

**Библиографический список**

1. Афанасьев Л. Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов / Л. Л. Афанасьев, Н. Б. Островский, С. П. Цукерберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 333 с.
2. Бутузов Ю. В. Исследование процессов обоснования состава автомобильного парка и повышения эффективности перевозок в сельскохозяйственных предприятиях: дис...канд. техн. наук. – М., 1978. – 144 с.
3. Гоberman В. А. Автомобильный транс-

порт в сельскохозяйственном производстве: эффективность и качество работы, оценка и разработка организационно-технических решений / В. А. Гоberman. – М.: Транспорт, 1986. – 287 с.

4. Лейдерман С. Е. Эксплуатация грузовых автомобилей / С. Е. Лейдерман. – М.: Транспорт, 1966. – 152 с.

5. Пехутов А. С. Формирование автомобильного парка для работы в условиях колхозов и совхозов: дис... канд. техн. наук / А. С. Пехутов. – М., 1989. – 221 с.

УДК 631.363.21

**И. Б. Шагдыров, И. Я. Федоренко**

ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА им. В. Р. Филиппова», Улан-Удэ  
ФГБОУ ВПО «Алтайский ГАУ», Барнаул

### **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ТРЕХСТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ**

**Ключевые слова:** системный подход, структурно-логическая схема, этапы, математическая модель, факторы, энергоёмкость, степень измельчения, фуражное зерно.

*Представлены научно-методологические основы системного подхода к экспериментальным исследованиям трехступенчатого измельчителя фуражного зерна, позволяющего значительно уменьшить временные и материально-трудовые затраты на проведение экспериментов.*

**I. Shagdyrov, I. Fedorenko**

FSBEI HPT «Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov», Ulan-Ude  
FSBEI HPT «Altai State Agricultural University», Barnaul

### **SYSTEM APPROACH TO STUDY THE CRUSHING PROCESS OF FODDER GRAIN IN THREE-STAGE GRINDER**

**Key words:** system approach, the block diagram-logic, stages, mathematical model, factors, power consumption, degree of crushing, fodder grain.

*Presented scientific and methodological basis of system approach to experimental researches of a three-stage grinder of the fodder grain allowing considerably to reduce time and a material input-labor on carrying out of experiments.*

**Введение.** Для более глубокого изучения процесса измельчения фуражного зерна протекающего в трехступенчатом измельчителе, необходимо использовать системный подход к проводимым исследованиям.

Системный подход включает активное планирование эксперимента, разработку

математической модели и обработку экспериментов с использованием специальных программ для ЭВМ, с целью их интенсификации путем выбора оптимальных условий, в которых протекает данный процесс измельчения фуражного зерна.

Системный подход к эксперименталь-

ным исследованиям позволяет повысить производительность труда исследователя за счет обоснованного сокращения значительного числа опытов, а стало быть времени и материальных затрат на проведение экспериментов, а также позволяет принимать оптимальные решения после проведения каждой серии опытов, ставить цель и задачи для следующего этапа исследования [1].

**Методы исследования и их обсуждение.** На начальном этапе изучения трехступенчатого измельчителя, был проведен анализ зарубежной и отечественной литературы по измельчению материалов и фуражного зерна на корм скоту и птице. Рассмотрены и проанализированы: влияние измельченного и не измельченного фуражного зерна на продуктивность животных и птиц; научные исследования физико-механических свойств фуражного зерна; существующие теории по измельчению материалов и фуражного зерна; способы измельчения фуражного зерна; существующие технические средства по измельчению фуражного зерна; конструкции измельчителей многостадийного измельчения зерна.

Исходя из анализа литературных источников, нами была разработана квалификационная схема факторов, влияющих на эффективность работы трехступенчатого измельчителя при измельчении фуражного зерна [2]. Разработанная квалификационная схема факторов состоит из трех основных групп (технологической, механической и конструктивной), которые включают 20 факторов. На наш взгляд и по литературным источникам, данные факторы наиболее сильно влияют на эффективность работы трехступенчатого измельчителя.

С учетом квалификационной схемы факторов была разработана структурно-логическая схема системного подхода к экспериментальным исследованиям (рисунки 1).

Согласно разработанной структурно-логической схеме, проводились лабораторные исследования на экспериментальной лабораторной установке трехступенчатого

пенчатого измельчителя, которые включали следующие этапы проведения опытов.

**Первый этап.** С 20 ранее выбранными факторами квалификационной схемы был проведен психологический эксперимент с использованием метода «априорного ранжирования факторов». Данный метод основан на том, что факторы, которые по априори имеют существенное влияние на эффективность работы измельчителя, ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга-места, отведенному данному фактору специалистами, занимающиеся вопросами измельчения фуражного зерна с учетом их влияния на эффективность работы измельчителя. В результате проведенного эксперимента из 20 факторов для дальнейших исследований были определены 9 факторов, из них три фактора были исключены из дальнейших опытов:  $X_1$  – влажность зерна, так как ее величина ограничена ГОСТ 18691-73 (для зернового материала, подготовленного к измельчению, она должна составлять 12...14 %);  $X_{20}$  – прочность зерна, так как в основном эксперименте измельчению подвергался ячмень одного сорта. Критерием выбора данного сорта как основного зернового материала явились его высокие прочностные характеристики, типичность формы и геометрических размеров среди фуражных культур (пшеницы, овса и др.);  $X_7$  – форма отверстий решет, так как по априори данный фактор незначительно влияет на эффективность измельчения.

**Второй этап.** В связи с исключением из экспериментов трех выше названных факторов были изменены порядковые номера оставшихся в эксперименте факторов. Для выявления наиболее значимых факторов, сильно влияющих на энергоемкость процесса измельчения, был проведен отсеивающий эксперимент с шестью факторами методом «случайного баланса». Этот метод основан на том, что если факторы расположить в порядке убывания вносимого ими вклада в дисперсию параметра оптимизации, то полу-



Рисунок 1 – Структурно-логическая схема системного подхода к экспериментальным исследованиям трехступенчатого измельчителя

чится ранжированный ряд вида убывающей экспоненты. Не большим числом опытов воспроизводят этот ряд и при помощи регрессионного анализа оценивают наиболее значимые эффекты факторов на шумовом поле, создаваемом несущественными факторами. В результате проведенного эксперимента из шести линейных эффектов и большого числа эффектов взаимодействий с помощью метода «случайного баланса» для дальнейших исследований выделены четыре фактора, занимающие на диаграмме эффектов первые места:  $X_1$  – окружная скорость ротора;  $X_2$  – подача зерна в измельчитель;  $X_3$  – диаметр отверстий решет;  $X_4$  – высота рабочих органов.

**Третий этап.** После второго этапа проводился новый этап исследования – описание поверхности отклика, т.е. отыскание уравнения поверхности методом

«крутого восхождения по поверхности отклика в направлении градиента» (метод Бокса-Уилсона).

Цель данного этапа исследования заключалась в описании области минимальной энергоемкости процесса измельчения.

В план проводимого эксперимента были включены четыре фактора, выявленные по результатам двух этапов с использованием полно факторного эксперимента типа  $2^n$ . При реализации данного эксперимента было получено уравнение регрессии первой степени:

$$Y = 5,521 + 0,404X_1 + 0,221X_2 - 0,51X_3 + 0,213X_1X_3 + 0,12X_1X_4 + 0,13X_2X_3 - 0,149X_3X_4 \quad (1)$$

Проверка адекватности линейной модели (1) не была принята, т.к. во-первых, оказались значимы большинство эффектов взаимодействий, во-вторых, расчетное значение F-критерия Фишера значи-

тельно превышает табличное для 5% -ного уровня значимости.

**Четвертый этап.** После третьего этапа, при недостаточности линейного приближения поверхности отклика проводился новый этап исследования – описание почти стационарной области уравнениями регрессии второго порядка. Задачей данного этапа исследования ставилось де-

тальное изучение области оптимума с целью получения адекватных математических моделей удельной энергоемкости процесса и степени измельчения. Для реализации данного этапа исследования был принят близкий к D-оптимальному план типа  $B_4$ , построенный на гиперкубе, и разработана структурная схема экспериментальных исследований (рисунок 2).

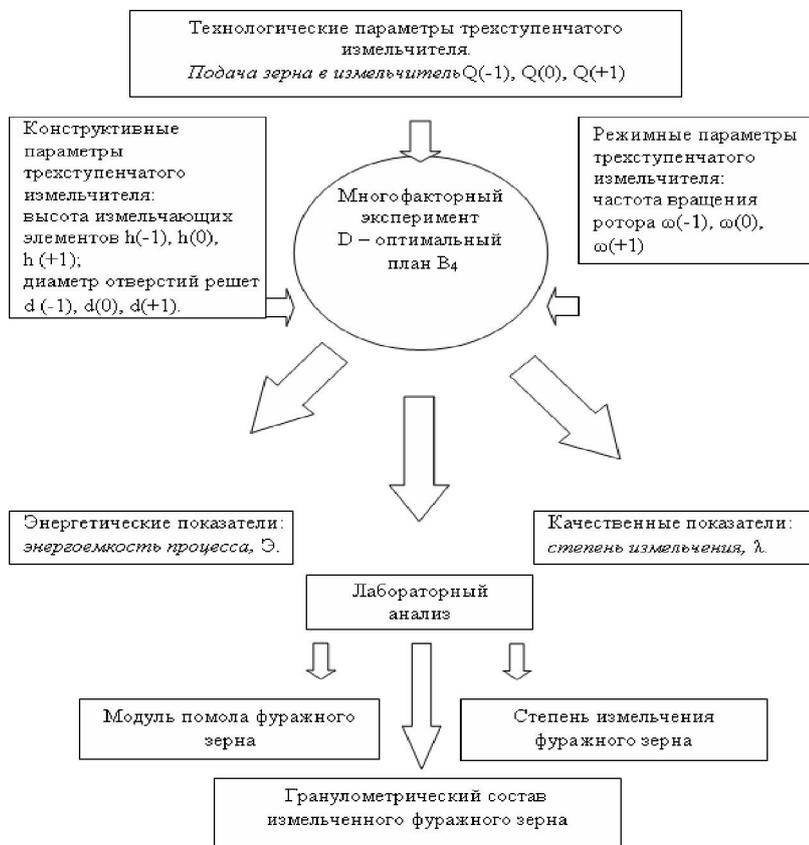


Рисунок 2 – Структурная схема экспериментального исследования рабочего процесса трехступенчатого измельчителя

Для этого были определены конструктивные, режимные и технологические параметры, обоснованы уровни их варьирования, приняты параметры оптимизации процесса и методы лабораторного анализа проводимых опытов.

В качестве параметров оптимизации процесса измельчения были приняты удельная энергоемкость процесса и степень измельчения фуражного зерна.

**Пятый этап.** Обработка математических моделей по удельной энергоемкости процесса и по степени измельчения проводилась в следующей последовательности: определение численных значе-

ний коэффициентов регрессии; статистический анализ уравнений регрессий; проверка гипотезы адекватности моделей второго порядка с помощью F-критерия; значимость коэффициентов регрессии по t-критерию.

При обработке экспериментальных данных на ЭВМ были получены уравнения регрессии (2 и 3), адекватно описывающие процесс измельчения фуражного зерна в трехступенчатом измельчителе.

Математическая модель, описывающая удельную энергоемкость процесса с учетом степени измельчения зерна, имеет вид полинома второй степени:

$$\begin{aligned} \Xi = & 2,711 + 0,091X_1 - 0,089X_2 - 0,909X_3 + 0,309X_4 - 0,173X_1X_2 + \\ & + 0,277X_1X_3 - 0,051X_1X_4 - 0,079X_2X_4 - 0,154X_3X_4 + 0,884X \frac{2}{1} + 0,399X \frac{2}{2} + \\ & + 0,949X \frac{2}{3} + 0,354X \frac{2}{4} \end{aligned} \quad (2)$$

Математическая модель, описывающая качественную характеристику процес-

$$\begin{aligned} \eta = & 3,38 + 0,51X_1 - 0,48X_2 - 0,41X_3 - 0,25X_4 - 0,07X_1X_4 + 0,09X_3X_4 - 0,23X \frac{2}{1} \\ & 0,43X \frac{2}{3} - 0,36X \frac{2}{4} \end{aligned} \quad (3)$$

**Шестой этап.** В зависимости от вида математических моделей имеются несколько методов поиска экстремума в n-мерном пространстве. В проводимом исследовании для обоснования конструктивно-режимных и технологических параметров трехступенчатого измельчителя наиболее доступны методы обработки поверхностей отклика в двух- и трехмерном пространстве при большом числе переменных.

**Седьмой этап.** Определение оптимальных параметров и режимов работы трехступенчатого измельчителя проводилось с использованием двумерных сечений при стабилизации двух факторов на нулевых уровнях. Рассмотрев и проанализировав все двумерные сечения в совокупности, друг с другом, нами были определены пределы оптимальных значений всех четырех факторов по удельной энергоёмкости процесса измельчения:

- частота вращения ротора,  $\omega_p = 248,25 \dots 267,63 \text{ с}^{-1}$ ;
- подача зерна в измельчитель,  $Q = 2,4 \dots 2,8 \text{ т/ч}$ ;
- диаметр отверстий решет,  $d = 2,5 \dots 3,5 \text{ мм}$ ;
- высота рабочих органов,  $h = 11,5 \dots 12 \text{ мм}$ .

При этих пределах изменения факторов обеспечивается получение измельченного фуражного зерна, отвечающего зоотехническим требованиям для различных видов, групп, возраста животных и птиц при минимальной удельной энергоёмкости процесса измельчения  $\Xi = 2,44 \dots 2,72 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т ед. ст. изм.}$

На основании проведенного анализа двумерных сечений в совокупности, друг с другом, нами были определены преде-

са измельчения, т.е. степень измельчения, имеет вид полинома второй степени:

лы оптимальных значений всех четырех факторов по степени измельчения:

- частота вращения ротора,  $\omega_p = 261 \dots 314 \text{ с}^{-1}$ ;
- подача зерна в измельчитель,  $Q = 2,25 \dots 3,5 \text{ т/ч}$ ;
- диаметр отверстий решет,  $d = 3,1 \dots 3,87 \text{ мм}$ ;
- высота рабочих органов,  $h = 11,5 \dots 16,5 \text{ мм}$ .

При этих изменениях факторов обеспечивается получение измельченного зернового продукта, отвечающего зоотехническим требованиям со степенью измельчения  $\eta = 3,25 \dots 3,69$ , что соответствует ГОСТ 8770-72 для мелкого, среднего и крупного помола.

**Заключение.** Использование системного подхода в экспериментальных исследованиях позволило определить оптимальные конструктивно-режимные и технологические параметры трехступенчатого измельчителя, а также поэтапно и обоснованно сократить количество проводимых опытов, тем самым значительно уменьшить временные и материально-трудовые затраты на проведение экспериментальных исследований в сравнении с принятым классическим подходом.

#### Библиографический список

1. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168с.
2. Шагдыров И. Б. Обоснование технологического процесса измельчения фуражного зерна в трехступенчатом измельчителе: монография [Текст] / И. Б. Шагдыров // Бурятская гос. сельскохозяй. акад. – Улан-Удэ: БГСХА, 2006. – 111 с.