РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“

Факултет „Аграрно-индустриален”

Катедра „Земеделска техника”

маг. инж. Милен Александров Овчаров

СРАВНИТЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОБОСНОВАВАНЕ НА УСТРОЙСТВО ЗА НАСИТНЯВАНЕ НА ФУРАЖИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научна степен

“ Д О К Т О Р ”

Русе, 2016 г.

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“

Факултет „Аграрно-индустриален”

Катедра „Земеделска техника”

маг. инж. Милен Александров Овчаров

СРАВНИТЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОБОСНОВАВАНЕ НА УСТРОЙСТВО ЗА НАСИТНЯВАНЕ НА ФУРАЖИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научната степен

“ Д О К Т О Р “

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Научна специалност: “Селскостопански и хидромелиоративнивни машини”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

проф. д-р инж. Борис Георгиев Борисов

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1.
2.

Русе, 2016 г.

Трудът е написан на 182 страници и включва 82 фигури и 58 таблици. Основният текст на труда е оформен на 161 страници и се състои от увод, четири глави, общи изводи, приложения и библиография, която обхваща 147 литературни източника, от които 110 на кирилица, 31 на латиница и 6 интернет адреса. Номерата на включените в автореферата фигури и таблици съвпадат с тези в дисертационния труд.

Лабораторните изследвания по дисертацията са извършени в катедра "Земеделска техника" на Русенския университет "А. Кънчев". Производствените изследвания са провеждани във фирма: "Агроремпроект-98"-АД , гр.Русе; ЦИЗГТРЧ – гр.Русе и в базата на ЗП „Тодор Пантелеев" гр.Бяла, Русенско.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от научно звено, включващо преподаватели от катедра "Земеделска техника" и специалисти от други катедри на Русенския университет „Ангел Кънчев", състояло се на 12.05.2016 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред научно жури, назначено със заповед на г-н ректора на Русенския университет, на…….. г. от…….....часа, в зала …….., корпус …… на Университета.

Материалите по докторантурата са на разположение на заинтересованите лица в канцеларията на катедра "Земеделска техника".

Авторефератът е публикуван в сайта на отдел "Развитие на академичния състав" на Университета.

Автор: **маг. инж. Милен Александров Овчаров**

Заглавие: **Сравнителни изследвания и обосноваване на устройство за наситняване на фуражи**

Тираж: 40 бр.
Проект, оформление и предпечатна подготовка: авторът.
Дадено за набор и излязло от печат: 2016 г.
Издателски център на Русенски Университет "Ангел Кънчев".

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Наситняването е процес на разрушаване на твърдите тела до зададени по-малки размери, съгласно изискванията (технологични, зоотехнически и др.), при който се изразходва значително количество енергия. Това се отнася и до наситняването на фуражите. Ето защо търсенето на начини и средства за намаляване на специфичния разход на енергия е актуален проблем, особено за проектанти, конструктори, инженери и специалисти, осигуряващи необходимата техника за животновъдството [4,5,10,36,37]. Необходимо е да се познава и анализира по-добре механизмът и същността на процеса на наситняване и влиянието на различните фактори върху протичането му, за да може той да се управлява, т.е. да се наситнява толкова колкото е обосновано необходимо.

Оптимизирането на процеса наситняване на фуражите е гаранция за ефективност в животновъдството, а тенденцията относно наситняващите машини е да работят при по-високи производителност и качество.

Използваните от фермерите устройства за наситняване не винаги са ефективни, поради значителното количество енергия, изразходвано при процеса наситняване. Нейната същност почти винаги остава скрита за неспециалистите, а стойността й се заплаща по косвен път. Себестойността на крайния продукт в голяма степен се влияе и от цената на отделните видове машини (резачки, раздробители, фуражомелки, комбинирани наситняващи машини).

Този дисертационен труд си поставя за цел създаване на устройство за наситняване на фуражи с използване на комбиниран работен орган. Устройството съчетава принципите на двустепенно въздействие - нарязване в първа степен и последващо омекотяване на нарязаните частици във втора степен, осъществявано между подвижни чукове и неподвижни ножове. Работният процес се извършва при минимален специфичен разход на енергия и получаване на качествен фураж, отговарящ на зоотехническите изисквания при хранене на животните.

Цел и задачи на дисертационния труд.

Целта на изследванията е да се установят и оптимизират основните параметри на устройство с вертикален вал за наситняване на груби и концентрирани фуражи.

За постигане на тази цел следва да се решат следните основни задачи:

1. Да се извърши сравнителна енергетично-качествена оценка на машини за наситняване на фуражите, произвеждани у нас.
2. Чрез предварителни лабораторни изследвания със слама и царевичак, и еднофакторни експерименти да се обосноват принцип на рязане и основни конструктивни параметри на нарязващо устройство.
3. Да се обоснове конструктивно-технологична схема и се изработи устройство за наситняване на фуражи с комбинирани функции.
4. Да се проведат изследвания, чрез многофакторни експерименти при наситняване на слама, царевичак и зърно.
5. Да се оптимизират основните параметри на създаденото комбинирано устройство за наситняване на фуражите.
6. Да се проведат изследвания за определяне едрината на наситнен груб фураж, чрез устройство за разделяне на фракции (класификатор) като

се разработи метод и обоснове критерий за комплексна оценка на наситняващи машини с отчитане и на зоотехническите изисквания при хранене на животните.

Методи на изследването

Изследването е изградено на теоретична и на експериментална основа в лабораторни и реални производствени условия. Основните методи, приложени при решаването на задачите в дисертационния труд, са: сравнителен анализ, моделиране, симулация, експериментални изследвания, графична и статистическа обработка на получените резултати. За статистическата обработка и визуализиране на резултатите са използвани програмите „Statistica 10” и „Mathcad”. За моделиране на процеса и определяне на оптималния режим на работа на създаденото устройството за наситняване е използван програмнен продукт разработен от катедра “Компютърни системи и технологии” на РУ”А.Кънчев”. Експерименталните изследвания с планирани еднофакторни и многофакторни експерименти са проведени в лабораторни и производствени условия.

Научна новост

Теоретично и конструктивно е обоснован принципът за рязане с ъгъл на приплъзване 30^0 от нож с праволинейно острие, като ефективен и подходящ за практическо приложение. Избрано е подходящо конструктивно решение с комбиниране на ножове за нарязване и чукове за омекотяване (смилане) на фуража, осигуряващо минимален разход на енергия и необходимо качество. Обосновано е използването на двустепенно въздействие върху материала. Чрез планирани експерименти, при наситняване на слама, царевичак и царевично зърно, са оптимизирани стойностите на основните параметри и изследвани критерии, като: честотата на въртене, натоварването и броят на ножовете за работа с оптимална производителност при минимален специфичен разход на енергия.

Приложимост и полезност

Създадени са опитни уредби за провеждане на еднофакторни и многофакторни планирани експерименти в лабораторни и производствени условия. Представени са резултати за силата на рязане на сламки от пшеница и царевични стебла от ножове с праволинейно и криволинейно острие.

Изработена е конструкция на опитна уредба с разширени възможности за наситняване на груби и зърнени фуражи, работеща с комбинирани работни органи от ножове и чукове. Компановката на създаденото устройството за наситняване е с вертикален вал на задвижване, отворена работна камера и възможност за работа при двустепенно въздействие върху материала. Чрез проведени експерименти и многокритериална оптимизация са получени адекватни математически модели за специфичния разход на енергия и производителността и са определени оптималните им стойности.

Установени са основните енергетични и качествени показатели при работа в производствени условия, които са в съответствие за минимален специфичен разход на енергия при спазване на зоотехническите изисквания.

Създадена е конструкция на опитна уредба (класификатор) за механично разделяне на фракции на нарязани груби фуражи. Експериментално са установени оптималните стойности на кинематичните показатели за работа на класификатора, при които той работи с максимална разделитена способност.

Разработен е метод за енергетично-качествена оценка на наситняващи машини. Чрез проведени сравнителни изследвания е предложен критерий за комплексна качествена оценка, включващ специфичния разход на енергия и едрината (модула), в съответствие със зоотехническите изисквания за хранене на животните.

Апробация

Основните части на дисертационния труд са докладвани и публикувани на национални и международни научни конференции в Русенски университет "Ангел Кънчев" през 2013, 2014 и 2015 г., на Международна научно-техническа конференция "Машини за селското стопанство", Варна, 2014. Има направени публикации в научни списания в България и в чужбина на английски език.

Публикации

Резултатите от дисертационния труд са публикувани в 8 статии и доклади в научни сборници и списания, издадени в България и чужбина.

Обем и структура на дисертацията

Дисертационния труд е в обем 182 страници, в т.ч.: увод, четири глави, общи изводи, библиографска справка от 147 литературни източника и 9 броя приложения.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава I. АНАЛИЗ НА МЕХАНИЗАЦИЯТА ЗА ПРИБИРАНЕТО, СКЛАДИРАНЕТО, СЪХРАНЕНИЕТО И ОБРАБОТКАТА НА ФУРАЖИТЕ

Масово използваните груби фуражи за преживните селскостопанските животни са сеното, царевичакът, слънчогледовите пити, плявата, сламата. При тях количеството на достъпните за усвояване и потенциално смилаеми въглехидрати съставляват от 60 до 75% от сухата маса, а лигнина и целулозата от 15 до 41%, съдържанието на протеин се движи между 4 и 12,5% [7].

Пшеницата е основната култура отглеждана в България средно от 11-12 милиона дка засети площи [31]. Зърното от сортовете с ниски хлебопекарни качества се използва за фураж. Ценен белтъчен фураж за животните са триците. Количеството получавана слама средно е в съотношение 1:1 от добива на зърно

Слънчогледът е култура, която присъства във фуражните дажби на животните - слънчогледовите пити, слънчогледови люспи, фуражни дрожди и др. със засети площи около 5,5 - 5,6 милиона дка. Слъчогледовите пити с част от стеблата и отсевките са ценен фураж за преживните животни, особено за овцете. При прибиране на слънчогледа с комбайните, обаче те се изхвърлят на полето и не е възможно тяхното прибиране.

Царевичакът е най-ценната фуражна култура. Той има повече от 2,5 пъти по-висока хранителна стойност от сламата и може да бъде използван вместо нея като груб фураж, обогатен с протеини, минерални вещества, витамини и др. Нарязването му има значение за по-пълното му оползотворяване от животните, както и за по-доброто му смесване с други добавки и силажиране [23].

Правилното използване на грубите фуражи е свързано със своевременно прибиране, складиране, преработване и съхранение на сламата, сеното, царевичака, слънчогледовите пити и други. Това се постига чрез разработване и внедряване на нови и ефективни машини и технологии с

цел намаляване на себестойността и повишаване на качеството на фуражите.

За увеличаване производството на животинска продукция се налага по-нататъшна интензификация на фуражопроизводството и много по-високи темпове на нарастване обема на използваните фуражи и значително подобряване на тяхната хранителна стойност. Тези задачи могат да бъдат решени чрез внедряване на прогресивни технологии и сортове растения за увеличаване както на количеството, така и на качеството на фуражите.

Чрез механичната обработка на грубите фуражи се постигат следните резултати: въздейства се върху структурата на фуража, като се разкъсват и стават по-слаби връзките в целулозо-лигнитния комплекс и се осигурява възможност за по-добро смесване; фуражът се консумира с по-малки загуби в по-големи количества, при което се намалява разходът на енергия за сдъвкване и преживяне; използването на наличните груби фуражи, подходящо обработени за хранене на преживни животни създава възможност за намаляване на площите заети от фуражни култури.

При създаване и използване на нови машини за обработка на груби фуражи е необходимо да се познават техните основни физични и механични свойства.

При наситняването на фуражите както на грубите, така и на концентрираните от голямо значение са дължината и диаметърът на наситнените частици, които оказват влияние върху прираста на животните. За различните видове преживни животни дължината на частиците има пряко отношение за смилаемостта на хранителните вещества. Тя може да варира в интервала 20÷50 mm. Редица изследователи [47,55,60,107,126,131] потвърждават, че финото смилане на грубите фуражи (под 6 mm) снижава рязко (до 10÷15%) усвояемостта на хранителните вещества. Това се обяснява с по-бързото преминаване на дребните частици през храносмилателния тракт.

За наситняване на грубите фуражи се използват специализирани машини - стационарни, навесни, прикачни, самоходни резачки, универсални устройства, подбирачи-раздробители, силажокомбайни и др. По принцип основните машини, които се използват у нас за тази цел се характеризират със сравнително ниска производителност и висок специфичен разход на енергия, което се отразява неблагоприятно върху икономическата ефективност на целия процес. Масово използваните машини за механична обработка се характеризират с висока металоемкост, работят с висок разход на енергия и не винаги осигуряват необходимото качество на обработвания фураж в съответствие със зоотехническите изисквания.

Най-нисък специфичен разход на енергия и универсалност при работа може да се постигне при използването на апарати за комбинирано наситняване, при които последователно на етапи става нарязването на стеблата от фуража. Установено е [7], че по принцип разходът на енергия за наситняването намалява при конструкции на машини, в които е заложено многостепенно наситняване (дву и три степенно) в отворена работна камера (без сита). Подходящо е съчетаването на предварително грубо раздробяване на постъпващия фураж със същинско нарязване и окончателното наситняване в комбинация с надлъжно разцепване и омекотяване на частиците, особено при обработката на обемистите и грубите фуражи, необходими при хранене на преживните животни. Ефективно е използването на комбинирани работни органи с ножове и чукове за омекотяване на масата от чуковете, съчетани и с едновременно изхвърляне (транспортиране) на инерционно-пневматичен принцип, с цел товарене в ремарке или друго съоръжение [6, 25, 59,73]. Същите апарати без или със смяна на ножовете могат да се използват и за смилане на

концентрирани (зърнени) фуражи при регулиране на едрината чрез набор от различни сита. В такива конструкции наситняващи машини, работната камера е със ситовата повърхност и се класифицира от „затворен” тип. По принцип с по-високи производителност и коефициент на полезно действие (КПД) работят машините за наситняване на грубите фуражи с „отворен” тип работна камера, т.е. когато работят без сита. По изключение и компромисно в някой конструкции се използват сита, с цел да има възможност и за регулиране на едрината при наситняването и то особено при смилане на концентрирани (зърнени) фуражи.

Получаването на качествени фуражи (съгласно зоотехническите изисквания), при минимален специфичен разход на енергия, е свързано с използването на подходящ принцип на наситняване, компановка на машината и вид на работните органи, при теоретично и експериментално обосновани размери и режими на работа. Масово използваните класически апарати (дискови и барабанни), независимо от постоянното им усъвършенстване, не винаги са подходящи за ефективно наситняване на фуражите, особено за потребностите на по-малките ферми и дребни фермери [8,24,73,127]. По принцип неправилно е използването на чукови апарати за наситняване на груби фуражи (слама, сено, царевичак и др.), тъй като не е ефективно да се извършва рязане с тъпи ножове (чукове). Стъблата се натрошават при многократните удари (когато са сухи), при което се увеличава прахобразната фракция, а при повишена влажност на фуража се стига и до откази поради задръстване на машината. Такъв процес се извършва с няколкократно по-висок разход на енергия от нормалното рязане, при което наличието на прахообразна фракция в готовия фураж е над допустимия процент. В съответствие със специфични зоотехнически изисквания по отношение на храненето на животните, е необходимо наситненият груб фураж да бъде и омекотен с надлъжно разцепване на нарязаните частици, което е предпоставка за по-пълното усвояване от някои категории животни, например при храненето на овцете. Този ефект не може да бъде постигнат от класическите нарязващи апарати, работещи само с ножове (барабанни, дискови и др.) [4,6,8,127].

Висока производителност и нисък специфичен разход на енергия при работа на машините за наситняване на грубите фуражи се получава при отворен тип работна камера, т.е. когато работят без сита. По изключение, с цел универсалност на конструкцията за наситняване и на концентрирани фуражи, работната камера може да бъде затворена чрез различна по вид ситова повърхност, според изискванията за необходима едрина на готовия фураж.

От направения в първа глава анализ на механизацията на прибирането, складирането, съхранението и обработката на грубите фуражи са дефинирани следните изводи:

1. Прибирането на грубите фуражи във вид на малки паралелепипедни бали, масово прилагаща се у нас технология, е сравнително неефективна, свързана и с висок разход на труд.

2. Технологията за прибиране на грубите фуражи във вид на рулонни бали е сравнително по-ефективна и с необходимия комплекс от машини е намерила широко приложение, както у нас така и в чужбина.

3. Установено е, че икономически най-ефективна е технологията за прибиране на грубите фуражи в нарязано състояние, при която в сравнение с масово прилаганата при прибиране на сламата, разходите на труд се намаляват с до 72 %, а приведените разходи с до 50 %.

4. Установено е, че грубите фуражи, подходящи за животновъдството не се оползотворяват напълно и ефективно поради липса на подходящи

технологични и технически решения (технологии и машини) за прибиране, съхранение и обработване.

5. В практиката липсват ефективни универсални и комбинирани устройства за наситняване на различни по вид и състояние фуражи (груби и концентрирани).

6. Установено е, че при наситняването на груби фуражи разходът на енергия намалява, в които е заложено многостепенно наситняване (дву- и три-степенно) и отворена работна камера (без сита).

7. Необходими са по-задълбочени изследвания на процесите при рязане на грубите фуражи и търсене на възможности за използване на комбинирани работни органи в наситняващите машини за нарязване с омекотяване на груби и смилане на зърнени фуражи.

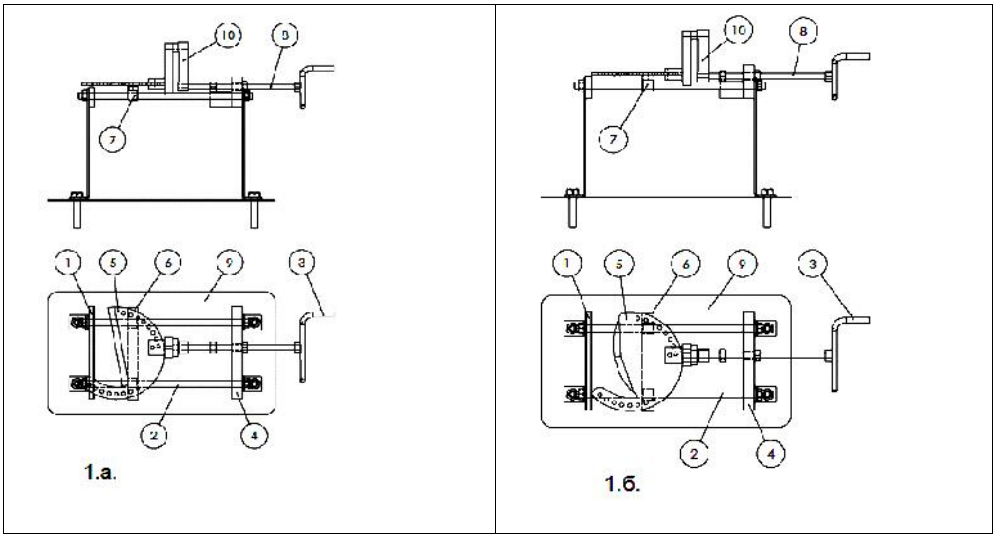
Глава II. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За обект на изследването са избрани грубите и концентрираните фуражите.

За предмет на изследването са определени основните параметри на създадените опитни уредби.

При лабораторните изследвания е използван груб фураж от пшеничена слама и царевичак.

Лабораторните изследвания бяха проведени с опитната уредба (фиг. 2.1.), работеща в полустационарен вариант, състояща се от носеща рама, на която са закрепени две успоредни направляващи - 2. Върху направляващите е монтирана опора - 6, която чрез втулки – 7, може да извършва праволинейно движение по цялата дължина на направляващите. За провеждане на опитите се използват работни органи - 5 (ножове), два вида, единият е с праволинейно, а другият с криволинейно острие. И двата ножа имат технологични отвори за промяна ъгъла на приплъзване при рязане през 5° в диапазона от 0÷70°.



Фиг. 2.1. Схема на опитна уредба за лабораторни сравнителни изследвания на различни принципи на рязване:

1.а – за изследване на нож с праволинейно острие;

1.б – за изследване на нож с криволинейно острие

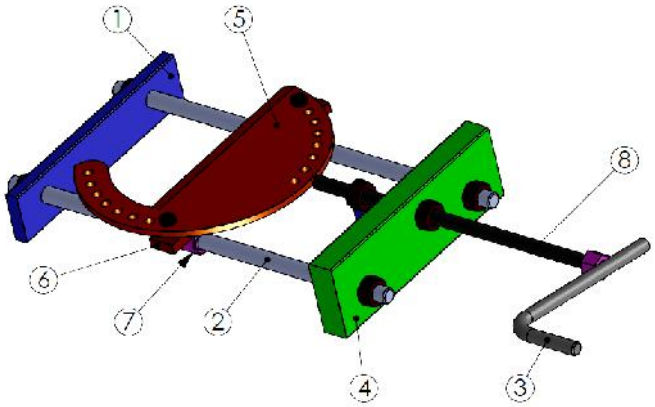
1 - Опора предна. 2 - Направляваща. 3 - Ръкохватка. 4 - Опора задна. 5 - Нож. 6 - Опора. 7 - Втулка направляваща. 8 - Винт. 9 - Основа. 10 - Сензор за натиск.

Ножовете се закрепват върху опората, на която също има изработени технологични отвори. Към подвижната двойка опора - нож се монтира сензор за натиск - 10, който чрез компютърна програма непрекъснато отчита силата на натиск по време на рязането. В единия край на опитната уредба е монтирана винтова двойка, чрез която при провеждане на опитите се притиска сензорът за натиск, а чрез него и острието на ножа към материала до неговото срязване. Двойката опора - нож извършва праволинейно движение в посока на контраножа. Контраножът е подвижен с цел да се регулира хлабината между него и ножа.

За измерване на натиска при процеса срязване е използвана тензометрична уредба с включен сензор, съвместно разработена от колектив на РУ "А. Кънчев". Данните получени при опитите са в mV, а за да могат да се записват като стойност и да се обработват, се използва усилвател на сигнала разработен в катедра „Компютърни системи и технологии" на РУ. Усилвателят преобразува сигнала и посредством модула National Instruments NI USB-6009, данните се записват в реално време с честота 25 Hz , чрез създадена програма за програмния продукт LabVIEW [11,14].

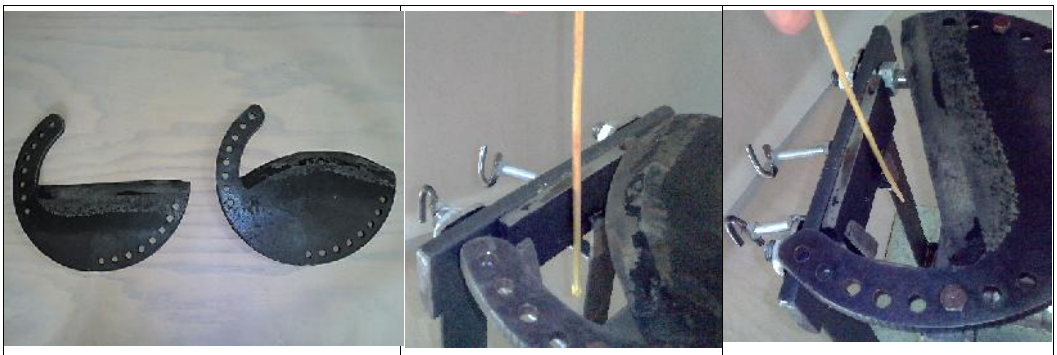
На базата на изложеното до тук и направените констатации и изводи, колектив при катедра „Земеделска техника" на Русенски университет „Ангел Кънчев" проектира и разработи конструкция на опитна уредба (фиг. 2.2), за предварителни и лабораторни изследвания при нарязване на различни видове груби фуражи. С нея има възможност да се прилагат различните принципи на рязане.

Проведени са опити в лабораторни условия с два вида ножове (с праволинейно и криволинейно острие, фиг.2.3). Експериментите са провеждани при перпендикулярно (нормално) рязане т.е. ъгълът на приплъзване $\tau = 0$ и наклонено рязане с промяна на ъгъла през 5º в диапазона от 5º до 55º, с 24 повторения за всеки опит. Преди всяка серия от опити се извършваше тариране на сензора.



Фиг. 2.2. Общ вид на опитна уредба за лабораторни сравнителни изследванияна различни принципи на рязване

1.Опора предна; 2.Направляваща; 3.Ръкохватка; 4. Опора задна;
5. Нож; 6.Основа; 7. Втулка направляваща; 8. Винт.



а.	б.	в.

Фиг. 2.3. Експериментални ножове
а - Общ вид на ножовете;
б – Експеримент с нож с криволинейно острие;
в – Експеримент с нож с праволинейно острие.

Проектирана е конструкция на наситняваща машина за фуражи с комбиниран наситняващ апарат и с възможност за работа при двустепенно наситняване (фиг. 2.8).

Техническата характеристика на опитната уредба е представена в табл. 2.1. Първоначално след подаването фуражът се нарязва в първата степен само от ножове, а след това във втората степен нарязаните частици се омекотяват и надлъжно разцепват от въздействието на пакетите от чукове и контраножове. Дължината на нарязаните частици (модулът) може да се регулира с промяната на броя на ножовете и/или контраножовете. Конструкцията на опитната уредба позволява, с подходяща приставка и шибър, поставени в приемната камера и комплект сменни сита на изхода, да се наситняват и зърнени фуражи (концентрирани).

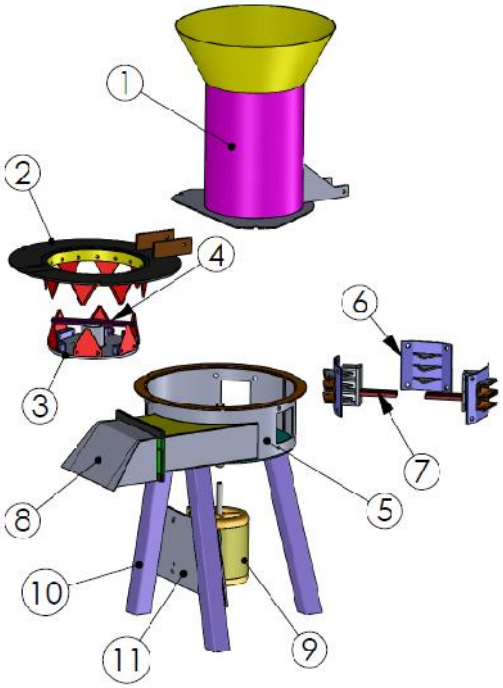
Колектив при катедра „Земеделска техника” на Русенския университет „Ангел Кънчев” проектира и разработи конструкция на опитна уредба (фиг. 2.8), за експериментални изследвания при нарязване на различни видове груби фуражи.

В конструкцията на опитната уредба е заложена възможността за използване на работна камера от „отворен” или „затворен” тип, съответно за наситняване на груби или концентрирани фуражи.

2.1.3. Опитна уредба на класификатор за разделяне на фракции на наситнени груби фуражи.

В резултат на извършеното проучване и анализ на известни конструкции класификатори за разделяне на фракции на наситнени груби фуражи, беше проектирана и разработена опитна уредба на класификатор за провеждане на изследвания (фиг. 2.10).

При съществуващите известни методи, разделянето на фракции по дължина на частиците се извършва с триори предназначени за семена, класификатори за определяне на модула при наситнени концентрирани фуражи, чрез използване на метода за ситов анализ. Опитите за разделяне с плоски сита изискват сложна методика при много ограничителни условия [10].



Фиг. 2.8. Схема на комбиниран устройство за двустепенно наситняване на фураж:

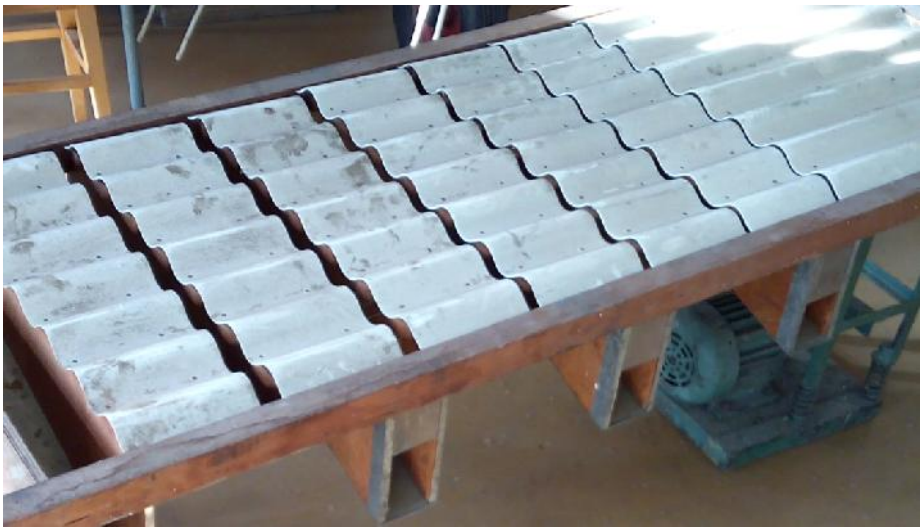
1. Камера приемна; 2. Капак с ножове; 3. Диск наситняващ; 4. Нож; 5. Корпус; 6. Пакет контра ножове; 7.Пакет чукове; 8. Улей; 9. Ел.двигател; 10. Крак опорен; 11. Плоча за ел. двигателя.

Таблица 2.1.

Основни технически характеристики на създадената опитна уредба.

Параметри	Стойности
Диаметър на мнотираните контраножове, осигуряващи рязането в първата степен	314 mm
Количеството на контраножовете	9 бр.
Диаметър на монтираните ножове на диска, осигуряващи рязането в първата степен	300 mm
Количество на ножовете	6 бр.
Диаметър на монтираните пакети чукове, осигуряващи въздействие върху материала във втората степен	440 mm
Количество на пакетите чуковете	2x4 бр.
Количество на пакетите контраножове, осигуряващи въздействие върху материала във втората степен	3x3 бр.
Диаметър на работната камера	460 mm
Височина на работната камера	150 mm
Диаметър на приемната камера(захранващата тръба)	260 mm
Височина на опитната уредба	1170 mm
Широчина на опитната уредба	780 mm
Дължина на опитната уредба	500 mm
Маса на опитната уредба	72 kg (без ел. двиг.)
Инсталирана мощност	2,2 kW
Изходящ отвор	
– обхват от периферията на камерата	77°
– височина	110 mm

Предложен е механичен принцип, изпълняван от конструкцията на опитна уредба. Процесът на разделяне протича в следната последователност - нарязаните частиците от пробата (извадката) се полагат върху вълнообразната повърхност с надлъжни канали, която извършва възвратно-постъпателни колебания с установена честота (фиг.2.10). Под действието на хоризонталните колебания частиците се ориентират в каналите с надлъжната си ос по посока на колебанията и се преместват по наклона на повърхността, без подхвърляне.



Фиг. 2.10. Общ вид на класификатора.

Разделянето на частиците по дължина става от оформените напречни прорези с различени размери съответно 3mm, 7mm, 9mm, 15mm, 23mm и 25mm, съответстващи на фракциите (класовете) със средна дължина на частиците съответно 6mm, 30mm, 50 mm и над 50 mm.

2.2. Условия за провеждане на изследванията, обща методика и използвана апаратура.

Изследванията са проведени в катедра „Земеделска техника” при Русенски университет, фирма „Агроремпроект – 98” АД гр. Русе и в базата на ЗП „Тодор Пантелеев” гр.Бяла, Русенско.

2.2.1. Планове на експериментите.

Еднофакторните експерименти са проведени в лабораторни условия за установяване на влиянието на отделните фактори върху процеса и определяне нивата на вариране за многофакторния експеримент.

Планираните многофактони експерименти са от вида В2 и В3, близки до Д-оптимален [2,26,51,59,62,104].

2.3. Използвани методи при експерименталните изследвания.

2.3.1. Методика на екстремалния експеримент.

Изучаването на редица процеси в селскостопанските машини се затруднява от големия брой и случайния характер на действащите фактори. В такива случаи и особено при решаване на оптимизационни задачи специалната литература препоръчва метода на екстремалния експеримент [63,68].

Същността на метода се заключава в получаване на представа за функцията на отклика при съответно въздействие на факторите x_1, x_2, … x_m , т.е. в апроксимацията й във вид на математически модел.

2.3.2. Методика за обработване и анализ на опитните данни.

При обработване на получените опитни данни от еднофакторен експеримент е извършено следното:

- избор и вид на математически модел от вида (2.2)

$$Y = f(x_1, b_0, b_1, \dots, b_m) \quad (2.2)$$

където b_i, (*i=1,…,m*) са опитните коефициенти на регресия;

- определяне стойностите на коефициентите b_i;
- проверка адекватността на емпиричния модел;
- сравняване на няколко емпирични модела на адекватност.

Коефициентите b_i, (*i=1,…,m*) на модела са определени по МНМК.

Проверката на адекватността на математичния модел е извършена с помощта на критерия на Фишер.

При обработване на получените данни от многофакторния експеримент процедурата е следната:

- Отсяват се факторите, оказващи съществено влияние на избрания критерий на процеса;
- Определя се областта на изменение на факторите, в която се намира оптималната стойност на критерия;
- Планиране и провеждане на експеримента;
- Определяне коефициентите на степенния полином чрез програма за множествен регресионен анализ;
- Проверка адекватността на модела;
- Анализ на математичния модел.

2.3.3. Избор на параметри (показатели) за изследване на процеса наситняване на фуражите.

Процесът на наситняване на фуражите е оценяван по следните показатели:

- Y_1 – специфичен разход на енергия, kWh/t;
- Y_2 – производителност, t/h;
- Y_3 = K – коефициент на еднородност на готовия продукт, %.

Производителността Y_2 на изследваното устройство се определя като на изхода на опитната уредба в продължение на 20 s се вземат проби с трикратна повторяемост и се определя тяхната маса с електронна везна.

Качеството Y_3 на наситнените фуражи са определя, чрез разделяне на фракции. За концентрираните фуражи разделянето се извършва механично, чрез лабораторен планзихтер (класификатор фиг. 2.12) с продължителност на пресяване 5 min, ГОСТ 13496.8-72. Минималното количество на пробата за анализ е 100 g. Резултатите се представят в табличен вид. Средната едрина (модул) се определя, чрез ситов анализ по формула (2.11) за средно претеглена стойност:

$$d_{cp} = \frac{0{,}5p_1 + 1{,}5p_2 + 2{,}5p_3 + 3{,}5p_4}{\sum_{i=1}^{n} p_i}, \quad (2.11)$$

където d_{cp} е модулът на наситнената маса, mm;

p_i – масата на фуража в съответния клас, g;

i – броят на класовете на групиране.

Съобразно вида и състоянието на животните модулът следва да е в границите 0,8 – 2,8 mm, а количеството на прахообразните частици да не надвишава 20% [102,121].

За грубите фуражи разделянето се извършва механично с разработения класификатор. Количество проба за анализ е избрана 100 g. Резултатите се представят в таблица.

Модулът се определя по формулата:

$$l_{cp} = \frac{6p_0 + 14p_1 + 18p_2 + 30p_3 + 46p_4 + 50p_5 + 65p_6}{\sum_{i=1}^{n} p_i}, \quad (2.12)$$

където l_{cp} е модулът на наситнената маса, mm;

P_i – масата на фуража в съответния клас, g;

i – броят на класовете на групиране.

При наситняване на концентрирани фуражи изследванията са извършени съгласно БДС 6391:1990 „Фуражомелки чукови“. Показателите на процеса (производителност, енергоемкост и качество на продукта) са определени при смилане на царевично зърно със сито с отвори 4 mm и влажност 14%.

При наситняване на груби фуражи е спазено условието влажността да е до 10%, а едрината съобразно изискванията за хранене на животните.

2.3.4. Избор на управляеми фактори за провеждане на многофакторен експеримент.

От предварителните опити и еднофакторни експерименти е установено, че при чуковите устройства най-съществени за практиката са:

– периферната скорост на чуковете, m/s;

– натоварване, t/h;

– броят на ножовете (за груби фуражи) или чуковете (за концентрирани фуражи), бр.

2.3.5. Възможност за използване на теорията на подобието и моделирането при процеса наситняване [8,9,17,18,19,22,134].

За предварителни теоретични изследвания на процеса е подходящо използването на теорията на подобието и моделирането [9,17,18,19]. Тя позволява да се намерят определени съотношения между основните величини, наречени критерии на подобие, характеризиращи както самостоятелното, така и съвместното влияние на факторите върху изучавания процес. Освен това, тази теория дава възможност за обобщаване на експерименталните резултати от един обект и тяхното използване при проектиране на цели редове и фамилии от подобни машини.

За основен параметър, характеризиращ процеса наситняване, се приема необходимата мощност P. Същата в случая може да се изрази като функция на следните величини:

$$P=f(Q, D, H, \omega, l_g, \varepsilon, g, \rho, \lambda) \quad (2.13)$$

където отделните величини и техните размерности са представени в табл.2.2.

2.3.6. Използвани измервателни средства, уреди и апаратура при изследванията.

За измерване настойностите на основните величини при експериментите са използвани следните уреди, апарати и устройства:

- комбиниран уред К 50;
- ватметър и амперметър РМ 231(фиг. 2.14);
- класификатор за наситнени груби фуражи(фиг. 2.10);
- сушилня електрическа лабораторна ОМЗ – София, № 5-65 1977г., V=220, W=1200, БДС 4499-69;

Таблица 2.2.

Размерности по теория на подобието на основните величини от процеса.

Величини	Размерност		
	M^{α}	L^{β}	T^{φ}
	α	β	φ
Необходима мощност P, kW	1	2	-3
Производителност Q, t/h	***1***	***0***	***-1***
Диаметър на работния диск D, m	***0***	***1***	***0***
Височина на работната камера H, m	0	1	0
Честота на въртене ω, s^{-1}	***0***	***0***	***-1***
Инерционен момент на раб. диск I_g, $kg.m^2$	1	2	0
Ъглово ускорение $\varepsilon = d\omega/dt$, s^{-2}	0	0	-2
Земно ускорение g, m/s^2	0	1	-2
Масова плътност ρ, kg/m^3	1	-3	0
Степен на наситняване λ	0	0	0

- Електронни везни: Precisa XT 220A, max 220g, e = 0.001g, min 0.01g, d = 0.0001g; Termozeta 1G Electronic 2000, max 5000g, min = 1g, e = 1g;
- Лабораторен планзихтер (класификатор за концентрирани фуражи) с технически харакеристики: при сухо сеене:от 20 µm до 63 mm, максимално количество на пробата: - за ситна <63 mm до 2 kg;за сита от 100 µm до 100 g; време за пресяване 3 - 20 min; при мокро сеене: от 20µm - 10mm максимално количество проба: 20 - 100 g; време за пресяване 3 - 10 min фиг. 2.12;
- Цифров оборотомер CMD6-1/220V, W=(3 - 600000 rpm), Us=220Vac, 95x49x113mm;
- Хронометър Casio HS-80TW-1EF – 0:00’00’’000;
- Електрически влагомер FarmPoint - количество на пробата - около 100 g , прецизност - ± 0,5%, фиг.2.13.

Глава III. ТЕОРЕТИЧНИ ПОСТАНОВКИ И ИЗХОДНИ ПРЕДПОСТАВКИ ЗА ОБОСНОВАВАНЕ НА КОНСТРУКЦИИТЕ НА ОПИТНИТЕ УРЕДБИ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

3.1. Опит за приложение теорията на подобието при изследване, оценка и създаване на машини за наситняване на фуражите.

3.1.1. Теоретични постановки от теориите за наситняване на фуражите.

Известни са много хипотези и аналитични изрази, относно теорията на наситняване. Някои от тях до известна степен изясняват качествената страна на процеса и дават приблизителни количествени резултати. От тях най-известни са хипотезите на Кик, Ритингер, Бонд, Мелников и др. [28,72,73,114,136]. Всяка от тях има определена област на приложение при определена степен на наситняване. Не е възможно да се предложи обоснована аналитична зависимост, която да бъде общовалидна за всички случаи, т.е. да се използва за всички видове материали при различни видове работни органи и условия на работа. Все пак като обобщаваща, представлява интерес математическата зависимост (3.1), предложена от Charles R. [123] за изменение на енергията на наситняване в зависимост от едрината на получените частици

$$dE = -c_0 \frac{d_x}{x^n}, \quad (3.1)$$

където x и d_x са съответно размерът на частиците и тяхното изменение, представени математически, чрез средно претеглената им стойност (модул) [117,120,136];

c_0 и *n* – константите, чиито стойности зависят от степента и условията на наситняване.

Съгласно уравнение (3.1), необходимата енергия е правопропорционална на изменението на размерите на частиците и обратнопропорционална на размера на частиците на степен *n*. Така при *n*=1 се получава уравнението на Кик ($E = k.V = c_v.lg\lambda^3$) – обемната теория [72,73,136]; при *n*=2 – уравнението на Ритингер ($E = c_s(\lambda - 1)$) – повърхнинната теория [114]; при *n*=3/2 – уравнението на Бонд ($E_s = K.\sqrt{V.S}$) – компромисната теория [28]. Според Ребиндер 1928 г. пълната работа на наситняване е равна на сумата от работите, изразходвани за деформация на телата и за образуване на нови повърхности.

Мелников С.В. нарича теорията на Ребиндер „основен закон“ и на базата на него предлага (3.2) практически използваемо уравнение от вида

$$E_{нас} = C_{пр}.[C_v lg\lambda^3 + C_s(\lambda - 1)], \quad (3.2)$$

където $E_{нас}$ е в J/kg;

$C_{пр}$– безразмерен коефициент, отчитащ влиянието на неотчетените фактори, зависещ от принципа на действие на работните органи на апарата за наситняване и неговите особености;

C_v и C_s – размерни коефициенти, които се определят опитно.

Формулата на Charles R. е в зависимост от размера на частиците X и за уеднаквяването й с формулата на Мелников С.В. е необходимо да се направи заместване със степента на наситняване λ. Тъй като $\lambda = {}^{x_н}/_{x_к} = x_н.{}^{1}/_{x_к}$

тогава при заместването, началният размер на частиците $x_н$ се отчита в коефициента C_2. С това се създава възможност за сравняване на зависимостите, изведени от Charles R. и Мелников С.В. при различни предпоставки, описващи единен процес.

Решението на интеграла за (3.1) има вида:

$$E = -c_1 \frac{x^{-n-1}}{-n+1}, \quad (3.3)$$

когато зависи от размера на получените частици x, а когато зависи от степента на наситняване λ се получава зависмостта

$$E = -c_2 \frac{({}^{1}/_{x})^{-n+1}}{-n+1}. \quad (3.4)$$

За теоретично определяне на необходимата работата за наситняване на телата още през 19 в. са били предложени две класически теории - повърхнинна и обемна, върху които основно се изграждат и следващите концепции за енергетична оценка на подобни процеси.

Повърхнинната теория с по-голяма точност може да се прилага за определяне работата при фино наситняване. При наситняването на зърнени фуражи, зависимостта между вложената енергия и степента на наситняване е

почти правопропорционална (линейна зависимост) за едрина на получените частици в порядъка от d ≤ 0,4÷0,6 mm и при λ ≥ 7, т.е. $A_{НАС} = f(\lambda)$.

Обемната теория на Кирпичев-Кик дава по-точни резултати при енергетична оценка на процеси за грубо наситняване, при които основната част от енергията се изразходва за еластична деформация, а специфичната площ на повърхността се променя незначително.

Единството на процеса „деформация-разрушение”, според В.И.Куянов [6], позволява разрушението да се разглежда като следствие от пренапрежения в телата, а площта на специфичната повърхност на новообразуваните частици е правопропорционална на работата за пренапреженията A_S (за разлика от работата за еластична деформация A_V). Тогава енергетичният баланс на процеса наситняване може да се представи във вида от закона на Ребиндер,

$$A = A_V + A_S \qquad (3.31)$$

Разглеждайки процеса на наситняване като едно цяло, може да отбележим, че работата за образуване на нови повърхнини A_S е полезна, а работата за еластична деформация A_V – неполезна. Това по принцип е предпоставка за ниския КПД на процеса наситняване, т.е.

$$\eta_{НАС} = A_S/(A_S + A_V). \qquad (3.32)$$

От енергетичния баланс при наситняването, теоретично може да бъде определен коефициентът на полезно действие (КПД) по известните зависимости на Ребиндер и Мелников като,

$$КПД = \frac{As}{As + Aел} = \frac{As}{As + Av}, \qquad (3.33)$$

който може да бъде представен и така

$$КПД = \frac{Cs(\lambda - 1)}{C/Cs(\lambda - 1) + Cv1g\lambda^3}, \qquad (3.34)$$

където C, Cs, Cv са съответните коефициенти.

При нарязване на обемисти и груби фуражи аналогично

$$КПД = \frac{A}{Ay + Ap}, \qquad (3.35)$$

където полезната работа е A_p (за рязане), а неполезната - A_y (за уплътняване).

За повишаване на ефективността и КПД на процеса наситняване е необходимо:

- намаляване работата A_V за еластична деформация, чрез намаляване твърдостта на материала с използване на повърхностно-активни вещества (т.н. ефект на Ребиндер);
- увеличаване (ако е възможно) работата A_S за образуване на нови повърхности, създавайки условия за максимални пренапрежения на материала, чрез увеличаване скоростта на удара от работните органи върху частиците, която по принцип може да бъде $V_{уд} \geq 100$m/s, но на практика се приема в границите на оптималните стойности за всяка конструкция. Получените изрази за определяне на необходимата работата (енергия) за наситняване не могат да се използват при количествени изчисления, когато трябва да се намери абсолютната стойност на $A_{НАС}$, тъй като не са известни коефициентите на пропорционалност. Тези формули се използват само за предварително и качествено изследване на работните процеси при сравнителни изпитвания, с цел идентифициране на относителната величина на работата, вложена за наситняване.

Базирайки се на основния закон на наситняването (3.30) акад.С.В.Мелников (1952) предлага емпирическа работна формула за

определяне на изразходваната работа при наситняване, която може успешно да бъде използвана и в практиката [62].

Физическата картина на процеса разрушаване на материалите може да се разглежда като няколко последователни стадия, идентични на закона на Хук (1660),

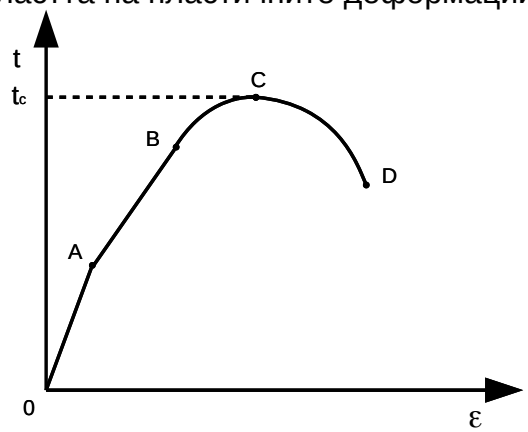
$$t = E\varepsilon_1 , \qquad (3.36)$$

където t е пластичната деформация;

E – модулът на еластичност (модул на Юнг), N/m²;

ε_1 – относителната деформация $\left(\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}\right)$.

На фиг. 3.5 са изобразени последователните стадии на деформацията на телата. Отначало в частиците възникват еластични деформации (отсечка A-B), след това пластични (отсечка B-C) и тогава (отсечка C-D) започва разделянето им на по-малки, т.е. образуването на нови повърхнини. Точка C се нарича граница на издръжливост. Напрежението на разтягане t_c, съответстващо на границата на издръжливост е важна характеристика за здравината на материалите. Така, че „обемната“ хипотеза е валидна до етапа на разрушаване, т.е. в областта на еластичните деформации, а „повърхнинната“ след етапа на разрушаване, т.е. в областта на пластичните деформации.



Фиг. 3.5. Стадии на еластична и пластична деформация по закона на Хук

С известна степен на приближение същата зависимост (3.30) може да бъде използвана в изследванията на процесите на наситняване на фуражите, но при следните предположения:

- разширенията, имащи микропукнатини и образуването на нови такива е в границите на еластичните деформации до началото на провлачване на материала зона A-B (закона на Хук) фиг. 3.5, които могат да бъдат пренебрегнати, като се допуска, че цялата работа се изразходва само за деформация на фуражната частица, пропорционално на деформирания обем. Означаваме тази част от работата с A_V (J/kg) и съгласно закона на Кирпичев-Кик тя може да бъде определяна по израза:

$$A_V = C_V \lg \lambda^3, \qquad (3.37)$$

където C_V е коефициентът на пропорционалност, имащ размерност на специфичната работа (J/kg), а степенният показател при λ условно е оставен под логаритъм, тъй като за ниските значения на λ ≤ 10, стойностите на десетичния логаритъм са от един същ порядък и разликата може да бъде пренебрегната, а третата степен показва зависимостта на разхода на енергия по отношение на обемите (D^3 и d^3);

- енергията, изразходвана за насиняване на фуража в интервала от границата на провлачване до разрушаването, се използва за образуването на нови повърхнини (в това число развитието на пластични деформации) зона B-C-D фиг. 3.5.

Допускайки, че тази работа е правопропорционална на нарастващата специфична площ на повърхнините, я означаваме с A_S. Тогава в съответствие със закона на Ритингер общата необходима енергия за наситняване на материала може да бъде представена с израза:

$$A_S = \kappa_S (\lambda-1)/D. \qquad (3.38)$$

За преобразуване в J/kg, в знаменателя на формула (3.38) следва да се въведе плътността ρ (kg/m^3) на материала. Освен това, ако се вземе в предвид, че изходните размери на зърнените фуражи и прогнозираните еквивалентни диаметри след наситняване се променят в тесни граници, тогава се получава $\kappa_S/D\rho=C_S$, след което и окончателният израз за необходимата работа,

$$A_S = C_S(\lambda-1). \qquad (3.39)$$

Приетите предпоставки позволяват основният закон на наситняването да бъде представен в следния вид:

$$A_T = A_V+A_S,$$

$$A_{НАС} = C_{ПР}A_T, \qquad (3.40)$$

където A_T е теоретично вложената работа за процеса наситняване, J/kg;

$A_{НАС}$ - общо вложената работа за наситняване с отчитане влиянието на начина

на наситняване и конструктивните особености на наситняващата машина,

чрез коефициента $C_{ПР}$ на процеса, J/kg.

Като се вземат под внимание изразите (3.37), (3.38) и (3.39) от формула(3.40) за определяне на вложената работа (или енергия) за наситняване се получава обобщеният израз, представен в окончателния му вид:

$$A_{НАС}=C_{ПР}[C_V \lg \lambda^3 + C_S(\lambda-1)]. \qquad (3.41)$$

Във формула (3.41) постоянният коефициент C_V (J/kg) изразява работата за еластична деформация по приети методи за механично изпитване на зърното, отнесено към собствената му маса.

Постоянният коефициент C_S - представлява работата, използвана за образуване на нови повърхнини при смилане на 1 kg зърно. Стойностите и на двата коефициента зависят от структурно-механичните свойства на зърната, тяхната големина и плътност.

Коефициентът на процеса $C_{ПР}$ характеризира влиянието на други неуточнени фактори, които се появяват в процеса на наситняване: свойства на зърнения материал (влажност, вискозитет и др.), начина на наситняване (удар, рязане и др.), конструктивни особености на наситняващата машина. В статистически смисъл коефициентът $C_{ПР}$ изразява корелационната връзка между значението на A_T по формула (3.40) и действително вложената работа $A_{НАС}$, наблюдавани в експеримента или в условията на производствения процес с наситняващите машините.

Експерименталното определяне на коефициентите C_V и C_S е свързано с необходимостта от провеждане на голям брой опити за определяне на механичните свойства на зърната. Това ограничава възможностите за по-широко използване на формула (3.41).

Формула (3.41) може значително да бъде опростена, като

$$A_{HAC}=C_1 \lg \lambda^3+C_2(\lambda-1). \quad (3.42)$$

Стойностите на коефициентите C_1 и C_2 се определят от резултатите при опитни изпитания, за който и да е тип наситняване, а величината A_{HAC} може да бъде използвана като критерий на енергоемкост при сравнителна оценка на машини или избор на ефективен режим на работа.

Основният закон на наситняване (3.30) може да бъде приложим и за процесите при наситняване (нарязване) и на незърнени (обемисти, груби и др.) фуражи.

Чрез използване на формула (3.40) се получава:

$$A_T=A_V+A_S=A_{CM}+A_{CP}, \quad (3.43)$$

където A_{CM} е работата за смачкване (уплътняване), J/kg;

A_{CP} – работата за срязване, J/kg.

Стойностите на A_{CM} и A_{CP} могат да бъдат определени по характеристиките на твърдост на обемистите и грубите фуражи. При срязване на фуражите, значителна част от стеблата попадат под острието на ножа и се прерязват не перпендикулярно на надлъжната ос на стеблото, а под остър ъгъл. В тези случаи за тяхното прерязване се изразходва усилие и работа значително по-малко, от колкото при перпендикулярното прерязване. При процеса на нарязване на фуражите, когато степента на наситняване ($\lambda=L_{CT}/l_{CP}$) е много голяма ($\lambda\geq10$), значението на първото събираемо от дясната част на уравнението (3.42) може да се пренебрегне, тъй като стойността му е много по-малка и е несъизмерима спрямо численото значение на второто събираемо.

При такава предпоставка изразходваната работа A_{CP} може да се изчисли по опростената формула:

$$A_{HAC}= A_{CP} =C(\lambda-1). \quad (3.44)$$

3.1.2. Теоретична обосновка на критериите на подобие за използването им при създаване на нови устройства за наситняване.

При изследване и създаване на машините за наситняване на фуражите следва да се изходи от приблизителната теоретична скорост за наситняване на съответния фураж или от опитно установени данни за скоростта. След създаване на ново наситняващо устройство се налага окончателно чрез изследвания да се приеме оптималната скорост в зависимост от конкретните условия. Използвайки общото критериално уравнение на машините за наситняване, могат да бъдат определени някой от по-важните частни критерии, с цел използването им при създаване на нови машини. Необходимата мощност за задвижване на чуковите устройства при работа и производителността могат да се представят в следния неявен вид при конкретни влажност, фуражи, условия на работа и др.

$$P = \varphi(Q,D,W,B,M,J,E,\sigma), \quad \text{и} \quad (3.53)$$

$$Q = f(D,V,\rho,B,b,\delta,g,F), \quad (3.54)$$

където Q е производителността, kg/s;

D – диаметърът на ротора, m;

W – влажността на материала, %;

B – широчината (височината на работна камера), m;

ρ – плътността на съответния фураж, kg/m^3;

V – периферната скорост на чуковете, m/s;

M – модулът на смилане, m;

F – площта на отворите, m^2;

δ – хлабината между чуковете и ситото, mm;
g – земното ускорение, m/s^2;
σ – якостта на разрушаване, Pa;
b – дебелината на чуковете, m;
J – инерционният момент, kg.m^2.

Чрез използването теорията на подобието могат да бъдат получени в неявен вид и следните критериалните уравнения:

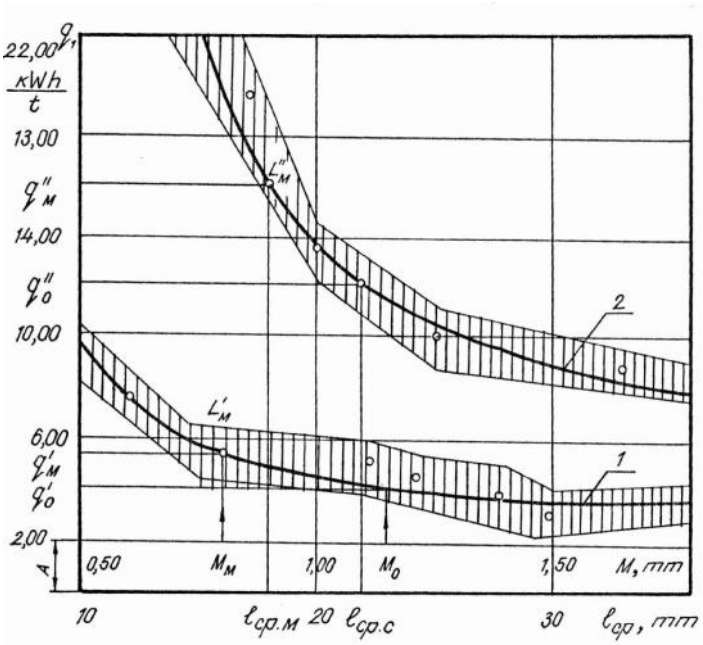
$$\frac{P}{Q.V^2} = \varphi\left(,\frac{B}{D},\frac{J.V}{Q.D^3},M,\frac{E.D^2}{Q.V},\frac{\sigma.D^2}{Q.V}\right) \quad (3.55)$$

и

$$\frac{Q}{D.B.V.\rho} = f\left(\frac{V}{\sqrt{g.D}},\frac{B}{D},\delta,\frac{F}{B.D}\right), \quad (3.56)$$

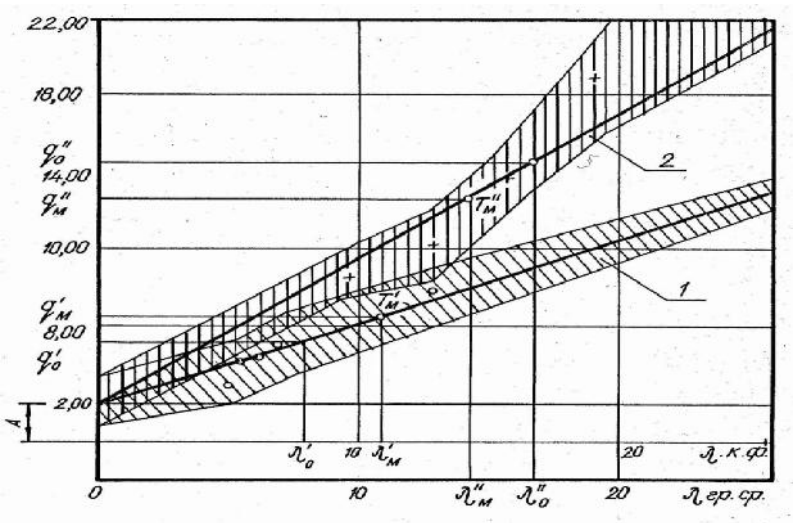
от които чрез преобразувания са получени най-важните критерии на подобие, както следва:

а) критерият на мощността $П_1$= P/Q.v^2;
б) критерият на размерите на камерата $П_2 = П_3$ = B/D = *k*;
в) критерият на инерционния момент $П_4$ = J.v/Q.D^3;
г) критериите на якостните качества на фуражите $П_5$=E.D^2/Q.v, и $П_6$=σ.D^2/Q.v;
д) критерият на модула П=M;
е) критерият на производителността П'$_2$ = Q/D.B.v.ρ;
ж) критерият на скоростта $П_7$ = V.(g.D)$^{-0,5}$;
з) критерият на „живото“ сечение $П_9$ = F/B.D.



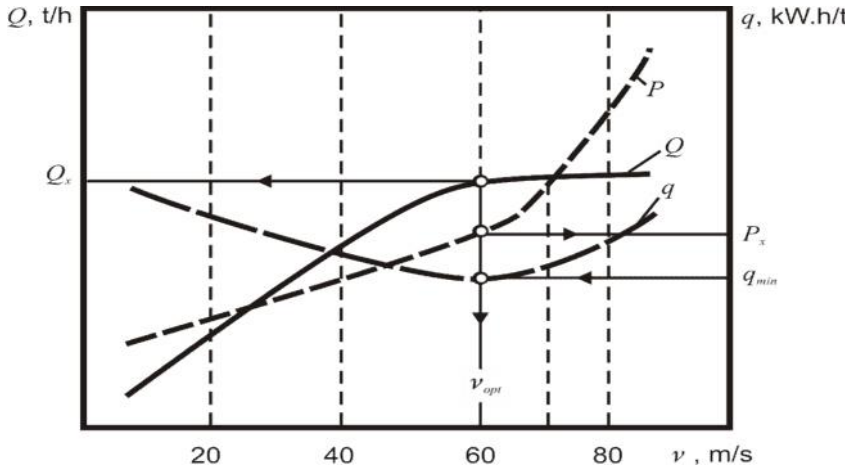
Фиг.3.6. Зависимост на специфичния разход на енергия q, kWh/t от модула M и $l_{ср}$ за царевично зърно - 1 и за слама - 2.

От представените графични зависимости на фиг.3.6 и фиг.3.7 теоретично могат да бъдат определяни стойностите на специфичния разход на енергия при зададени стойности на модула (средната дължина) на частиците или степента на наситняване λ.



Фиг. 3.7. Зависимост на специфичния разход на енергия q,kWh/t от степента на наситняване λ – за царевично зърно – 1 и за слама – 2.

При изборът на оптимална периферна скорост V_{opt} на работния орган за наситняване скоростта на работния орган – V , производителността - Q и специфичният разход на енергия – q са непосредствено свързани (фиг. 3.8). С увеличаването на скоростта, производителността нараства до определени граници, след което остава постоянна, а нарастването на специфичния разход на енергия е значително. Може да се предложи като изходна скорост V в границите от 50 до 70 m/s, при която специфичният разход на енергия q е минимален. При проверка на вече създадената машина в конкретни условия може да бъде установена оптималната периферна скорост на работния орган V_{opt} т.е. скоростта на рязане (наситняване), а от там и честотата на въртене на ротора. Увеличаването на необходимата мощност P_x след V_{opt} е за сметка на претоварването, но и за сметка на увеличаването разхода на енергия на празен ход, тъй като роторът работи и като вентилатор. В този случай мощността нараства в трета степен от увеличението на скоростта, т.е $P_o = \eta_1(V^3)$.



Фиг. 3.8 Обща характеристика на машините за наситняване:
P - мощност, kW; *Q* - производителност, t/h; *V* - периферна скорост, m/s;
q - специфичен разход на енергия, kWh/t.

От тези теоретични постановки е установено, че сравняването по мощност и производителност трябва да се уточнява в зависимост от условията (вида на фуража, влажността на фуража, вида на ситата и т.н.). Резултатите трябва да се представят при приети макар и условно ограничения и

уточнявания. Така както при концентрираните фуражи се приема това ограничение да става при смилане на царевично зърно с влажност 14% и сита с отвори Ø 4 mm, същото да се използва и за нарязване на груби фуражи, като се приеме отчитането да е условно, при влажност 14% за слама и при $l_{ср}$=30 mm. Останалите случаи могат приблизително да се преизчислят с критериите на подобие. Може да бъде решена и обратната задача, като различните случаи се привеждат към приетите вече, за условни, сравнителни резултати.

3.2. Теоретични предпоставки и възможностите за усъвършенстване работата на резачките за груби фуражи и обосноваване на нов принцип, конструкция наситняващо устройство и класификатор за нарязани груби фуражи.

Като изходни предпоставки за усъвършенстване работата на устройствата за нарязване на груби фуражи от направения сравнителен анализ на 10 известни марки машини и чрез корелационен анализ е установена връзката между специфичния разход на енергия и специфичната металоемкост с характерния за всяка конструкция коефициент С (3.90;3.91). Устройствата с минимални стойности на изследваните показатели се характеризират с конструктивно-технологична схема, съчетаваща отворен тип работна камера с двустепенно наситняване и оптимизиран режим на работа (периферна скорост, брой ножове и чукове, хлабина между чуковете и вътрешната повърхност на камерата и др.).

Изследванията върху физиката на процеса наситняване на грубите фуражи [4] показват, че от известните принципи най-ефективен може да бъде принципът на рязане с приплъзване в съчетание с отворен тип работна камера (без сито) при предварително грубо наситняване и в комбинация с други функции на работните органи като чукове, лопатки, шнек и вентилатор.

Целесъобразно е в устройството за наситняване да се използва комбиниран работен орган, съчетаващ принципите на смилане с удар за концентрирани фуражи и двустепенно въздействие върху материала при грубите фуражи: първата степен - рязане и втората степен - последващо омекотяване на нарязаните частици.

От изследвания [6,8] е установено, че при съчетаването на отделните функции и работни органи в един комбиниран наситняващ апарат с оптимални конструктивни и технологични параметри може да се постигнат нисък специфичен разход на енергия, максимални качествени показатели и универсалност при работа с различни фуражи– груби, зърнени и други.

Експлоатационната производителност на наситняващ апарат се обуславя от пропускателната способност на приемната камера, дисковия наситняващ апарат и изходящия тръбопровод. Най-общо тя се лимитира преди всичко от „живото” сечение в работната камера и може да бъде изразена чрез зависимостта (3.94).

Същественото при такъв наситняващ апарат е, че коефициентът k като комплексен включва в себе си и коефициента на използване на ножовете, който тук има стойности близки до 1.0, тъй като практически ножът работи (реже) по време на целия си ход за разлика от ножовете дисковите или барабаните нарязващи апарати. Това е предпоставка за по-голяма производителност и равномерно натоварване на ротора.

Необходима предпоставка при създаване на комбинирания наситняващ апарат е показателят за еднородност на фракционния състав. При известните конструкции тя силно се влияе от ъгъла на подаване на стъблата към ножа и контраножа, докато при предлагания наситняващ апарат, с вертикален вал този

ъгъл практически не влияе. Дори и при 0° се извършва срязване на стъблото като максималният размер на частиците ℓ_{max} ще се ограничава от дължината на вписаната хорда S между окръжностите на разполагане на ножовете и контраножовите хорда в отвора на работната камера (фиг.3.13).

От правоъгълния триъгълник Δ ABC следва:

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2 = \Delta.(2.R_k - \Delta) \text{ или} \quad (3.98)$$

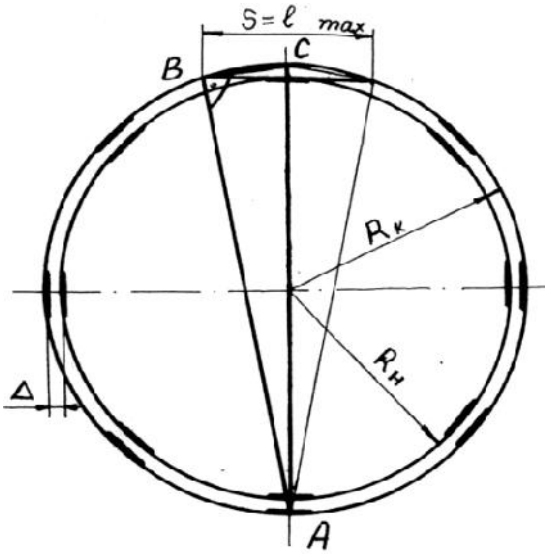
$$l_{max} = S = 2\sqrt{\Delta.(2.R_k - \Delta)} \quad (3.99)$$

където l_{max} или S е максималният размер на нарязаните частици, mm;

Δ - хлабината в нарязващата двойка нож и контранож(между двете окръжности), mm;

R_k, R_H - радиусите на окръжностите, по които са разположени съответно контраножовете и ножовете, mm.

Хлабината Δ тук е ограничена само от конструктивни съображения и нейните стойности са достатъчно малки за ефективно подпорно рязане с приплъзване и значително по-малки от началните размери на подаваните стъбла, т.е. $l_{max} = S \ll L_H$, което е предпоставка за осигуряване на сравнително по-голяма еднородност на фракционния състав при наситняване, на груби фуражи. Преминаването на тези частици и през втората степен на наситняване е съчетано и с омекотяване от двоицата чук и контранож, което води още повече до подобряване на качествените показатели на готовия фураж.



Фиг. 3.13. Принципна схема за теоретично обосноваване еднородността на фракционния състав при предлагания комбиниран наситняващ апарат.

Оценката на качеството на наситнените груби фуражи е изключително важен проблем за животновъдството като цяло. Освен химичният състав и влажността много важен критерий се явява едрината на наситняване, дефинирана в специализираната литература като модул на наситняване.

Частиците на наситнения груб фураж са несъразмерни. Тяхната средна дължина е основен параметър за характеризиране на неговото качество в съответствие със зоотехническите изисквания по хранене на животните. Ръчното сортиране (разделяне на фракции) е трудоемък и бавен процес, затова е необходимо търсенето на нови технически решения за неговото

механизиране и автоматизиране. Изборът на конструктивна схема е от първостепенно значение при създаването на подобни технически средства. Теоретично са обосновани метод и конструкция на класификатор за разделяне на фракции и определяне на модула на наситнени груби фуражи. Предложени са изходни предпоставки за комплексно оценяване на наситняващи машини, които могат да бъдат полезни при провеждане на сравнителни изследвания.

Трета глава завършва с 9 извода обобщаващи теоретичния анализ:

1. Чрез сравнителни изследвания и използване теорията на подобието при наситняване на груби и концентрирани фуражи са обосновани основни теоретични постановки, някой по-важни критерии на подобие, като изходни предпоставки за създаване на опитните уредби за експериментални изследвания.

2. Установено, че за повишаване ефективността на процеса е необходимо да се търсят решения за намаляване работата за еластични деформации A_V (намаляване твърдостта на материала), и за увеличаване на работата за образуване на нови повърхности A_S (създаване на условия за максимални пренапрежения).

3. Установено е, че известната зависимост $A_{НАС}=C_1 \lg \lambda^3+C_2(\lambda-1)$ (3.42) за определяне на работата при наситняване е с универсален характер, позволяваща оценка на процеса наситняване, която може да бъде използвана в практиката.

4. Теоретично е обоснована, оптимална конструкция на универсално наситняващо устройство.

5. От критериите на скоростта V, на производителността Q и на специфичния разход на енергия q, теоретично е обоснован изборът на оптимална скорост на работния орган V_{opt} , като изходна предпоставка при наситняването. Установено е, че тя трябва да бъде в диапазона 50÷70m/s, при която специфичният разход на енергия е минимален.

6. Обоснован е принципът за рязане с приплъзване от нож с праволинейно острие, като ефективен и подходящ за практическо приложение. Избрано е конструктивно решение с комбиниране на ножове за нарязване и чукове за омекотяване (смилане) на фуража, осигуряващо минимален разход на енергия и необходимо качество.

7. Теоретично е обоснован критерий на „живото сечение” и е дефиниран коефициент на „живото сечение”, представляващ отношението на площта на отворите към общата площ (цилиндричната повърхнина $\pi.B.D$ на камерата), който е в правопропорционална зависимост с производителността.

8. Предложена е оптимална конструктивна схема с вертикален вал и отворена работна камера, при която използването на ножовете (работния ход) се доближава до 100%.

9. Установени са теоретични и изходни предпоставки за оценка качеството на наситнени груби фуражи, с цел обосноваване на метод и конструкция на класификатор за разделяне фракциите и определяне на модула, които могат да бъдат използвани в практиката при комплексно оценяване на наситняващи машини.

Глава IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

В тази глава са представени резултати и анализ от експерименталните изследвания. Представени са резултати от регресионния и дисперсионния анализ на усилието при рязане на слама и царевичак от еднофакторните експерименти в лабораторни условия.

Бяха проведени еднофакторни експерименти за изследване на рязането на груби фуражи с праволинейно и криволинейно острие на ножа.

За параметър (отклик) в еднофакторните експерименти е избрано усилието на рязане при нарязване на слама от пшеница (реколта 2014) при влажност W=11%.

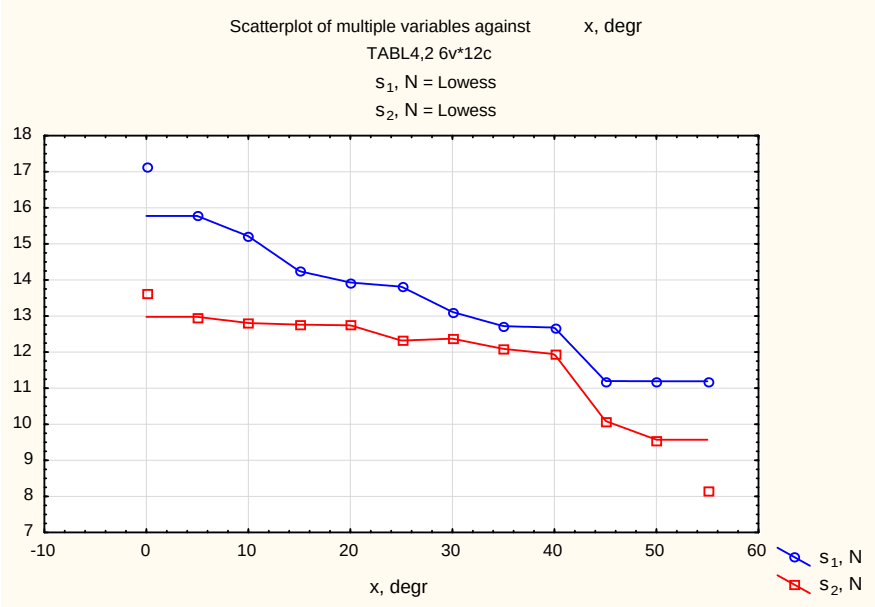
Бяха проведени опити с двата вида ножове (с праволинейно и криволинейно острие). Експериментите са осъществени при перпендикулярно (нормално) рязане т.е. рязане с ъгъл на приплъзване $\tau = 0°$ и рязане с промяна на ъгъла τ през 5º в диапазона от 5º до 55º, с 24 повторения за всеки опит. Установено беше, че при рязане с нож с криволинейно острие (острието е контур от архимедова спирала, теоретично обосновано), за всяко положение на ножа е налице рязане с преплъзване. През времето на рязане на ножа с криволинейно острие текущият ъгъл θ на радиус вектора r на острието на ножа се увеличава, което води до увеличаване на ъгъла на приплъзване τ и ъгъла на захващане χ. Натоварването на ножа от съпротивлението на срязвания материал е близко до *const* от началото на навлизане на ножа в материала до неговото окончателно срязване, което се вижда от фиг. 4.3.

Таблица 4.2.

Резултати от експеримента, където x - ъгъл τ при рязане; Y_1 – усилие на рязане за нож с праволинейно острие; Y_2 – за нож с криволинейно острие; s_1 и s_2 – средноквадратично отклонение на усилието на рязане, съответно за нож с праволинейно и криволинейно острие.

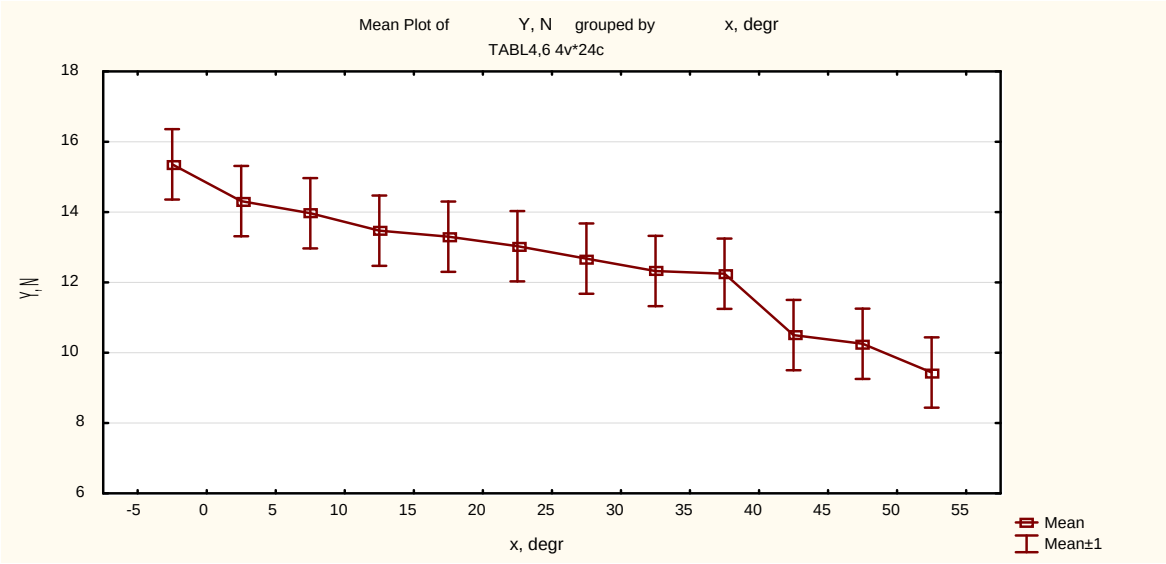
	1 x, degr	2 Y_1, N	3 s_1, N	4 Y_2, N	5 s_2, N	6 x^2
1	0	17,115	17,129	13,601	13,632	0
2	5	15,698	15,774	12,926	12,978	25
3	10	15,147	15,212	12,787	12,805	100
4	15	14,193	14,243	12,749	12,761	225
5	20	13,880	13,929	12,722	12,743	400
6	25	13,768	13,814	12,293	12,319	625
7	30	13,025	13,112	12,327	12,372	900
8	35	12,617	12,719	12,031	12,089	1225
9	40	12,572	12,681	11,922	11,944	1600
10	45	11,064	11,197	9,940	10,092	2025
11	50	10,992	11,192	9,517	9,571	2500
12	55	10,992	11,192	7,883	8,177	3025

При ножовете с праволинейни остриета, ъгълът на захващане χ не е постоянен, самият процес на рязане е неравномерен, поради променливата дължина на острието, навлизаща в материала при рязане, което е доказано теоретично и е потвърдено от експеримента. Графично резултатите от десперсионния анализ са показни на фиг. 4.4 и 4.5 за усилието Y и фиг. 4.6 и 4.7 за неговото средно квадратично отклонение s.



Фиг. 4.3. Влияние на ъгъла τ при рязане върху разсейването(средното квадратично отклонение) на усилието на рязане при нож с праволинейно острие s_1 и нож с криволинейно острие s_2.

Графиките на тези фигури потвърждават влиянието на ъгъла на рязане и вида на острието върху параметрите (показателите Y и s).

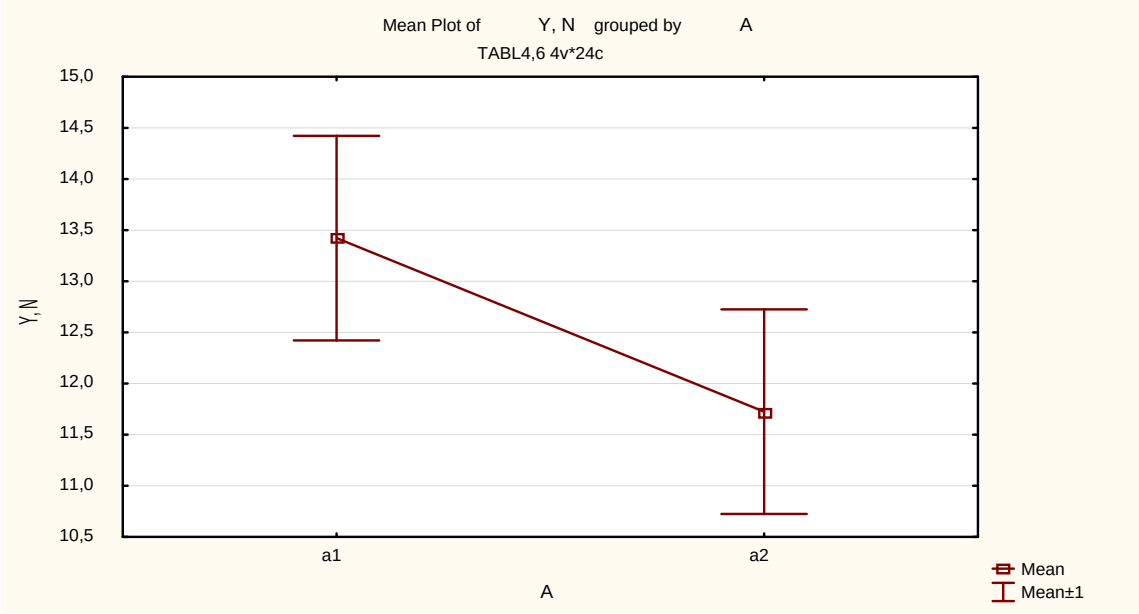


Фиг. 4.4. Влияние на ъгъла на рязане върху усилието на рязане.

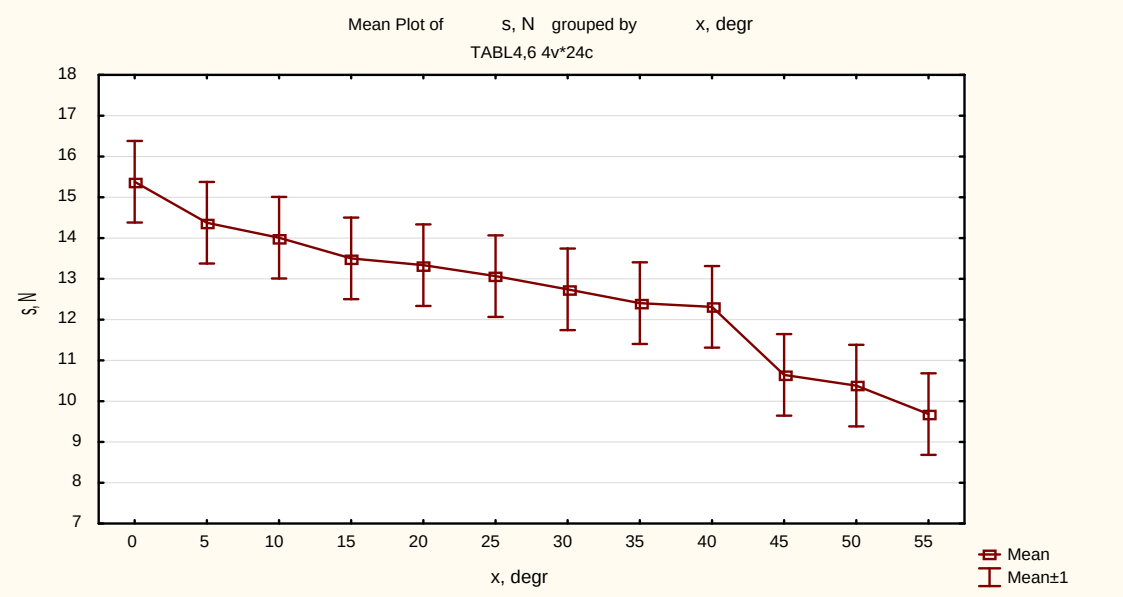
От фиг.4.4 се вижда се, че ъгълът на рязане влияе на усилието на рязане и е доказано, че с увеличаване на този ъгъл усилието на рязане намалява.

От табл.4.7 се вижда, че ъгълът на рязане и видът на ножа влияят върху разсейването на усилието на рязане, което е доказано при равнище на значимост 0,05. С увеличаване на този ъгъл усилието на рязане намалява.

При еднофакторните експерименти се приема управляемите фактори да бъдат изменяни в по-широки граници в сравнение с тези при многофакторния планиран експеримент. От получените резултати могат да се определят нивата на вариране на управляемите фактори в многофакторния експеримент.

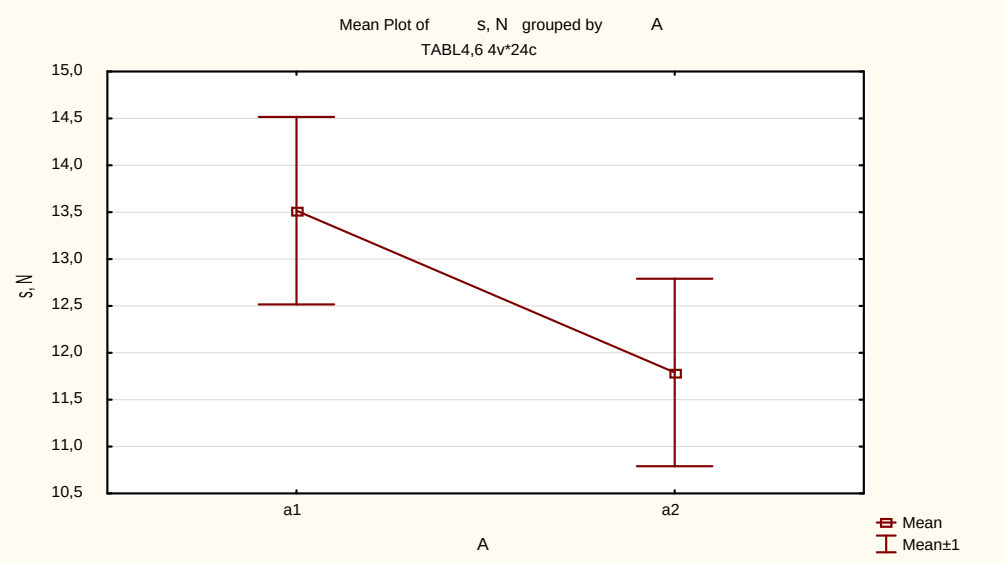


Фиг.4.5. Влияние на вида на острието на ножа върху усилието на рязане. Установено е, че върху усилието на рязане влияе видът на ножа (с праволинейно или с криволинейно острие).



Фиг. 4.6. Влияние на ъгъла на рязане върху разсейването s (средното квадратично отклонение) на усилието на рязане.

Представени са резултати от регресионния анализ след провеждане на многофакторния експеримент при наситняване на пшеничена слама, царевичак и царевично зърно. Графично са показани получените резултати на адекватните математически модели за специфичния разход на енергия и производителността.



Фиг.4.7. Влияние на вида на ножа върху разсейването s (средното квадратично отклонение) на усилието на рязане.

Провеждането на активен експеримент дава възможност да се въздейства върху изследвания обект, т.е. активно да се участва в изучаване на процеса, за да може експериментът да се управлява. Съществено изискване е избраните въздействия (факторите) да бъдат независими по между си.

Планиран многофакторен експеримент при наситняване на слама.

Работата на комбинирания наситняващ апарат е изследвана при различни стойности на x_1, m/s периферна скорост, x_2, t/h натоварване, x_3, бр. количество контраножове. Получените резултати от предварителните опити и от анализа на влиянието на отделните управляеми фактори върху енергетичните и технологични показатели на наситняващия апарат дава основание да се изберат нивата на вариране на факторите, представени в приложение 4 на дисертацията.

Резултати от регресионния анализ за модел от втора степен за специфичния разход на енергия Y_1.

Таблица 4.8.

Разширена матрица на експеримента и опитни стойности на Y_1 и Y_2.

	1 x_1, m/s	2 x_2, t/h	3 x_3, бр	4 x_{12}	5 x_{13}	6 x_{23}	7 x_{11}	8 x_{22}	9 x_{33}	10 Y_1, kWh/t	11 Y_2, t/h
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12,340	0,458
2	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	7,830	0,416
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	10,370	0,294
4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	7,810	0,250
5	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	12,010	0,427
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	7,840	0,380
7	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	10,420	0,263
8	-1	-1	-1	1	1	0	1	1	1	7,760	0,238
9	1	0	0	0	0	0	1	0	0	8,660	0,433
10	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	5,420	0,375
11	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5,750	0,583
12	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	4,830	0,403
13	0	0	1	0	0	0	0	0	1	5,680	0,325
14	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	6,060	0,439
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,400	0,500

Таблица 4.9.

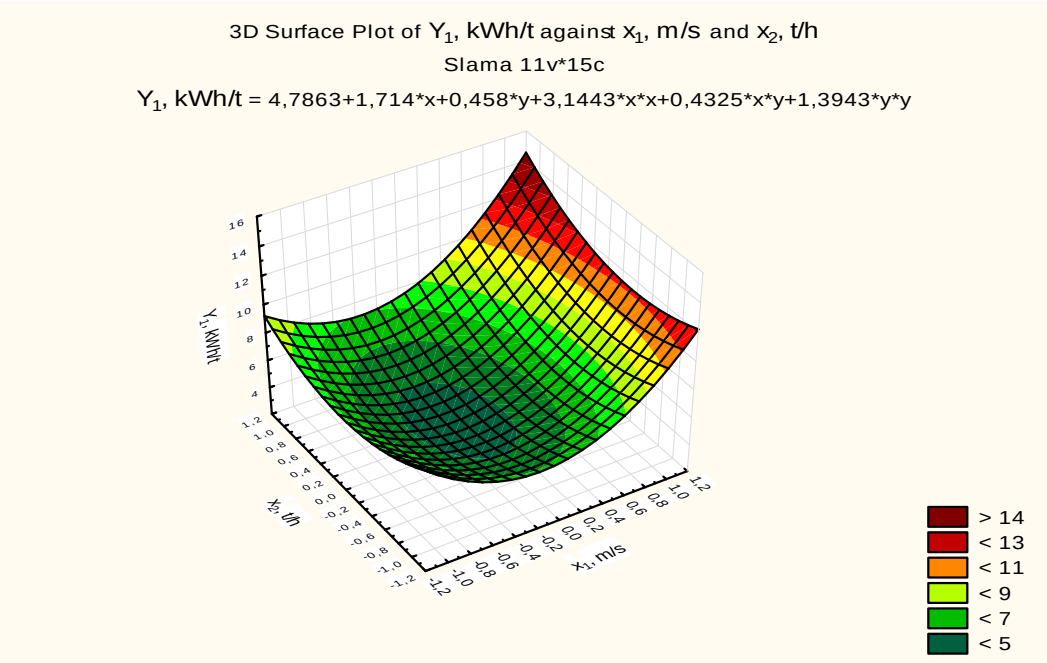
Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_1 (специфичен разход на енергия).

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: Y_1, kWh/t (Slama) R= ,99932309 R?= ,99864664 Adjusted R?= ,99621058 F(9,5)=409,94 p<,00000 Std.Error of estimate: ,15635					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			4,344741	0,084083	51,67235	0,000000
x_1, m/s	0,568224	0,016582	1,707667	0,049832	34,26831	0,000000
x_2, t/h	0,150292	0,016582	0,451667	0,049832	9,06375	0,000273
x_3, бр	-0,004104	0,016582	-0,012333	0,049832	-0,24749	0,814374
x_{12}	0,131076	0,016614	0,440416	0,055822	7,88959	0,000526
x_{13}	0,011285	0,016614	0,037916	0,055822	0,67922	0,527159
x_{23}	0,017546	0,017221	0,063327	0,062156	1,01885	0,355012
x_{11}	0,520447	0,018743	2,709074	0,097564	27,76707	0,000001
x_{22}	0,184250	0,018743	0,959074	0,097564	9,83018	0,000186
x_{33}	0,295676	0,018743	1,539074	0,097564	15,77498	0,000019

Зна*чими са* коефициентите b0, b1, b2, b12, b11, b22 и b33, защото за тях равнището на вероятността $p < 0,05$. След изключване на незначимите фактори моделът за Y_1 ще има вида:

$$Y_1 = 4.345+1.708*x_1+0.452*x_2+0.440*x_1*x_2+2,709*x_1^2+0.959*x_2^2+1.539*x_3^2 \qquad (4.4)$$

Графичното представяне на модела за Y_1 (специфичния разход на енергия) ще направим като отчетем влиянието на x_1 (периферната скорост) и x_2 (натоварването) като най-значими.



Фиг. 4.8. Повърхнина на отклика за специфичния разход на енергия $Y_1= f(x_1,x_2)$.

Резултати от регресионния анализ за модел от втора степен за Y_2 (производителност).

$$Y_2 = 0{,}478 + 0.081*x_2 - 0{,}068*x_1^2 - 0{,}090*x_3^2 \qquad (4.7)$$

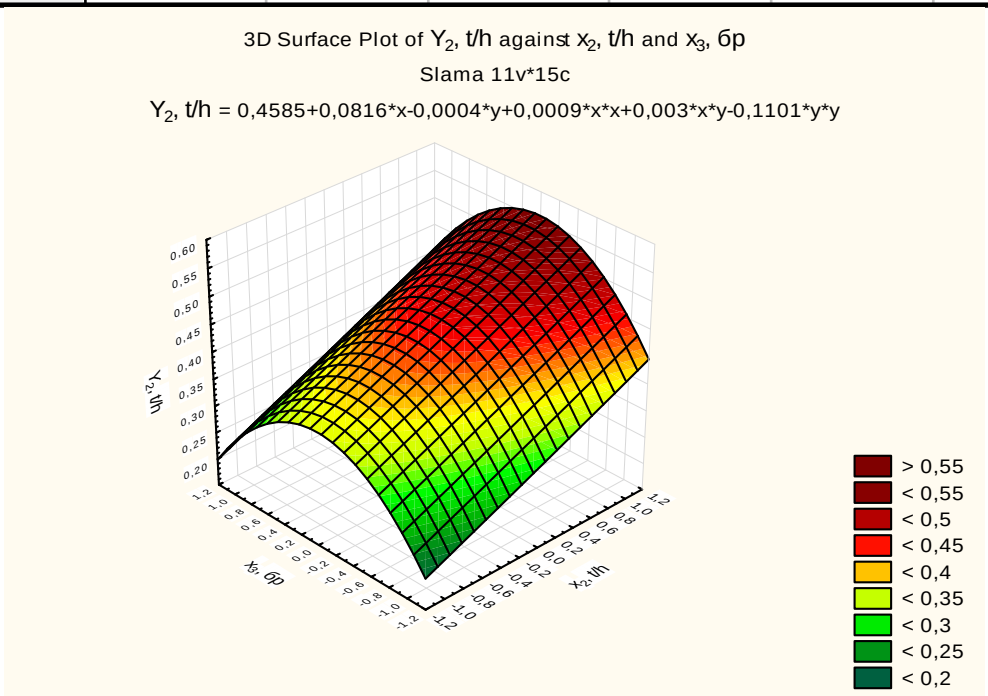
Графичното представяне на модела за Y_2 (производителност) ще направим като отчетем влиянието на x_2 (натоварването) и x_3 количеството контра ножове като най-значими.

Извършена е многокритериална оптимизация, като са установени оптималните стойности на основните параметри и изследваните критерии. Графично са представени линиите на еднакъв отклик от експерименталните резултати при наситняване на фуражите.

Таблица 4.14.

Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_2 (производителност).

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: Y_2, t/h (Slama) R= ,96538729 R?= ,93197261 Adjusted R?= ,80952331 F(9,5)=7,6111 p<,01890 Std.Error of estimate: ,04250					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			0,477856	0,022854	20,90885	0,000005
x_1, m/s	0,183795	0,117561	0,021176	0,013545	1,56341	0,178721
x_2, t/h	0,704560	0,117561	0,081176	0,013545	5,99316	0,001856
x_3, бр	-0,007152	0,117561	-0,000824	0,013545	-0,06083	0,953849
x_{12}	0,023522	0,117789	0,003030	0,015173	0,19970	0,849587
x_{13}	0,017700	0,117789	0,002280	0,015173	0,15026	0,886429
x_{23}	0,030640	0,122096	0,004240	0,016894	0,25095	0,811837
x_{11}	-0,342355	0,132887	-0,068320	0,026519	-2,57630	0,049654
x_{22}	0,103629	0,132887	0,020680	0,026519	0,77983	0,470777
x_{33}	-0,452599	0,132887	-0,090320	0,026519	-3,40590	0,019128



Фиг. 4.10. Повърхнина на отклика за производителността $Y_2 = f(x_2,x_3)$.

Планиран многофакторен експеримент при наситняване на царевичак.

Работата на комбинирания наситняващ апарат е изследвана при различни стойности на x_1, m/s периферна скорост, x_2, t/h натоварване, x_3, бр. количество контраножове. Получените резултати от предварителните опити и от анализа на влиянието на отделните управляеми фактори върху енергетичните и технологични показатели на наситняващия апарат дава основание да се изберат нивата на вариране на факторите, които са дадени в приложение 5 от дисертацията. Резултати от регресионния анализ за модел от втора степен за специфичния разход на енергия Y_1.

Таблица 4.19.

Разширена матрица на експеримента и опитни стойности на Y_1 и Y_2.

	1 x_1, m/s	2 x_2, t/h	3 x_3, бр.	4 x_{12}	5 x_{13}	6 x_{23}	7 x_{11}	8 x_{22}	9 x_{33}	10 Y_1, kWh/t	11 Y_2, t/h
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9,872	0,366
2	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	6,384	0,357
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	8,296	0,235
4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	6,131	0,189
5	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	9,914	0,392
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	6,272	0,304
7	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	8,336	0,210
8	-1	-1	-1	1	1	0	1	1	1	6,208	0,190
9	1	0	0	0	0	0	1	0	0	6,928	0,346
10	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	4,512	0,317
11	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4,600	0,466
12	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	3,739	0,311
13	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4,749	0,348
14	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	4,233	0,288
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,678	0,425

Таблица 4.20.

Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_1 (специфичен разход на енергия).

	Regression Summary for Dependent Variable: Y_1, kWh/t (Carevichak) R= ,99775882 R?= ,99552267 Adjusted R?= ,98746348 F(9,5)=123,53 p<,00002 Std.Error of estimate: ,23287					
N=15	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			3,445311	0,125232	27,51143	0,000001
x_1, m/s	0,561607	0,030160	1,382049	0,074220	18,62102	0,000008
x_2, t/h	0,175282	0,030160	0,431349	0,074220	5,81177	0,002128
x_3, бр.	0,018306	0,030160	0,045049	0,074220	0,60697	0,570378
x_{12}	0,129732	0,030218	0,356939	0,083142	4,29315	0,007766
x_{13}	-0,004475	0,030218	-0,012311	0,083142	-0,14807	0,888070
x_{23}	0,006263	0,031323	0,018511	0,092574	0,19996	0,849391
x_{11}	0,547315	0,034092	2,332862	0,145312	16,05421	0,000017
x_{22}	0,183551	0,034092	0,782362	0,145312	5,38403	0,002981
x_{33}	0,258978	0,034092	1,103862	0,145312	7,59652	0,000628

Значими са коефициентите b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22} и b_{33}, защото за тях равнището на вероятност $p < 0,05$. След изключване на незначимите фактори моделът за Y_1 ще има вида:

$$Y_1 = 3.445+1.382*x_1+0.431*x_2+0.357*x_1*x_2+2.333*x_1^2+0.782*x_2^2+1.104*x_3^2 \qquad (4.8)$$

Таблица 4.25.

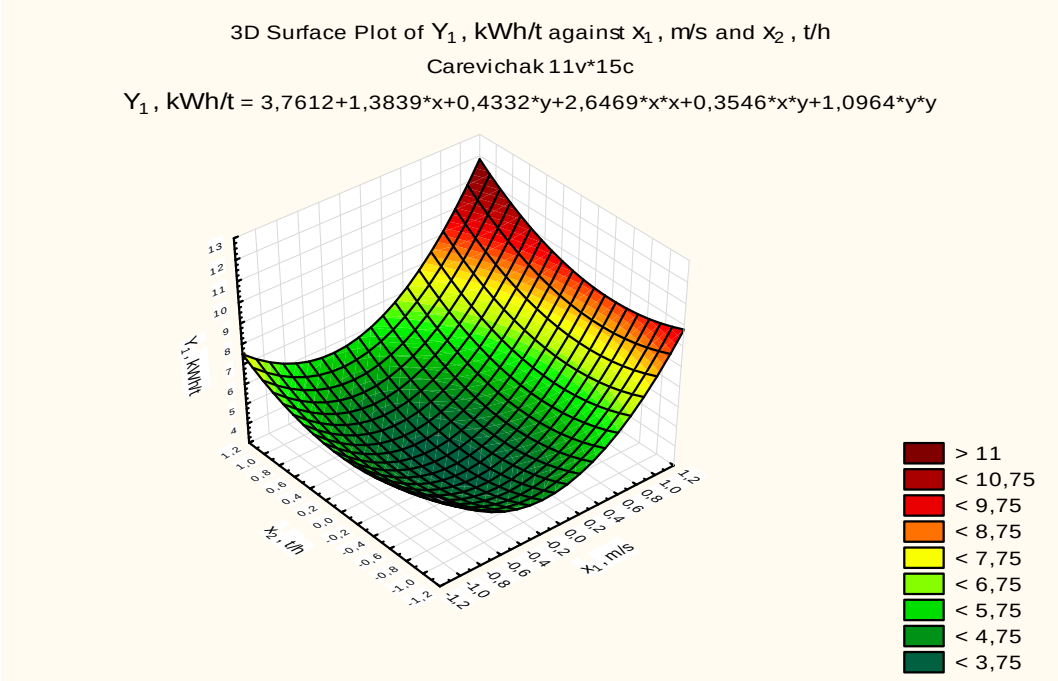
Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_2 (производителност).

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: Y_2 , t/h (Carevichak) R= ,98015611 R?= ,96070599 Adjusted R?= ,88997678 F(9,5)=13,583 p<,00516 Std.Error of estimate: ,02761					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			0,392347	0,014847	26,42691	0,000001
x_1 , m/s	0,198532	0,089348	0,019551	0,008799	2,22202	0,076932
x_2 , t/h	0,763929	0,089348	0,075231	0,008799	8,55008	0,000360
x_3 , бр.	0,115063	0,089348	0,011331	0,008799	1,28782	0,254189
x_{12}	0,032567	0,089521	0,003586	0,009857	0,36379	0,730889
x_{13}	-0,062344	0,089521	-0,006864	0,009857	-0,69641	0,517210
x_{23}	-0,021256	0,092795	-0,002514	0,010975	-0,22907	0,827893
x_{11}	-0,307695	0,100996	-0,052484	0,017227	-3,04662	0,028534
x_{22}	0,026475	0,100996	0,004516	0,017227	0,26214	0,803670
x_{33}	-0,388014	0,100996	-0,066184	0,017227	-3,84189	0,012100

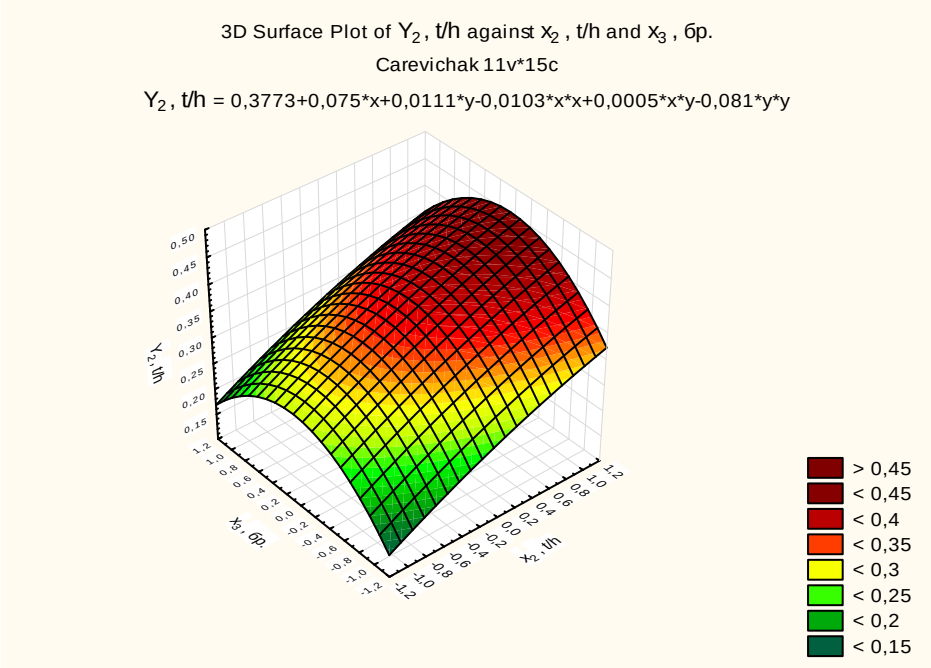
Значимите коефициенти за модела Y_2 са b0, b2, b11 и b33, защото за тях равнището на вероятност $p < 0,05$. След изключване на незначимите фактори моделът за Y_2 ще има вида:

$$Y_2 = 0,392 + 0.075*x_2 - 0,052*x_1^2 - 0,066*x_3^2 \qquad (4.9)$$

Графичното представяне на модела за Y_1 (специфичния разход на енергия) ще направим като отчетем влиянието на x_1 (периферната скорост) и x_2 (натоварването) като най-значими. Графичното представяне на модела за Y_2 (производителност) ще направим като отчетем влиянието на x_2 (натоварването) и x_3 количеството контра ножове като най-значими. На фиг.4.12 и фиг.4.14 графично са показани повърхнините на отклик за получените математически модели за Y_1 и Y_2 .



Фиг. 4.12. Повърхнина на отклика за специфичния разход на енергия $Y_1= f(x_1,x_2)$.



Фиг. 4.14. Повърхнина на отклика за производителността $Y_2 = f(x_2,x_3)$.

Планиран многофакторен експеримент за наситняване на царевично зърно.

Работата на комбинирания наситняващ апарат е изследвана при различни стойности на избраните управляеми фактори на експеримента: x_1, m/s периферна скорост, x_2, cm^2 сечение на шибъра за захранване, x_3, бр. количество чукове. Получените резултати от предварителните опити и от анализа на влиянието на отделните управляеми фактори върху енергетичните и технологични показатели на наситняващия апарат дават основание да се изберат нивата на вариране на факторите, които са дадени в приложение 6 от дисертацията.

Резултати от регресионния анализ за модел от втора степен за специфичния разход на енергия Y_1.

Таблица 4.30.

Разширена матрица на експеримента и опитни стойности на Y_1 и Y_2.

	1 x_1, m/s	2 x_2, cm^2	3 x_3, бр.	4 x_{12}	5 x_{13}	6 x_{23}	7 x_{11}	8 x_{22}	9 x_{33}	10 Y_1, kWh/t	11 Y_2, t/h
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27,49	0,165
2	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	17,45	0,150
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	23,11	0,106
4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	17,40	0,090
5	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	27,06	0,154
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	17,47	0,137
7	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	23,21	0,095
8	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	17,30	0,086
9	1	0	0	0	0	0	1	0	0	19,31	0,156
10	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	12,07	0,136
11	0	1	0	0	0	0	0	1	0	12,80	0,210
12	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	10,75	0,164
13	0	0	1	0	0	0	0	0	1	12,64	0,117
14	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	13,51	0,158
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,80	0,180

Таблица 4.31.

Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_1 (специфичен разход на енергия).

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: Y_1, kWh/t (Carevichno zarno) R= ,99935259 R?= ,99870560 Adjusted R?= ,99637567 F(9,5)=428,64 p<,00000 Std.Error of estimate: ,34301					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			9,668000	0,184363	52,44007	0,000000
x_1, m/s	0,570939	0,016090	3,849000	0,108470	35,48460	0,000000
x_2, cm ^{2}	0,155751	0,016090	1,050000	0,108470	9,68013	0,000200
x_3, бр.	-0,006823	0,016090	-0,046000	0,108470	-0,42408	0,689133
x_{12}	0,132840	0,016090	1,001250	0,121273	8,25619	0,000425
x_{13}	0,004146	0,016090	0,031250	0,121273	0,25768	0,806920
x_{23}	0,006800	0,016090	0,051250	0,121273	0,42260	0,690144
x_{11}	0,518556	0,018319	6,055000	0,213905	28,30697	0,000001
x_{22}	0,183272	0,018319	2,140000	0,213905	10,00445	0,000171
x_{33}	0,294605	0,018319	3,440000	0,213905	16,08191	0,000017

Значими са коефициентите b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22} и b_{33}, защото за тях равнището на вероятност $p < 0,05$. След изключване на незначимите фактори моделът за Y_1 ще има вида:

$$Y_1 = 9.668+3.849*x_1+1.05*x_2+1.0013*x_1*x_2+6.055*x_1^2+2.14*x_2^2+3.44*x_3^2 \quad (4.10)$$

Резултати от регресионния анализ за модел от втора степен за производителността Y_2.

Таблица 4.36.

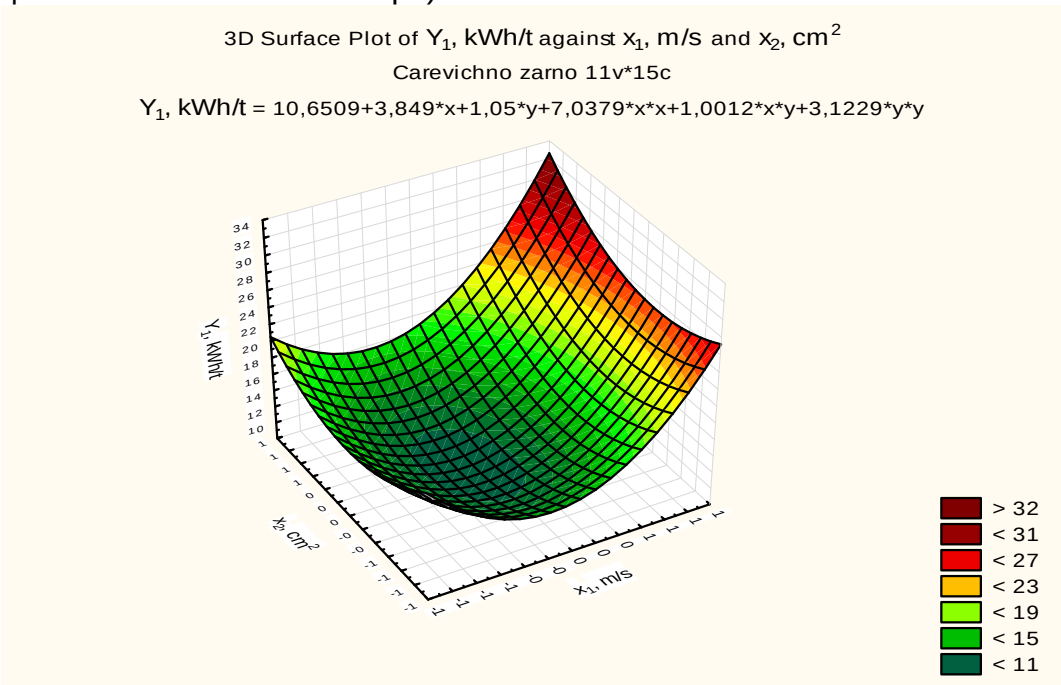
Резултати от регресионния анализ на модел от втора степен за Y_2 (производителност).

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: Y_2, t/h (Carevichno zarno) R= ,96716147 R?= ,93540131 Adjusted R?= ,81912368 F(9,5)=8,0446 p<,01676 Std.Error of estimate: ,01514					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
Intercept			0,175556	0,008135	21,58041	0,000004
x_1, m/s	0,183656	0,113665	0,007733	0,004786	1,61576	0,167068
x_2, cm ^{2}	0,653877	0,113665	0,027533	0,004786	5,75267	0,002227
x_3, бр.	-0,008708	0,113665	-0,000367	0,004786	-0,07661	0,941905
x_{12}	0,017701	0,113665	0,000833	0,005351	0,15573	0,882337
x_{13}	0,014161	0,113665	0,000667	0,005351	0,12458	0,905706
x_{23}	0,024782	0,113665	0,001167	0,005351	0,21802	0,836030
x_{11}	-0,390009	0,129413	-0,028444	0,009438	-3,01367	0,029631
x_{22}	0,172152	0,129413	0,012556	0,009438	1,33025	0,240880
x_{33}	-0,506554	0,129413	-0,036944	0,009438	-3,91424	0,011247

Значими са коефициентите b0, b2, b11 и b33, защото за тях равнището на вероятност $p < 0,05$. След изключване на незначимите фактори моделът за Y_2 ще има вида:

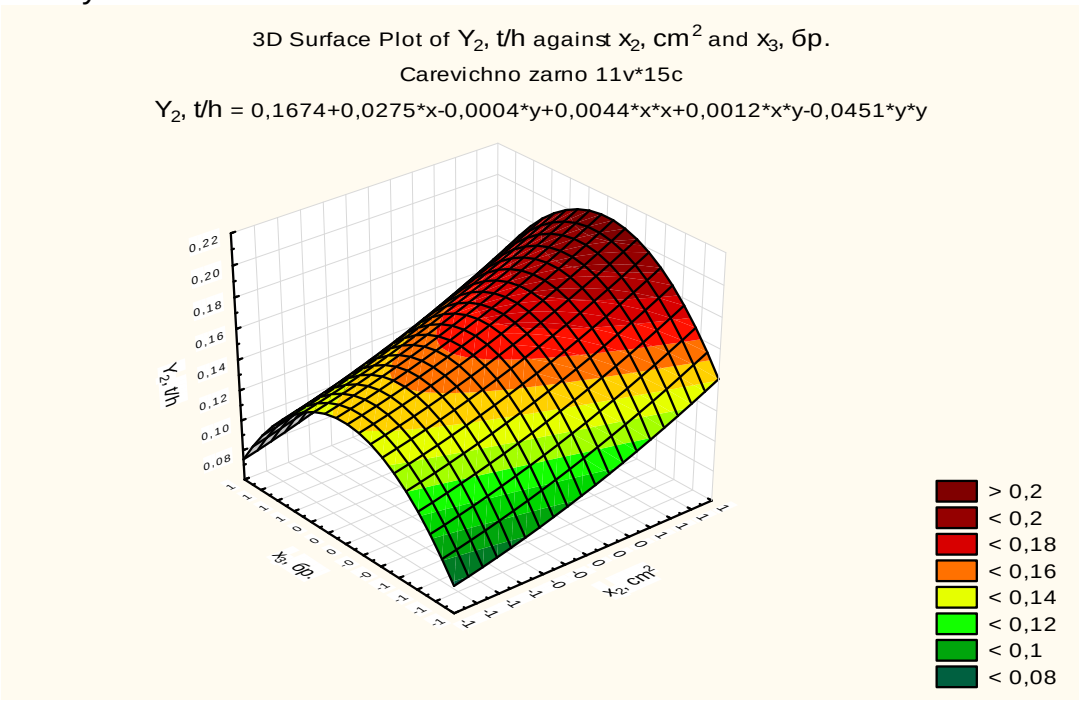
$$Y_2 = 0,1756 + 0,028*x_2 - 0,028*x_1^2 - 0,037*x_3^2 \quad (4.11)$$

Графичното представяне на модела за Y_1 (специфичния разход на енергия) ще направим като отчетем влиянието на x_1 (периферната скорост) и x_2 (площта на сечението на шибъра) като най-значими.



Фиг. 4.16. Повърхнина на отклика за специфичния разход на енергия $Y_1=f(x_1,x_2)$.

Графичното представяне на модела за Y_2 (производителност) ще направим като отчетем влиянието на x_2 (площ на сечение на шибъра) и x_3 количество чукове като най-значими.



Фиг. 4.18. Повърхнина на отклика за производителността $Y_2 = f(x_2,x_3)$.

Извършена е многокритериална оптимизация, като са установени оптималните стойности на основните параметри и изследваните критерии, представени в табл.4.41.

Таблица 4.41.

Обобщени оптимални стойности на процеса за различни фуражи.

Фураж	X_1	X_2	X_3	Y_1, kWh/t	Y_2, t/h
Слама сп. р-д на е-я	37,5 m/s	0,495 t/h	8 бр.	4,6	-
производителност	37,5 m/s	0,62 t/h	8 бр.	-	0,558
Царевичак сп. р-д на е-я	37,7 m/s	0,49 t/h	8 бр.	3,65	-
производителност	37,5 m/s	0,62 t/h	8 бр.	-	0,452
Царевично зърно сп. р-д.е-я	62,5 m/s	29,6 cm^2	11 бр.	10,24	-
производителност	62,5 m/s	38 cm^2	11 бр.	-	0,199

Представени са резултати от сравнителни изследвания при наситнени груби фуражи от различни видове машини, проведени с класификатора за разделяне на фракции, като чрез предложения метод е определен комплексен критерий за оценка ефективността и качеството при работа на наситняващи машини с груби фуражи.

Таблица 4.45.

Резултати от приложение на критерия за оценка на наситняващи устройства.

Марка	Производи-телност,t/h	Спец. р-д на енергия, kWh/t	Маса на фракциите, g				K, %	П (3/8) 3:8
			0-6	6-30	30-50	над 50		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФУЛС-0,5	0,23	16,9	14,5	81,86	2,12	1,52	22,13	0,76
ФУЛС-0,4	0,035	25,7	12,80	73,70	2,88	1,62	20,00	1,28
ФЧ-500У	0,075	25,3	20,60	76,50	1,61	1,29	21,25	1,18
ФЧ-400У	0,045	32,7	19,50	78,50	1,00	1,00	21,70	1,51
РЕСИ	0,14	21,3	11,20	77,52	6,59	4,79	21,20	1,00
ФК-400	0,052	62,6	16,30	63,70	8,00	2,00	18,15	3,45
РГФ“Странджа“	5,80	6,00	11,60	77,28	6,83	4,29	21,14	0,28
ОУНФ(за слама)	***0,6***	***4,6***	***4,51***	***69,88***	***16,75***	***8,86***	***19.46***	***0,24***

Изводи от глава четвърта:

1. Установено е, че ъгълът на приплъзване при рязане влияе съществено на усилието за рязане, като експериментално получените резултати показват, че с увеличаване на този ъгъл до 50^0 необходимото усилие за рязане намалява.

2. Установено е, че видът на ножа по отношение формата на острието (праволинейно или криволинейно) влияе върху усилието на рязане, при опити с пшеничена слама и царевичак. Получените резултати показват, че усилието при рязане от нож с криволинейно острие е по-малко в сравнение за нож с праволинейно острие, съответно за ъглите както следва: от $5 \div 10^0$ с 29 %,; от10 $\div 20^0$ с 14 %; от $20 \div 30^0$ с 9 %; от $30 \div 40^0$ с 4.8 %; от $40 \div 50^0$ с 4.2 %.

3. Установено е, че поради техническа и икономическа неефективност за използване на ножове с криволинейно острие, при машините за нарязване на стеблени материали, в т.ч. и груби фуражи, подходящи за приложение в практиката са ножове с праволинейно острие, монтирани за рязане с приплъзване под ъгъл $30\text{-}40^0$.

4. От проведените многофакторни експерименти, с опитната уредба, са получени адекватни математически модели за специфичния разход на енергия Y_1 и производителността Y_2, при наситняване на пшеничена слама, царевичак и царевично зърно.

5. Чрез многокритериална оптимизация са установени оптималните стойности на основните фактори – при нарязване груби фуражи: X_1- периферна скорост на ножовете 37,5m/s; X_2 – натоварването – 0,495t/h; X_3 – брой контраножове 8 бр.; при наситняване на царевично зърно : X_1 –периферна скорост на чуковете 62,5m/s; X_2 – натоварването, което съответства на сечението на шибъра за захранването 38 cm^2; X_3 – брой чукове 11 бр.;

6. Установени са оптималните стойности на изследваните показатели: специфичен разход на енергия Y_1 = 4,6 kWh/t за слама, 3,65 kWh/t за царевичак, 10,24 kWh/t за царевично зърно; производителност Y_2 = 0,558 t/h при слама, 0,452 t/h за царевичак и 0,199 t/h при царевично зърно.

7. Експериментално при сравнителни изследвания са установени оптималните стойности на параметрите на класификатор при разделяне на фракции на извадки (проби) от нарязани сламени частици. Постигната е максимална разделителна способност при ъгъл на наклона на ситовата повърхност $2\text{-}3^0$, ъглова скорост на ексцентриковия вал 28-30 s^{-1} и радиус на ексцентрицитета r =10mm, при грешка $\bar{\varepsilon}$ = 1,58%.

8. Чрез използване на метода за качествена оценка на наситняващи машини и проведени сравнителни изследвания е обоснован критерий за комплексна оценка, включващ специфичния разход на енергия и едрината (модула), в съответствие със зоотехническите изисквания за хранене на животните.

ОБЩИ ИЗВОДИ

1. От направения литературен анализ е констатирано, че масово прилаганите технологии и машини за прибиране, обработване и съхранение са невинаги ефективни, с ниска производителност, високи разход на енергия и металоемкост: - прибирането на грубите фуражи във вид на малки бали е неефективна технология, но масово се прилага у нас и е свързана с висок разход на труд; - технологията за прибиране на грубите фуражи във вид на рулонни бали трябва да намери по-голямо приложение, но при наличие на всички необходими машини от целия комплекс; - икономически най-ефективна е технологията за прибиране на грубите фуражи в нарязано състояние, при която разходите на труд се намаляват с около 72 %, а приведените разходи при прибиране на сламата с до 50 % .

2. Установено е, че при съществуващите машини за наситняване на груби фуражи разходът на енергия е значително висок и може да бъде намален с до 30% при използването на конструктивно-технологични схеми, в които е заложено многостепенно наситняване (дву- и три- степенно) в съчетание на ножове с праволинейно острие, чукове за омекотяване, вертикален вал и отворена (без сита) работна камера.

3. Необходими са по-задълбочени изследвания на процесите на рязане при груби фуражи, особено при използване на комбинирани работни органи. Провеждането на теоретични и експериментални изследвания са подходящи за изясняване влиянието на натоварването, влажността, скоростта на рязане и друго показатели върху качеството и енергетиката на процеса.

4. Установено е, че за повишаване ефективността на процеса наситняване е необходимо да се търсят решения за намаляване работата за еластични деформации A_V (намаляване твърдостта на материала), и за увеличаване на работата за образуване на нови повърхности A_S (създаване на условия за максимални пренапрежения).

5. Теоретично е обоснована изходна предпоставка за оптимална конструкция наситняващ апарат, подходящ за различни фуражи. Установена е целесъобразността и ефективността при използването на комбинирано наситняващо устройство, подходящо за механична обработка на груби и концентрирани фуражи, което може да бъде полезно и за практиката.

6. От критериите на скоростта V, на производителността Q и на специфичния разход на енергия q, теоретично е обоснован изборът на оптимална скорост на работния орган V_{opt}, като изходна предпоставка при наситняването. Установено е, че тя трябва да бъде в диапазона 50÷70m/s, при която специфичният разход на енергия е минимален. Теоретично е обоснован критерии на „живото сечение” и е дефиниран коефициент на „живото сечение”, представляващ отношението на площта на отворите към общата площ (цилиндричната повърхнина $\pi.B.D$ на камерата), който е в правопропорционална зависимост с производителността.

7. Теоретично и конструктивно е обоснована компановъчна схема и конструкция на устройство за наситняване, съчетаващи принципа на рязане с приплъзване, нож с праволинейно острие, ротор с вертикален вал и отворена работна камера, при която използването на ножовете (работния ход) се доближава до 100%.

8. Установено е, че ъгълът на приплъзване при рязане влияе съществено на усилието за рязане, като експериментално получените резултати показват, че с увеличаване на този ъгъл до 50^0 необходимото усилие за рязане намалява.

9. Установено е, че видът на ножа по отношение формата на острието (праволинейно или криволинейно) влияе върху усилието на рязане, при опити с пшеничена слама и царевичак. Получените резултати показват, че усилието при рязане от нож с криволинейно острие е по-малко в сравнение за нож с праволинейно острие, съответно за ъглите както следва: от $5 \div 10^0$ с 29 %; от$10 \div 20^0$ с 14 %; от $20 \div 30^0$ с 9 %; от $30 \div 40^0$ с 4,8 %; от $40 \div 50^0$ с 4,2 %.

10. Установено е, че поради техническа и икономическа неефективност за използване на ножове с криволинейно острие, при машините за нарязване на стеблени материали, в т.ч. и груби фуражи, подходящи за приложение в практиката са ножове с праволинейно острие, монтирани за рязане с приплъзване под ъгъл $30\text{-}40^0$.

11. Получени са адекватни математически модели за специфичния разход на енергия Y_1 и производителността Y_2, при наситняване на пшеничена слама, царевичак и царевично зърно.

12. Чрез многокритериална оптимизация са установени оптималните стойности на основните фактори – при нарязване на груби фуражи: X_1- прериферна скорост на ножовете 37,5m/s; X_2 – натоварване – 0,495t/h; X_3 – брой контраножове 8 бр.; - при наситняване на царевичното зърно: X_1 – периферна скорост на чуковете 62,5m/s; X_2 – натоварване, което съответства на сечението на шибъра за захранването 38 cm^2; X_3 – брой чукове 11 бр.

13. Установени са оптималните стойности на изследваните показатели: специфичен разход на енергия Y_1 = 4,6 kWh/t за слама, 3,65 kWh/t за царевичак, 10,24 kWh/t за царевично зърно; производителност Y_2 = 0,558 t/h при слама, 0,452 t/h за царевичак и 0,199 t/h при царевично зърно.

14. Установени са оптималните стойности на параметрите на класификатор при разделяне на фракции на извадки (проби) от нарязани сламени частици. Постигната е максималната разделителна способност при ъгъл на наклона $2\text{-}3^0$, ъглова скорост на ексцентриковия вал 28-30 s^{-1} и радиус на ексцентрицитета r =10mm, при грешка $\bar{\varepsilon}$ = 1,58%.

15. Чрез използване на метода за качествена оценка на наситняващи машини и проведени сравнителни изследвания е обоснован критерий за комплексна качествена оценка, включващ специфичния разход на енергия и едрината (модула), в съответствие със зоотехническите изисквания за хранене на животните.

П Р И Н О С И

1. Научно-приложни приноси

1. Чрез използване теорията на подобие и направения теоретичен анализ на критериите на подобие при изследване, изпитване, оценка и създаване на машини за наситняване на фуражите, беше установено, че за повишаване ефективността на процеса, по принцип е необходимо намаляване работата за еластични деформации A_V (намаляване твърдостта на материала) и увеличаване на работата за образуване на нови повърхности A_S (създаване на условия за максимални пренапрежения).

2. Установено е, че известната зависимост $A_{НАС}=C_1.\lg\lambda^3 + C_2(\lambda-1)$ (3.42), като обобщаваща обемната и повърхнинна теории е полезна при енергетична оценка на процеса наситняване (смилането и рязането) и може да бъде използвана на практика, при изследване на работния процес на универсални наситняващи устройства, комплектовани с режещи апарати, чукови барабани и при двустепенно въздействие върху материала.

3. Установено е, че предложената от Р. Чарлз (1958) диференциална зависимост (3.1) и получените от нея (3.3) и (3.4), изразяващи връзката между разхода на енергия E и получения резултат (степента λ или модула x) при процеса наситняване на фуражите, обобщава в максимална степен известните хипотези и теории на наситняването. Тя може да бъде използвана практически при сравнителни изследвания и теоретично обосноваване на основните параметри на работни органи и машини при наситняване на обемисти, груби и на концентрирани (зърнени) фуражи.

4. Експериментално получените стойности за степенния показател n=1,72÷2,17, определят общия характер на зависимостите (3.1), (3.3) и (3.4), съответно близки до хипербола от вида A.M = const и права линия от вида A=α.λ+b. Опитно построените графични зависимости фиг. 3.6 и фиг.3.7 изразяващи връзката между специфичния разход на енергия q от модула M(ℓ_{cp}) степента на наситняване λ, са практически удобни за бързо и предварително определяне на специфичния разход на енергия q за различни степени на наситняване λ, което може да бъде полезно при сравнителни изследвания и при проектиране на устройства за наситняване.

5. Получени са адекватни математически модели за специфичния разход на енергия Y_1 и производителността Y_2, при наситняване на пшеничена слама, царевичак и царевично зърно и са установени оптималните стойности на основните фактори и показатели, както следва:

- при нарязване на груби фуражи: X_1- прериферна скорост на ножовете 37,5 m/s; X_2 – натоварване – 0,495 t/h; X_3 – брой контраножове 8 бр.; за пшеничена слама - Y_1= 4,6 kWh/t и Y_2= 0,558 t/h за слама; за царевичак - Y_1= 3,65 kWh/t и Y_2= 0,452 t/h;

- при наситняване на царевично зърно: X_1 – периферна скорост на чуковете 62,5 m/s; X_2 – натоварване, което съответства на сечението на шибъра за захранването 38 cm^2; X_3 – брой чукове 11 бр.; Y_1 и Y_2 съответно 10,24 kWh/t и 0,199 t/h.

6. Обоснован е критерий на „живото сечение” и е дефиниран коефициент на „живото сечение”, представляващ отношението на площта на отворите към общата площ (цилиндричната повърхнина π.B.D на камерата), който е в правопропорционална (линейна) зависимост с производителността. Този критерий, представен като отношението F/BD, може да служи за

приблизителни пресмятания и оценка ефективността на конкретни конструкции наситняващи машини.

7. Установено е, че класическият ситов анализ, прилаган за оценка на наситнени концентрирани фуражи, не е приложим или не дава достатъчно точни резултати при грубите фуражи. Предложен е метод и е обоснован критерий за комплексна качествена оценка на наситняващи машини, включващ специфичния разход на енергия и едрината (модула), в съответствие със зоотехническите изисквания за хранене на животните, които са подходящи за използване при сравнителни изследвания.

2. Приложни приноси

1. Установено е, че масово прилаганите технологии и използвани машини за прибиране, обработване и съхранение на грубите фуражи не винаги са ефективни, някои от тях са с ниска производителност, високи разходи на енергия и металоемкост, а именно:

- прибирането на грубите фуражи във вид на малки паралелепипедни бали е неефективна технология, но масово се прилага у нас независимо, че е свързана с висок разход на труд;
- технологията за прибиране на грубите фуражи във вид на рулонни или големи паралелепипедни бали може да намери по-голямо приложение, но необходимостта от наличието на целия комплекс от всички необходими машини я ограничава значително;
- икономически най-ефективна е технологията за прибиране на грубите фуражи в нарязано състояние, при която в сравнение с масово прилаганата при прибиране на сламата, разходите на труд се намаляват с около 72 %, а приведените разходи с до 50 %.

2. Съществуващите машини за наситняване на груби фуражи работят със значително висок разход на енергия, който може да бъде намален с до 30% при използването на конструктивно-технологични схеми, в които е заложено многостепенно наситняване (дву- и три- степенно) в съчетание на ножове с праволинейно острие, чукове за омекотяване, вертикален вал и отворена (без сита) работна камера. Установена е целесъобразността и ефективността при използването на комбинирано насиняващо устройство, подходящо за механична обработка на груби и концентрирани фуражи, което може да бъде полезно и за практиката.

3. Установено е, че ъгълът на приплъзване при рязане влияе съществено на усилието за рязане, като с увеличаването му до 50^0, необходимото усилие за рязане намалява. При машините за нарязване на стеблени материали, в т.ч. и груби фуражи, подходящи за приложение в практиката са ножове с праволинейно острие, монтирани за рязане с приплъзване под ъгъл $30\text{-}40^0$. Предложеният комбиниран работен орган от ножове за нарязване и чукове за омекотяване (смилане) на фуража, при което се осигурява минимален разход на енергия и необходимо качество може да бъде подходящо техническо решение за практиката.

4. Предложена е конструкция на класификатор за наситнени груби фуражи, като са обосновани основните кинематични показатели - ъгъл на наклона на ситовата повърхност $2\text{-}3^0$, радиус на ексцентрицитета r = 10 mm и ъглова скорост на ексцентриковия вал 28-30 s^{-1}, при които класификаторът работи с максимална разделителна способност, при грешка $\bar{\varepsilon}$ = 1,58%.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Овчаров М., Б.Борисов**,** Анализ на принципите и теориите за наситняване на фуражите. Научни трудове на Русенски университет “Ангел Кънчев”, т.52, с.1.1., Русе, 2013, стр.142-147, ISBN 1310 – 3946.

2. проф. Борисов Б.Г., доц. Митев С.Й., инж. Овчаров М.А., гл.ас.д-р Христаков И.С., Метод за оценка на качеството при наситняване на груби фуражи. II-nd international scientific and technical conference agricultural machinery, Varna, Bulgaria. Proceedings-scientific technical union of mechanical engineering, №5, 2014, с. 50-52, ISBN 1310 – 3946.

3. Овчаров М., И.Христаков, Б.Колев, Б.Борисов. Относно някой основни принципи при създаване на оптимизирана конструкция за наситняване на фуражи. Научната конференция РУ&СУ’14, Научни трудове на Русенския университет - 2014, том 53, серия 1.1, стр. 112-117, ISBN 1311-3321.

4. Овчаров М.А., Анализ на резултатите от лабораторни сравнителни изследвания при нарязване на грубите фуражи. Научна конференция на РУ&СУ’15, Научни трудове на Русенския университет - 2015, том 54, серия 1.1, с.72-78, ISBN 1311-3321.

5. Ovcharov,M., D.Bekana, B.Kolev, B.Borisov. Regarding certain theoretical formulation of forage chopping. Механізаціята електрифікація сільського господарства, 2015, № 2 (101), pp. 121-127, Ukrajna, ISSN 0202-1927.

6. Borisov B., Kolev B., Bratoev K., Ovcharov M. Theoretical Prerequisites for Creating a Combined Milling Machine Feed, NK-EE&AI-2015-IVth International Scientific Conference, Ruse, Bulgaria, p.476-480, ISSN 1311- 9974.

7. Овчаров, М., Б. Колев, Б. Борисов. Теоретичен анализ и обоснован избор на принцип за наситняване на фуражите. Селскостопанска техника, 2015, бр. 1, стр. 9-17, С., ISSN 0037-1718.

8.Овчаров, М., Б. Колев, Б. Борисов, Оптимална теория за ефективна енергетична оценка при наситняване на фуражите. Селскостопанска техника, 2015, С., ISSN 0037-1718 (под печат).

Comparative investigations and substantiation of a layout of a forage milling device

Abstract

The technologies and machines widely used for harvesting, processing and storage of coarse forage are not always effective. Some of them have a low output as well as high energy and metal consumption, more specifically:

The existing coarse forage milling machinery operates with a considerably high energy consumption, which can be reduced by up to 30% by employing constructional-technological design plans, which include multistage milling (2- and 3-stage milling) combined with rectilinear blade knives, dampening hammers, a vertical shaft and an open operation chamber (without sieves). Expedience and effectiveness has been determined when using a combined milling device suitable for mechanical processing of milled coarse forage. This implement can also be useful in practice and utilized in the agricultural industry.

A construction of a classifier for milled coarse forage, as well as methodology and criteria for comprehensive quality grading of milling machinery has been proposed.

Бих желал да изразя моята благодарност към научния си ръководител проф. д-р инж. Борис Борисов за безрезервната подкрепа и насърчаването ми в работата по време на моята докторантура.

За оказаното ми съдействие при подготовката и извършването на практическите и теоретичните изследвания изказвам благодарност на:

1. инж. Огнян Везирски, изпълнителен директор на фирма "Агроремпроект-98"-АД, за неговата съпричастност при изработването на наситняващото устройство и провеждане на производствените изследвания;

2. на преподавателите от Русенския университет "А. Кънчев":

- проф. д-р инж. Атанас Митков от катедра "Земеделска техника";

- доц. д-р инж. Божидар Колев от катедра "Земеделска техника";

- доц. д-р инж. Цветозар Ст. Георгиев от катедра "Компютърни системи и технологии";

- инж. Борислав Христов от катедра "Компютърни системи и технологии".

Благодаря на всички колеги от катедра "Земеделска техника" на Русенски университет "А. Кънчев" за доброто отношение, проявено разбиране и търпение.