

Моделиране на процеса за намаляване на влажността на твърдите отпадъци при преработка на маниока по метода на пресоване с надлъжен филтър

Христо Белоев, Чан Куок Хоан, Чу Ван Тхиен

Modelling the process of reducing the moisture of solid waste when processing cassava by the longitudinal filter pressing method. The paper presents a mathematical model of the process of cassava waste pressing, with the aim to reduce its moisture, using longitudinal filter. The results from the experiments are presented graphically and some conclusions are drawn about the influence of speed, average pressing coefficient and initial height (thickness) of the pressed layer on the maximum pressure.

Key words: cassava; solid waste; moisture; pressing, longitudinal filter.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

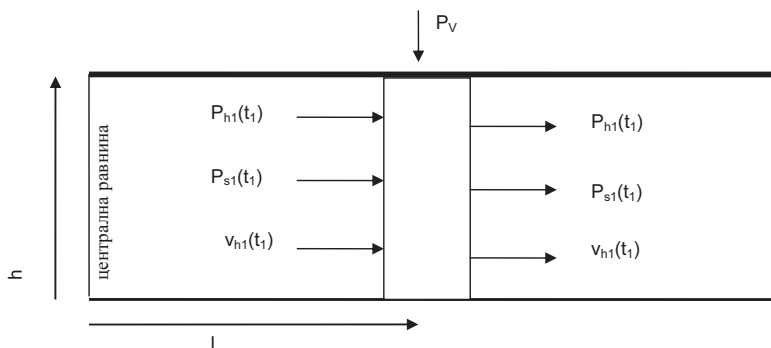
Във Виетнам и много тропически страни, маниоката е една от основните хранителни култури. Производството на маниока във Виетнам през последните години варира от 2,0 до 2,7 милиона тона, като по-голямата част от това количество се преработва за получаване на нишесте. Необходимо е да се намери решение за намаляване на влажността на отпадъците, като проблема има икономическо и екологическо значение [1].

Разработката на опитни образци и на машина за намаляване на влажността на твърдите отпадъци при преработка на маниока и изследванията с тях са направени във Виетнамския институт за селскостопански инженеринг и технологии, гр. Ханой и във фирма INTIMEX- Виетнам в периода 2011 - 2013 година.

В тази статия е разгледано теоретичното моделиране на процеса на намаляване на влажността на твърдите отпадъци при преработка на маниока по метода на пресоване с напречен филтър.

II. МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ФИЛТРАЦИЯ НА ТВЪРДИТЕ ОТПАДЪЦИ ОТ МАНИОКА ПО МЕТОДА НА ПРЕСОВАНЕ С НАДЛЪЖЕН ФИЛТЪР

Схемата на пресоването е представена на фиг.1. Когато буталото 1 се движи (посоката, показана на фигурата) материалът, намиращ се в цилиндъра се притиска и намалява обема си. Процесът на намаляване на влажността на отпадъците /отделяне на водата/ става по следния начин. В процеса на пресоване обемът на камерата, където постъпва материала, се намалява. За разлика от метода на напречна филтрация, по метода на тангенциалната филтрация водата се движи по посока, перпендикулярна на движението на буталото. Поради това ширината на слоя материал се запазва постоянна. В този случай, освен движението на водата имаме и движение на твърдите частици в хоризонтална посока.



Фиг.1. Схема на тангенциална филтрация

Разглеждаме един надлъжен слой на материала с начална дебелина ∂l и с начална ордината l .

*** Условие за запазване на общия обем**

Обема на водата, която изтича през лявото и дясното сечение на слоя през време ∂t ще бъде съответно:

$$\begin{aligned} \partial Q_{h1} &= B * h * v_{h1} * \partial t; \\ \partial Q_{h2} &= B * h * v_{h2} * \partial t \end{aligned} \quad (1)$$

където v_{h1} и v_{h2} са съответно скоростите на водата през дясното и лявото сечения на слоя;

B - дебелина на слоя.

Изменение на обема водата в разглеждания слой с ширина ∂l през интервал време ∂t ще бъде разликата между влизащия и излизащия поток

$$\begin{aligned} \partial \left(\frac{\partial V_h}{\partial l} \partial l \right) &= \partial Q_{h1} - \partial Q_{h2} = B * h * (v_{h1} - v_{h2}) * \partial t = -B * h * \partial v_h * \partial t \\ \frac{\partial^2 V_h}{\partial l \cdot \partial t} &= -B * h * \frac{\partial v_h}{\partial l} \end{aligned}$$

В горните формули величината $\frac{\partial V_h}{\partial l}$ е обемът на водата на единица ширина (линейна плътност на водата), а $\frac{\partial V_h}{\partial l} \partial l$ е обемът на водата в разглеждания слой.

По същия начин

$$\begin{aligned} \partial Q_{s1} &= B * h * v_{s1} * \partial t; \\ \partial Q_{s2} &= B * h * v_{s2} * \partial t \\ \partial \left(\frac{\partial V_s}{\partial l} \partial l \right) &= \partial Q_{s1} - \partial Q_{s2} = B * h * (v_{s1} - v_{s2}) * \partial t = -B * h * \partial v_s * \partial t \\ \frac{\partial^2 V_s}{\partial l \cdot \partial t} &= -B * h * \frac{\partial v_s}{\partial l} \end{aligned} \quad (2)$$

където v_{s1} и v_{s2} са съответно скоростите на твърдата фаза през дясното и лявото сечения на слоя.

Изменението на общия обем на твърдата и течната фаза се дължи на изменението на височината на слоя

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial V}{\partial l} \partial l \right)}{\partial t} = \frac{\partial \left(\frac{V_s}{\partial l} \partial l \right)}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{V_h}{\partial l} \partial l \right)}{\partial t} = B * \partial l * \frac{\partial h}{\partial t}$$

или

$$\frac{\partial^2 V}{\partial l \cdot \partial t} = \frac{\partial^2 V_s}{\partial l \cdot \partial t} + \frac{\partial^2 V_h}{\partial l \cdot \partial t} = B * \frac{\partial h}{\partial t}$$

Заместваме уравнение 10 в горното уравнение и получаваме

$$-B * h * \frac{\partial v_s}{\partial l} - B * h * \frac{\partial v_h}{\partial l} = B * \frac{\partial h}{\partial t}$$

или

$$\frac{\partial v_s}{\partial l} + \frac{\partial v_h}{\partial l} = -\frac{1}{h} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

*** Условие за запазване на обема на твърдата фаза**

Обемът на твърдата фаза на слоя се определя, чрез коефициента на пресоване по формулата:

$$\partial V_s = \frac{B \cdot h \cdot \partial l}{\beta};$$

или

$$\frac{\partial V_s}{\partial l} = \frac{B \cdot h}{\beta};$$

От това скоростта на изменението на обема на твърдата фаза може да се изчисли като диференцираме двете страни на горното уравнение по променливата t .

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial V_s}{\partial l} \right)}{\partial t} = B * \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} h}{\beta^2}$$

или

$$\frac{\partial^2 V_s}{\partial t \cdot \partial l} = B * \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} h}{\beta^2}$$

От другата страна, скоростта на изменение на обема на твърдата фаза може да се изчисли, чрез скоростта на твърдата фаза по уравнение (2)

$$\frac{\partial^2 V_s}{\partial l \cdot \partial t} = -B * h * \frac{\partial v_s}{\partial l}$$

Получаваме уравнението за запазване на обема на твърдата фаза

$$\frac{\partial v_s}{\partial l} = -\frac{1}{h} \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} h}{\beta^2}; \quad (4)$$

От уравнения 3 и 4 можем да изчислим градиента на скоростта на филтрация

$$\frac{\partial (v_h - v_s)}{\partial l} = \frac{1}{h} \left(-\frac{\partial h}{\partial t} + 2 * \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} h}{\beta^2} \right) \quad (5)$$

*** Уравнения на силово равновесие**

За да се деформира слоя, е необходимо да се подложи едновременно на две усилия - усилие за деформиране на твърдата фаза и усилие за осъществяване на филтрация (за изтичане на вода през слоевете)

Общото усилие за пресоване ще бъде

$$P = P_{s1} + P_{h1} = P_{s2} + P_{h2}$$

от това

$$P_{h1} - P_{h2} = P_{s2} - P_{s1}$$

където P_s е налягането на деформация на твърдата фаза;

P_h - налягане на деформация на течната фаза.

Скоростта на филтрацията е разлика между скоростта на течната фаза и твърдата фаза, т.е $v_h - v_s$

От теорията на филтрация [3]

$$P_{h1} - P_{h2} = P_{s2} - P_{s1} = \mu \cdot \eta_s(\beta) \cdot (v_h - v_s) \cdot \partial l$$

$$\partial P_s = \mu \cdot \eta_s(\beta) \cdot (v_h - v_s) \cdot \partial l$$

или

$$\frac{\partial P_s}{\partial l} = \mu \cdot \eta_s(\beta) \cdot (v_h - v_s)$$

където μ е коефициентът на вискозитет на водата;

$\eta_s(\beta)$ - коефициент на съпротивление на филтрацията на отпадъците от маноика, зависещ от коефициента на уплътнение на материала.

От тук определяме скоростта на филтрацията

$$v_h - v_s = \frac{1}{\mu \cdot \eta_s(\beta)} * \frac{\partial P_s}{\partial l} \quad (6)$$

В зависимостта на коефициента на уплътнение от натисковото налягане на напипни материали [2],

$$P_s = P_0 e^{\frac{\beta_0 - \beta}{\nu}}$$

диференцираме по променливата l

$$\frac{\partial P_s}{\partial l} = -\frac{P_0}{\psi} e^{\frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \frac{\partial \beta}{\partial l} \quad (7)$$

Коефициентът на съпротивление на филтрация зависи от коефициента на уплътнението,

като $\eta_s = \eta_0 \cdot e^{-\beta/k_\eta}$ имаме

Заместваме в (6) и получаваме:

$$v_h - v_s = -\frac{1}{\mu \cdot \eta_0} e^{-\beta/k_\eta} * \frac{P_0}{\psi} e^{\frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \frac{\partial \beta}{\partial l} \quad (8)$$

$$v_h - v_s = -\frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \frac{\partial \beta}{\partial l}$$

Диференцираме двете страни на уравнението по l и получаваме:

$$\frac{\partial(v_h - v_s)}{\partial l} = -\frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \left(\frac{1}{k_\eta} - \frac{1}{\psi} \right) \left(\frac{\partial P_s}{\partial l} \right)^2 - \frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \cdot \frac{\partial^2 P_s}{\partial l^2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial(v_h - v_s)}{\partial l} = -\frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \left[\left(\frac{1}{k_\eta} - \frac{1}{\psi} \right) \left(\frac{\partial P_s}{\partial l} \right)^2 + \frac{\partial^2 P_s}{\partial l^2} \right]$$

от уравнение 5

$$\frac{\partial(v_h - v_s)}{\partial l} = \frac{1}{h} \left(-\frac{\partial h}{\partial t} + 2 * \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} \cdot h}{\beta^2} \right) \quad (10)$$

От уравнения (9) и (10) получаваме:

$$\frac{1}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} - 2 * \frac{\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \beta - \frac{\partial \beta}{\partial t} \cdot h}{\beta^2} \right) = \frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \left[\left(\frac{1}{k_\eta} - \frac{1}{\psi} \right) \left(\frac{\partial P_s}{\partial l} \right)^2 + \frac{\partial^2 P_s}{\partial l^2} \right]$$

Или в друг вид

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} = \left(\frac{2 * \beta - \beta^2}{2 \cdot h} \right) \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{P_0 \beta^2}{2 \cdot \mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \left[\left(\frac{1}{k_\eta} - \frac{1}{\psi} \right) \left(\frac{\partial P_s}{\partial l} \right)^2 + \frac{\partial^2 P_s}{\partial l^2} \right] \quad (11)$$

В горното уравнение величината $\frac{\partial h}{\partial t} = -v_p$, е скоростта на пресоването, т.е скоростта на буталото

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} = \left(\frac{\beta^2 - 2 * \beta}{2 \cdot h} \right) v_p + \frac{P_0 \beta^2}{2 \cdot \mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta/k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \left[\left(\frac{1}{k_\eta} - \frac{1}{\psi} \right) \left(\frac{\partial P_s}{\partial l} \right)^2 + \frac{\partial^2 P_s}{\partial l^2} \right]$$

Уравнение (11) с граничното условие, може да се реши с подходящ числен метод. Крайният резултат ще бъде изменението на налягането β в зависимост от ординатата l и времето t.

Налягането P_s и влажността $W(t,x)$, може да се определят от уравненията:

$$P_s = P_0 e^{\frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} ; \quad W = \frac{(\beta - 1) \rho_h}{\rho_s + (\beta - 1) \rho_h} \quad (12)$$

*** Гранични условия.**

- Начално условие t=0:

при t=0, материала още не се деформира, затова

$$\beta = \beta_0 \quad (13)$$

- Гранично условие:

При $l=0$

Поради това, че няма изтичане на материала през централното сечение, скоростта на филтриране ще бъде равна на нула. т.е

$$v_h(t, l=0) = 0; \quad v_h(t, l=0) - v_s(t, l=0) = 0;$$

От уравнение 14б имаме

$$v_h - v_s = - \frac{P_0}{\mu \cdot \psi \cdot \eta_0} * e^{\beta / k_\eta + \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \frac{\partial \beta}{\partial l}$$

от там

$$\frac{\partial \beta_s}{\partial l}(t, l=0) = 0 \quad (14)$$

При $l=l_{\max}$

Поради това, че филтърът не допуска твърдата фаза да мине през него скоростта на твърдата фаза при $l=l_{\max}$ ще бъде равна на нула,

$$v_s(l = l_{\max}) = 0$$

Скоростта на течната фаза се изчислява от условието за запазване на общия обем на пресования материал:

$$-\frac{dh}{dt} * l_{\max} * B = v_h(l = l_{\max}) * B * h$$

От там

$$v_h = - \frac{l_{\max}}{h} \frac{dh}{dt} = \frac{l_{\max}}{h} v_p \quad (15)$$

От уравнение 8 получаваме:

$$\frac{\partial \beta}{\partial l} = - \frac{(v_h - v_s) \cdot \mu \cdot \psi \cdot \eta_0}{P_0} e^{-\beta / k_\eta - \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}}$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial l} = - \frac{l_{\max} \mu \cdot \psi \cdot \eta_0 v_p}{h \cdot P_0} e^{-\beta / k_\eta - \frac{\beta_0 - \beta}{\psi}} \quad (16)$$

където v_p е скоростта на буталото.

Подобно на случая при пресоване на материала с напречен филтър, ще имаме противоречие: в началния момент за всички точки на материала налягането на пресоване е $\beta = \beta_0$ и за това $\frac{\partial \beta}{\partial l} = 0$. За да се избегне това противоречие, ние ще приемем, че в момента $t=0$, скоростта на буталото $v_p = 0$. Скоростта на буталото ще определим по формулата:

$$v_p(t) = v_p(1 - e^{-at})$$

III. РЕЗУЛТАТ ОТ МАТЕМАТИЧНОТО МОДЕЛИРАНЕ

Уравнение (11) с крайни условия (13), (14), (15) може да се реши по числен метод.

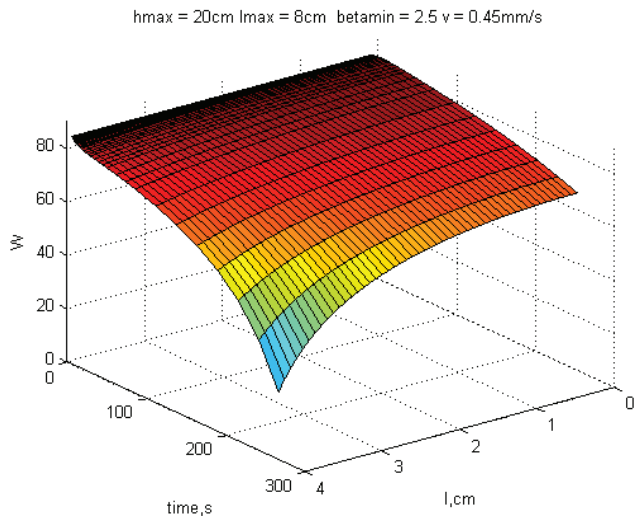
Частните диференциали $\frac{\partial \beta}{\partial x}$ и $\frac{\partial^2 \beta}{\partial x^2}$, може да се апроксимират по метода на крайните диференциали

$$\frac{\partial \beta}{\partial x}(x = i * h) = \frac{\beta_{i+1} - \beta_{i-1}}{2h} \quad \text{и}$$

$$\frac{\partial^2 \beta}{\partial x^2}(x = i * h) = \frac{\beta_{i+1} - 2 \cdot \beta_i + \beta_{i-1}}{h^2}$$

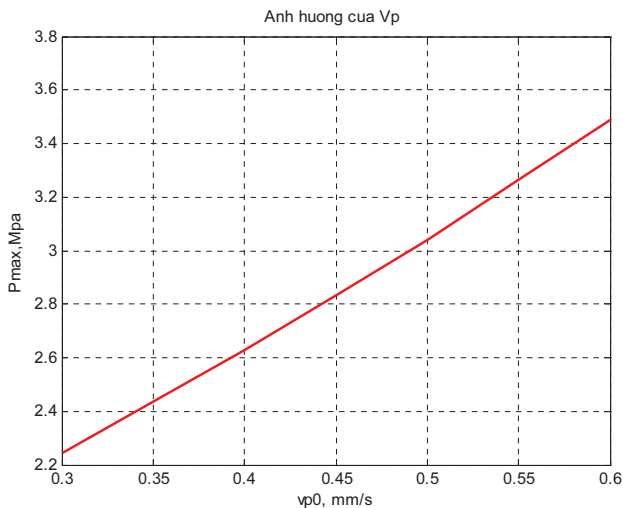
Тогава уравнение (11) ще стане система от обикновени уравнения спрямо времето t .

Резултатът от математичното моделиране е показан на фиг.2, като се определя влажността на материала, в зависимост от времето и движението на буталото по оста l .

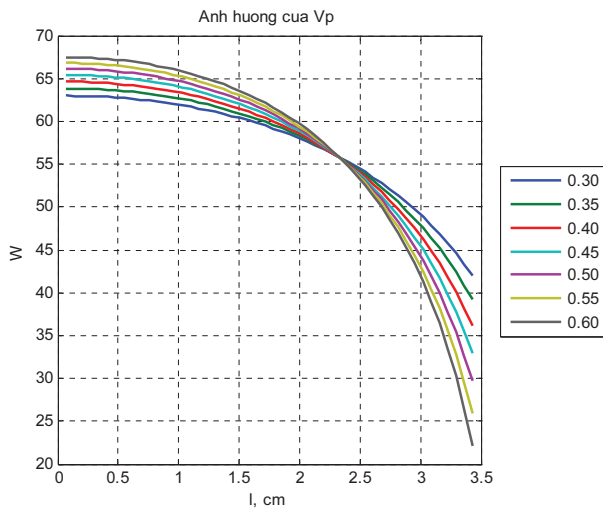


Фиг.2. Изменението на влажността на отпадъците по оста на цилиндъра l и в зависимост от времето на пресоване

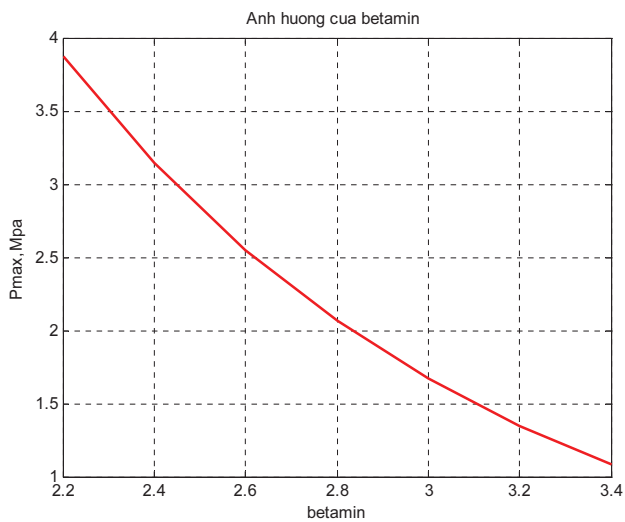
Входните фактори са скоростта на пресоване, средния коефициент на пресоване върху на лягането на пресоването, височината и дебелината на пресования слой, а изходния резултат е крайното налягане. Резултатите са показани от фиг.3 до фиг.10.



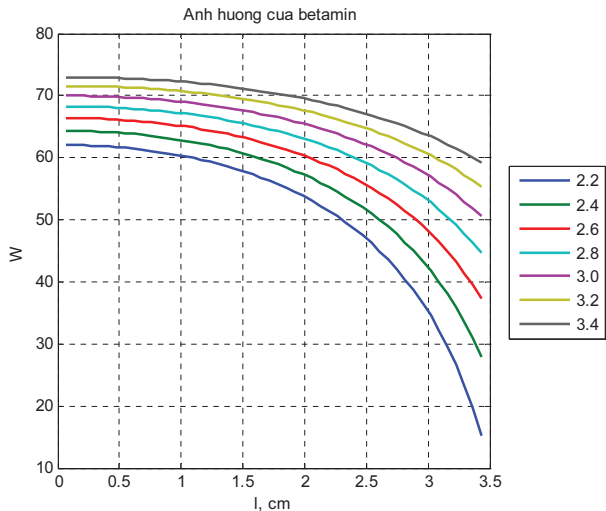
Фиг.3. Влияние на скоростта на пресоването върху максималното налягане



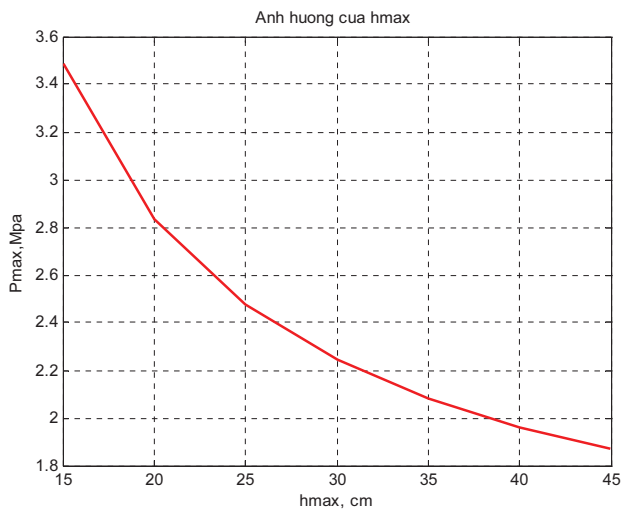
Фиг.4. Разпределение на влажността на материала по остта l при различна скорост на пресоването



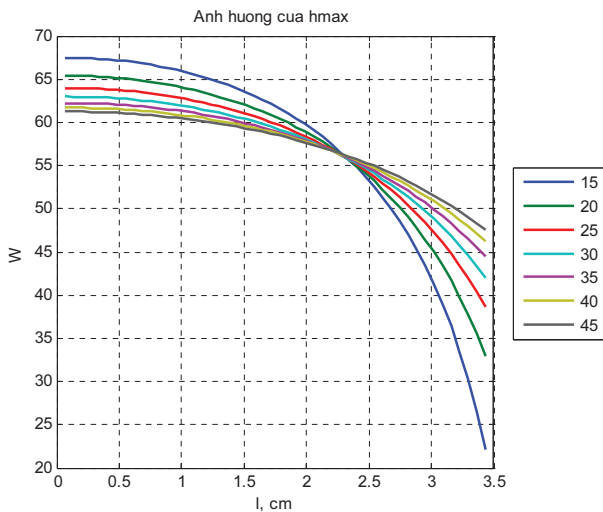
Фиг.5. Влияние на средния коефициент на пресоването върху максималното налягане



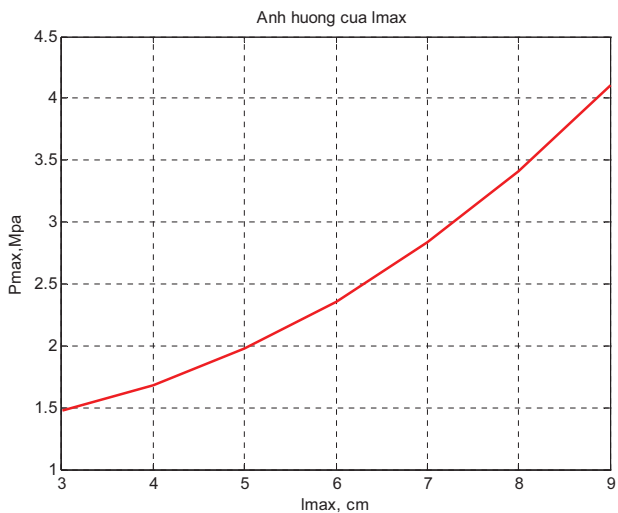
Фиг.6. Разпределение на влажността на материала по височината на цилиндъра при различен краен коефициент на пресоването



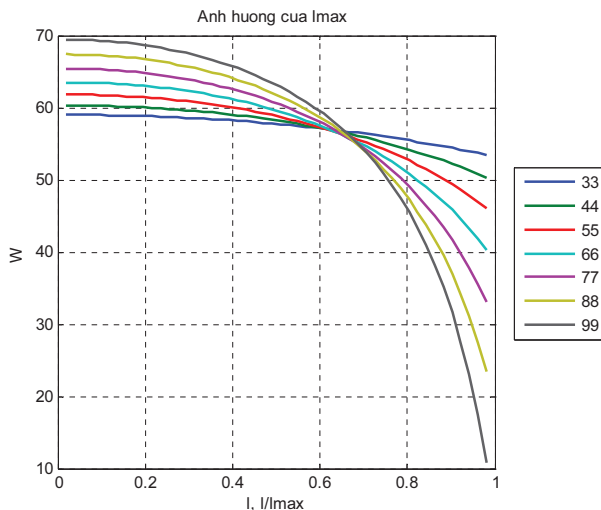
Фиг.7. Влияние на височината на слоя на материала върху максималното налягане



Фиг.8. Разпределение на влажността на материала по ширината на цилиндъра при различни дебелини на слоя на пресования материал



Фиг.9. Влияние на ширината на слоя на материал върху максималното налягане



Фиг.10. Разпределение на влажността на материала по ширината на цилиндъра при различни ширини на слоя пресования материал.

По получените по-горе резултати от математичното моделиране виждаме, че параметрите, които влияят върху процеса на пресоване са: скоростта на пресоване, дебелината и широчината на пресования слой и коефициента на пресоване. При увеличаване на скоростта на пресоване, широчината на слоя и коефициента на пресоване, максималното налягане на пресоване се увеличава. При увеличаване на дебелината на слоя, максималното налягането на пресоването се намалява.

Тези резултати може да се използват при създаване на машина за намаляване на влажността на отпадъците при преработка на маниока.

IV. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Процесът за намаляване на влажността на твърдите отпадъци при преработка на маниока /отделянето на водата от отпадъците/ по метода на пресоване с надлъжен филтър се описва с частното диференциално уравнение 11 и с крайните уравнения 12, 13 и 14.

2. Чрез математично моделиране можем да изследваме влиянието на скоростта, средния коефициент на пресоването, дебелината и началната височина на пресования слой, върху максималното налягане на пресоването.

3. Тези резултати може да се използват за създаване на машина за намаляване на влажността на отпадъците от маниока, чрез пресоване, при която филтрите се поставят по стените на цилиндъра за пресоване.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Белоев Хр., Чан Куок Хоан, Дау Тхе Нху. Принцип и устройство на машина за намаляване влажността на твърдите отпадъци при преработка на маниока. Научни трудове на Русенски университет „Ангел Кънчев“, том 51, серия 1.1, Русе, 2012, ISSN 1311 – 3321, с.18 – 22.

[2]. Nguyễn Minh Tuyển, Lâm Trần Vũ, , Đậu Thế Nhu. Mô tả quá trình ép lọc bã sắn bằng mô hình vật lý /следване процес на пресова филтрация на маниочески отпадъци по метода на подобие/. Tạp chí Hóa học/Journal of Chemistry/, Т. 42 (2), 2004. số ISSN: 0866-7144, p. 145 – 147.

[3]. Lâm Trần Vũ; Đậu Thế Nhu; Nguyễn Minh Tuyển. Tối ưu hóa quá trình lọc ép bã thải sắn/ Оптимизацията процес на пресова филтрация на маниочески опадъци/. Tạp chí Hóa học/Journal of Chemistry/, Т. 42 (1)/2004, số ISSN: 0866-7144, p. 34 – 38.

[4]. Walter Gosele, Christian Alt. Filtration
http://www.ptl.ethz.ch/education/practica5/Filtration_Ullmanns_Eng.pdf.

[5]. Vietnam cassava yearbook 2011 and outlook 2012, Information Center for Agricultural and Rural Development, Hanoi - 2012 . с.8-12.

За контакти:

Проф. д-р Христо Белоев, Катедра “Земеделска техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 553, e-mail: hbeloev@uni-ruse.bg

Инж. Чан Куок Хоан, гр. Вин, Виетнам, фирма INTIMEX, тел: (+844) 902864999, e-mail: intimexquochoan@gmail.com

Д-р инж. Чу Ван Тхиен, Виетнамски институт за селскостопански инженериг и технологии, гр. Ханой, Виетнам, тел: (+84) 913552974, e-mail: chuthienvcd@gmail.com

Докалдът е рецензиран.