

4. Распределение эксплуатационного веса по осям тракторов серии К-744 обеспечивает равенство опорных реакций передних и задних колес в пределах рационального тягового диапазона. При работе на сдвоенных колесах высоту точки прицепа  $h_{kp}$  целесообразно увеличить от 0,40 до 0,50 м.

### Литература

1. Селиванов Н.И. Рациональное использование тракторов в зимних условиях / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – 339 с.
2. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Кузнецов А.В. Взаимосвязь параметров энергетических и тягово-динамических свойств тракторов // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – №2. – С.118–123.
3. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Кузьмин Н.В. Сравнительная оценка эффективности тракторов // Вестн. КрасГАУ.– Красноярск, 2010. – №5. – С.119–126.
4. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Селиванов С.Н. Взаимосвязь параметров энергетических и тягово-сцепных свойств трактора // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – №1. – С.132–137.
5. Селиванов Н.И. Эксплуатационные свойства сельскохозяйственных тракторов: учеб. пособие.– Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. – 347 с.



УДК 631.361.85

Н.В. Цугленок, В.В. Матюшев, Г.И. Цугленок

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОТЖАТИЯ ЗЕЛЕНОГО СОКА РАСТЕНИЙ ЗА СЧЕТ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

Исследованы факторы, влияющие на производительность прессов и качество жома. Разработана математическая модель, выполнены расчеты траектории движения частицы зеленой массы в шнековом прессе. Предложена рациональная конструктивно-технологическая схема питания шнекового пресса.

**Ключевые слова:** растения, зеленый сок, шнековый пресс, математическая модель, эксперимент.

N.V. Tsuglenok, V.V. Matyushev, G.I. Tsuglenok

### POWER EFFICIENCY INCREASE OF THE TECHNICAL FACILITIES USE FOR GREEN PLANT MOISTURE SQUEEZING BY MEANS OF POWER SUPPLY SYSTEM CONSTRUCTIVE PERFECTION

Factors influencing the press productivity and pulp quality are researched. The mathematical model is developed; calculations of the green mass particle motion path in the screw press are conducted. The rational constructive and technological power supply circuit for the screw press is offered.

**Keywords:** plants, green moisture, screw press, mathematical model, experiment.

Обеспечение промышленных отраслей сырьем, а населения качественными продуктами требует широкой программы развития, как растениеводства, так и животноводства. Наращивание продуктов животноводства невозможно без повышения эффективности всех производственных процессов, создания прочной кормовой базы, разработки и внедрения экологически безотходных ресурсо- и энергосберегающих технологий, машин и оборудования.

С позиции сохранения питательных веществ, снижения антропогенной нагрузки и энергоемкости производства кормов перспективной является технология частичного механического обезвоживания зеленых растений. Анализ работ по механическому обезвоживанию растений позволяет сделать вывод, что новая технология имеет следующие преимущества: сокращаются потери питательных веществ за счет уменьшения времени между сушиванием зеленых растений и закладкой их на хранение; имеется возможность консервирования зеленых кормов независимо от погодных условий; возможность получения из сока зеленых растений протеиновой пасты и сухого протеинового зеленого концентрата [1, 2].

В основе этой технологии лежит механическое разделение зеленых растений на волокнистую (жом) и жидкую (сок) фракции. При этом в сок переходит 20–25 % питательных веществ, что не обедняет получае-

мый грубый корм. В процессе отжима зеленой массы на прессе из нее выделяется 45–55 % сока, что позволяет получить жом с влажностью 62–68 %. Технология механического обезвоживания растений позволяет также скармливать животным питательные вещества таких растений, которые в обычных условиях плохо поедаются (сорняки, ботва, осока, камыш и т.д.). Потери каротина и ксантофилла в процессе механического обезвоживания (вследствие ферментных и окислительных реакций) удается предотвратить добавлением в исходную зеленую массу незначительного количества водного амиака. Зеленый сок добавляется в рационы свиней и птиц или перерабатывается в пастообразный или сухой белково-витаминный концентрат с содержанием белка 40–50 %, что позволяет использовать зеленую массу, с большим содержанием в них клетчатки.

Наибольшее распространение для механического обезвоживания зеленых растений получили прессы непрерывного действия, которые выполняются на базе шнековых, валцовочных и ленточных устройств. Шнековые прессы являются наиболее распространенными отжимными устройствами непрерывно действующего типа. Из-за отсутствия специальных шнековых установок, для отжатия зеленого сока из травы используется оборудование, разработанное для предприятий пищевой промышленности, которое не обеспечивает необходимых параметров процесса обезвоживания корма вследствие особых физико-механических свойств материалов. Разработанные конструкции прессовых устройств отличаются как по конструкции рабочих органов, так и по характеру приложения нагрузки. Прессовые устройства, применяемые в настоящее время, имеют малую производительность и большие энергозатраты на производство единицы продукции. При этом вопросу повышения эффективности технических средств отжатия зеленого сока, особенно за счет конструктивного совершенствования рабочих органов, внимания уделяется недостаточно. Поэтому исследование факторов, влияющих на производительность прессов и качество жома, является актуальной научно-технической задачей [3].

Ранее проведенные теоретические и экспериментальные исследования, а также производственные испытания прессового оборудования выявили ряд нерешенных вопросов. В частности, установлено, что на производительность пресса при механическом обезвоживании растений существенно влияет его система питания, которая должна не только обеспечить процесс прессования необходимым количеством материала, но и равномерно распределить его по периметру цилиндра, транспортируя в зону прессования [4]. Следует отметить, что достаточно обоснованные конструктивные схемы, параметры и режимы таких систем до сих пор отсутствуют.

Степень загрузки пресса может характеризоваться различными показателями работы технологического оборудования для подачи корма в прессующий узел. В зависимости от физико-механических свойств уплотняемого материала, конструктивных параметров и показателей режимов работы системы питания, кормовая масса может приводить пресс к различной степени его загрузки, что приводит к снижению качественных показателей технологического процесса.

При исследовании совокупности различных параметров, которые характеризуют протекание технологического процесса и наблюдаются при работе оборудования, можно определить соответствие режима работы пресса требованиям, которые предъявляются со стороны обрабатываемого продукта. Шнековые прессы являются устройствами, в зоне прессования которых происходит деформирование растений. Процесс их работы будет стабильным в том случае, если к рабочим органам будет поступать заданное количество корма. Количество подаваемого материала должно изменяться в довольно широком диапазоне, как в зависимости от изменения его физико-механических свойств, так и от давления прессования и числа оборотов шнека [5]. При установленном режиме работы пресса отклонение величины наполнения зелеными растениями цилиндра от номинальных значений должно быть минимальным, так как жом должен на выходе из установки быть равномерен по влажности. В то же время необходимо обеспечить оптимальную величину подачи материала. Отклонение от оптимальной подачи материала приводит к перегрузке электродвигателя пресса.

Недостаточная изученность работы шнека в загрузочной части пресса, его заборной способности является вопросом проблематичным и актуальным, особенно при механическом обезвоживании зеленых растений.

Задачей системы питания шнекового пресса является транспортирование зеленых растений из зоны приемного бункера в камеру прессования и равномерное распределения их по периметру зеерного цилиндра. Анализ конструкций прессовых устройств позволяет разделить способ подачи материала к их рабочим органам на два вида: гравитационный, при котором корм подается в загрузочную зону под действием силы тяжести, и принудительный – при помощи различных устройств.

При гравитационной системе питания материал может подаваться в загрузочную зону пресса самотеком, винтовыми, скребковыми, ленточными транспортерами, питателями барабанно-биттерного типа. Данные способы могут применяться как для транспортирования корма, так и для его предварительной подпрессовки. К недостаткам гравитационной системы питания следует отнести неравномерность распределения материала по поверхности рабочих органов. Принудительную систему питания прессов можно разделить на два основных вида – с пассивным и активным рабочими органами. Эти конструкции довольно просты и в то же время надежны. К принудительной системе питания с активным рабочим органом относятся устройства, ко-

торые устанавливаются в приемной зоне пресса. К недостаткам данных конструкций следует отнести необходимость отдельного привода. Наиболее просты в конструктивном отношении устройства с пассивными рабочими органами, поскольку они не требуют передачи движения на этот орган пресса, усложняя его кинематику и создавая трудности при уходе и обслуживании пресса.

Исходя из вышеизложенного был разработан захватывающий рабочий орган (ЗРО), находящийся в зоне загрузочной горловины пресса, расположенный на витках шнека и представляющий собой лопатки определенной формы (рис. 1) [6]. Пресс работает следующим образом. В загрузочную горловину 1 поступает измельченная зеленая масса растений и распределяется в верхней части межвиткового пространства шнека 5. Далее она захватывается лопатками 6 и перемещается в нижнюю часть перфорированного цилиндра 2. В нижней части перфорированного цилиндра зеленая масса затормаживается поверхностью перфорированного цилиндра 2, а лопатки 6, продолжая движение, захватывают в верхней части новую порцию зеленой массы и процесс повторяется. Обезвоженный жом выдавливается через запорное устройство 3, которое приводится в движение гидроцилиндром 4.

Для оценки влияния захватывающего рабочего органа на процесс транспортирования корма в загрузочной горловине пресса составлена блок-схема программы, получена математическая модель и выполнен численный эксперимент – рассчитывались возможные траектории движения частиц зеленых растений по поверхности шнека с предлагаемым ЗРО и без него.

Математическая модель для расчета траектории движения частиц материала запрограммирована на языке Turbo Basic. Используя разработанную математическую модель, выполнили расчеты траектории движения частицы зеленой массы в шнековом прессе.

Для оценки достоверности закона изменения траектории движения частицы составлена программа на языке Quick Basic. Из-за сложности задачи П.М. Василенко [7] предполагает, что возможными траекториями относительного движения частицы могут быть архimedова, логарифмическая спираль или развертка окружности.

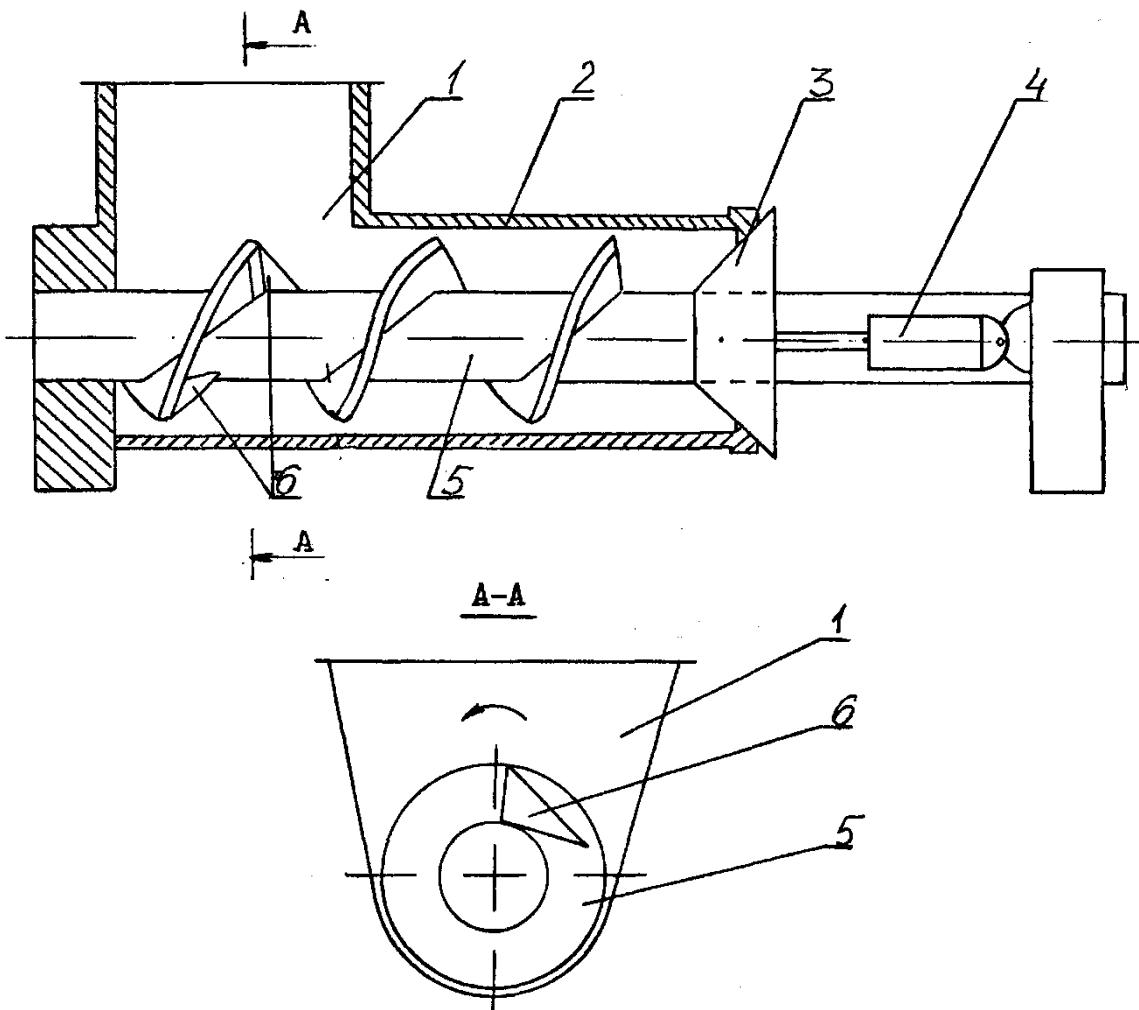


Рис. 1. Схема расположения лопаток на шнеке в загрузочной горловине пресса:  
1 – загрузочная горловина; 2 – зеерный цилиндр; 3 – запорный конус; 4 – гидроцилиндр запорного конуса;  
5 – шнек; 6 – лопатка захватывающая

По разработанной математической модели были выполнены расчеты траектории движения частицы зеленой массы в шнековом прессе по логарифмической спирали:

$$\rho = \rho_0 e^{\alpha\theta}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – расстояние частицы от оси на поверхности диска при полярном угле  $\theta = 0$ ;  
 $\alpha$  – некоторая постоянная, зависящая от угловой скорости вращения шнека и от начальных условий.

Для более достоверной оценки полученных результатов в данной программе траектория движения частицы разбивалась на секторы.

В нашем случае формула (1) имеет вид

$$R = ae^{bF}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиальная координата частицы;

$F$  – угловые координаты частицы для каждого сектора;

$a$  и  $b$  – параметры, определяемые значениями  $R$  и  $F$  для данного сектора траектории движения частицы.

Графические зависимости траектории движения частицы по логарифмической и архимедовой спиралью представлены на рисунке 2. Так как разница между ними практически отсутствует, то можно принять любую из них. Кривые, представляющие архимедову спираль, описываются некоторой точкой, движущейся по лучу на каждом из участков с постоянной скоростью, а у логарифмической спирали на каждом из участков сектора скорость изменения траектории движения частицы различная [8]. В связи с вышеизложенным более адекватно описывает траектории движения частицы корма по захватывающему рабочему органу логарифмическая спираль.

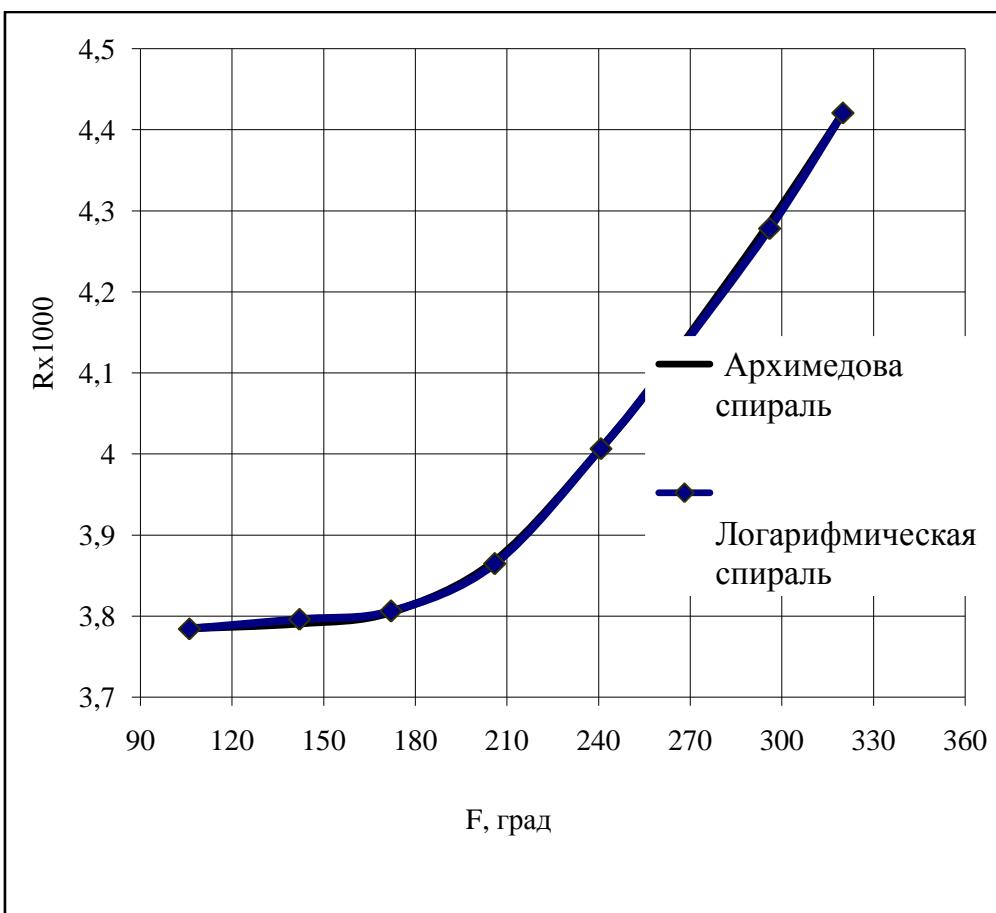


Рис. 2. Изменение траектории движения частицы по архимедовой и логарифмической спирали:  
 $n = 0,33 \text{ с}^{-1}$ ;  $F_0 = 90$  град;  $\alpha = 55$  град;  $S = 0,0187 \text{ м}^2$ ;  $R_1 = 0,044 \text{ м}$

На основании проведенных теоретических исследований и по полученным результатам вычислений были определены оптимальные параметры установки: частота вращения шнека  $n = 0,27\ldots0,4 \text{ с}^{-1}$ ; площадь лопаток  $S = 0,0112\ldots0,0187 \text{ м}^2$ ; число лопаток  $z = 1\ldots3$  шт.; угол наклона лопаток относительно витка шнека  $\alpha = 35\ldots55$  градусов.

Экспериментальные исследования по оценке равномерности распределения кормовой массы по периметру зернового цилиндра проводились на лабораторной и промышленной шнековых установках.

С целью оптимизации параметров и режимов работы системы питания установки в опытах реализовывался четырехфакторный эксперимент Бокса (Д-оптимального, плана). На основании изучения априорных данных, аналитических и экспериментальных исследований в качестве факторов были выбраны: частота вращения шнека; площадь, число и угол наклона лопаток относительно витка шнека; в качестве критериев оптимизации – коэффициент наполнения и удельная энергоемкость процесса. Для определения формы, угла атаки и шага установки лопаток использовался план однофакторного эксперимента.

Обработка экспериментальных данных производилась на ЭВМ ЕС-1022 по стандартным программам. В исследованиях использовалась зеленая масса горохо-овсяной смеси, измельченная кормоуборочным комбайном КСК-100.

Для нахождения рациональных параметров и режимов работы системы питания были получены математические модели, выражающие неравномерность распределения зеленых растений по периметру зернового цилиндра и удельную энергоемкость процесса.

Анализ моделей регрессии проводился методом двумерных сечений и позволил найти рациональные значения факторов, которые находятся в пределах: частота вращения шнека  $n = 0,33\ldots0,4 \text{ с}^{-1}$ ; площадь лопаток  $S = 0,017\ldots0,0187 \text{ м}^2$ ; число лопаток  $z = 2\ldots3$  шт.; угол наклона лопаток  $\alpha = 40\ldots50$  градусов. При этом критерии оптимизации составляют: коэффициент наполнения  $\psi = 0,83\ldots0,93$ ; удельная энергоемкость  $\mathcal{E} = 0,82\ldots0,93 \text{ кВт ч/т}$  готового корма.

После нахождения оптимальных значений факторов были проведены опыты для определения производительности, удельной энергоемкости, коэффициентов производительности и наполнения. Результаты исследований показали, что с увеличением частоты вращения шнека с 0,37 до 0,4  $\text{с}^{-1}$  производительность шнекового питателя при использовании лопаток возросла на 30...34 % при одновременном снижении энергоемкости процесса на 10...14 % и неравномерности распределения зеленых растений по периметру зернового цилиндра на 26–30 % по сравнению с базовым вариантом. Значение коэффициентов производительности и наполнения без и с захватывающим органом составили соответственно  $\phi_1 = 0,44\ldots0,46$ ,  $\mathcal{E}_1 = 0,60\ldots0,61$  и  $\phi_2 = 0,66\ldots0,69$ ,  $\mathcal{E}_2 = 0,81\ldots0,87$ .

Сопоставительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал, что разница между ними незначима (вероятность 95%). Это позволило сделать вывод о достоверности математической модели процесса транспортирования зеленых растений шнековым питателем.

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований для определения сопоставимости результатов экспериментов были проведены опыты на шнековом прессе ПЖН-68. Результаты исследований, проведенных на лабораторной установке, переносились на промышленный пресс через геометрическое подобие. При этом оптимальные значения факторов пресса составляли:  $n=0,34 \text{ с}^{-1}$ ;  $S=0,0201 \text{ м}^2$ ;  $z = 2$  шт.;  $\alpha = 50$ .

Сравнительная оценка показала, что расхождение результатов опытов, полученных на лабораторной установке и промышленном шнековом прессе, составила 15–17%, что удовлетворительно.

Для определения равномерности распределения влажности жома по сечению зернового цилиндра шнекового пресса без и с захватывающим органом были взяты анализы проб объемом выборки  $m = 30$  (на расстоянии 120, 200 и 280 мм от оси вращения шнека). Для проверки гипотезы о равенстве двух генеральных дисперсий  $\sigma^2_1$  и  $\sigma^2_2$  (без и с лопatkами) по известным выборочным дисперсиям  $S^2_1$  и  $S^2_2$  использовали распределение Фишера или F-критерий (нуль-гипотеза). В результате обработки данных получено расчетное значение  $F_{\text{расч}} = 8,17$  ( $S_1 = 2,94$  и  $S_2 = 0,36$ ). Табличное значение  $F_{\text{табл}} = 1,7$  при уровне значимости 0,05. Так как  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$ , то нулевую гипотезу считаем отброшенной. Из этого следует, что при использовании лопаток жом более равномерен по влажности при выходе его из зернового цилиндра шнекового пресса.

На рисунке 3 представлены результаты анализа влажности жома по сечению зернового цилиндра шнекового пресса в виде гистограмм и дифференциальных кривых.

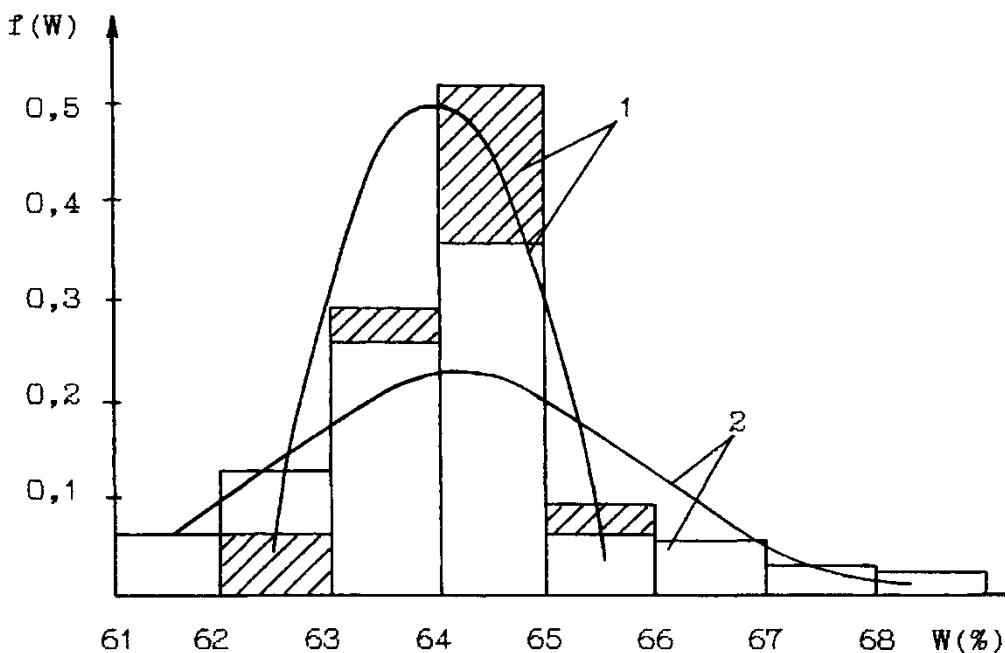


Рис. 3. Распределение влажности жома по сечению зеерного цилиндра шнекового пресса:  
1 – с лопаткой; 2 – без лопатки

По оси абсцисс отложены значения влажности проб жома, а по оси ординат нормированные плотности вероятности  $f(W)$ . Без лопаток разброс значений влажности зеленых растений по сечению зеерного цилиндра достаточно велик, что свидетельствует о неравномерности отжима. При использовании лопаток диапазон значений влажности значительно уменьшается и жом на выходе из шнекового пресса более равномерен по влажности.

Распределение влажности жома без и с захватывающим органом подчиняется нормальному закону распределения. Степень соответствия данных выборки теоретическим законам распределения проверялось по критерию  $\chi^2$  (хи-квадрат). В результате обработки данных получено расчетное значение  $\chi^2$  без лопаток и с использованием лопаток, которые составляют соответственно  $\chi^2 = 0,31$  и  $\chi^2 = 0,20$ . Расхождения эмпирических и теоретических частот для 5 %-го уровня значимости незначительные, а, следовательно, данные наблюдений согласуются с гипотезой о нормальном законе распределения случайных величин ( $\chi^2_{1KP} = 7,29 > \chi^2_{1PAC} = 0,20$  и  $\chi^2_{2KP} = 1,64 > \chi^2_{2PAC} = 0,31$ ).

С целью совершенствования существующих схем питания прессов, предназначенных для работы с различными видами растительного сырья, целесообразно использовать захватывающий рабочий орган, расположенный на витках шнека в зоне загрузочной горловины оборудования. Использование данной конструкции позволяет увеличить производительность шнековых устройств, при одновременном снижении энергоемкости механического обезвоживания растений. Предложенная рациональная конструктивно-технологическая схема питания шнекового пресса пригодна для реконструкции существующих и проектирования новых видов оборудования для механического обезвоживания растений.

#### Литература

- Цугленок Н.В., Матюшев В.В. Рекомендации по повышению эффективности использования технологий и технических средств производства экологически безопасных обезвоженных кормов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2004. – 60 с.
- Пройдак Н.И., Бондар А.А., Свотин В.П. Глубокая переработка люцерны в продукцию кормового и пищевого назначения // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2001. – № 5. URL: [http://chem.kstu.ru/butlerov\\_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vr8/8.htm](http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vr8/8.htm).
- Цугленок Н.В., Матюшев В.В. Технология и технические средства производства экологически безопасных кормов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2005. – 126 с.

4. Под科尔зин Ю.В., Жунусбаев Б.К. К исследованию системы питания пресса брикетировщика с неподвижной матрицей // Науч. тр. ЛСХИ. – Ленинград; Пушкин, 1977. – Т. 336. – С. 23–25.
5. Цугленок Н.В., Матюшев В.В. Система питания шнековых прессов в технологии производства обезвоженных кормов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2004. – 110 с.
6. Пат. РФ №2147992. Шнековый пресс для обезвоживания зеленой массы растений / Антонов Н.М., Матюшев В.В., Сорокин В.И. и др. № 98123857; заявл. 31.12.984; опубл. 2000; Бюл. №12.
7. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – Киев: Изд-во УАСХН, 1960. – С. 263.
8. Бронштейн И.Н., Семенджиев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.



УДК 631.535

*Н.В. Цугленок, В.В. Матюшев, Г.И. Цугленок, И.О. Богульский*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА И ЗАГОТОВКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОРМОВ**

*Представлены результаты обоснования и прогнозирования рациональной структуры производственных процессов производства и заготовки растительных кормов. Рекомендуемая методика энергетической оценки системы заготовки кормов позволяет исключать несовершенные операции в технологической линии.*

**Ключевые слова:** растительный корм, заготовка, рациональная структура, энергетическая эффективность, математическая модель.

*N.V. Tsuglenok, V.V. Matyushev, G.I.Tsuglenok , I.O. Bogulsskii*

## **OPERATIONAL PROCESS RATIONAL STRUCTURE FORECASTING FOR THE VEGETATIVE FORAGE PRODUCTION AND CONSERVATION**

*The results of substantiation and forecasting the rational structure of production operational processes and vegetative forage conservation are given. The recommended technique of the forage conservation system power estimation allows to exclude the imperfect operations in the technological line.*

**Keywords:** vegetative forage, conservation, rational structure, power efficiency, mathematical model.

---

Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве связан с разработкой и внедрением новых энергосберегающих технологий, машин и оборудования. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к технологиям, являются обеспечение комплектности и поточности выполнения всего технологического процесса в оптимальном режиме по экономическим, технологическим и энергетическим показателям, надежности их функционирования.

Технологические процессы, отвечающие этим требованиям, могут быть организованы при правильном обосновании количественного состава и основных параметров машин и оборудования, объединенных в поточные технологические комплексы. Необходимо учитывать и такую особенность машинных технологий, как технологическую связь с полеводством, в сфере которого производится сырье, идущее на приготовление кормов, и взаимодействие с биологическими объектами – животными, которыми полученные корма потребляются.

Вышеперечисленные факторы обуславливают необходимость использования при изучении, проектировании и оптимизации машинных технологий производства и заготовки кормов системного подхода. Машинная технология является центральным звеном этой системы, связывающая сырьевые ресурсы путем их трансформации в корма с животными и оказывающая на них существенное влияние, как путем непосредственного воздействия (скашивание, переработка), так и косвенного – через производимую продукцию (вид корма, его качество).