

Одеський державний політехнічний університет

Світий Іван Миколайович

УДК 65.011.56: 664.724

**Система підтримки прийняття рішень з управління процесами зберігання зернових
мас на підприємствах галузі хлібопродуктів**

05.13.07 – автоматизація технологічних процесів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

- Науковий керівник Доктор технічних наук, професор **Жуковський Едуард Йосипович**, Одеська державна академія харчових технологій, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів
- Офіційні опоненти: Доктор технічних наук, доцент, **Максимов Максим Віталійович**, Одеський державний політехнічний університет, головний науковий співробітник НДЛ “Атомспецавтоматика”,
- Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Горбенко Віктор Миколайович**, НВК “Київський інститут автоматики”, директор ДНВП “Ніца”
- Провідна установа: Український державний університет харчових технологій, кафедра автоматизації та комп’ютерно- інтегрованих технологій, Міністерства освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться “ 22 “ листопада 2001 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 в Одеському державному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса 44, пр. Шевченка, 1.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського державного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий “ 20 “ жовтня 2001 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

_____ Ямпольський Ю.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед основних технологічних етапів хлібоприймального підприємства (ХПП) зберігання – найтриваліший за часом етап. Але незважаючи на багатовіковий досвід зберігання зерна в даний час 10 – 15% його втрачається саме на етапі зберігання. При цьому істотно знижується його якість. Одна з головних причин такого положення речей полягає в тому, що в умовах відносно великої кількості доступної інформації про стан зернової маси (ЗМ) технолог ХПП не має аналітичної підтримки у використанні цієї інформації для прийняття рішення. Певною мірою вирішено питання виявлення ситуації, що вимагає від технолога прийняття рішення. Однак обґрунтування варіантів рішення (ВР) забезпечується декількома технологічними інструкціями, що ускладнює їхнє застосування навіть досвідченими технологами. Методика оцінки економічної ефективності ВР на підприємствах реально відсутня. Можна сказати, що існуючі інформаційно-радіачі (ІР) системи, що підтримують технолога в процесі прийняття рішення, мають невисокий інтелектуальний рівень, який можна підвищити на основі створення систем підтримки прийняття рішення (СППР).

Реальною основою розробки і впровадження СППР технолога зерносховища (СППРТЗ) зі зберігання ЗМ є: систематизація теоретичного й експериментального матеріалу з теорії зберігання зерна; розвиток сучасних теорії та ідеології підтримки прийняття рішення (ППР); широке впровадження на підприємствах галузі високопродуктивної обчислювальної техніки. В дисертаційній роботі вирішено задачу розробки СППРТЗ зі зберігання ЗМ, що покликана допомогти технологу приймати не тільки технологічно грамотні, але й економічно обґрунтовані рішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі автоматизації виробничих процесів Одеської державної академії харчових технологій (ОДАХТ) і відповідає основному науковому напрямку №3 ОДАХТ “Створення і розробка нового високоефективного обладнання, теорії, методів його розрахунку і проектування; автоматизація виробничих процесів харчових і зернопереробних виробництв”. Робота виконувалася в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи № 10-97-П “Розвиток теорії моделювання процесів зберігання зерна і створення системи інтелектуальної підтримки технолога зерносховищ” (№ держ. реєстрації 0197U016062).

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертації є розробка СППРТЗ зі зберігання ЗМ, що забезпечує зниження втрат зерна при зберіганні за рахунок діагностування небажаних процесів на ранніх стадіях розвитку і зниження собівартості зберігання за рахунок економічного обґрунтування ВР.

Задачі дослідження: формалізація критерію діагностики СПР і критерію ефективності ВР; формалізація й алгоритмізація основних процедур, що забезпечують ППР; програмна реалізація розроблених алгоритмів.

Об'єктом дослідження в роботі є ЗМ, що зберігається в силосах елеватора і, за необхідністю, піддається впливу різних технологічних прийомів (ТП) з догляду за зерном.

Предметом дослідження є система управління зберіганням ЗМ, що дозволяє знизити як втрати в масі зерна в період зберігання так і собівартість зберігання.

Методи дослідження. Аналіз існуючого досвіду автоматизації галузі й аналіз ЗМ як об'єкту управління проводилися з позиції системного аналізу. При синтезі СППРТЗ використовувалися теорія прийняття рішення й ідеологія побудови СППР. При синтезі математичної моделі (ММ) ЗМ використовувався математичний апарат диференціального обчислення і теорії нечітких множин. В основу розробленого програмного забезпечення покладено ідеологію об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна отриманих результатів. Новими науковими результатами є те, що:

- вперше розроблено ММ прогнозування втрат в масі сухих речовин у період зберігання зерна й у результаті застосування ТП, що враховує вплив біохімічних і мікробіологічних процесів, що відбуваються в ЗМ, а також процесів тепло-, волого- і газообміну ЗМ з навколишнім середовищем (НС) на параметри ЗМ при зберіганні й у результаті реалізації ТП як ВР;

- запропоновано два нових критерії управління, що забезпечують ППР:

критерій діагностики ситуації прийняття рішення (СПР) для діагностування активізації біологічних процесів у ЗМ на ранніх стадіях їх розвитку шляхом прогнозування методом імітаційного моделювання;

критерій ефективності застосування ТП для оцінки ефективності й оптимізації ВР, що дозволяє, на підставі прогнозування втрат в масі сухих речовин у результаті реалізації ВР і розрахунку витрат на реалізацію цих ВР, оцінити їх ефективність;

- вперше створено СППР зі зберігання ЗМ, що включає процедури діагностики СПР, оцінки ефективності ВР і оптимізації обраного ВР, що дозволяє на підставі критеріїв діагностики СПР і ефективності ВР реалізувати всі основні етапи процесу ППР технолога зерносховища зі зберігання ЗМ.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що в результаті комплексного застосування розроблених алгоритмів забезпечується зниження втрат у масі зерна при зберіганні до рівню норм природних втрат зерна, а також зниження собівартості зберігання зерна за рахунок економічного обґрунтування ВР, доступних технологу. Результати дослідження можуть також застосовуватися для пошуку оптимальних режимів функціонування комплексів ТП з догляду за зерном. Розроблені алгоритми допомагають технологам зерносховищ в оцінці не тільки економічної доцільності, але і технологічної грамотності можливих ВР. Використані підходи до математичного опису процесів, що відбуваються в ЗМ, і розроблена ММ можуть широко застосовуватися з науковою метою для опису режимів зберігання ЗМ і їх обробки. Окремі елементи математичного опису можуть бути використані як математичний апарат для опису процесів, що відбуваються в екологічних системах, подібних ЗМ.

Науково-виробничою фірмою “Строб” при розробці комплексної системи управління сушаркою ДСП-32 використано результати дисертації. Ці результати покладено в основу програми “Система підтримки прийняття рішення технолога елеватора”, переданої для виробничих випробувань на Буяликський КХП.

Особистий внесок здобувача. У [1] – [5], [8] – [13], [16] виконано літературний пошук і систематизацію отриманої інформації. У [7], [8] розроблено структуру і сформульовано основні функції створюваної СППРТЗ. У [2] сформульовано у загальному вигляді критерій ефективності ВР. У [1], [4] конкретизовано критерій ефективності ВР, розроблено у загальному вигляді алгоритм ППР. У [3] проаналізовано фактори і процеси, що впливають на стан ЗМ при зберіганні, сформульовано в загальному вигляді задачу побудови ММ ЗМ. У [1] сформульовано підхід до побудови ММ ЗМ. У [16] розроблено ММ біологічних процесів у ЗМ. У [6] розроблено повну ММ ЗМ, і сформульовано задачу синтезу блоку прогнозування. У [5] доведено доцільність заміни в складі систем контролю температури зерна існуючих алгоритмів діагностики осередків самозігрівання зерна розробленим алгоритмом діагностики СПР.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися на 53-й і 54-й наукових конференціях ОТХПІ, на 55-й, 56-й, 57-й, 58-й, 59-й і 60-й наукових конференціях ОДАХТ (м. Одеса, 1993 – 2000 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції. “Розробка та впровадження нових технологій і обладнання в харчову та переробні галузі АПК” (м. Київ, 1993 р.), на науково-практичному семінарі АСУ ТП “Борошномельний завод” (м. Біла Церква, 1994 р.), на 1-й національній науково-практичній конференції “Хлібопродукти – 94” (м. Одеса, 1994 р.), на 2-й національній науково-практичній конференції “Хлібопродукти – 97” (м. Одеса, 1997 р.) та на 3-й міжнародній науково-практичній конференції “Хлібопродукти – 2000” (м. Одеса, 2000 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 1 статті, опублікованій в науковому журналі, в 8 статтях, опублікованих у збірках наукових праць, у 7 тезах доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і двох додатків загальним обсягом 144 сторінки, включає 32 рисунки, 4 таблиці, 2 додатки, список використаних джерел (99 найменувань).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Розкрито актуальність роботи і її тематики, окреслено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету, задачі дослідження, методи їх досягнення. Визначено наукову новизну і практичну цінність роботи, відзначено апробацію роботи, зв'язок роботи з науковими напрямками, кількість публікацій і особистий внесок автора.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих систем автоматизації ТП, що забезпечують зберігання зерна на підприємствах галузі хлібопродуктів. Основний обсяг інтелектуальної роботи з підготовки рішень для управління технологічним циклом зерносховища виконує персонал виробничо-технічної лабораторії (ВТЛ). Виділено основні задачі, що розв'язує персонал ВТЛ, з приймання, розміщення, зберігання, підробки і відпуску зерна. Виконано аналіз існуючих систем управління, що підтримують технолога в рішенні цих задач, виділено основні типи таких систем і окреслено шляхи їх розвитку. При цьому з'ясувалося, що найбільш вузьким місцем є інтелектуальний рівень цих систем, а саме, вимагають удосконалювання ІР підсистеми систем управління.

Предметом дослідження в дисертації було визначено синтез ІР системи управління процесами зберігання і підробки зерна, як найбільш тривалих етапів виробничого циклу ХПП. В основу розроблювальної системи покладено ідеологію побудови СППР, що базується на теорії прийняття рішення. Ця система отримала назву СППРТЗ. У розділі конкретизовано мету, задачі дослідження, шляхи їх досягнення і вирішення.

Другий розділ присвячено структурному синтезу СППР, формулюванню критеріїв і алгоритмізації основних процедур процесу ППР.

Для забезпечення процесу ППР СППРТЗ повинна виконувати такі функції: ідентифікацію інформаційного стану об'єкта (ІСО); діагностику СПР (ДСПР); оцінку ефективності ВР (ОЕВР); оптимізацію ВР (ОВР). Усі ці функції повинні виконуватися послідовно, тобто для кожної ЗМ, що зберігається, слід виконати ДСПР на підставі ІСО за інформацією від систем збору даних (СЗД) про ЗМ, скоректованої особою, що приймає рішення (ОПР). При виникненні СПР слід провести ОЕВР, результати якої подаються ОПР, що вибирає найбільш прийнятний ВР. Потім, за необхідністю, виконується ОВР. Узагальнену структурну схему СППРТЗ наведено на рисунку 1.

В цьому розділі введено такі основні поняття. ЗМ – певна кількість зерна, для якої вимірюється один чи кілька параметрів. ВР – комплекс ТП (КТП). ТП, що входить в ВР, ототожнюється з кроком ВР і з поняттям “елементарний ТП” (ЕТП). Можливим ВР для СППРТЗ у загальному випадку є застосування КТП з догляду за зерном, то процедура ОЕВР покликана оцінити ефективність застосування кожного такого КТП. Приклади деяких КТП наведено на рисунку 2.

Після вибору ОПРом на підставі рекомендацій системи ВР виконується оптимізація цього ВР. Зміна ефективності прийнятого рішення у вартісному вираженні по відношенню до зміни режимного параметру носить екстремальний характер. Це дозволяє прооптимізувати за критерієм ефективності обраний ВР шляхом зміни режимного параметру в інтервалі, визначеному технологією. Слід відзначити, що при значній продуктивності обчислювальних засобів процедура оптимізації може виконуватися автоматично для всіх можливих ВР. При цьому ОПР отримує вже оптимальні для кожного ВР значення критеріїв ефективності і режимних параметрів.

Задачу зниження втрат у масі і якості зерна в період зберігання вирішує процедура ДСПР. Ефективність рішення цієї задачі значною мірою залежить від вибору критерію.

Можливі три підходи оцінки стану ЗМ при зберіганні: за температурою зерна; за кількістю вуглекислого газу, що виділяється в міжзерновий простір (МП); за втратами в масі сухих речовин. Задача зниження собівартості зберігання ЗМ СППРТЗ вирішується за допомогою процедур ОЕВР і ОВР. При цьому процедура ОЕВР дає можливість ОПРУ вибрати найбільш ефективний ВР, а процедура ОВР дозволить вибрати оптимальні за критерієм ефективності параметри ВР. Критерій ефективності застосування ТП E_i включає дві складові: економічний ефект від зменшення втрат у масі зерна ΔP_i і витрати на застосування КТП $З_i$. При цьому зміна втрат у масі зерна в результаті застосування КТП визначається, як прогнозовані втрати в масі зерна при зберіганні в момент виникнення СПР (Π) мінус втрати, викликані застосуванням i -го КТП ($\Pi_{КТПi}$) і мінус прогнозовані втрати в масі зерна при зберіганні після застосування i -го КТП (Π_i). Втрати Π_i , пов'язані з застосуванням i -го КТП, визначаються як сума втрат, викликаних застосуванням n ЕТП (Π_{ij}), що входять в i -й КТП. Тоді критерій ефективності приймає вид:

$$E_i = \Pi - \sum_{j=1}^n \Pi_{ij} - \Pi_i - З_i \quad (1)$$

У розділі виконано алгоритмізацію основних процедур процесу ППР. При цьому в основу алгоритмів покладено обчислення критеріїв діагностики СПР і ефективності ВР. Основним інструментом, що забезпечує процедуру ППР, є прогнозування втрат в масі сухих речовин при різних умовах зберігання ЗМ і різних режимах застосування ТП.

Третій розділ присвячено формалізації процедури прогнозування, розробці блоку прогнозування. Для прогнозування стану ЗМ слід розробити її ММ, у якій повинно бути відбито можливість реалізації моделей застосування КТП з догляду за зерном як ВР. В основу ММ покладено визначення ЗМ як штучної екологічної системи.

Процес зберігання ЗМ пов'язаний зі зменшенням маси і зміною показників якості зерна, що в основному викликане: біохімічними процесами, що відбуваються власне в зернівці; життєдіяльністю мікроорганізмів; життєдіяльністю шкідників. Найбільш важливим біохімічним процесом, що визначає зменшення маси сухих речовин зерна в період зберігання, є дихання зерна: аеробне та анаеробне. Інтенсивність дихання зерна в свою чергу залежить від вологості, температури ЗМ, концентрації кисню в повітрі МП і від фізіологічних особливостей зерна (насамперед його здоров'я). Як показник здоров'я зернівки повинен виступати посівний показник якості зерна (наприклад, схожість). На схожість зерна істотно впливають біохімічні процеси старіння насіння, що протікають із втратами маси сухої речовини зерна при аеробному й анаеробному видах дихання. Швидкість зміни показників якості зерна під впливом біохімічних процесів у зернівці визначаються тими ж умовами, що й інтенсивність дихання зерна. Другим за важливістю і ступенем впливу на показники якості зерна елементом ЗМ є мікрофлора. Ступінь впливу мікрофлори на показники якості зерна залежить від фізіологічної активності популяції, що визначає швидкість її росту, потенційних можливостей та чисельності популяції. Залежність для виділення популяцією продуктів метаболізму має аналогічний вигляд. У результаті протікання біологічних процесів у ЗМ споживаються сухі речовини зерна, кисень повітря МП, накопичується тепло, волога, вуглекислий газ і органічні речовини. Інтенсивність протікання цих процесів визначається фізіологічною активністю зерна і мікроорганізмів ЗМ.

Поряд з біологічними процесами слід враховувати також процеси тепло-, волого- і газообміну ЗМ з НС. В основу опису процесів теплообміну покладено рівняння теплообміну між середовищем і поверхнею, теплопередачі через стінку. Основу моделей волого- і газообміну складає закон дифузії. Вологообмін зерна з повітрям МП здійснюється на основі рівняння рівноважної вологості зерна.

Найважливішим параметром, що визначає інтенсивність протікання біологічних процесів у ЗМ, є фізіологічна чи життєва активність основних елементів ЗМ. Для її опису в якості показника було прийнято коефіцієнт життєвої активності (КЖА) біотичного елементу ЗМ. Залежність КЖА від параметру, що впливає на нього, носить

експоненційний характер і пов'язана з наявністю на осі "параметр" так званих критичних точок: точок оптимального, мінімального і максимального для розвитку біотичного елементу значення параметра. Для математичної формалізації залежності КЖА від конкретного параметру може бути відносно чітко визначено тільки деякі критичні точки, а значення КЖА між цими точками мають значну неоднозначність. До того ж така неоднозначність характерна для більшості параметрів, що характеризують біологічні процеси в екологічних системах загалом, і в ЗМ зокрема. Крім того, при описі цих процесів доступна інформація якісного характеру. Тому для формалізації протікання таких процесів було використано апарат теорії нечітких множин. Відповідно до цієї теорії КЖА в залежності від параметру x може бути описано кусочно-неперервною залежністю. При цьому неперервні ділянки формалізуються залежністю для функції приналежності Гауссової нечіткої множини з ординатою максимуму, що дорівнює одиниці й абсцисою максимуму, що дорівнює a :

$$K_{ЖА}(x) = e^{-\frac{(x-a)^2}{2s^2}} \quad (2)$$

Загальний КЖА біотичного елементу будемо визначати, як добуток КЖА, що залежать від окремих параметрів.

Основу ППР у СППРТЗ складає прогнозування втрат в масі сухих речовин зерна, що визначається у такий спосіб:

$$T_1 \frac{dM_{св}}{dt} = -K_1 \cdot K_{ЖА1} - K_2 \cdot K_{ЖА2} - \sum_{i=1}^n K_{3i} \cdot K_{ЖАi} \cdot N_i, \quad (3)$$

де $K_{ЖА1}$ – КЖА, що визначає інтенсивність аеробного дихання зерна;

$K_{ЖА2}$ – КЖА, що визначає інтенсивність анаеробного дихання зерна;

$K_{ЖАi}$ – КЖА i -ї популяції мікроорганізмів;

K_1, K_2, K_{3i} – коефіцієнти, що визначають ступінь впливу відповідного біотичного елементу на масу сухих речовин зерна;

N_i – чисельність i -ї популяції мікроорганізмів, тис. шт.;

T_1 – стала часу, год.

КЖА зерна залежить від його температури θ_3 ($^{\circ}\text{C}$), вологості W_3 (%), схожості B (%) і концентрації кисню в повітрі МП c_K (%). Варто розрізняти КЖА аеробного та анаеробного дихання. У зерні обидва типи дихання присутні одночасно, а відношення їх інтенсивності визначається концентрацією кисню в повітрі МП. Загальний КЖА зерна визначається за формулами:

$$K_{ЖА1} = K_{ЖА}(\theta_3) K_{ЖА}(W_3) K_{ЖА}(B) K_{ЖА1}(c_K) \quad (4)$$

$$K_{ЖА2} = K_{ЖА}(\theta_3) K_{ЖА}(W_3) K_{ЖА}(B) K_{ЖА2}(c_K) \quad (5)$$

Важливим показником якості зерна, що визначає до того ж його КЖА, є схожість зерна. Крім того, схожість зменшується в результаті процесів старіння зерна. Вираз для визначення зміни схожості (%) має вигляд:

$$T_2 \frac{dB}{dt} = -K_4 \cdot K_{ЖА1} - K_5 \cdot K_{ЖА2} - \sum_{i=1}^n K_{6i} \cdot K_{ЖАi} \cdot N_i, \quad (6)$$

де K_4, K_5, K_{6i} – коефіцієнти, що визначають ступінь впливу відповідного біотичного елементу на схожість зерна основної культури;

T_2 – стала часу, год.

КЖА i -ї популяції мікроорганізмів $K_{ЖАi}$ залежить від вологості зерна, його температури, концентрації кисню й інших речовин у повітрі МП. Чисельність i -ї популяції мікроорганізмів у ЗМ постійно змінюється під впливом перерахованих вище факторів. Зміна цього параметру визначається залежністю

$$\frac{dN_i}{dt} = \mu_{\max i} \cdot K_{\mathcal{K}Ai} \cdot N_i, \quad (7)$$

де $\mu_{\max i}$ – максимально можлива швидкість росту i -ї популяції, година⁻¹.

У результаті протікання біохімічних процесів у ЗМ відбувається виділення тепла, вологи, вуглекислого газу, органічних речовин і споживання кисню повітря МП. Залежність зміни температури θ_3 , вологості W_3 зерна і концентрації кисню c_k у результаті протікання біологічних процесів має вид:

$$T_3 \frac{d\theta_3}{dt} = K_7 \cdot K_{\mathcal{K}A1} + K_8 \cdot K_{\mathcal{K}A2} + \sum_{i=1}^n K_{9i} \cdot K_{\mathcal{K}Ai} \cdot N_i, \quad (8)$$

$$T_4 \frac{dW_3}{dt} = K_{10} \cdot K_{\mathcal{K}A1} + \sum_{i=1}^n K_{11i} \cdot K_{\mathcal{K}Ai} \cdot N_i, \quad (9)$$

$$T_5 \frac{dc_k}{dt} = -K_{12} \cdot K_{\mathcal{K}A1} - \sum_{i=1}^n K_{13i} \cdot K_{\mathcal{K}Ai} \cdot N_i, \quad (10)$$

де T_3 , T_4 і T_5 – стала часу, год.

Поряд з біологічними процесами зміна температури, вологості зерна і концентрації кисню в повітрі МП відбувається також і в результаті тепло- і масообміну ЗМ з НС. Диференціальне рівняння зміни температури зерна в результаті теплообміну з НС має вид:

$$T_6 \frac{d\theta_3(t)}{dt} + \theta_3(t) = \theta_{oc}(t) \quad (11)$$

де θ_{oc} – температура повітря НС, °С;

T_6 – стала часу, що залежить від вологості зерна, товщини шару зерна, площі контакту ЗМ з НС, товщини стінки силосу, коефіцієнтів теплопровідності ЗМ і стінки, коефіцієнтів теплопередачі від ЗМ до стінки силосу і від стінки до НС, год.

За аналогією з температурою диференціальне рівняння зміни вологості зерна має вид:

$$T_7 \frac{dW_3(t)}{dt} + W_3(t) = W_p(t), \quad (12)$$

де W_p (%) – рівноважна вологість зерна, що визначається залежністю:

$$W_p = a_1 - a_2 \cdot \theta_3 + (a_4 - a_5 \cdot \theta_3) \cdot \lg \sqrt{\frac{1}{1 - \varphi_{oc}}}, \quad (13)$$

T_7 – стала часу, що залежить від товщини шару зерна, площі контакту ЗМ з НС, товщини стінки силосу, коефіцієнтів теплопровідності ЗМ і стінки, год.

Диференціальне рівняння зміни концентрації кисню в повітрі МП має вид:

$$T_8 \frac{dc_k}{dt} + c_k = c_{oc}, \quad (14)$$

де c_{oc} – концентрація кисню в повітрі НС, %;

T_8 – стала часу, що залежить від товщини шару зерна, площі контакту ЗМ з НС, товщини стінки силосу, коефіцієнтів дифузії ЗМ і стінки, год.

Застосування більшості ТП пов'язане зі збільшенням площі контакту ЗМ з НС, зміною параметрів границі контакту і параметрів повітря НС, що можна відобразити в моделі зміною сталих часу рівнянь (11), (12) і (14). Зміна параметрів повітря НС відображується в моделі зміною правих частин рівнянь (11) і (14) і задавання цих параметрів у правій частині рівняння (13).

Необхідність розробки робочої моделі викликана неможливістю використання розробленої вище ММ ЗМ у повному обсязі через складність її налаштування. Налаштування теплофізичної частини моделі особливих складностей не викликає, тому що в літературі накопичено значний обсяг експериментального матеріалу і глибоко опрацьовано питання його математичної формалізації. До того ж саме через цю частину моделі ТП впливають на ЗМ. Введення цієї частини моделі в її робочий варіант не викликає складностей. Налаштування біохімічної частини моделі буде в основному ускладнено нормуванням залежностей (2) у зв'язку з тим, що експериментальні дані, що є у великій кількості в літературі, істотно відрізняються і при цьому далеко не усі фактори, що визначають саме ці експериментальні дані, зафіксовано. Найчастіше не враховується динаміка зміни факторів. Біохімічна частина моделі в її робочому варіанті повинна бути присутньою тому, що саме вона значною мірою визначає втрати у масі сухих речовин зерна при незначній інтенсивності біологічних процесів. Якщо інтенсивність біологічних процесів незначна, то посівні показники якості змінюватися практично не будуть. Крім того, у літературі відсутні дослідження поведінки ЗМ при різній схожості. Та й на хлібоприймальних підприємствах на етапі приймання зерна і його підробки схожість та інші посівні показники якості зерна не визначаються. Тому в робочій моделі ЗМ для зерна, що йде на переробку, схожість прийемо рівної 100%. Тоді вирази (4) і (5) приймуть вид:

$$K_{ЖА1} = K_{ЖА}(\theta_3) K_{ЖА}(W_3) K_{ЖА1}(c_K) \quad (15)$$

$$K_{ЖА2} = K_{ЖА}(\theta_3) K_{ЖА}(W_3) K_{ЖА2}(c_K) \quad (16)$$

При низькій інтенсивності біологічних процесів збільшення чисельності популяцій мікроорганізмів буде незначним. Їх вплив можна врахувати при налаштуванні біохімічної частини моделі. Подальше введення в робочу модель навіть частини мікробіологічної моделі дозволить значно підвищити точність прогнозування втрат в масі сухих речовин і інших показників якості зерна не тільки на ранніх, але і на запущених стадіях розвитку осередку самозігрівання зерна. Виходячи зі сказаного, у робочій моделі основні залежності приймуть такий вигляд:

$$T_1 \frac{dM_{св}}{dt} = -K_1 \cdot K_{ЖА1} - K_2 \cdot K_{ЖА2}, \quad (17)$$

$$T_2 \frac{d\theta_3}{dt} = K_7 \cdot K_{ЖА1} + K_8 \cdot K_{ЖА2}, \quad (18)$$

$$T_3 \frac{dW_3}{dt} = K_{10} \cdot K_{ЖА1}, \quad (19)$$

$$T_4 \frac{dc_K}{dt} = -K_{12} \cdot K_{ЖА1}, \quad (20)$$

Інші залежності моделі вводяться в структуру її робочої версії без змін.

Нормування робочої моделі виконувалося за даними отриманими Трисвятським Л.А., Шольцом (Німеччина), Сергуновим В.С. та ін., які опубліковано в фундаментальній літературі зі зберігання та обробки зерна. Модель пронормовано для зерна пшениці, що зберігається в зовнішньому кутовому силосі в середній його зоні для залізобетонного силосу діаметром 6 м і висотою 30 м. Розроблена модель порівнювалася з даними фундаментальних літературних джерел та результатами роботи системи дистанційного автоматичного контролю температури зерна. Отримані результати показали, що за втратами в масі сухих речовин модель гарантує похибку прогнозування за 20 діб, яка не перевищує 10%, а за температурою – 3⁰С.

Зміна параметрів ЗМ при зберіганні й у процесі реалізації ВР значною мірою залежить від параметрів атмосферного повітря, що визначають параметри НС. Реалізація

ВР пов'язана з обробкою атмосферного повітря, що викликає зміну параметрів повітря НС. А тому що ТП, що входять до складу ВР можуть тривати досить довго, то й вплив зміни параметрів атмосферного повітря може істотно позначитися на параметри НС. Тому модель забезпечує моделювання зміни параметрів атмосферного повітря: температури і відносної вологості. Нормована робоча модель ЗМ, доповнена моделлю зміни параметрів атмосферного повітря ввійшли в блок прогнозування.

Четвертий розділ присвячено програмній реалізації і апробації розроблених алгоритмів. Для реалізації основних процедур ППР, виходячи технологічних особливостей, прийнято мінімальний час прогнозування 5 діб, а максимальний – 20 діб. Для тестування процедур ОЕВР і ОВР взято за основу, що в арсеналі ОПРа є три можливих ВР: АВ зерна атмосферним повітрям у силосі; сушіння АВ або АВ підігрітим повітрям у силосі; сушіння зерна в шахтній зерносушарці. СППРТЗ базується на принципі звертання до процедур, що реалізують окремі етапи процесу ППР: ПСО, ДСПР, ОЕВР і ОВР.

Розроблено кілька версій програми. Програма sist – версія для роботи в операційній системі MS DOS. Вона розроблялася мовою програмування Турбо-Паскаль 7.0. Основу програми складає варіант системи з вибором ВР, що оптимізується, за командою оператора. На базі цієї програми відпрацьовувалися алгоритми, використовувані в подальших більш досконалих версіях. Програма elevator1 є більш пізньою версією програми sist. Вона призначена для роботи в операційній системі MS WINDOWS 95 і пізніших, розроблялася в середовищі візуального програмування DELPHI 4. В основу програми покладено структуру системи з автоматичною оптимізацією усіх ВР. Її ядро складає удосконалена програма sist. Програма drier є версією elevator1, що забезпечує можливість оцінки ефективності ВР характерних для шахтної зерносушарки. За допомогою програми elevator1 оператор має можливість оцінювати економічну ефективність ВР, ступінь рентабельності їх реалізації, а також технологічну доцільність реалізації ВР за наявності СПР після реалізації цих ВР.

Для підтвердження переваги розробленого алгоритму ДСПР перед існуючим за температурою розглядалися чотири варіанти зберігання зерна при різних вхідних температурі і вологості зерна, температурі і відносній вологості НС. Результати моделювання приведено на рисунку 3.

Робота СППРТЗ у розглянутих виробничих ситуаціях підтверджує переваги розробленого алгоритму.

Створена і програмно реалізована методика оцінки економічної ефективності ВР є складовою частиною СППРТЗ і причому ідеологічно найбільш складною її частиною. Слід зазначити, що за допомогою програми можна оцінити і технологічну доцільність ВР, наприклад, за тим фактом, чи збережеться після реалізації ВР СПР. Але головна задача СППРТЗ – допомогти технологу прийняти економічно обґрунтоване рішення.

Програму elevator1 передано для виробничих випробувань на Буяликський КХП. Програма drier у виді підсистеми верхнього рівня використовувалася при розробці мікропроцесорної системи управління шахтною зерносушаркою ДСП-32 для вибору ефективного режиму функціонування сушарки і пошуку оптимальних, за критерієм економічної ефективності, режимів сушіння зерна пшениці.

ВИСНОВКИ

1. Метою функціонування СППРТЗ є рішення задач зниження втрат у масі і якості зерна в період зберігання а також зниження собівартості зберігання ЗМ.

2. Процедура ППР технолога зерносховища, реалізована СППРТЗ, включає: ПСО, ДСПР, ОЕВР і ОВР. В основу СППРТЗ покладено прогнозування стану ЗМ у період зберігання, при застосуванні ТП, і оцінка витрат на реалізацію ВР.

3. Рішення задачі скорочення втрат у масі і якості зерна в період зберігання забезпечує процедура ДСПР. В якості критерію ДСПР прийнято перевищення прогнозованими втратами у масі зерна нормованого значення.

4. Рішення задачі зниження собівартості зберігання забезпечують процедури ОЭВР і ОВР. В якості критерію ефективності прийняття рішення і пошуку оптимальних режимних параметрів ВР прийнято критерій ефективності застосування КТП, що складає ВР.

5. Повна ММ ЗМ, що відображає залежність втрат в масі сухих речовин і схожості зерна від інтенсивності дихання зерна (аеробного та анаеробного), впливу мікрофлори зерна, прогнозування зміни температури, вологості зерна, концентрації кисню в повітрі МП у результаті теплообміну, влагообміну і газообміну ЗМ з ОС, а також від інтенсивності дихання зерна і протікання мікробіологічних процесів, складає основу процедури прогнозування. В основу блоку прогнозування покладено робочу модель ЗМ, що є спрощеним варіантом повної моделі.

6. Запропонований КЖА описує залежність інтенсивності біохімічних і мікробіологічних процесів від параметрів ЗМ: температури, вологості, схожості зерна і концентрації кисню в повітрі МП.

7. Сформульовано умови реалізації моделі застосування ТП з догляду за зерном.

8. Проведено нормування робочої моделі для зерна пшениці, що зберігається в типових силосах, на підставі статистичних даних фундаментальних літературних джерел. Пронормована робоча модель забезпечує прогнозування втрат в масі сухих речовин з похибкою не більш 10%, та температури з похибкою, що не перевищує 3⁰С.

9. Модель ЗМ можна використовувати не тільки для цілей ППР, але і з науковою метою для опису і моделювання різних режимів зберігання ЗМ і режимів застосування ТП.

10. Аналіз роботи СППРТЗ у ряді виробничих ситуацій, при яких можливий розвиток осередків самозігрівання зерна, підтвердив перевагу розроблених алгоритмів перед існуючими і доцільність застосування як системи в цілому, так і окремих алгоритмів, для прийняття технологом економічно обґрунтованих рішень.

11. Обґрунтовано і рекомендується в складі існуючих і розроблювальних систем контролю температури зерна замінити використовувані алгоритми діагностики осередків самозігрівання зерна розробленою у дисертації процедурою діагностики СПР. Процедура ОЕВР дозволяє оцінити економічну ефективність ВР. Процедура ОВР дозволяє відшукати такі режимні параметри ТП, при яких підвищується економічна ефективність ВР. Застосування розроблених алгоритмів у комплексі дозволяє оцінити також і технологічну доцільність можливих ВР.

12. Отримані результати використано при розробці комплексної системи управління шахтною зерносушаркою ДСП-32 яку впроваджено на Кремидівському КХП. В складі самостійної СППРТЗ результати роботи передано на Буяликський КХП для виробничих випробувань.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Жуковський Е.Й., Погінний Ю.В., Світий І.М. Автоматизація процесу прийняття рішення технологом хлібоприймального підприємства. // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн.— Одеса, 1997. — Вип. 17. — С.132–138.

2. Жуковський Е.Й., Погінний Ю.В., Світий І.М. Концепція розробки системи підтримки прийняття рішення персоналом хлібоприймальних підприємств. // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн.— Одеса, 1996. — Вип. 16. — С.282–287.

3. Жуковский Э.И., Погирный Ю.В., Свитый И.Н. Модель зерновой массы как объекта управления. // Тез. докл. 56 науч. конф. Одес. держ. акад. харч. техн. – Одесса, 1996. – С.161.
4. Жуковський Е.Й., Світий І.М. Автоматизація основних процедур прийняття рішення в системі інтелектуальної підтримки технолога зерносховища. // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн.– Одеса, 1999. – Вип. 20. – С.187–192.
5. Жуковський Е.Й., Світий І.М. Алгоритм діагностики ситуації прийняття рішення при зберіганні зернових мас. // Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн.– Одеса, 2001. – Вип. 21. – С.33-36.
6. Жуковський Е.Й., Світий І.М. Модель прогнозування в системі підтримки прийняття рішення технолога зерносховища. // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн.– Одеса, 1999. – Вип. 19. – С.165–171.
7. Жуковский Э.И., Свитый И.Н. Структура и основные функции системы интеллектуальной поддержки технолога хлебоприемного предприятия. // Проблемы та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн. – Одеса, 1997. – Т.5., Ч.1: Автоматизація виробництва. – С.9-11.
8. Жуковський Е.Й., Світий І.М. Структура системи інтелектуальної підтримки технолога хлібоприймального підприємства. // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн. – Одеса, 1998. – Вип. 18. – С.122–126.
9. Никульча И.П., Погирный Ю. В., Свитый И. Н. Микропроцессорное управление хранением зерна. // Тез. докл. 54 науч. конф. Одес. технол. ин-та пищ. пром-сти им. М.В. Ломоносова. – Одесса, 1994. - С.84.
10. Погирный Ю.В., Світий І.М. Мікропроцесорна робоча станція дистанційного контролю температури зерна. // Тез. доп. Міжнар. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК". – К., 1993. – С.518-519.
11. Погирный Ю.В., Свитый И.Н. Применение многофакторного подхода при управлении процессом хранения зерна. // Тез. докл. 55 науч. конф. Одес. госуд. акад. пищ. техн. – Одесса, 1995. - С.216.
12. Погирный Ю.В., Свитый И. Н. Управление процессом хранения зерна. // Тез. докл. Первой нац. науч.-практ. конф. "Хлебопродукты - 94". – Одесса, 1994. – С.186.
13. Погирный Ю.В., Світий І.М. Як зберігати зерно. // Харч. та переробна пром-сть. – 1995. – №5. – С.9.
14. Свитый И. Н. Анализ свойств зерновой массы с позиции управления. // Тез. докл. 54 науч. конф. Одес. технол. ин-та пищ. пром-сти им. М.В. Ломоносова. - Одесса, 1994. – С.83.
15. Свитый И. Н. Обзор существующих систем ДКТ и ДАКТ зерна. Анализ возможностей и основные направления развития. // Тез. докл. 53 науч. конф. Одес. технол. ин-та пищ. пром-сти им. М.В. Ломоносова. – Одесса, 1993. - С.204.
16. Свитый И.Н., Полтавцев И.В. Математическая модель зерновой массы. // Проблемы та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн. – Одеса, 1997. – Т. 4: Техніка і технологія первинної обробки та зберігання зерна. – С.61-62.

Світій І.М. Система підтримки прийняття рішень з управління процесами зберігання зернових мас на підприємствах галузі хлібопродуктів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. – Одеський державний політехнічний університет. – Одеса, 2001.

Дисертація присвячена розробці системи підтримки прийняття рішення технолога зерносховища при зберіганні зерна. Процедура підтримки прийняття рішення включає: ідентифікацію інформаційного стану об'єкту, діагностику ситуації прийняття рішення за перевищенням прогнозованими втратами в масі сухих речовин зерна нормованого значення, оцінку ефективності та оптимізацію варіантів рішення за економічною ефективністю. Всі процедури ґрунтуються на прогнозуванні втрат в масі сухих речовин за допомогою математичної моделі.

Проведений порівняльний аналіз розроблених алгоритмів у порівнянні з застосовуваними підтвердив переваги та практичну цінність розроблених наукових положень.

Ключові слова: підтримка прийняття рішення, ефективність, прогнозування, математична модель, зернова маса, втрати в масі сухих речовин.

Свитый И.Н. Система поддержки принятия решений по управлению процессами хранения зерновых масс на предприятиях отрасли хлебопродуктов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. – Одесский государственный политехнический университет. – Одесса, 2001.

Диссертация посвящена разработке системы поддержки принятия решения технолога зернохранилища при хранении зерна. Процедура поддержки принятия решения включает: идентификацию информационного состояния объекта, диагностику ситуации принятия решения по превышению прогнозируемой убылью в массе сухих веществ зерна нормированного значения, оценку эффективности и оптимизацию вариантов решения по экономической эффективности. Все процедуры основываются на прогнозировании убыли в массе сухих веществ посредством математической модели.

Проведенный сравнительный анализ разработанных алгоритмов в сравнении с применяемыми подтвердил преимущества и практическую ценность разработанных научных положений.

Ключевые слова: поддержка принятия решения, эффективность, прогнозирование, математическая модель, зерновая масса, убыль в массе сухих веществ.

Svityi I.N. The decision acceptance support system on management of grain weights storage processes at the bakery enterprises. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the engineering degree science candidate on a speciality 05.13.07. - Automation of technological processes. – Odessa state polytechnical university. - Odessa 2001.

The dissertation is devoted to the development of decision acceptance support system of the granary technologist at the stage of the grain storage. The decision of grain weight reduction problems at the storage and decreasing of the cost price of storage is provided with the support of the granary technologist decision acceptance.

The procedure of the decision acceptance support is realized in four stages. On the basis of the identification of the information condition of an object the diagnostics of the situation on the decision acceptance by the criterion of excess by predictable loss in weight of dry substances of the normalized importance grain is made. At presence of decision acceptance situation an estimation of efficiency and optimization of the decision variants by an economic efficiency criterion are made. As the decision variant, the complex of technological methods of grain care is considered. All the basic procedures of the decision acceptance support are based on forecasting

of a loss in weight of dry substances. The structural and algorithmic synthesis of the diagnostic procedures of the decision acceptance situation, the efficiency estimation of the decision is made. The basis of procedures was made with the accounts of diagnostic criteria of the decision acceptance situation and economic efficiency of the decision variants. The procedure of the identification of an object information condition is based on system of gathering information about grain weight, accessible on real object. In the basis of optimization procedure are put the standard algorithm of extremum search and estimation procedure of the decision variants efficiency. The structural and algorithmic synthesis of the system as a whole in two variants is made: with optimization by the operator's choice of optimized variant and with automatic optimization of all decision variants.

For the forecasting purposes the mathematical model of grain weight, taking into consideration the loss in weight of dry substances of a grain in time of storage and as a result of application of technological methods is developed. The change of the parameter is determined by the biochemical and microbiological processes occurring in grain weight, and also by the processes of heat, moisture and gaseous exchange of grain weight with an environment. The mathematical model of the intensity change of the biological processes, as the factor of vital activity of aerobic and anaerobic breath of grain, depending on temperature, humidity, germinating power of a grain and concentration of the oxygen in intergrain space air and the factor of vital activity of grain microflora population is developed. Mathematical model was normalized for wheat grain, stored in granary of silo-type.

The developed model of grain weight can be used for the description of the grain weights storage with other basic cultures stored in other types of granary and model of intensity – for the description of the intensity of biochemical and microbiological processes in various ecological systems after the appropriate parametrical identification.

The head sample of the decision acceptance support of the granary technologist as the software is prepared. It was done on the basis of the system structure with automatic optimization of decision variants and manual input of the initial information.

The carried out comparative analysis of the developed algorithms in comparison with the head sample used by machine experiment and on the basis of results analysis of industrial tests has confirmed the advantages and the practical value of the scientific rules.

Key words: the decision acceptance support, efficiency, forecasting, mathematical model, grain weight, loss in weight of dry substances.