоскости.

В случае работы лопаток (17) с выращенной зеленой массой и сапропелем (СРМ) они поворачиваются посредством петлевого механизма, образуя «угол атаки», то есть входят в ВКД своей острой кромкой и первоначально разрушают корневую структуру, связывающую сапропель и побеги ячменя, а затем эти компоненты перемешивают. После лопаток (17) СРМ перемещается по шнеку (3), перемешиваясь витками до направляющих ребер (18). Смешивание компонентов ВКД происходит из-за наличия зазора между витками и корпусом агрегата, т.е. возможности

подбрасывания и взаимного перемещения компонентов относительно друг друга. При движении СРМ вдоль направляющих ребер ВКД уплотняется и дозированно (порциями, определяемыми расстоянием между направляющими ребрами) подается к режущей паре (нож-решетка). При этом уплотнение СРМ осуществляется также за счет уменьшения шага витков шнека перед режущим механизмом агрегата. Перемешанная и уплотненная ВКД разрушается резанием между острой кромкой отверстия решетки (6) и ножом (5), затем проталкивается новой порцией поступающего СРМ из отверстий на поддон (13). Выгрузная заслонка (19) при этом закрыта.

Проведенные коллективом авторов предварительные эксперименты, показали, что усилие резания рубкой плоской лопаткой (17) выше, чем лопаткой (17) в форме полуклина, что объяснялось тем, что лопатка в форме полуклина раздвигает слой своей кромкой, создаётся распор из-за угла наклона лезвия и эффективность процесса резания улучшается.

Итогом предварительных экспериментальных исследований стал выбор в пользу использования лопатки-ножа-полуклина (рисунок 2), когда разрушение пласта ВКД происходит методом рубки одной стороной лопатки, а смешивание компонентов – второй тыльной стороной.



Рисунок 2 – Экспериментальная лопатка-нож-полуклин многоцелевого смесителя-измельчителя

Результаты и обсуждение.

В нашем конкретном случае при разрушении пласта ВКД лопаткой-ножом-полуклином происходит равномерное возрастание относительной деформации $x = vt$, тогда математическая зависимость уравнения релаксации для упруго-вязко-пластичной среды, описывает реологическое поведение тела Бингама [5]:

$$\begin{aligned} \sigma &= E\chi, & \sigma &\leq \sigma_c; \\ \sigma &= \sigma_c + K \left(\frac{d\chi}{dt} - \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} \right), & \sigma &> \sigma_c, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ – действительное напряжение в теле; E – коэффициент упругости компонентов витаминно-кормовой добавки; χ – относительное удаление или сжатие образца; σ_c – начальный предел текучести при одномерном сжатии или растяжении; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости деформации; t – время.

Запишем уравнения (1) при $\sigma > \sigma_c$, которое преобразуем к линейному неоднородному дифференциальному уравнению первого порядка:

$$K = \frac{d\sigma}{dt} + E\sigma; \quad (2)$$

Запишем решение этого уравнения относительно σ при заявленных условиях $\sigma = \sigma_c$ и $t = 0$, тогда:

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_g = \sigma_c + Kv(1 - e^{-Et/K}), \quad (3)$$

где σ_c – остаточное напряжение; σ_g – релаксируемое (динамическое) напряжение.

Найдём сопротивление резания сплошного слоя ВКД лопаткой-ножом по математическому выражению (3), определяющему релаксацию давления СРМ на лезвии AE , фаске AB и боковых стенках лопатки-ножа BC и ED (рисунок 3).

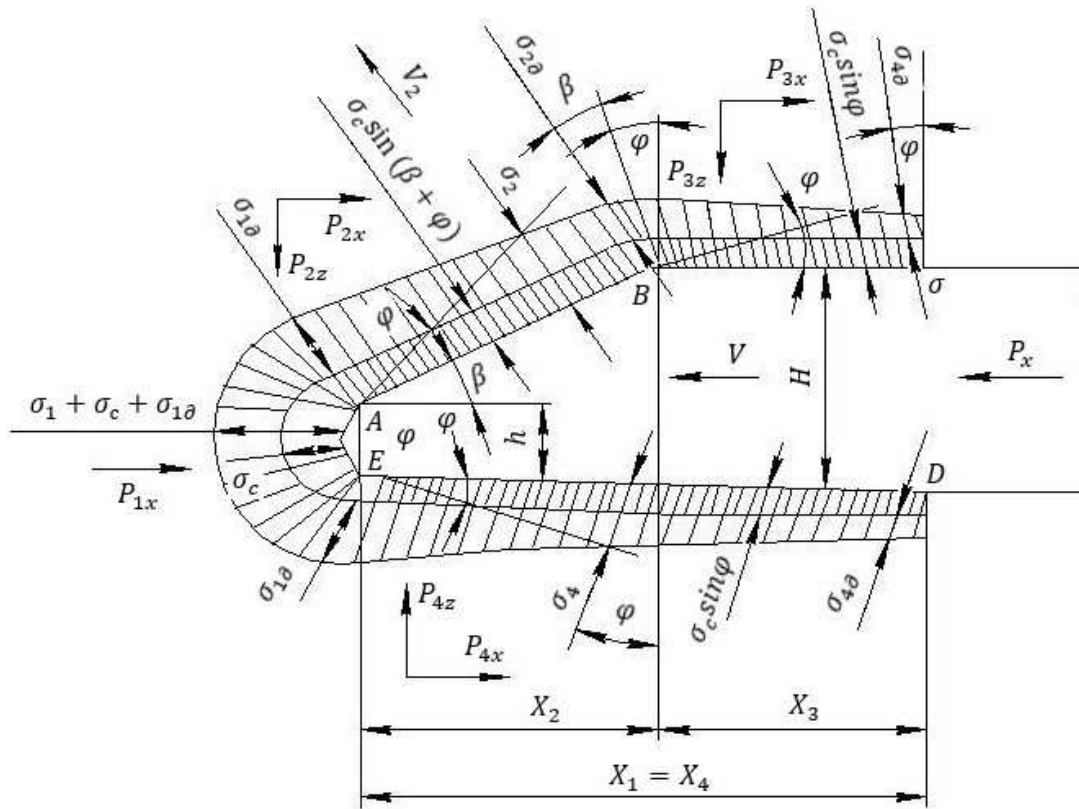


Рисунок 3 – Эпюры напряжений на лезвии, фаске и стенках лопатки-ножа-полуклина

При нахождении зависимости силы резания P от параметров конструкции лопатки-ножа-полуклина и физико-механических свойств СРМ были сделаны допущения, которые не меняют сути расчетов, но упрощают их. Считаем, что лезвие представляет собой плоскость, перпендикулярную прилегающей стенке лопатки-ножа-полуклина, на которой находится ядро уплотнения треугольного профиля с углом при основании, равным углу трения φ СРМ и самого материала лопатки-ножа-полуклина. Угол заострения β фаски и углы установки стенок лопатки-ножа-полуклина условно увеличены на угол трения φ , а угол скольжения τ уменьшен на угол φ . Тогда остаточное напряжение, зависящее от расположения граней внедряемого тела, относительно вектора перемещения возьмем для лезвия лопатки-ножа-полуклина, равным: $\sigma_c \cos(\tau - \varphi)$, для фаски – $\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \cdot \sin(\beta + \varphi)$, для стенок – $\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \cdot \sin\varphi$.

Напряжение σ_d объясняется движением с постоянной скоростью твердого тела (лопатка-нож-полуклин) в вязкой среде. Растения представляют собой условный сосуд со стенками, внутри которого заключен наполнитель определенной вязкости. Когда разрушается лопатками-ножами-полуклином растительная часть ВКД, в том числе корневая система, наполнитель (жидкость) из разрушенных участков каркаса перетекает в соседние участки микроструктуры, чем выше скорость резания лопатками-ножами-полуклином, тем интенсивнее возрастает сопротивление перетекания и, тем больше будет значение составляющей формулы (3) σ_d .

Считается [6, 7], что избыточное давление в вязкой среде передается во всех направлениях одинаково, максимум же будет наблюдаться при возрастании скорости деформации, при направлении движения перпендикулярной поверхности условного клина. Вводим допущение, что твердость материала одинакова по всему поперечному сечению.

Тогда сопротивление СРМ резанию, приходящееся на единицу поверхности длины лопатки-ножа-полуклина, складывается из сопротивления на лезвии P_{1x} , на фаске P_{2x} , на верхней P_{3x} и нижней P_{4x} стенках лопатки-ножа:

$$P_x = \int_0^{x_1} \sigma_1 \cos(\tau - \varphi) dx + \int_0^{x_2} \frac{\sin(\beta_1 + \varphi)}{\cos\beta_1} \sigma_2 dx + \int_0^{x_3} \sin\varphi \sigma_3 dx + \int_0^{x_4} \sin\varphi \sigma_4 dx, \quad (4)$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 и σ_4 – напряжения на элементах лопатки-ножа.

Они получены из математического выражения (2) путем последовательной подстановки начальных условий: $\sigma = \sigma_c$ и $t = 0$ в σ_1 ; $\sigma = \sigma_1$ и $t = 0$ в σ_2 ; $\sigma = \sigma_2$ и $t = 0$ в σ_3 ; $\sigma = \sigma_1$ и $t = 0$ в σ_4 .

Время t_1 , t_2 , t_3 и t_4 находим как отношение соответствующего расстояния $x_1/cost$; $x_2/cost$; $x_3/cost$; $x_4/cost$ к скорости v (рисунок 4).

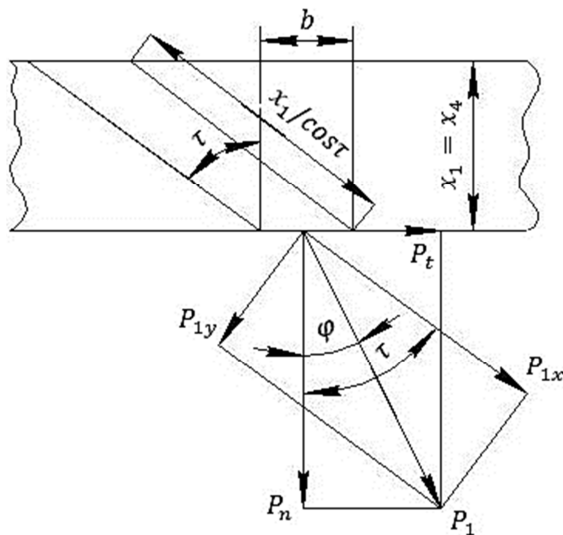


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на лезвие с учётом скользящего резания

Тогда:

$$\sigma_1 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) + K v_1 (1 - e^{-E_{x1}/(K v \cos \tau)}); \quad (5)$$

$$\sigma_2 =$$

$$\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin(\beta_1 + \varphi) + K v_2 \left(1 - e^{-\frac{E_{x2}}{(K v \cos \tau)}}\right) + K v_1 e^{-E_{x2}/(K v \cos \tau)} (1 - e^{-E_{x1}/(K v \cos \tau)}); \quad (6)$$

$$\sigma_3 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi + \left[K v_2 \left(1 - e^{-\frac{E_{x2}}{(K v \cos \tau)}}\right) + K v_1 e^{-\frac{E_{x2}}{(K v \cos \tau)}} \left(1 - e^{-\frac{E_{x1}}{(K v \cos \tau)}}\right) \right] \cdot e^{-E_{x3}/(K v \cos \tau)}; \quad (7)$$

$$\sigma_4 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi + K v_1 (1 - e^{-E_{x1}/(K v \cos \tau)}) \cdot e^{-E_{x4}/(\cos \tau)}, \quad (8)$$

где $v_1 = v \cos(\tau - \varphi)$; $v_2 = v_1 \sin(\beta_1 + \varphi)$; $\beta_1 = \arctg(\tg \beta \cos \tau)$.

После подстановки (5) – (8) в (4) и интегрирования получаем:

$$P_x = P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x},$$

где $P_{1x} = b h \cos(\tau - \varphi) [\sigma_c \cos(\tau - \varphi) + \sigma_{1д}]$; b – ширина ножа; h – толщина лезвия;

$$\sigma_{д1} = K v_1 (1 - e^{-a x_1}); P_{2x} = b \sin(\beta_1 + \varphi) [\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \cdot \sin(\beta_1 + \varphi) x_2 + K v_2 x_2 + \cos \tau (\sigma_{д1} - \sigma_{д2}) / a] \cos \beta_1; a = E / (K v \cos \tau); \sigma_{д2} = \sigma_{д1} + \sigma_{д2}; \sigma_{д1} = \sigma_{1д} e^{-a x_2};$$

$$\sigma_{д2} = K v_2 (1 - e^{-a x_2}); P_{3x} = b \sin \varphi [\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi x_3 + \cos \tau (\sigma_{д2} -$$

$\sigma_{3д})/a]$;

$$\sigma_{3д} = \sigma_{2д} e^{-ax_3}; P_{4x} = b \sin \varphi [\sigma_c \cdot \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi x_4 + \cos \tau (\sigma_{1д} - \sigma_{4д})/a];$$

$$\sigma_{4д} = \sigma_{1д} e^{-ax_4}.$$

С учетом принятых обозначений:

$$\sigma_1 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) + \sigma_{1д};$$

$$\sigma_2 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin(\beta_1 + \varphi) + \sigma_{2д};$$

$$\sigma_3 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi + \sigma_{3д};$$

$$\sigma_4 = \sigma_c \cos(\tau - \varphi) \cdot \sin \varphi + \sigma_{4д}.$$

Определим составляющие P_y и P_z в поперечной и вертикальной плоскостях:

$$P'_y = P_{1y} + P_{2y}; P_z = P_{2z} + P_{3z} - P_{4z},$$

где $P_{1y} = P_{1x} \operatorname{tg}(\tau - \varphi); P_{2y} = P_{2x} \operatorname{tg}(\tau - \varphi); P_{2z} = P_{2x} \cdot \operatorname{ctg}(\beta_1 + \varphi);$

$$P_{3z} = P_{3x} \operatorname{ctg} \varphi; P_{4z} = P_{4x} \operatorname{ctg} \varphi.$$

Силы, действующие по нормали и по касательной к лезвию лопатки-ножа:

$$P_n = P_{1x} \cos \varphi; P_t = P_{1x} \sin \varphi; P_n = K_3 \cos(\tau - \varphi) \cos \varphi;$$

$$P_t = K_3 \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi; K_3 = bh \sigma_c.$$

$$\text{Общая сила: } P_i = \sqrt{P_n^2 + P_t^2}.$$

В этом случае работа силы P_x и её составляющих, применительно к пути $x = x_1 = \dots = x_4$:

$$A_x = A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} + A_{4x}, \tag{9}$$

Где

$$A_{1x} = \int_0^{x_1} P_{1x} dx = \frac{bh}{\cos \tau} \cos(\tau - \varphi) \left[\sigma_c \cos(\tau - \varphi) x_1 + K v x_1 - \frac{1}{a} \sigma_{1д} \right]; \tag{10}$$

$$A_{2x} = \int_0^{x_2} P_{2x} dx + \int_0^{x_3} P_{2x} dx = \frac{b \sin(\beta_1 + \varphi)}{\cos \beta_1} \cdot \left\{ \frac{\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin(\beta_1 + \varphi)^2 x_2^2}{2 \cos \tau} + \frac{K v_2 x_2^2}{2 \cos \tau} + \frac{1}{a} \left[K v_2 x_2 + \sigma_{1д} x_2 - \frac{1}{a} (\sigma_{1д} - \sigma_{2д}) \right] \right\} + \frac{P_2 x_3}{\cos \tau}, \tag{11}$$

$$A_{3x} = \int_0^{x_3} P_{3x} dx = b \sin \varphi \left\{ \frac{\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi x_3^2}{2 \cos \tau} + \frac{1}{a} \cdot \left[\sigma_{2д} x_3 - \frac{1}{a} (\sigma_{2д} - \sigma_{3д}) \right] \right\}; \quad (12)$$

$$A_{4x} = \int_0^{x_4} P_{4x} dx = b \sin \varphi \left\{ \frac{\sigma_c \cos(\tau - \varphi) \sin \varphi x_4^2}{2 \cos \tau} + \frac{1}{a} \cdot \left[\sigma_{1д} x_4 - \frac{1}{a} (\sigma_{1д} - \sigma_{4д}) \right] \right\}. \quad (13)$$

Суммарная работа лопатки-ножа-полуклина в итоге:

$$\sum A \approx A_x = A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} + + A_{4x}. \quad (14)$$

В ходе эксперимента проводилась проверка теоретических предпосылок и обосновывались основные конструктивные параметры лопатки-ножа-полуклина и режимы работы многоцелевого смесителя-измельчителя агрегата.

В итоге конструктивные критерии лопатки-ножа-полуклина, следующие:

- длина $X = 165 \text{ мм} = 0,165 \text{ м}$;
- толщина $H = 12 \text{ мм} = 0,012 \text{ м}$;
- толщина лезвия $h = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$;
- ширина $b = 54 \text{ мм} = 0,054 \text{ м}$.

Давление, на лопатку-нож-полуклин при резании рубкой ВКД (СРМ) составила $P_{рез} = 1,48 \text{ МПа}$; при скорости резания угловой $\omega = 13,09 \text{ сек}^{-1}$; линейной скорости $v_{рез} = 1,31 \text{ м/сек}$; частоте вращения вала с лопаткой-ножом-полуклином $n = 125 \text{ мин}^{-1}$.

Анализируя полученные в итоге теоретических и экспериментальных изысканий результаты, привели к выводу: рациональный угол заточки лопатки-ножа-полуклина $\beta = 20^\circ$.

Выводы.

Эта суммарная работа (14) расходуется на уплотнение СРМ и резание при вращении вала многоцелевого смесителя-измельчителя, на котором петлевым способом закреплены лопатки-ножи-полуклин.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования работы лопатки-ножа-полуклина многоцелевого смесителя-измельчителя

ВКД и определены основные кинематическо-конструктивные параметры и режимы работы рабочего органа.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании рабочих органов технических систем при производстве ВКД для с.-х. животных.

Библиографический список

1. Игнатенков, В.Г. Повышение эффективности производства витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля путем обоснования конструктивных и технологических параметров смесителя-измельчителя: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Игнатенков Валерий Геннадьевич. – В.Луки, 2005. – 180 с.

2. Игнатенков В.Г., Иванов Е.А., Фомичев М.А. Описание работы многоцелевого шнекового смесителя-измельчителя при приготовлении витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2(35). – С. 57-63.

3. Ружьев В.А. Применение компьютерного моделирования при проектировании сельскохозяйственных машин // Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 20-22 апреля 2011 г.). – СПб-Пушкин: СПбГАУ, 2011. – С. 203-206.

4. Патент №2685201 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. многофункциональный смеситель-измельчитель: № 2017137849: заявл. 30.10.2017: опубл. 16.04.2019 / В. В. Морозов, В. Г. Игнатенков, Г. И. Игнатенков [и др.]; заявитель Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия».

5. Дьяков, В.П. Механика почвы и реология грунтов. Точки соприкосновения и различия / В.П. Дьяков // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 7. – С. 48-51.

6. Морозов В.В. Технология и комплекс машин для послойной разработки сапропеля на удобрения (для условий Северо-Западной зоны РФ): Дисс. ... докт. техн. наук. – В.Луки, 1995. – 347 с.

7. Кокунова И.В. Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сыпучих органических удобрений / И.В. Кокунова, В.А. Ружьев // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 4. – С. 126-129.

References

1. Ignatenkov, V.G. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoj dobavki na osnove sapropelja putem obosnovanija konstruktivnyh i tehnologicheskikh parametrov smesitelja-izmel'chitelja: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / Ignatenkov Valerij Gennad'evich. – V.Luki, 2005. – 180 s.

2. Ignatenkov V.G., Ivanov E.A., Fomichev M.A. Opisanie raboty mnogocelevegogo shnekovogo smesitelja-izmel'chitelja pri prigotovlenii vitaminno-kormovoj dobavki na

osnove sapropelja // Izvestija Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2021. – № 2(35). – S. 57-63.

3. Ruzh'ev V.A. Primenenie komp'juternogo modelirovanija pri proektirovanii sel'skohozjajstvennyh mashin // Uluchshenie jekspluacionnyh pokazatelej avtomobilej, traktorov i dvigatelej: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (Sankt-Peterburg, 20-22 aprelja 2011 g.). – SPb-Pushkin: SPbGAU, 2011. – S. 203-206.

4. Patent №2685201 C1 Rossijskaja Federacija, MPK A23N 17/00. mnogofunkcional'nyj smesitel'-izmel'chitel': № 2017137849: zajavl. 30.10.2017: opubl. 16.04.2019 / V. V. Morozov, V. G. Ignatenkov, G. I. Ignatenkov [i dr.]; zajavitel' Federal'noe Gosudarstvennoe Bjudzhetnoe Obrazovatel'noe Uchrezhdenie Vysshego Obrazovanija «Velikolukskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija».

5. D'jakov, V.P. Mehanika pochvy i reologija gruntov. Točki soprikosnovenija i razlichija / V.P. D'jakov // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2007. – № 7. – S. 48-51.

6. Morozov V.V. Tehnologija i kompleks mashin dlja poslojnoj razrabotki sapropelja na udobrenija (dlja uslovij Severo-Zapadnoj zony RF): Diss. ... dokt. tehn. nauk. – V.Luki, 1995. – 347 s.

7. Kokunova I.V. Opredelenie koeficientov trenija skol'zhenija i pokoja sypuchih organicheskih udobrenij / I.V. Kokunova, V.A. Ruzh'ev // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2023. – № 4. – S. 126-129.