



**JOHN ATANASOFF SOCIETY
OF AUTOMATICS AND INFORMATICS**

**JOHN ATANASOFF
CELEBRATION DAYS**

International Conference

**AUTOMATICS AND
INFORMATICS'2014**

PROCEEDINGS

**Edited by
Michail Petrov**

**Published by
JOHN ATANASOFF SOCIETY
OF AUTOMATICS AND INFORMATICS**

Bulgaria, Sofia, October 1-3, 2014

JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS

Secretariat Adress

Bulgaria
1000 Sofia
108 Rakovsky str.
Tel. (+359 2) 987 61 69
Fax (+359 2) 987 61 69
e-mail: sai@infotel.bg
www.sai.infotel.bg
www.sai.bg

ИЗБОР НА СТРАТЕГИЯ ЗА ИНТЕГРИРАНО УПРАВЛЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВОТО НА ПЕЛЕТИ

STRATEGY CHOICE FOR INTEGRATED MANAGEMENT OF PELLET MANUFACTURING

M. HADJISKI^{1,2}, N. CHRISTOVA¹, K. BOSHPAKOV¹, S. KOJNOV²

М. ХАДЖИЙСКИ^{1,2}, Н. ХРИСТОВА¹, К. БОШНАКОВ¹, С. КОЙНОВ²

¹Химикотехнологичен и металургичен университет-София, Бул. Св. Климент Охридски 8,
 1756 София, Тел (+3592) 8163134, E-mails: hadjiski@uctm.edu, nchrist@uctm.edu, kb@uctm.edu

²Институт по информационни и комуникационни технологии – БАН,
 1113 София, E-mail: slk@inf.bas.bg

Abstract: Biomass is considered to be one of the key renewable resources of the future at both small- and large-scale levels. It regulates the pollution by resolving the situation of manure management and utilization of leftovers from agriculture, forestry and other industries. In this study, an integrated system for operation management and equipment maintenance of pellet manufacturing has been proposed. The benefits of its implementation for improving the efficiency of the pellet production plant have been investigated and discussed.

Key words: Integrated System, Operation Management, Equipment Maintenance, Efficiency, Pellet Manufacturing

ВЪВЕДЕНИЕ

Биомасата е съществен за България възобновяем енергиен източник, тъй като страната е една от най-богатите на биомаса европейски страни и има голям добив на дървесина.

Производството на пелети като съвременен метод за оползотворяване на биомаса предлага гориво, което е с ниско съдържание на влага (около 8%), с висока обемна плътност (над 600 kg/m³), за да се осигурят по-ефективен транспорт и съхранение, по-добро управление на горенето и по-висока енергийна ефективност [2, 3]. Подробното описание на технологичния процес на пелетизиране в разглежданата инсталация е представено в предишни разработки [4].

В настоящата разработка се разглежда изграждането на интегрирана система за оперативен мениджмънт и поддръжка на съоръженията в инсталация за производство на пелети от биомаса, и по специално е акцентирано върху избора на стратегия за интегрирано управление в производството на пелети.

ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Основните проблеми при изграждане на интегрираната система за мениджмънт на предсказващото поддръжане за пелетното производство могат да се систематизират по следния начин:

➤ Процесът на пелетизация е подложен на *силни смущения*, породени от:

- Промени в състава и свойствата на дървесния материал: съотношението твърди/меки породи, абразивните свойства (естествени и от замърсяване с пясък, метали и др.), едрината на частиците, ограниченията в капацитета на сушилната

инсталация в случаите със суров материал, с голяма начална влажност;

- Влияние на параметрите на околната среда – температура и влажност на въздуха. През лятото е невъзможно да се работи при температури над 40°C в работното помещение не само от хигиенни съображения, но и поради прегряването на ел. двигателите. При зимни условия производителността на сушилната е недостатъчна. При голяма относителна влажност на околния въздух качеството на пелетизацията може да се влоши;
- Вътрешни смущения, породени от интензивното износване на ролките и матриците, което влияе върху качеството на пелетите, изразходваната енергия и производителността на инсталацията.

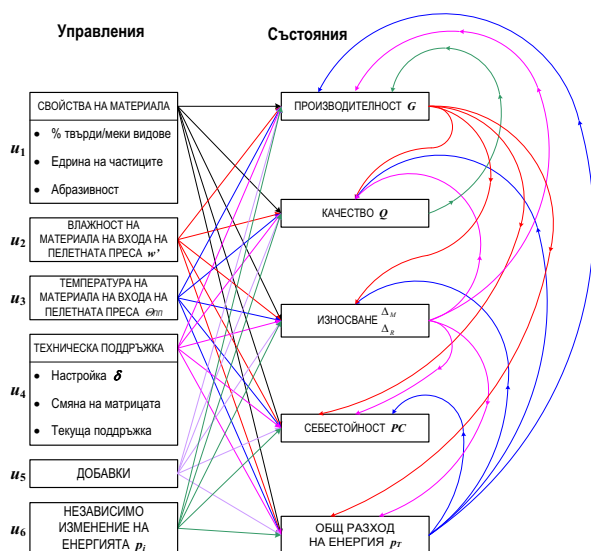
Тъй като условията за работа на пелетната преса непрекъснато се изменят, подходящо е да се използва модел, основаващ се на понятието „ситуация” [1, 5, 6].

➤ Пелетното производство представлява *сложна многосвързана система*. На базата на особеностите на технологичния процес и техническото поддръжане [4, 8] на Фиг.1 е показана многосвързаната система „управление-състояние”.

Независими управляващи въздействия за процеса на пелетизация са:

- u_1 : Промени в процентния състав твърди/меки видове на входния материал MX ;
- u_2 : Влажност на подсушения материал на входа на пелетната преса w'_{III} , която може да се изменя в рамките на капацитета на сушилната в зависимост от входната влажност на натрошения материал. В много ситуации w'_{III} представлява смущение, което не може да се компенсира от сушилната;

- u_3 : Температура на материала на входа на сушилната θ'_{III} . Температурата може сериозно да повлияе върху всички основни показатели на процеса на пелетизация (производителност, качество, разход на енергия, износване). Нагриването се извършва с помощта на наситена или леко прегрята пара. За съжаление в много конструкции пелетни преси такава възможност липсва. Такъв е и разглеждания от нас случай;
- u_4 : Настройка на разстоянието δ между матрицата и ролките и смяна на матриците при рязка промяна на вида на дървения материал;
- u_5 : Добавките IN във всички случаи подобряват процеса на пелетизация, но с изключение на овлажняването с пара, са скъпи и често не се използват. Тук се отнася и нашият случай;
- u_6 : Независимо (по воля на оператора) изменение на тока на двигателя на пелетната преса. Това увеличаване на енергията P цели да компенсира промените в състава или характеристиките на дървесната маса или износването на матрицата и ролките Δ_{RM} .



Фиг.1 Функционални взаимодействия в пелетната преса

Създаването на базирана на математични модели многосвързана система е сложна и нерешена за сега задача поради голямата размерност, липсата на измервания и параметричните изменения в елементите на системата. Затова, наред с експертния опит, полезни при пелетното производство се оказват подходи, основаващи се на знание и по-специално на минал опит (метод на прецедентите, използване на продукционни правила) [1, 7].

- Сериозен проблем при изграждане на системата за предсказваща поддръжка е *липсата на преки измервания* на два от основните показатели в работата на пелетната преса – качеството на пелетите и степента на износване или оставащия експлоатационен ресурс. В настоящото изследване се използват методите на размития софтсенсинг [1, 7].
- Използването на подходи за предсказваща поддръжка, основаващи се на „твърди“ граници за състоянията на

системата („качество“, „износване“) са невъзможни, поради силните взаимни връзки (Фиг.1). ТВМ (Threshold-Based Maintenance) може да бъде прилагана само със значителна модификация на допусканията за „меки“ граници [5, 6, 8].

- Решаване на проблема за паралелна оптимизация на технологичното поведение на системата (заданията за производителността G , входната влажност w'_{III} и температурата θ'_{III} , настройката δ и енергията P) и техническото поддръжане ($\delta_{пк}$, тип на матрицата, честота на инспекциите) не може да се счита за единствен достоверен източник на алтернативни кандидат-решения поради голямата неопределеност и липсата на убедителна съвкупност от математични модели, описващи процеса изцяло и адекватно.

Поради това беше прието да се използва хибриден подход с използване на модели, основаващи се на данни, методите на размитата логика и системите за логически извод, основаващи се на прецеденти и правила.

ИЗБОР НА СТРАТЕГИЯ ЗА ИНТЕГРИРАНО УПРАВЛЕНИЕ

В разглеждания конкретен случай на производство на пелети, диагностиката е ориентирана към основния процес, определящ действията по техническата поддръжка – деградацията на ключовите елементи на пелетната преса (ПП) – комбинацията матрица-пресващи ролки.

Възможни са няколко различни стратегии:

1. Еднокритериална оптимизация

Понеже при основни показатели за производителността G и качеството Q са възможни две симетрични постановки:

- а) Максимална производителност при ограничение за минимално качество:

$$J = G \rightarrow \max, \quad (1)$$

при

$$Q \gg Q_{\min}, \quad (2)$$

или качество във фиксиран интервал $[Q^h, Q^l]$:

$$Q^l \leq Q \leq Q^h. \quad (3)$$

- б) Гарантирано високо качество в даден интервал:

$$Q > Q^0, \quad (4)$$

при възможна за този режим производителност. При този подход проблемите с поддръжката са напълно игнорирани. Не се прави икономическа оценка за себестойността, в т.ч. и за разходите за поддръжката.

2. Съвместна оптимизация по производителност и качество (бинерна оптимизация)

В този случай се търси екстремум на функция от типа

$$J = J(G, Q) \rightarrow \text{extr}, \quad (5)$$

при ограничения от типа

$$\begin{aligned}
 w'_{III} &> 8\%, \\
 I_{\varphi} &< 35\text{kW}, \\
 Q_{\min} &> 5, \\
 h_{\min} &> h^0, \\
 \Delta_{RM} &< \Delta_{RM}^{\max}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

В този случай за строго оптимално решение са необходими математични модели поне по основните канали на взаимодействието към и от G и Q , според Фиг.1. В повечето случаи това е трудно решима задача по пътя на симулационната оптимизация. Същевременно използването на метода на прецедентите (СВР), особено в някои от размитите му варианти (ФСВР), позволява да се получи ако не оптимално, то поне достатъчно приемливо компромисно решение на базата на натрупания стар опит. Изборът на границата на допустимата удовлетвореност се определя опитно.

3. Многокритериална оптимизация

В нея всички основни показатели на процеса на пелетизация – производителността G , качеството Q , износването Δ , себестойността L и разхода на енергия P се вземат под внимание в единен критерий:

$$J = J(G, Q, \Delta, L, P) \rightarrow \text{extr}, \tag{7}$$

при ограниченията (6).

Решаването на този проблем е още по-сложно, понеже всички връзки в схемата от Фиг.1 трябва да се моделират, за да бъде възможно изчисляване на целевата функция (7). Това е основният трудно преодолим проблем поради изключително голямата неопределеност в поведението на обекта и съпътстващите го проблеми.

Тук отново е перспективно използването на метода на прецедентите в разширен вариант спрямо обсъждания по-горе случай за бинерна оптимизация.

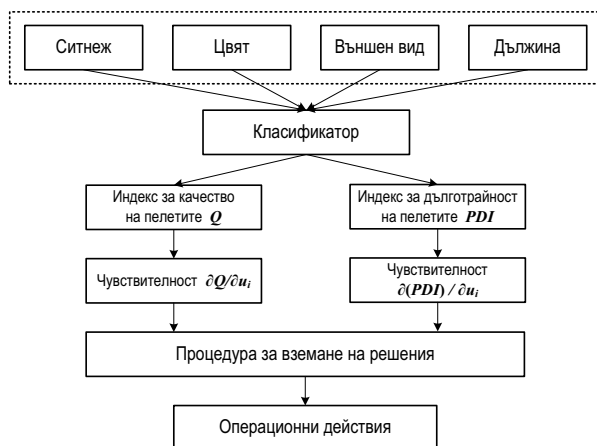
4. Оптимизация на качеството на пелетите при зададена производителност

$$Q \rightarrow \max, \tag{8}$$

при

$$G = G^0. \tag{9}$$

Този случай на селективна оптимизация се реализира в настоящия проект по схемата, показана на Фиг.2:



Фиг.2 Вземане на решение за управление на качеството на пелетите Q

Тя е тясно свързана с процедура за оценка на качеството на пелетите на базата на размит класификатор. Акцентът е да се намерят значенията на функциите на чувствителност по отношение на управленията $u_i, i=1,6$, показани на Фиг.1.

$$\mathfrak{S}_i = \left. \frac{\partial Q}{\partial u_i} \right|_k. \tag{10}$$

На тази основа, елиминирайки малко значимите канали на въздействие, оптимизационната задача за качеството Q се редуцира по отношение на факторите в целевата функция. В тази постановка отново се елиминира влиянието на скоростта на износване Δ_{RM} върху цялостната ефективност на процеса на производството на пелети. Процесът е нестационарен и при постоянна производителност $G = const$, качеството систематично ще пада поради износването на матрицата и ролките. Затова са необходими компенсиращи действия от управленията $u_1 \div u_6$, показани на Фиг.1. Следователно задачата се дефинира по нов начин, както следва:

5. Поддържане на качеството на пелетите $Q > Q_{\min}$ при зададена производителност

При тази стратегия се максимизира оставащият ресурс по качеството:

$$RUL_Q \rightarrow \max, \tag{11}$$

при

$$G = G^0, \tag{12}$$

$$Q > Q_{\min}.$$

Тъй като

$$RUL_Q = F_Q(G^0, w'_{III}, \theta'_{III}, P, G_{IN}, G_{MX}), \tag{13}$$

оптимизационната задача (11) се свежда до намиране на такива траектории за управленията $u_i, i=1 \div 6$, при които функционалът RUL_Q се максимизира:

$$RUL_Q = F_Q(u_1, u_2, \dots, u_6) \rightarrow \max \tag{14}$$

при ограниченията

$$G = G^0,$$

$$\Delta_{RM} = \Delta_{RM}(u_1, u_2, \dots, u_6), \tag{15}$$

$$Q > Q_{\min}.$$

Както се вижда, при тази постановка трябва да се реши сложната задача за динамично управление на технологичните задания $w'_{III}(k+l), \theta'_{III}(k+l), P(k+l), G_{IN}(k+l), G_{MX}(k+l)$ при $L=0, RUL_Q$.

Задачата (14), (15) е вариационна със свободен десен край, а решението е свързано с големи затруднения. При фиксиране на част от управленията, задачата се опростява. В разглеждания от нас случай на МСП могат да се управляват само две променливи – влажността на входа на пелетната преса w'_{III} и мощността на електродвигателя P . Понеже сушилният има ограничена производителност, единственото управляващо въздействие остава мощността P . При тази стратегия деградацията на пелетната преса се отчита като косвено ограничение.

6. Синхронизиране на оставащия ресурс по качеството на пелетите и износване на матрицата и ролките

В този случай се поставя задачата

$$RUL_Q = RUL_{RM} \rightarrow \max, \quad (16)$$

при

$$\begin{aligned} G &= G^0, \\ Q &> Q_{\min}. \end{aligned} \quad (17)$$

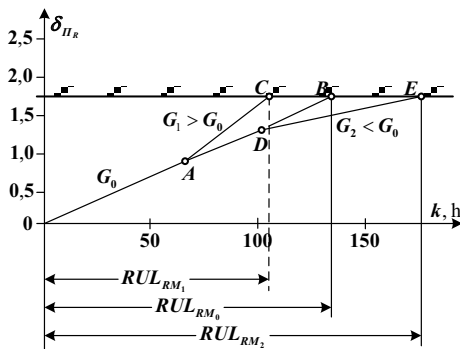
Оставащият ресурс по износването на пелетната преса RUL_{RM} зависи от същите аргументи като RUL_Q (13):

$$RUL_Q = F_Q(G^0, w'_{III}, \theta'_{III}, P, G_{IN}, G_{MX}), \quad (18)$$

На Фиг.3 е показано как с изменението само на едно от управляващите въздействия – производителността G – се изменя оставащият производствен ресурс.

За съжаление използването на намаляването на натоварването като действие за удължаване на експлоатационния срок е приложимо само в малко на брой ситуации, когато е целесъобразно моментите на изчерпване на остатъчния ресурс за матрицата RUL_M и за ролката RUL_R да съвпадат.

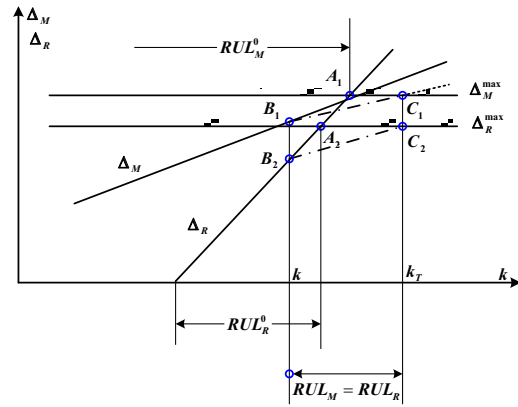
На Фиг.4 е показана подобна ситуация. Очакваните моменти за спиране на ПП поради износване на матрицата и ролката съответстват на т. A_1 и A_2 , които не съвпадат. Пелетната преса ще бъде спряна в момента A_2 заради износването на ролките ($\Delta_R = \Delta_R^{\max}$).



Фиг.3 Изменениена затягането на регулиращите болтове δ_{IR} в зависимост от производителността G

Същевременно в матрицата има неизползван ресурс в размер $\Delta k = k_{A_1} - k_{A_2}$. Това е неизгодно, защото матрицата следва да се престъргва по-рано от наложителното ($\Delta_R(k_{A_1}) < \Delta_R^{\max}$). Ако в момента k_B намалим натоварването $G < G_0$, деградацията на матрицата ще бъде по правата B_1C_1 , а на ролката – по правата B_2C_2 .

Поради това, че скоростите на износване на матрицата и ролките е различна ($\frac{d\Delta_R}{dt} > \frac{d\Delta_M}{dt}$), може да се намери такова натоварване, при което точките C_1 и C_2 да съвпадат по време, т.е. $RUL_M = RUL_R$. Това е изгодно, защото в следващия производствен цикъл и ролките, и матрицата ще бъдат включени като „нови” (престъргани).

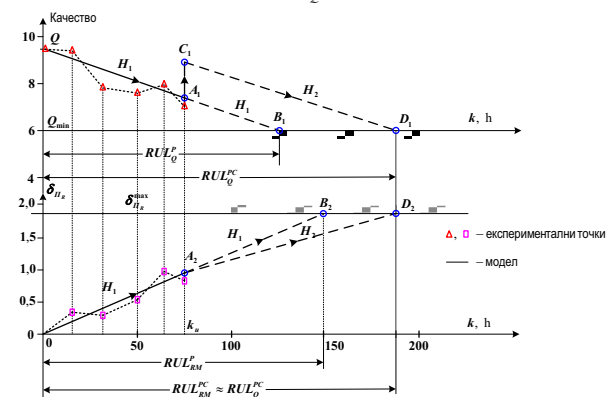


Фиг.4 Синхронизация на оставащия ресурс на матрица RUL_M и ролка RUL_R

В общия случай за решаване на задачата за синхронизация (16) трябва да се използва координирано въздействие на всички или на част от останалите управления (без производителността, Фиг.2) – влажност w'_{III} и температура θ'_{III} на матрицата на входа на ПП, енергията P , разхода на добавки G_{IN} и състава на работната смес G_{MX} . Процедурата за синхронизация е показана на Фиг.5.

Трябва да се решат две различни задачи:

1. Да се определи моментът k_u , в който да се въздейства на входните въздействия $u_2 \div u_6$ (Фиг.2). Процесът от ситуация H_1 от т. A_1/A_2 се прехвърля в нова ситуация H_2 . Качеството Q от т. A_2 се подобрява скокообразно до т. C_1 и след това започва да намалява по линията C_1D_1 в ситуация H_2 . Износването на матрицата и ролките Δ_{RM} след т. A_2 продължава в намалена скорост към т. D_2 .
2. Да се определи с колко да се изменят заданията на системите, стабилизиращи променливите $u_2 \div u_6$, така, че в момента k_{D_2} двете деградиращи криви C_1D_1 и A_2D_2 да пресекат едновременно зададените си граници Q_{\min} и δ_{IR}^{\max} . Тогава се изпълнява условието $RUL_Q = RUL_{RM}$.



Фиг.5 Определяне и синхронизация на оставащото експлоатационно време по качество RUL_Q и износване RUL_{RM} по време

За решаването на тези задачи се използват прогнозни регресионни модели за деградация на качеството

$$Q(k+L) = F_Q(Q(k), Q(k-1), \dots, Q(k-r), G^0, w_{III}^*(k), \theta_{III}^*(k), P(k), \delta(k), G_{IV}(k), G_{MX}(k)) \quad (19)$$

и на износването:

$$\delta_{II_R}(k+L) = F_{\delta}(\delta_{II_R}(k), \delta_{II_R}(k-1), \dots, \delta_{II_R}(k-r), G^0, w_{III}^*(k), \theta_{III}^*(k), P(k), \delta(k), G_{IV}(k), G_{MX}(k)) \quad (20)$$

Системата е неопределена и затова е целесъобразно от анализа на чувствителността на качеството спрямо управленията $u_i, i=2 \div 6$ (Фиг.2) да се определят две въздействия, които са най-подходящи за ситуацията.

Това позволява от системата

$$\begin{aligned} Q(k+L) &= Q_{\min}, \\ \delta_{II_R}(k+L) &= \delta_{II_R}^{\max} \end{aligned} \quad (21)$$

да се определят двете необходими въздействия u_i , както и времето k_D , когато се изпълнява условието $RUL_Q = RUL_{RM}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обект на разглеждане в тази разработка е изборът на стратегия за интегрирано управление на предприятие за производство на пелети от биомаса, като се обединят отделни целеви функции, логистични функции, оптимизация на производството.

Бъдещите изследвания ще са насочени в две направления: разширяване на технологичните въздействия, оказващи влияние върху техническото състояние на пелетната преса, и подобряване на качеството на произвежданите пелети с използване на добавки и промяна на температурата и влажността в зоната на пелетизиране.

В бъдеще оценката на качеството на пелетите да се извършва на базата на използване на съвременни интелигентни сензори за цвят, външен вид, ситнеж, дължина на пелетите, и използване на съвременни методи за обработка и обединяване на получаваната от тях информация.

Това ще доведе до усъвършенстване на технологичния процес и разработване на методи за обективна оценка на качеството на базата на разпознаване на образи, и други интелигентни техники.

БЛАГОДАРНОСТ

Изследванията са финансирани от Фонд "Научни изследвания" (Ф"НИ") към Министерството на образованието, младежта и науката по проект „Предсказващо поддържане на технологични съоръжения въз основа на диагностика и анализ на риска" № ДВУ-10-0267/10.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Castilio, O., P. Melinand, J. Kasprzyk (Eds) *Recent Advantages on Hybrid Intelligent Systems*, Springer, 2013.
- [2] Di Giacomo, G. & Taglieri, L. (2009). Renewable energy benefits with conversion of woody residues to pellets. *Energy*, 34, 724-731.
- [3] Fürstaller, A., Huber, M., Krueger, J. & Pflieger, M. (2010). Processing of digestate to pellets for usage as alternative solid fuel. *Proc. of 18th European Conference and Exhibition*, 3-7 May, 1733 – 1737.
- [4] Hadjiski, M., N. Christova, M. Valova, Incremental Re-design of Control System of Small-Scale Pellet Production Plant, *IFAC SWISS 2013*, 6-8 June 2013, Prishtina, Kosovo.
- [5] Jardine, A. K. S., Lin, D., and Banjevic, D. (2006). A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-Based Maintenance. *Mech. Syst. Signal Process.*, **20**, pp. 1483–1510.
- [6] Niu, G., Yang, B.S., Pecht, M. (2010). Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 786-796.
- [7] Prentzas, J., Hatzilygeroudis, I., 2009. Combination of case-based reasoning with other intelligent methods, *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 6 (4), 189–209.
- [8] Sikorska, J.Z., Hodkiewicz, M., Ma, L. (2011). Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. *Mechanical Systems and Signal Processing*.