

## Анализ на принципите и теориите за наситняване на фуражите

Милен Овчаров, Борис Борисов

**Analysis of the principles and theories of milling feed:** Milling not only energy consumption but also deterioration of the working parts is too expensive process and therefore the basic principle of milling in all sectors where the application is located - to reduce the cost and getting high quality products. The resulting particles have a different shape and size. Particulate bulk bruising are irregular in shape and generally sharp edges. When finer bruising particle shape is close to spherical. By reducing the particle size increases the relative size of their surface.

**Key words:** Energy consumption, To reduce the cost and getting high quality products, The relative size of their surface.

### ВЪВЕДЕНИЕ

От механично технологичните обработки на фуражите най-разпространеният и важен процес е наситняването на фуражите, обуславящо физиологичните нужди на животните. Различните начини на насиняване се използват в зависимост от физико-механичните свойства на фуража.

Получените частици имат различна форма и размер. Частиците при едро насиняване са с неправилна форма и обикновено с остри ръбове. При по-финно насиняване формата на частиците се доближава до сферична. С намаляване на размера на частиците нараства относителният размер на тяхната повърхност.

В наситняващите машини фуражите са подложени на различни въздействия от работните органи и влияния на околната среда (влажност, налягане, температура на въздуха и др.) в резултат, на което се променя тяхната механична структура, физическите и химическите им свойства. Под въздействието на работните органи наситненият фураж променя формата, размера, свойствата и физическото си състояние [1].

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Насиняването на фуражите е механичен процес, при който на твърдо тяло се прилагат външни сили, превишаващи молекуларните сили и то се разделя на частици. Площта на повърхностите на новите частици е значително по-голяма от повърхността на изходното тяло.

Механичното насиняване се осъществява чрез смилане и рязане.

- Смилането се осъществява чрез удар, цепене, смачкване и стриване.
- Рязането може да бъде разделено на сечене и рязане с преплъзване.

При въздействие предимно на смачкване, процесът се нарича плющене. Плющенето и стриването се извършва с валцови машини - плющилки.

За определяне на работата за наситняване през 19 в. се били предложени две теории: повърхнинната и обемна.

*Повърхнинната теория* е формулирана от немския учен П.Ритингер - работата необходима за наситняване на дадено тяло е право пропорционална на площта на новообразуваните повърхнини [3].

$$A_R = f(\Delta S) \quad (1)$$

където  $\Delta S$  - е площта на новообразуваните повърхнини.

Ако разгледаме тяло с кубична форма с ребро  $D$ , което наситняваме до частица с кубична форма и ребро  $d$ , то количеството на получените частици можем да изчислим с отношението  $N_ч = D^3/d^3 = \lambda^3$ , а площта на новообразуваните повърхнини може да се определи по формулата:

$$\Delta S = S_{КР} - S_{НАЧ} = 6d^2 N_ч - 6D^2 \quad \text{или} \quad \Delta S = 6D^2(\lambda - 1), \quad (2)$$

където  $\lambda$  е степента на раздробяване (наситняване).

Ако  $A_о$  е работата, изразходвана за образуване на единица нова повърхност, а  $A_R$  е пълната работа по формулата на Ритингер може да се определи:

$$A_R = A_0 \cdot \Delta S = 6A_0 D^2 (\lambda - 1). \quad (3)$$

Ако във формула (3) приемем за постоянни величини специфичната работа  $A_0$  и степента на наситняване  $\lambda$ , то пълната работа на наситняване ще бъде:

$$A_R = K_R D^2, \quad (4)$$

където  $K_R$  - коефициент на пропорционалност по Ритингер.

Тази зависимост изразява частен случай. В действителност степента на наситняване варира в широки граници и зависи от свойствата и големината на материала, от начина на наситняване и конструктивните особености на наситняващата машина. По отношение технологиите за приготвяне на зърнените фуражи като постоянна величина може да се приеме еквивалентният диаметър на зърното  $D_z$ . Следствие на това отчитане уравнение (4) приема вида:

$$A_R = K_{R0} (\lambda - 1), \quad (5)$$

където  $K_{R0}$  - коефициент на пропорционалност.

Повърхнинната теория намира по-голямо приложение при финно наситняване. При наситняването на зърнени фуражи, зависимостта между вложената енергия и степента на наситняване е почти правопрпорционална при смилане с големина на частиците  $d \leq 0,4-0,6 \text{ mm}$  и  $\lambda \geq 7$ ,  $A_{\text{НАС}} = f(\lambda)$ .

*Обемната теория* е разработена от руския учен-механик В.Л. Кирпичев (1874) и немския - проф. Ф. Кик (1885). Теорията на Кирпичев-Кик се базира на хипотези, свързващи енергийните разходи с намаляване обема на наситнявания материал.

В съответствие със закона на проф.В.Л.Кирпичев, частиците на наситнявания материал се разпадат при известни условия на геометрично подобни. Ако за получаването на зададени размери, наситняване с еднократно въздействие не е достатъчно, то за разпадането на геометрично подобни по-малки частици е необходимо многократно въздействие. Тъй като обемът остава постоянен, то според тази теория разходът на енергия за наситняване при всяко въздействие ще е еднаква, ако е еднаква степента на наситняване при всяко въздействие [2].

Според тази теория необходимата работа  $A_k$  за наситняване на материала е правопрпорционална на обема  $\Delta V$  на деформираните части на материала т.е.

$$A_k = f(\Delta V). \quad (6)$$

Деформираната част на материала има обем  $\Delta V$ , която е пропорционална на първоначалния обем  $V$  на материала, т.е.  $\Delta V = K_1 V$ , от което следва:

$$A_k = K K_1 V = K_2 V = K_k D^3$$

Или

$$A_k = K_2 V = K_2 \rho m = K'_k m, \quad (7)$$

където  $K_k$  и  $K'_k$  са коефициенти на пропорционалност във формулата на Кирпичев-Кик;

$\rho$  и  $m$  – съответно плътността и масата на наситнения материал.

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

Ако масата на материала  $M$  се състои от частици с еднаква маса  $m$ , то броят на наситнените частици ще е равен на  $N = M/m$ . Работата за наситняване на една частица може да се определи по формула (7), а за цялата маса по формулата:

$$A = A_k N = K'_k M. \quad (8)$$

Ако материалът се състои от частици с различни размери и се наситнява за  $n$  цикъла, като за всеки цикъл степента на наситняване е  $\lambda_1$ , то в края на процеса степента на наситняване ще е  $\lambda = D/d = \lambda_1^n$ , от където може да бъде получен броят на циклите  $n$ ,

$$n = \frac{\log \lambda}{\log \lambda_1}. \quad (9)$$

Тогава следва, че общата работа за  $n$  цикъла е  $A = nK'kM$ .

След заместване  $n$  от формула (9) се получава:

$$A = K_k \log \lambda M = K_k [\log (1/d) - \log (1/D)] M.$$

Следователно специфичната работа за наситняване  $A_k$  (J/kg) е равна на:

$$A_k = K_k [\log (1/d) - \log (1/D)] = K_k \log \lambda. \quad (10)$$

През 1952 г. Ф.Бонд създава теория обединяваща уравнения (5) и (10). Като се допуска, че работата изразходвана за наситняване е пропорционална на средно геометричното от обема и специфичната повърхност на наситнените частици:

$$A_b = K \sqrt{VS} = K \sqrt{K_k D^3} \sqrt{K_s D^2} = K_s K_k D^{2.5}.$$

След преобразуване се получава, зависимостта на необходимата работа за наситняване по Бонд,

$$A_b = K_s [(1/\sqrt{d}) - (1/\sqrt{D})]. \quad (11)$$

От направения анализ се вижда, че зависимостите (5) и (7) са двусмислени и не остават непроменени по отношение на условията на експеримента, т.е. не са строго научни закони, а изразяват само частни случаи на протичането на процеса. Известно е, че законите трябва да изразяват строго детерминирани еднозначни зависимости, характеризиращи явления или процеси инвариантни по отношение на системата на отчитане [3].

През 1928г. акад. П.А. Ребиндер предложил пресмятането на работата за наситняване да се извършва с формулата:

$$A = f(\Delta V) + f_1(\Delta S), \quad (12)$$

където  $\Delta V$  е обемът на деформираната част на материала;

$\Delta S$  – нарастващата специфична повърхност на материала.

Уравнението на Ребиндер отчита недостатъците на повърхнинната и обемната теория и в разширен вид може да бъде изразено по следния начин:

$$A = A_v + A_s = k \Delta V + \alpha \Delta S, \quad (13)$$

където  $A_v$  е работата, използвана за деформации на деформируемата област на телата;

$A_s$  - работата, използвана за образуване на нови специфични повърхности, вследствие на разделянето;

$K$  - коефициентът на пропорционалност при деформацията;

$\alpha$  - коефициентът на пропорционалност, отчитащ енергията на повърхностното напрежение на твърдото тяло.

Уравнение (13) представя *Основния закон на наситняването*, като изразява общата работа за наситняване, която е равна на сумата от работата изразходвана за деформация на частиците преди разрушаване на материала и работата, необходимата за образуване на нови повърхнини [3].

Единството на процеса „деформация-разрушение” според В.И. Куянов позволява разрушението да се разглежда като следствие от пренапрежения на телата, а площта на специфичната повърхност на новообразуваните частици е право пропорционална на работата за пренапреженията  $A_s$  (за разлика от работата за еластична деформация  $A_v$ ). Тогава енергетическият баланс на процеса на наситняване може да се представи във вида на закона на Ребиндер:

$$A = A_v + A_s. \quad (14)$$

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 води да много нисък КПД на процеса наситняване:

$$\eta_{нас} = A_s / (A_s + A_v). \quad (15)$$

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

- да се намали работата  $A_v$  на еластична деформация, чрез намаляване твърдостта на материала с използване на повърхностно-активни вещества;
- 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 по принцип  $V'_{уд} \geq 100 \text{ m/s}$ , но в границите на оптималните стойности за всяка конструкция).

В заключение трябва да отбележим, че получените изрази за определяне на работата за наситняване не могат да се използват при количествени изчисления, когато трябва да се намери абсолютната стойност  $A_{нас}$ , тъй като не са известни коефициентите на пропорционалност. Тези формули се използват само за качествено изследване на работните процеси и сравнителни изследвания с цел идентифициране на относителната величина на работата вложена за наситняване.

Базирайки се на основния закон на наситняването (13) акад. С.В. Мелников (1952) предлага работна формула за определяне на изразходваната работа при наситняване, която успешно може да се използва в практиката.

С известна степен на приближение може да бъде използвана формула (13) в изследването на процесите на наситняване на фуражите, но при следните предположения, при които:

1. Разрушенията на частиците с микропукнатини и образуването на нови такива е в границите на еластичните деформации до началото на провлачване на материала, може да бъдат пренебрегнати, като допуснем, че цялата работа се изразходва само за деформация на фуража и пропорционално на деформирания обем. Тази част от работата  $A_v$  (J/kg), съгласно закона на Кирпичев-Кик може да бъде определяна по израза:

$$A_v = C_v \log \lambda^3, \quad (16)$$

където  $C_v$  е коефициентът на пропорционалност, имащ размерност на специфична работа, J/kg.

Степенният показател при  $\lambda$  условно е оставен под логаритъм, като нагледно показва зависимостта на разхода на енергия по отношение на обемите ( $D^3$  и  $d^3$ ).

2. Енергията, изразходвана за наситняване на фуража в интервала от границата на провлачване до разрушаването, се използва за образуването на нови повърхности (в това число развитието на пластични деформации). Тази работа е право пропорционална на нарастващата специфична площ на повърхнините и може да бъде означена с  $A_s$ . Тогава в съответствие със закона на Ритингер тази необходима енергия може да бъде представена с израз:

$$A_s = K_s(\lambda - 1)/D. \quad (17)$$

За преобразуване в J/kg, в знаменателя на формула (17) следва да се въведе плътността  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) на материала. Освен това, ако се вземе предвид, че на изходните размери на зърнените фуражи и прогнозираните еквивалентни диаметри след наситняване се променят в тесни граници, тогава се получава  $K_s/D\rho = C_s$ , след което и окончателният израз за необходимата работа  $A_s = C_s(\lambda - 1)$ .

Приетите предпоставки позволяват да се представи основният закон на наситняването в следния вид:

$$\begin{aligned} A_T &= A_v + A_s, \\ A_{нас} &= C_{пр} A_T, \end{aligned} \quad (18)$$

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

Като се вземат под внимание изразите (16) и (17) и формула (18) за определяне на вложената работа (или енергия) за наситняване, се получава изразът в окончателния му вид:

$$A_{\text{НАС}} = C_{\text{ПР}} [C_V \cdot \log \lambda^3 + C_S (\lambda - 1)]. \quad (19)$$

Във формула (19) постоянният коефициент  $C_V$  (J/kg) изразява работата за еластичната деформация на зърнените материали.

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

Коефициентът на процеса  $C_{\text{ПР}}$  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, плъсене, рязане и др.), конструктивни особености на наситняващата уредба. В статистически смисъл коефициентът  $C_{\text{ПР}}$  изразява корелационната връзка между значението на  $A_T$  по формула (18) и действително вложената работа  $A_{\text{НАС}}$ , наблюдавани в експеримента или в условията на производствения процес на наситняващите машините.

Експерименталното определяне на коефициентите  $C_V$  и  $C_S$  е свързано с необходимостта от провеждане на голям брой изпитания на механичните свойства на зърната. Това ограничава възможностите за по-широко използване на формула (19).

Формула (19) може значително да бъде опростена, като

$$A_{\text{НАС}} = C_1 \log \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1). \quad (20)$$

Стойностите на коефициентите  $C_1$  и  $C_2$  се определят от опитни резултати при изпитания, на който и да е принцип на наситняване. А използвайки величината  $A_{\text{НАС}}$  в качество за критерии на енергоемкост при сравнителна оценка на машини може да бъде избран ефективен режим на работа при оптимални условия.

Формула (20) е универсална, тъй като тя позволява да се оцени, който и да е процес на наситняване (раздробяване, стриване, рязане) от позициите на съвременната теория на наситняване. Такъв подход има особено важно значение за изследване на работния процес на универсалните фуражомелки и резачки, оборудвани с режещи апарати и чукови барабани, които прилагат двукратно въздействие на различните работни органи върху материала.

Основният закон на наситняване по (13) може да бъде приложим и за процесите при наситняване (нарязване) и на незърнени (стъблени, груби, обемисти и др.) фуражи.

Чрез използване на формула (18) се получава:

$$A_T = A_V + A_S = A_{\text{СМ}} + A_{\text{СР}}, \quad (21)$$

където  $A_{\text{СМ}}$  е работата за смачкване, J/kg;

$A_{\text{СР}}$  – работата за срязване, J/kg.

Стойностите на  $A_{\text{СМ}}$  и  $A_{\text{СР}}$  могат да бъдат определени по характеристиките на твърдост на стъблените фуражи. При срязване на стъблени фуражи, 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 стъблени фуражи, когато степента на наситняване ( $\lambda = L_{\text{СТ}}/l_{\text{СР}}$ ) е много голяма, значението на първото събираемо от дясната част на уравнение (20) може да се пренебрегне, тъй като тя е много по-малка от численото значение на второто събираемо.

При такава предпоставка изразходваната работа  $A_{\text{СР}}$  може да се изчисли по опростената формула:

$$A_{\text{НАС}} = A_{\text{СР}} = C (\lambda - 1). \quad (22)$$

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наситняването не само по разхода на енергия, но и по износване на работните органи е твърде скъп технологичен процес и поради това основният принцип на наситняване във всички отрасли, където намира приложение е - намаляване себестойността на наситнените продукти и запазване на хранителните качества. С изпълнението на този принцип се постига:

- Намаляване на разходите на енергия;
- Повишаване на качеството на наситнените фуражи;
- Увеличаване на производителността;
- Намаляване на износването на машините.

Усъвършенстването на съвременните технологии за наситняване на фуражите и конструкциите на използваните машини ще доведе до повишаване на енергийната ефективност и намаляване влиянието на променящите се механична структура, физичните и химичните свойства на фуражите.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1]. Борисов, Б. Дисертация, 1991.
- [2]. Бремер, Г.И. Учебное пособие по теории и разчету дробильных машин, М., 1970.
- [3]. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л. Колос, 1978, 560 с.

### **За контакти:**

маг. инж. Милен Овчаров, докторант към катедра "Земеделска техника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 0896137691, e-mail: movcharov@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**