



УДК 631.171:681.5

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ

Діордієв В.Т., к.т.н.,

Кашкар'єв А.О., інженер*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-57-97

Анотація – приведені результати використання швидкого перетворення Фур'є у функціях оцінки режиму роботи елементів технологічних комплексів виробництва комбікормів.

Ключові слова – ідентифікація, стан, засувка, швидке перетворення Фур'є, обробка даних, виключення грубих помилок.

Постановка проблеми. Класична реалізація автоматичних систем керування технологічними процесами (АСК ТП) має певні недоліки, а саме орієнтацію на перелік основних функцій, необхідних для експлуатації технологічних комплексів (ТК) виробництва комбікормів (ВК): вкл/відкл робочих машин або технологічного обладнання, контроль та візуалізація поточного стану датчиків, формування звітності для бухгалтерії [1, 6]. Забезпечення виконання цих функцій є необхідною мінімальною вимогою, яка дозволяє використовувати ТК у сучасних ринкових умовах, але функціональні можливості та обчислювальні потужності засобів автоматизації мають значно більший потенціал.

Одним з найперспективніших напрямків удосконалення АСК ТП є упровадження функцій сервісу на основі оцінки часу спрацювань вимірювальних пристроїв, виконавчих механізмів та тривалості їх роботи – таймінгу [3]. Такі функції можуть бути реалізовані на всіх рівнях керування: технологічне обладнання, ділянки технологічних процесів, АСК. Слід зазначити, що головною вимогою до АСК та функцій сервісу є мінімальне різноманіття математичного апарату. У роботах авторів саме така концепція будови АСК ТП є ключовою.

Аналіз останніх досліджень. Доцільність та економічна ефективність пропозиції обумовлюється підвищенням якості комбікормів, надійності роботи ТК ВК та АСК ТП, що дозволить оптимізувати обслу-

© к.т.н., В.Т. Діордієв, інженер А.О. Кашкар'єв

* Науковий керівник – к.т.н., професор В.Т. Діордієв

говування системи керування та елементів комплексу і, як наслідок, зменшити поточні витрати та збитки від аварійних ситуацій.

Необхідно нагадати, що у попередніх публікаціях, на базі ТК ВК авторами було обґрунтовано математичний апарат АСК, складений перелік функцій сервісу та розроблені алгоритми їх реалізації, програмні засоби проектування ТК ВК та АСК ним [3, 4]. Приділена увага використанню мереж Петрі та швидкому перетворенню Фур'є (ШПФ) – використовується у функціях сервісу. Останнє потребує більш детальної уваги оскільки адекватність та відтворюваність пропонуваного методу підлягає експериментальному дослідженню, уточненню методики та виробничим випробуванням.

Формування цілей статті. Теоретичне та практичне дослідження методу ідентифікації стану елементів ТК ВК на основі швидкого перетворення Фур'є за принципом виключення грубих помилок.

Основна частина. У випадку аналізу таймінгу датчиків необхідно ідентифікувати нормальний режим ТП, або такий режим, який потребує уваги оператора – аварійного. Тому для оцінки часу спрацювання датчиків необхідно створити базу даних, яка відбиватиме нормальну роботу елементів ТК – базу еталонних даних (БЕД). Вважаємо, що значення у БЕД повинні бути наближеними до нормального закону розподілу з обґрунтованим значенням його параметрів. Наповнення БЕД виконується на стадії проектування ТК ВК, з урахуванням конструктивних особливостей елементів ТК, а її перевірка – на початку виробництва.

Щодо питання оцінки вхідних даних, то належність до нормального закону суттєво спрощує розробку методики їх аналізу. Можна сформулювати такі вимоги до методики: достовірність та відтворюваність результатів; низькі витрати апаратних ресурсів АСК; універсальність даних та зручність їх представлення; висновки придатні для подальшого використання. Крім того, методика оцінки повинна базуватись на математичному апараті статистичної обробки експериментальних даних - методах виключення грубих помилок або хибних даних, значення яких у класичному розумінні явно перевищує похибки, обумовлені умовами проведення експерименту. У контексті таймінгу грубі похибки приймають інше значення, яке дозволяє акцентувати увагу оператора на певних параметрах ТП, або ідентифікувати аварійний стан на певній ділянці ТКВК [3].

Всі методи виключення грубих помилок можна розділити на два типи: методи виключення при відомому середньоквадратичному відхиленні (S); методи виключення при невідомій S [7, 8]. У першому випадку середньоарифметичне (\bar{X}) та S розраховуються за результатами всієї вибірки, у другому випадку – перед розрахунками з вибірки видаляються підозрілі результати.

На практиці частіше зустрічаються методи при невідомому S (обмежена кількість вимірювань): Стюдента, Романовського, варіаційного розмаху, Діксона, Райта, Губса [8]. Перелічені методи більше відповідають виробничим умовам оскільки дані можна аналізувати по мірі їх отримання а не по завершенню ТП або його певного етапу.

Оскільки критеріальні вимоги, які визначають межу «грубих» результатів спостереження у різних авторів різні, то перевірку необхідно виконувати відразу по кількох критеріях. Остаточний висновок щодо належності «підозрілих» результатів виконується за більшістю критеріїв. Крім того, вибір критерію повинен виконуватись після побудови гістограми результатів спостереження, за видом якої виконується попередня ідентифікація виду закону розподілу (нормальний, близький, такий що відрізняється від нього). Це ускладнює процедуру оцінки.

Формальним критерієм аномальності результату спостереження (часу спрацювання), а відповідно і висновку про належність даних до еталонної групи вимірювань, виступає нерівність [7]

$$|x^* - \bar{X}| \geq t \cdot S, \quad (1)$$

де x^* – спостереження, яке перевіряється на відповідність еталонним даним, або є помилковим;

t – коефіцієнт, який залежить від виду та закону розподілу, об'єму вибірки та рівня значущості.

Критерій варіаційного розмаху є одним з найпростіших методів виключення грубої похибки вимірювань. Для його використання визначають розмах ранжованого варіаційного ряду спостережень: $R_n = x_n - x_1$. Якщо член варіаційного ряду, для прикладу x_k , є підозрілим на похибку, то виконують перевірку. Рішення про достовірність результату вимірювань приймають, якщо виконується нерівність [8]:

$$\bar{X} - z \cdot R_n \leq x_k < \bar{X} + z \cdot R_n, \quad (2)$$

де z – критеріальне значення, залежить від кількості членів ряду;

\bar{X} – середнє значення без урахування підозрілого результату

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_i}{n}, \quad (3)$$

R_n – розмах ранжованого варіаційного ряду спостережень.

Критерій Діксона базується на припущенні, що похибки вимірювань підкоряються нормальному закону розподілу (попередньо необхідно побудувати гістограму результатів спостереження) і використовується, коли вибірка може мати більше однієї грубої похибки [8]. Особливістю даного методу є залежність формули критерію r визначення від об'єму вибірки. Груба похибка відсутня, якщо виконується умова $r < r_T$ (r_T – табличне значення критерію).

Критерій Губса базується на відношенні двох сум квадратів відхилень. Він потребує розрахунку середнього арифметичного поперечної вибірки без «нового» спостереження, та з ним. Для дослідження найбільшого та найменшого спостереження з нормально розподіленої сукупності перевіряються відповідні відношення [8]

$$\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \leq K_{\text{табл}}, \quad \frac{\sum_{i=2}^n (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \leq K_{\text{табл}}. \quad (4)$$

Якщо умови виконуються, спостереження не відкидається. Табличне значення критерію ($K_{\text{табл}}$) залежить від рівня значущості та об'єму вибірки.

Достатньо розповсюдженим є критерій Стьюдента [7]

$$t_p = \frac{|x^* - \bar{X}|}{S'}, \quad (5)$$

де S' – стандартне відхилення результатів спостережень без урахування x^* ;

$$S' = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2}, \quad (6)$$

де $n_u = n - 1$ – кількість дослідів без одного.

Розрахункове значення критерію Стьюдента t_p порівнюється з табличним $t(\alpha, f)_T$ (α - довірча ймовірність, $f = n_u - 1$ – ступень вільності). Якщо $t_p > t_T$, то спостереження є грубою похибкою чи помилковим.

Критерій Романовського базується на критерії Стьюдента, але табличне значення t_p розподілу квантеля Стьюдента визначається при заданій довірчій ймовірності з кількістю ступенів вільності $k = n - k_n$ (k_n - кількість підозрілих результатів вимірювань).

Подібні між собою критерії «правило трьох сигм» та Райта [7]. Вони обидва визначаються нерівністю $|x_{\text{іпод}} - \bar{X}| \geq t \cdot S$, де $t=3$ – у випадку нормального розподілу («правило трьох сигм»), $t=4$ – критерій Райта. Але такий критерій рекомендується використовувати не більше одного разу, оскільки можна отримати хибну інформацію щодо правильності вибору методики їх отримання.

На практиці більш поширеним є критерій Стьюдента, який має гіперболічну залежність критеріального значення при малому стандартному відхиленні та низьку чутливість у випадку великих значень (рис. 1), що може призвести до системної похибки методу.

Представлені методи є поширеними при виключенні грубих помилок або промахів з вибіркових даних, які відповідають нормальному закону розподілу або наближені до нього, але вони потребують багато

додаткових розрахунків і залежать від закону розподілу вхідних даних. Раніше було запропоновано оцінювати розподіл даних за формою АЧХ, яка отримана шляхом обробки експериментальних даних ШПФ [3]. Як виявилось, такий підхід не є вдалим, оскільки необхідно було будувати гістограму, монотонність АЧХ була забезпечена в окремих випадках нормального розподілу при певних значеннях \bar{X} та S .

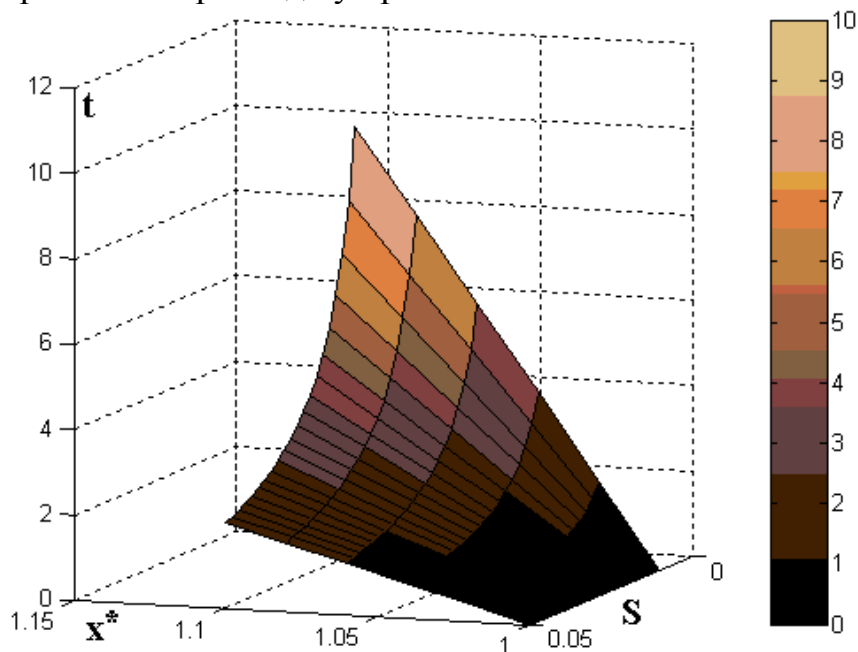


Рис. 1. Графічна залежність $t_p = F(x_n^*, S_n)$.

Виконана робота дозволила спростити та удосконалити запропоновану методику оцінки, спираючись на площу АЧХ $S_{\text{АЧХ}}$, яка отримана в результаті застосування ШПФ до необроблених вхідних даних. Такий підхід також вимагає теоретичного та експериментального дослідження та виробничого випробування.

У сучасних ТК ВК практично обов'язковим елементом є електрифіковані засувки, які встановлюють на розподільчих транспортерах та бункерах. Іноді їх виконують з ручним приводом, але сучасна концепція АСУ передбачає встановлення електрифікованих засувок, які складаються з електроприводу (асинхронний двигун з короткозамкненим ротором), редуктору (іноді виконується в одному корпусі з приводом), датчиків положення (кінцеві вимикачі) та самої засувки. У нормальних умовах передбачається, що електропривод живиться від мережі з номінальними параметрами, а зусилля, яке діє на засувку з боку матеріалу бункера, не перевищує розрахункове.

Відомо, що робота засувки залежить не тільки від місця їх розташування (розподільчий транспортер, випускний отвір бункера, зміна маршруту), а й від особливостей ТП. Загальним випадком несправності засувки є її заклинювання, яке може бути викликано несправністю механічної частини редуктору, незадовільним станом засувки (пил,

змащувальні матеріали, коливання напруги живлення приводу), зовнішніми умовами експлуатації (ожеледь) та тиску компонентів, які зберігаються. Необхідно зазначити, що останній параметр є важко контрольованим і виникає внаслідок нормальної експлуатації бункера.

Тиск на засувки сипких компонентів комбікормів відноситься до категорії місцевих тисків, які діють на обмежених ділянках сипкого тіла, і залежать від властивостей компоненту, від жорсткості конструкції бункера у зоні засувки та від процесу формування сипкого тіла. При наповненні бункера сипкими компонентами під дією тиску, який збільшується, відбуваються пружні деформації деталей засувки та стінок бункера. Як наслідок, частини сипкого тіла, які знаходяться безпосередньо над засувкою, осаджуються по периметру стовпа сипкого тіла – виникають дотичні зусилля (сили тертя та зчеплення), які сприймають значну долю ваги матеріалу над засувкою [2, 5].

У результаті дії цих внутрішніх сил, тиск на засувку іноді має значення значно менше гідростатичного, причому цей тиск тим менший, чим швидше розвиваються дотичні зусилля. Ці зусилля мають найбільше значення у бункерах, які не спустошуються; при закритті засувки під час процесу вивантаження, коли засувка перетинає рухомий потік сипкого матеріалу, розташованого над нею. У такому випадку тиск на затвор засувки стає мінімальним.

Найбільша величина тиску на затвор виникає при наповненні порожнього бункера. Однак цей тиск діє тільки до першого відкриття затвора. Отже, тиск на затвор засувки залежить від багатьох факторів, і точний розрахунок його величини представляє значні труднощі. Тому, для практичних наближених розрахунків середнього тиску на затвор засувки можна рекомендувати такі формули:

- при завантаженні порожнього бункеру [2]

$$\delta' = 5,6 \cdot h \cdot \gamma, \quad (8)$$

- - не порожнього бункеру, закриття засувки при спустошенні

$$\delta = 5,6 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot R, \quad (9)$$

де h – висота компоненту у бункері, м;

γ – об'ємне вага компоненту, кг/м^3 ;

5,6 – величина обернена коефіцієнту тертя о поверхню затвору засувки (значення для насипного матеріалу 0,18);

k_0 – коефіцієнт, який враховує особливості експлуатації бункерного обладнання ($k_0=2$ – щоразу повне спустошення; $k_0=1,5$ іноді спустошується; $k_0=1$ – не спустошується);

R – гідравлічний радіус випускного отвору, м.

Загальна сила, яка діє на засувку, визначається за формулою

$$F = \delta \cdot s_{\text{отв}}, \quad (10)$$

де $s_{\text{отв}}$ – площа витікання випускного отвору, м^2 .

Гідравлічний радіус випускного отвору є конструктивним елементом, який не змінює свої параметри в залежності від властивостей компонентів. Крім того, радіус випускних отворів та розподільчих каналів набагато більший за розміри часток компонентів.

Необхідно враховувати, що питома об'ємна вага залежить від вологості компоненту, яка може змінюватись за період зберігання [5]

$$- \gamma = \gamma_{\text{сух}} \cdot (1 + W) \quad \text{або} \quad \gamma = \gamma_{\text{поч}} \cdot \frac{G_1}{G_2}, \quad (11)$$

де $\gamma_{\text{сух}}$ – об'ємна вага сухого матеріалу, кг/м³;

$\gamma_{\text{поч}}$ – початкова об'ємна вага, кг/м³;

W – вологість компоненту, в.о.;

G_1, G_2 – початкова та кінцева вага матеріалу, кг.

Щодо коефіцієнту тертя, то у випадку, якщо відомий коефіцієнт тертя по одній поверхні, а необхідно визначити для іншої, можна скористатись співвідношенням [5]

$$f_1 : f_2 : f_3 : f \approx 15 : 16 : 17 : 20, \quad (12)$$

де f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти тертя по сталі, деревині та гумі;

f – коефіцієнт внутрішнього тертя.

З наведеного матеріалу можна побачити (8-12), що розрахунок тиску на затвор засувки є складною задачею, пов'язаною із неконтрольованими параметрами сировини. Він не контролюється через наявність тільки лабораторних методів визначення. Але вплив цих параметрів на технологічний процес є локальним. Тому, теоретичне дослідження роботи приводу засувки, у контексті часу відкриття та закриття, можна узагальнити та звести до моделювання роботи електроприводу, як правило асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, з різними параметрами живлення та навантажувальною діаграмою.

Якщо розглядати питання аналізу часу роботи електрифікованої засувки та виключення грубих помилок у контексті таймінгу, то можна зазначити, що під час експлуатації ТК ВК та виконанні пробних експериментів (оцінка тривалості роботи) виявлено два типи відхилень: перші, порівняно із значенням контрольованого часу, менші 3·S; інші - відхиляються на значно більші значення. Обидва випадки можуть мати місце і бути технічно значущими.

Перший випадок є проявом впливу властивостей компонентів комбікормів або готового комбікорму, а другий – відбиває вплив умов роботи та стану елементів комплексу. Крім того, розробка та практична перевірка методів оцінки є складною задачею, що обумовлено багатифакторністю ТП ВК, умовами експлуатації ТК, переліком технологічного обладнання та іншими виробничими чинниками.

З метою спрощення процедури вивчення впливу умов роботи приводного обладнання було прийнято рішення про використання математичного апарату багатофакторного експерименту. Це дозволило зосередити увагу на умовах його роботи та на контрольованому параметрі. За результатами дослідження визначено, що вплив мережі живлення та вид навантажувальної діаграми на рух затвору засувки за час моделювання є статистично незначущим.

Врахування отриманих результатів дозволило суттєво спростити методику експериментальних досліджень. Для виконання пробних досліджень використовувався автоматизований комплекс: комп'ютер, плата сполучення Velleman VM110, АЦП WAD-AIK-BUS [4], власне програмне забезпечення. Вихідною інформацією є дискретні керуючі команди (4 – JZC-20F у комплекті з магнітними пускачами) відповідних виконавчих механізмів плати (2 - Velleman VM110). Вхідною інформацією є час спрацювання вимірювальних перетворювачів засувки, які відображають тривалість її роботи (табл. 1).

Отримані вхідні дані були оброблені на робочій станції (1 – комп'ютер, який має відповідне ПЗ для роботи блоків 2 та 4 і USB або можливість підключення RS-485) поширеними статистичними методами та за запропонованою методикою без застосування статистичних методів виключення хибних значень. В результаті аналізу даних можна зробити висновок про можливість на основі площі АЧХ визначити наявність хибних даних та оцінити стандартне відхилення. Крім того, $S_{АЧХ}$ є чутливою до статистичних параметрів вибірки асиметрії та ексцесу, закону розподілу, та нечутлива до значення середнього арифметичного отриманих даних.

Висновки. Результати досліджень можуть лягти в основу експресних методів аналізу експериментальних та виробничих даних без попередньої статистичної обробки, що дозволить обґрунтувати необхідність останньої, що може призвести до економії апаратних ресурсів АСК ТП та часу обробки даних (при використанні ШПФ).

Для удосконалення та розвитку методики оцінки, з огляду на практичне застосування, доцільно данні досліджень представляти у відносних одиницях - нормовані данні ($x_{нi} = x_i / \bar{X}$) відносно середнього арифметичного. Це дозволить узагальнити дослідження при різних законах розподілу з контрольованими параметрами $\bar{X}_n = \text{const}$, $S_n = \text{var}$, при цьому визначити вплив нормованих похибок $x_n^* = \text{var}$ на $S_{АЧХ}$.

Ідентифікація відхилення від нормального ходу технологічного процесу або роботи елементів ТК на основі таймінгу можлива при використанні БЕД та вхідного значення, як такого що перевіряється.

Таблиця 1 – Результати дослідження часу роботи засувки

Вхідні дані, мс									
№	1	2	3	3 [∞]	4	5	6	7	
1	15655	15765	16547	16547	17077	16593	17156	17125	
2	15577	15906	16171	16171	17172	16624	17265	17187	
3	16172	15922	16452	16452	17124	16594	17359	17077	
4	19406	15796	16391	16391	17016	16624	17327	17141	
5	15765	15735	16296	16296	17031	16640	17125	17094	
6	15906	15765	16360	16360	17031	16594	17187	17172	
7	15922	15812	16343	16343	17124	16656	17077	17202	
8	15796	15796	16437	16437	16953	16531	17141	17327	
9	15735	15750	16328	16328	16937	16515	17094	17296	
10	15765	15640	16327	16327	16859	16545	17172	17187	
11	15812	15639	16234	16234	16578	16592	17202	17264	
12	15796	15672	16186	16186	16593	16531	17327	17296	
13	15750	15625	16266	16266	16624	16656	17296	16844	
14	15640	15750	16266	16266	16594	16594	17187	16813	
15	15639	15733	15390	16139	16624	16592	17264	16795	
16	15672	15766	16139	15390	16640	16577	17296	16859	
\bar{X}	16001	15755	16258	16258	16874	16591	17217	17105	
S	919	85	256	256	225	43	89	180	
ШПФ, № гармоніки	1	4140	738	1368	1265	2187	226	576	1444
	2	4121	245	891	714	683	238	503	986
	3	3520	392	937	1039	594	102	127	604
	4	3836	233	1018	769	504	99	363	265
	5	3658	140	1281	889	126	174	345	451
	6	3372	90	1118	963	354	163	66	400
	7	3250	160	533	1330	210	135	185	54
	8	3108	110	421	1077	261	218	329	285
S _{АЧХ}	29006	2108	7568	8045	4920	1355	2494	4489	

Література.

1. Авраменко И. Автоматизация – инструмент повышения рентабельности / И. Авраменко, А Масюк // Хранение и переработка зерна, – 2010. - №9 – С. 23 – 25.
2. Алфёров К.В. Бункерные установки/ К.В. Алфёров, Р.Л. Зенков. - М.: Машгиз, 1964.- 178с.
3. Діордієв В.Т. Таймінг датчиків технологічного комплексу виробництва комбікорму як сервісна функція автоматизованої системи управління на базі мереж Петрі / В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов// Тех-

нічна електродинаміка, – 2010. – Ч. 2. – С. 169-173. – Режим доступу: http://fel.kpi.ua/ppedisc/doc/s5/5_8.pdf.

4. *Діордієв В.Т.* Засоби моделювання технологічних комплексів виробництва комбікормів малої продуктивності / *В.Т. Діордієв, А.О. Кашкар'ов* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - Вип. 10, Т. 8. – С. 51-58. – Режим доступу: www.nbuu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_8/10_8/8.pdf.

5. *Зенков Р.Л.* Бункерные устройства / *Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев.* - М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

6. *Лысогор В.Г.* Автоматизация - не роскошь, а необходимый компонент успеха современного производства/ *В.Г. Лысогор, Ю.Я. Скидан* // Хранение и переработка зерна – 2001. - №2 – С. 61 – 65. Режим доступу: <http://www.apk-inform.ru/showart.php?id=10772>

7. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений/ *А.К. Митропольский.* – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.

8. *Третьяк Л.Н.* Обработка результатов наблюдений: Учебное пособие / *Л.Н. Третьяк.* – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ

Диордиев В.Т., Кашкарёв А.А.

Аннотация - приведены результаты использования быстрого преобразования Фурье в функциях оценки режима работы элементов технологических комплексов производства комбикормов.

DEFINITION MODE OF WORK THE EQUIPMENT TECHNOLOGICAL COMPLEX PRODUCTION MIXED-FODDERS

V. Diordiev, A. Kashkarov

Summary

The article deals with the results of using the fast Fourier transform for evaluation mode of work equipment technological complex production mixed-fodders.