

**Веселовська Н.Р.**

д.т.н., доцент

Романов В.В.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет****Veselovska N.**Doctor of Technical Sciences,
professor**Romanov V.**

postgraduate student

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 621: 631.3:519.711.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-4-5****ВИПРОБУВАЛЬНО-
ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЦЬ**

Теплиці, отримали широкого застосування як найбільш досконала промислова споруда зі своєю агроєкосистемою, котра не піддається негативному впливу зовнішнього середовища. Основою цілю цієї, оснащеного виду будівлі закритого ґрунту, є високий збір хорошого врожаю не залежно від сезону та погодних умов протягом усього року. Її відмінностями від парника є розміри будови, адже всі необхідні роботи з вирощування сільськогосподарської продукції проводяться усередині технічної споруди та різний рівень можливостей та потреб, адже промислова теплиця – цілий комплекс, котрий потребує величезних знань, чималого фінансового капіталовкладення та досвіду роботи у даному напрямку. Тому розробка алгоритмічного забезпечення для практичної реалізації випробувально-діагностичного комплексу та застосування систем діагностування, як засобу автоматизації інформаційної технології є одним з генеральних напрямків підвищення ефективності теплиць. Разом з тим, для прийняття рішень про обсяги, етапи і доцільність використання тієї або іншої системи діагностування для обраного об'єкта дослідження необхідно оцінити переваги, які очікуються.

Застосування діагностики в процесі експлуатації тепличного обладнання накладає свій вплив на засоби і методи діагностики, які повинні бути зручні для застосування, забезпечити здійснення процесу діагностування за мінімальний час, володіти вірогідністю показань, особливо при високих вимогах до надійності, бути економічно доцільними. Конструкція тепличного обладнання при цьому пристосовується для потреб діагностики і повинна: мати вбудовані прилади, які оцінюють його параметри (тиск в гідросистемі, температуру, точність, швидкість); періодично підключатися до спеціального обладнання, що буде здійснювати діагностику основних параметрів обладнання і видавати дані про його стан. Параметрами технічного стану (діагностичними ознаками), за якими можна судити про од і які діагностуються в процесі експлуатації тепличного обладнання, є: параметри тепличного обладнання, що безпосередньо характеризують його дієздатність; пошкодження і дефекти, які виникають в процесі експлуатації і призводять або можуть призвести до відмови; побічні ознаки, які функціонально або стохастично зв'язані з вихідними параметрами.

Ключові слова: теплиця, функціональні можливості, діагностування, обладнання, процес, діагностувальний комплекс.

Аналіз останніх досліджень і теплиць є глибоким експериментальним публікацій. Діагностування обладнання для дослідження характеристик з застосуванням



сучасних метрологічних і діагностичних засобів. Тому був розроблений спеціальний випробувально-діагностичний комплекс (рис.1), що надав можливість істотно полегшити і підвищити вірогідність моніторингу діагностування приладів обладнання для теплиць при прийнятті рішення про оцінку їх ефективності. До випробувально-діагностичного комплексу включені об'єкт діагностування, програмне та технічне забезпечення для моніторингу діагностичних

сигналів, що є основним джерелом інформації про вихідні параметри теплиці. За допомогою апаратури моніторингу, що знаходиться на розробленому стенді (рис.1), оцінюється стан окремих елементів. За допомогою спеціального програмного забезпечення здійснюється керування всіма циклами та проходить обробка результатів вимірювання про можливе застосування параметрів при тривалій експлуатації обладнання.

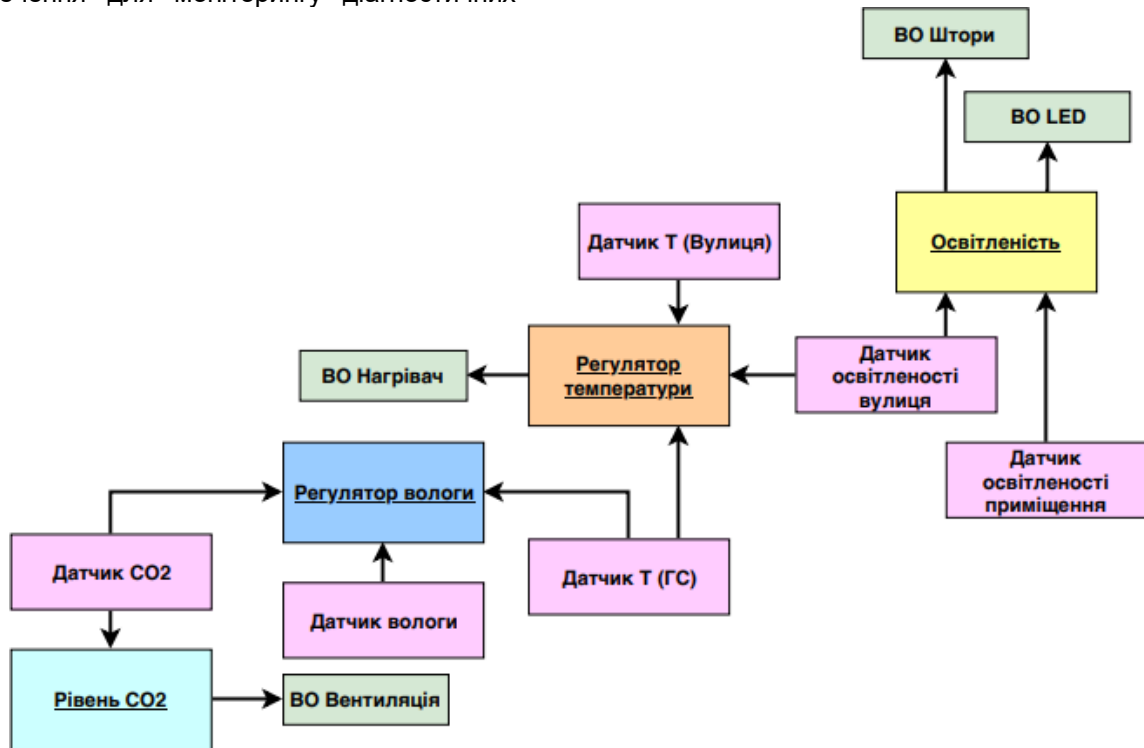


Рисунок 1 – Випробувально-діагностичний комплекс

випробування проводяться в автоматизованому режимі і складаються з послідовних циклів, кількість яких повинна бути достатньою для статистичної обробки результатів.

В загальному випадку об'єкт моніторингу приймає вигляд у описі відповідних динамічних і статистичних ланок, характеристики яких калібруються в процесі діагностування. Слід зазначити, що крім керуючих дій на об'єкт впливають випадкові внутрішні і зовнішні обурення:

$$\sum_{\rho, \mu=1}^m M_{\rho\mu} \left(t, \tau, \frac{d}{dt}, \mathbf{Q} \right) = F_{\mu}(t, \tau, \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \Phi), \quad (1)$$

де \sum - сума; $\frac{d}{dt}$ - оператор

диференціювання по часу; $\rho, \mu = \bar{1}, \bar{m}$, m -

кількість рівнянь; t - час роботи; τ - момент часу проведення моніторингу, $\mathbf{Q} \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ - вектор вхідних первинних параметрів; F_{μ} - нелінійний оператор, що характеризує праву частину рівняння; $\mathbf{Y} \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ - вихідний вектор, вектор вихідної інформації; $\mathbf{X} \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ - вектор випадкових функцій часу, що характеризує вихідні параметри об'єкту; $\mathbf{Z} \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m\}$ - вектор випадкових функцій часу, що характеризують зовнішні і прямі внутрішні і керуючі впливи - $\Phi \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$, M - поліноми відносно оператора диференціювання.

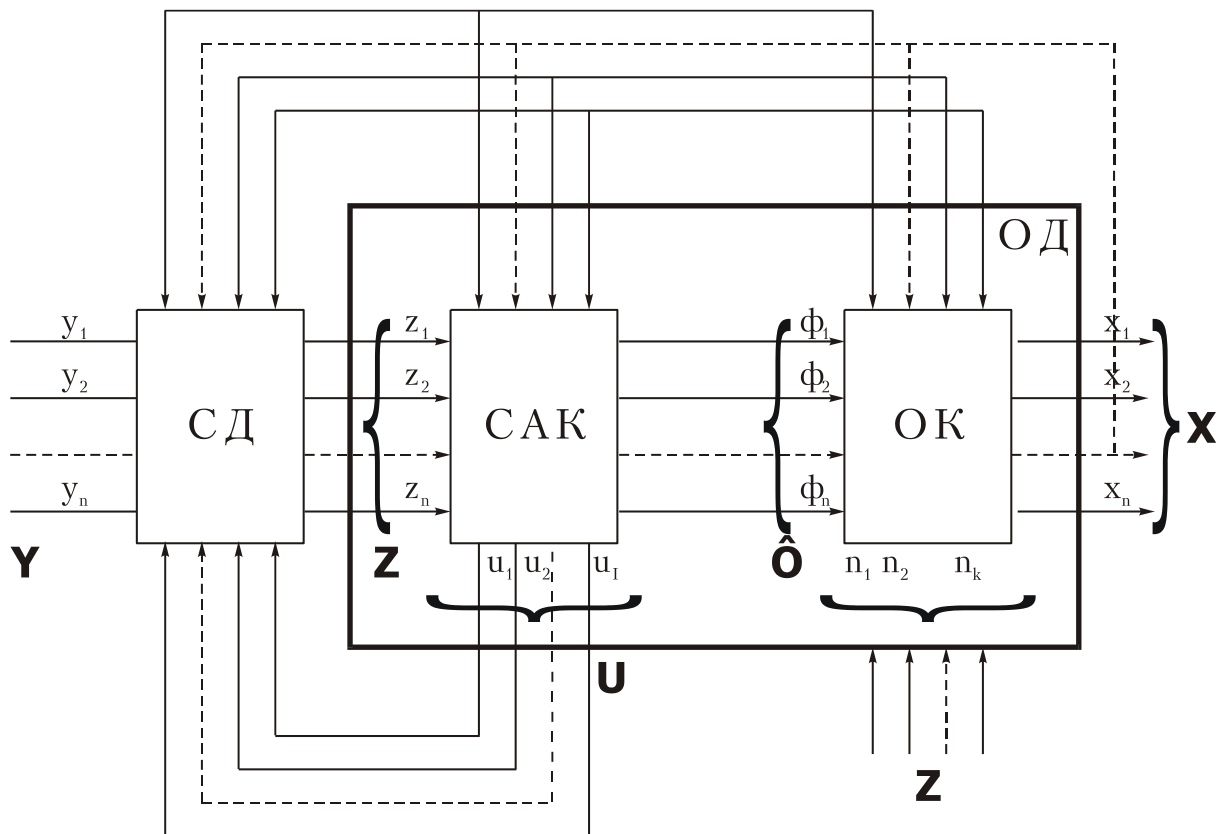
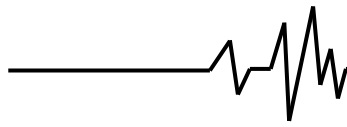


Рисунок 2 – Формалізація структурної схеми інформаційних потоків в багатовимірній динамічній моделі

Таким чином, на вхід СД впливають випадкові функції часу, що характеризують стан ОД і визначаються випадковими векторами U, X (рис.2). Закони розподілу параметрів ОД можуть бути визначені за допомогою метода інтегрування диференціальних рівнянь, метода гармонійної або статистичної лінеаризації, метода Монте-Карло. Найбільш повною інтегральною оцінкою ймовірнісного стану ОД є його ентропія, зумовлена невизначеністю ймовірнісного стану кожного його параметра. Призначення СД і полягає в зменшенні цієї ентропії. Ця задача вирішується з позиції заміщення деякої кількості ентропії інформацією СД в процесі її функціонування.

Це заміщення ведеться до тих пір, поки система (ОД-СД) не досягне максимальної ефективності. Початкова ентропія ОД може бути висловлена у виді функціоналу.

Припустимо, що кожний параметр випадкових векторів U, X може знаходитися тільки у двох станах, які характеризуються математичними сподіваннями m_0, m_1 (0-1) і відповідними ситуаціям: «0» – вхідний стан параметра «не придатний»; «1» – вхідний стан параметра «придатний». Виникнення станів m_0, m_1 характеризується ймовірностями P_0 і P_1 , що визначаються як апіорні ймовірності (в результаті дослідження на виробництві). В загальному випадку вони невідомі, але за наявності деяких статистичних знань і попереднього досвіду можливий вибір або припущення про значення апіорних ймовірностей. У випадку, який розглядається, маємо: $P_0 + P_1 = 1$. Значення апіорних ймовірностей P_0 і P_1 дозволяє визначити початкову ентропію H_0^i параметра, який контролюється [1-2]:

$$H_0^i = -P_0 \log_2 P_0 - P_1 \log_2 P_1 = -P_0 \log_2 P_0 - (1 - P_0) \log_2 (1 - P_0) \quad (2)$$

Тоді, за адитивністю ентропії, повні початкові ентропії...випадкових векторів параметрів стану ОД



$$H_0^u = \sum_{i=1}^s H_0^{Ui} = - \sum_{i=1}^s \left(P_0^{Ui} \log_2 P_0^{Ui} + P_1^{Ui} \log_2 P_1^{Ui} \right), \quad (3)$$

$$H_0^x = \sum_{i=1}^m H_0^{Xi} = - \sum_{i=1}^m \left(P_0^{Xi} \log_2 P_0^{Xi} + P_1^{Xi} \log_2 P_1^{Xi} \right). \quad (4)$$

Отже, повна початкова ентропія ОД H_0^0

$$H_0^0 = H_0^U + H_0^X. \quad (5)$$

Підтримання ентропії об'єкта діагностування на оптимальному рівні досягається за рахунок корекції параметрів стану ОД апаратурою діагностування. Можливий ще й інший шлях: підвищення апаратурної надійності ОД, однак цей напрям обмежується технологічними, конструкторськими, ваговими, вартісними і іншими ускладненнями. Процес прийняття рішення СД зводиться до зсунутого в часі переведення випадкових неперервних векторів U, X гіперпростору входів СД в дискретний вектор Y гіперпростору рішень. Слід відзначити, що миттєве переведення векторів U, X у вектор Y реалізувати неможливо. В результаті процедури прийняття рішення можуть бути припущені відповідні помилки з умовними ймовірностями: α - неправдива тривога (помилка першого роду); β - пропуск сигналу (помилка другого роду). Тоді апостеріорні ймовірності рішень визначаються у вигляді: P_{00} - апостеріорна ймовірність неправдивої

$$H_1^y = \sum_{i=1}^n H_1^i = - \sum_{i=1}^n \left[P_{00}^{Yi} \log_2 P_{00}^{Yi} + \left(1 - P_{00}^{Yi} \right) \log_2 \left(1 - P_{00}^{Yi} \right) \right]. \quad (7)$$

Слід відзначити, що ентропія H_1^y визначалася при заданих параметрах диференціальних законів розподілу параметрів векторів U і X , заданому обсязі вибірки (спостереження) і заданих математичних сподіваннях m_{0i} і m_{1i} . Означені обмеження дозволяють аналітично визначити величини умовних ймовірностей для кожного з параметрів, що є значною перевагою. Однак суб'єктивність вибору і призначення перерахованих параметрів істотно відхиляє ефективність прийнятого рішення від оптимального значення. Визначення інформації про стан об'єкта діагностування полягає в обчисленні

тривоги; P_{01} - апостеріорна ймовірність пропуску сигналу; P_{10} - апостеріорна ймовірність прийняття вірного рішення про стан «відповідає»; P_{11} - апостеріорна ймовірність прийняття вірного рішення про стан «не відповідає».

Значення апостеріорних ймовірностей помилкових і вірних рішень дозволяє визначити кінцеву ентропію результату рішення про стан параметра x_i

$$H_1^i = -P_{00}^{Yi} \log_2 P_{00}^{Yi} - P_{вер}^{Huu} \log_2 P_{вер}^{Yi} = -P_{00}^{Yi} \log_2 P_{00}^{Yi} - \left(1 - P_{00}^{Yi} \right) \log_2 \left(1 - P_{00}^{Yi} \right), \quad (6)$$

де -

$$P_{00}^{Yi} = P_{01} + P_{10} = \alpha P_0 + \beta P_1.$$

$$P_{вер}^{Yi} = P_{00} + P_{11} = (1 - \alpha) P_0 + (1 - \beta) P_1.$$

Тоді, визначимо повну кінцеву ентропію простору вектору рішень H_1^y

$$\begin{aligned} I^0 &= H_0^0 - H_1^y = H_0^X + H_0^U - H_1^y = \\ &= \sum_{i=1}^s \left(P_0^{Ui} \log_2 P_0^{Ui} + P_1^{Ui} \log_2 P_1^{Ui} \right) \\ &+ \sum_{i=1}^m \left(P_0^{Xi} \log_2 P_0^{Xi} + P_1^{Xi} \log_2 P_1^{Xi} \right) - \\ &- \sum_{i=1}^n \left[P_{00}^{Yi} \log_2 P_{00}^{Yi} + \left(1 - P_{00}^{Yi} \right) \log_2 \left(1 - P_{00}^{Yi} \right) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Інформація про ОД I^0 використовують для визначення ступеня готовності об'єкта діагностування до виконання задачі і корекції параметрів об'єкта, в результаті якої початкова

ентропія об'єкту H_0^i оптимально

зменшується. В ідеальному випадку, при постійному функціонуванні ОД СД повинна компенсувати тенденцію зростання початкової ентропії і підтримувати її на деякому



оптимальному, встановленому з самого початку рівні. Якщо об'єкт діагностування не функціонує постійно і вимагається тільки підтримання його готовності до застосування на деякому рівні, то доцільно періодично здійснювати діагностування і коррекцію параметрів. Доцільність цього визначається конкурентною ситуацією: збільшення готовності об'єкта до застосування - зменшення надійності апаратури за рахунок зносу апаратури за періоди перевірок і природного старіння апаратури.

Технологічне обладнання, що входить до складу складної системи «ОД-СД», взаємопов'язане шляхом механічних, електронних і програмно-інформаційних інтерфейсів, які забезпечують тимчасові і інформаційні зв'язки всередині системи, передачу сигналів по каналах зв'язку, діалог між системою управління і підсистемами. Отже, управління програмним випробуванням є досить складним процесом, що включає в себе процедури, пов'язані з обробкою інформації, отриманої при діагностуванні і випробуванні, з розрахунком показників ефективності тепличного обладнання, з прийняттям рішень, з прогнозуванням, моделюванням і оптимізацією. послідовність і логічні зв'язки етапів, необхідних для прийняття рішення при діагностуванні і випробуванні тепличного обладнання, (рис.3), що є основою для розробки засобів діагностування і програмного забезпечення для оцінки ефективності.

Окрім вхідних даних велике значення має інформація, розміщена в банку даних еом, де містяться наступні дані:

- параметри технологічних процесів;
- спектри силових і теплових зовнішніх дій, що враховуються при розрахунку вихідних параметрів;
- дані , що визначають точність обладнання тепличного обладнання;
- інформація про необхідну точність обробки і про похибки, що вносяться іншими компонентами технологічної системи, а також вимоги стандартів і нормативів, що використовуються для розрахунку областей дієздатності, тобто областей допустимих значень вихідних параметрів точності ;
- вага, обсяг і вартість підсистем, що входять в систему.

В пам'ять машини також вводяться значення діагностичних сигналів, які спроможні виявити причини тих або інших характерних

особливостей, що виникають в процесі роботи тепличного обладнання.

Задачі діагностування, що вирішуються автоматичним вимірюванням деталі, інструмента і введенням корекції, відносяться до діагностування при неповній апріорній інформації. Для діагностування параметрів, що ідентифікуються, часто необхідно одноразово оцінювати декілька факторів. за результатами аналізу визначають похибку, місце її виникнення і необхідність корекції програми обробки. отже, розробка універсальних алгоритмів і програм діагностики, придатних для тепличного обладнання різноманітних типів, вимагає чіткого розподілу між безпосередньою програмою і діагностичними даними, характерними для конкретних тепличного обладнання. в основу алгоритму тепкладена низка умов і процедур, які оцінюють значення змінних. алгоритм дозволяє в моменти часу, що розглядаються і які відповідають різним подіям (початок і кінець обробки, підхід транспортного засобу до накопичувача або складу), виконання всіх операцій, пов'язаних з відповідною реакцією алгоритму на подію, яка виникла в цей момент часу. стан об'єкта в довільний момент часу описується наступними змінними (рис.3).

Алгоритм відноситься до класу асинхронних алгоритмів, що моделюється з прийняттям рішення про стан об'єкта і включає ряд логічних умов і процедур, що знаходяться в блоках прийом, обслуговування, подача, простій і відмова. розглянемо події і умови, що можуть виникати в алгоритмі і дії, що приймаються програмою для продовження функціонування системи (рис.3).

умова 1: $t' = 0$. можливі дві ситуації: і-а система зайнята ($ind=1$) або вільна ($ind=0$).

умова 2: $t' = 0$. в алгоритмі вирішуються задачі: обладнання переходить у вихідний накопичувач і-ої системи, звільнивши робочу позицію, приймається рішення про подальшу поведінку і-ої системи. ці задачі вирішуються блоком передача.

умова 3: $t \geq 0$ і $e > 0$. обладнання приймається на обслуговування, і-а система переходить в режим зайнятості. в алгоритмі вирішуються задачі: приймається на обслуговування з вхідного накопичувача і приймається рішення про обслуговування обладнання в залежності від ситуації, при цьому визначається значення to (блок обслуговування).

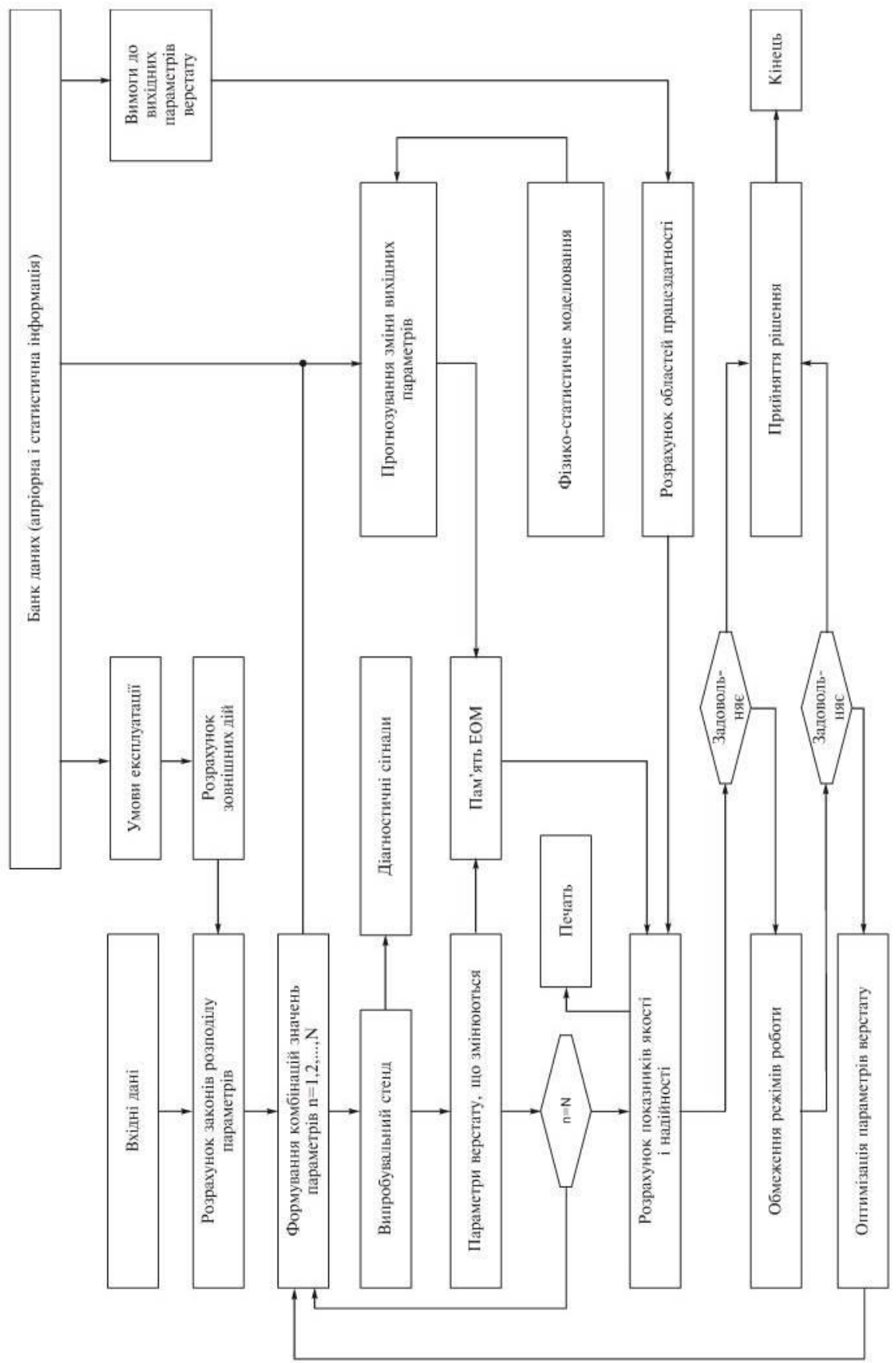
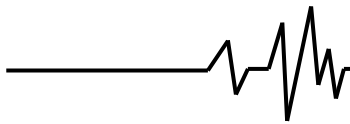


Рисунок 3 – Алгоритм діагностування тепличного обладнання



умова 4: $t_j \geq 0$ і $e=0$. при цьому i -а система знаходиться в режимі простою (блок простій).

умова 5: $t_j = 0$ і $e < e+1$ відповідає переповненню вхідного накопичувача або його відмові. Призначений для цієї умови блок відмова зменшує значення e на одиницю (при переповненні).

Передача, врахування особливостей структури системи, алгоритмів управління і дисципліни обслуговування, реєстрація вихідних параметрів здійснюються за рахунок включення в кожний блок алгоритму спеціальних додаткових процедур, що виконуються після основних процедур в блоках прийом, обслуговування, простій, передача, відмова. Будь-яка несправність визначається в результаті послідовності перевірок, що зображається у вигляді структурної схеми або дерева несправностей. Дерево для n

несправностей описується у вигляді матриці, що має n рядків результатів перевірок і m стовпчиків тестів. у матрицю входять всі дані, які необхідні для пошуку несправностей. Програма пошуку потрібного рядка і визначення типу несправності є універсальною і використовується для різноманітного технологічного обладнання.

Аналіз експериментальних даних. Опис обчислювального процесу.

Управління обчислювальним процесом є досить складним процесом, що включає процедури, пов'язані з обробкою інформації, яка отримується при випробуванні, з розрахунком показників якості тепличного обладнання, з прийняттям рішення про оцінку ефективності, прогнозуванням, моделюванням та оптимізацією.

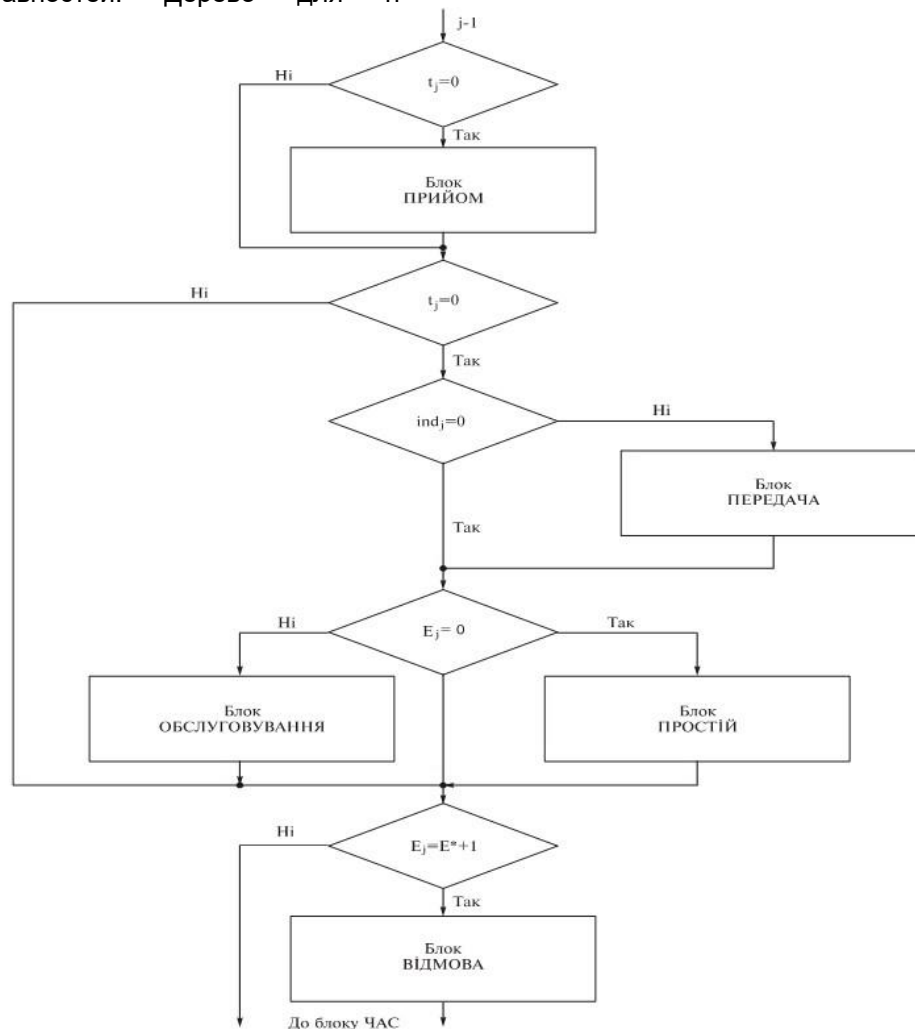


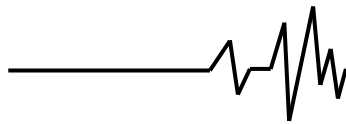
Рисунок 4 – Визначення даних для продовження функціонування системи

Оптимізації параметрів тепличного обладнання:

- оптимізація технологічних допусків на геометричні параметри тепличного обладнання;

- оптимізація режимів обробки в області експлуатації;

- оцінка ефективності для підвищення стійкості механізмів тепличного обладнання



- розроблені прикладні програми повного циклу проведення процедури прийняття рішення при діагностуванні тепличного обладнання.

Дослідження та аналіз експериментальних даних при проведенні діагностування.

Формування і дослідження вхідних даних, що включає створення банку вхідної інформації, розрахунок законів розподілу варіації параметрів і вибір їхніх значень для формування діагностування, оцінки ефективності прийняття рішення, є одним з основних етапів.

Під час експлуатації виникають приховані пошкодження, які не виникають в довільні моменти часу, а проявляються як збіг накопичених, незнайдених пошкоджень. накопичення неусунених пошкоджень понижуює живучість систем та може призвести до повного їх виходу з ладу. під живучістю розуміють здатність системи до виконання деяких основних функцій, які характеризують працездатний стан системи, з можливою повною чи частковою втратою інших другорядних функцій. живучість загалом пов'язують із впливом на систему катастрофічних факторів зовнішнього середовища, що виходять за межі проектних умов експлуатації. тому стоїть задача своєчасного виявлення та усунення ушкоджень для підвищення ефективності, оптимальності, якості та надійності прийнятих рішень не тільки про стан од, а всієї системи в цілому. як було зазначено в попередніх розділах, необхідно використання методів та засобів технічної діагностики та математичного апарату для проведення досліджень.

Вхідні параметри:

- технічні характеристики тепличного обладнання з обладнання для теплиць, які визначені замовником; конструкторські характеристики: компоновка, геометричні характеристики, властивості матеріалів, інерційні характеристики; технологічні характеристики: похибки; умови експлуатації: зовнішні навантаження, частота обертання, параметри змащування, теплові характеристики, температура зовнішнього середовища; ймовірнісні характеристики;

- варіанти конструкторсько-технологічної реалізації тепличного обладнання та його компонентів;

- вартість тепличного обладнання;

- габарити тепличного обладнання;

- статистичні данні отримані при проведенні досліджень.

Практика показала, що без системи діагностування після виникнення одного чи двох чи більше пошкоджень може частково чи повністю вийти з ладу. для поновлення його роботи необхідні досить великі витрати часу на знаходження пошкодження, потім на його усунення, що веде до додаткових витрат і значно знижує ефективність.

Використовуючи математичний апарат та синтезовані алгоритми, модифікований і синтезований критерій оцінки ефективності прийняття рішень при діагностуванні, проведемо розрахунки ефективності в різноманітних ситуаціях для:

- для теплиць з існуючою системою діагностування;

- для теплиць з розробленою системою діагностування.

1) визначасмо ентропію кожної системи од та сд до діагностування за формулою (9)

$$H_0 = -p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0), (9)$$

де p_0 - апіорна імовірність (визначена за допомогою проведенних досліджень) появи ситуації "немає норми" від 0 до 1 (відомо, що $p_0 = 1 - p_1$, де p_1 - апіорна імовірність появи ситуації "норма");

2) визначасмо ентропію од та сд з урахуванням ентропії після діагностування, яка зумовлена помилками при діагностуванні за формулою (10)

$$H_1 = -p_v \cdot \log_2 p_v - (1-p_{0t}) \cdot \log_2 (1-p_{0t}), (10)$$

де p_v - апіорна ймовірність прийняття вірного рішення,

p_{0t} - апіорна ймовірність прийняття помилкового рішення ($p_v = 1 - p_{0t}$).

3) вартість системи діагностування та об'єкта визначена виробником.

враховуючи всі припущення, вартості од та сд, а також вираз для знаходження помилок першого та другого роду, отримаємо загальний вираз для розрахунку оцінки ефективності прийняття рішень



$$E = \frac{(H_0 - H_1) \cdot C_{i \min}}{H_0 \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz}} = \frac{(-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)) \cdot \log_2 (1-p_0) - \left[p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right] \log_2 \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) - (-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)) \cdot \log_2 (1-p_0)}{-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0) \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz}} = 1 - \frac{\left[p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right] \log_2 \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) - \left(1 - \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \right) \cdot \log_2 \left(1 - \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \right) \cdot C_{i \min}}{-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0) \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz}} \quad (11)$$

Підставивши всі вхідні данні в (11) та зробивши розрахунки за допомогою редакторів EXCEL і MathCAD, отримаємо зекспериментальні дані (табл.1-6).

Таблиця 1. Можливі результати прийняття рішення при проведенні діагностування без системи діагностування

Дійсний стан ОД	Стан після діагностування	Прийняте рішення	Імовірність
Норма	Норма	Норма	P_1
Норма	Немає норми	Немає норми	$P_{пом}=0$
Немає норми	Немає норми	Норма	$P_{нз}=1-P_2$
Немає норми	Норма	Немає норми	P_2

Таблиця 2. Можливі результати прийняття рішення при проведенні діагностування з системою діагностування

Дійсний стан ОД	Стан після діагностування	Прийняте рішення	Імовірність
Норма	Норма	Норма	P_1
Норма	Норма	Немає норми	$P_{пом}=0$
Немає норми	Норма	Норма	$P_{нз}=1-P_2$
Немає норми	Норма	Немає норми	P_2
Норма	Немає норми	Норма	$P_{нз}^* = \alpha$
Норма	Немає норми	Немає норми	$P_{пом}^* = \beta$
Норма	Немає норми	Норма	$P_{нз}^* = \alpha$
Немає норми	Немає норми	Немає норми	P_2



Таблиця 3. Можливі результати прийняття рішення при проведенні періодичного діагностування

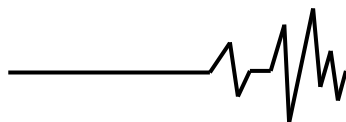
<u>Дійсний стан ОД</u>	Стан після діагностування	Прийняте рішення	Імовірність
Норма	Норма	Норма	P_1
Норма	Норма	Немає норми	$P_{\text{пом}}=0$
Немає норми	Норма	Норма	$P_{\text{н3}}=1-P_2$
Немає норми	Норма	Немає норми	P_2
Немає норми	Немає норми	Немає норми	$P_{\text{н3}}^*=0$
Норма	Немає норми	Немає норми	$P_{\text{пом}}^*=\beta$
Норма	Немає норми	Норма	$P_{\text{н3}}^*=\alpha$
Немає норми	Немає норми	Немає норми	P_2

Таблиця 4. Кількість знайдених відмов, які виникли при проведенні експериментальних досліджень з існуючою системою діагностування:

№ дослідження	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сервоклапани	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Реле	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Підшипники	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Прилад актив-Ного діагност.	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Тахогенератор	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Електропривод	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Інструмент	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
Шпіндель	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Безконтактні вимикачі	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Електродвигун	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Клавіатура	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Дісплей	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
АЦП	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1
ЦАП	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Мікросхеми	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Транзистори	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
Резистори	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Раз'йоми	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Мікропроцесор	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Конденсатор	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Кількість відмов	9	10	8	8	7	8	6	9	7	6	7	8
ВСЬОГО:										93 відмови		

Таблиця 5. Кількість знайдених відмов, які виникли при проведенні експериментальних досліджень з розробленою системою діагностування:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сервоклапани	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Реле	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Підшипники	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Прилад актив-Ного діагност.	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Тахогенератор	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Електропривод	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Інструмент	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
Шпіндель	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0



Безконтактні вимикачі	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Електродвигун	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Клавіатура	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Дісплей	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
АЦП	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
ЦАП	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Мікросхеми	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Транзистори	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Резистори	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Раз'йоми	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Мікропроцесор	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Конденсатор	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Кількість відмов	7	6	8	6	7	7	6	5	7	6	7	7
ВСЬОГО:											79 відмов	

Таблиця 6. Кількість знайдених відмов, які виникли при проведенні експериментальних досліджень з періодичним діагностуванням:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сервоклапани	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Реле	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Підшипники	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Прилад актив-Ного діагност.	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Тахогенератор	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Електропривод	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Інструмент	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
Шпіндель	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Безконтактні вимикачі	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Електродвигун	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Клавіатура	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Дісплей	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
АЦП	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
ЦАП	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
Мікросхеми	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Транзистори	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Резистори	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Раз'йоми	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
Мікропроцесор	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Конденсатор	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Кількість відмов	8	6	8	9	7	8	6	7	7	6	7	8
ВСЬОГО:											87 відмов	

Висновки. Аналіз експериментальних даних оцінки ефективності алгоритмів прийняття рішень в двоальтернативній ситуації "норма"- "немає норми" при діагностуванні обладнання для теплиць з існуючою системою діагностування та з розробленою системою показав, що ефективність вища, тобто можна зробити висновок про доцільність розробки та впровадження системи діагностування, яке дозволило ліквідувати суб'єктивні помилки

людини-оператора. в результаті заміни ролі оператора діями сд, процеси прийняття рішення при діагностуванні в різноманітних ситуаціях, що виконувалися раніше оператором, виконує сд, значно зменшився час пошуку пошкодження та підвищилась ефективність оцінки прийняття рішень при діагностуванні обладнання для теплиць практично в 1,36 рази, що свідчить про доцільність використання запропонованого



математичного апарату та синтезованих алгоритмів прийняття рішень для різних галузей народного господарства.

Список використаних джерел

1. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). DOI: 10.1117/12.2501526.

2. Іскович – Лотоцький Р.Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ. Вінниця, 2006 .291 с.

3. Іскович – Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Архипчук М.Р. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин: Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2008. 171 с.

4. Іскович-Лотоцький Р.Д., Івашко Є.І. Гідромолот з будованим віброзбуджувачем . Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали тез доповідей ХХІ міжнародної науково-технічної конференції (24-27 травня 2016 р., м. Київ). Київ: КПІ, 2016.

5. Іскович-Лотоцький Р.Д. Експериментальний стенд для дослідження гідроімпульсного провода вібромолота для зондування ґрунтів. Гідро- та мпемвоприводи машин – сучасні досягнення та застосування: матеріали тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції (15-30 листопада 2016 р., м. Вінниця). Вінниця: ВНТУ, 2016.

References

1. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). DOI: 10.1117/12.2501526.

2. Iskovych – Lotots'kyi R.D. Protsesy ta mashyny vibratsiynykh i vibroudarnykh tekhnolohiy. Monohrafiya. Vinnytsya: UNIVERSUM. Vinnytsya, 2006 .291 s.

3. Iskovych – Lotots'kyi R.D., Obertyukh R.R., Arkhynchuk M.R. Heneratory impul'siv tysku dlya keruvannya hidroimpul'snymy pryvodamy vibratsiynykh ta vibroudarnykh tekhnolohichnykh mashyn: Monohrafiya. Vinnytsya: UNIVERSUM – Vinnytsya. 2008. 171 s.

4. Iskovych-Lotots'kyi R.D., Ivashko YE.I. Hidromolot z budovanyim vibrozbudzhuvachem . Hidroaeromekhanika v inzhenerniy praktytsi: materialy tez dopovidey KHKHI mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi (24-27 travnya 2016 r., m. Kyiv). Kyiv: KPI, 2016.

5. Iskovych-Lotots'kyi R.D. Eksperymental'nyy stend dlya doslidzhennya hidroimpul'snoho provoda vibromolota dlya zonduvannya gruntiv. Hidro- ta mpevmopryvody mashyn – suchasni dosyahnennya ta zastosuvannya: materialy tez dopovidey mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi (15-30 lystopada 2016 r., m. Vinnytsya). Vinnytsya: VNTU, 2016.

TESTING AND DIAGNOSTIC COMPLEX FOR GREENHOUSE EQUIPMENT

Designing of technological processes of volume stamping at the modern level involves solving a number of complex problems. The main purpose of the article is to use the laws of the deformation process to model the kinematics of plastic flow using modern software systems based on the finite element method. The obtained data will allow to form an information field of a specific technology and, thus, to be able to control both the process and the properties of products.

These tasks include: determining the degree of deformation in the volume of the body and predicting the technological heredity of products; optimization of stamping transitions and prevention of technological failures.

As a result of plastic deformation, especially cold, the material inherits uneven hardening and heterogeneity of properties in the volume of stamped products, which are the cause of residual stresses. Residual stresses can increase or decrease the strength of the product if it is not subjected to heat treatment after cold plastic deformation. The heterogeneity of the properties is due primarily to the uneven distribution of the accumulated deformation, the calculation of which in conventional technological practice is complicated.

After pressure treatment, parts or workpieces are often annealed to relieve internal stresses and improve the structure of the metal. When designing technological processes with the use of computer modeling programs for plastic deformation processes, it is possible to choose such modes of deformation, which excludes the area of deformation that causes technological failures.



In the processes of cold three-dimensional stamping, the possibilities of plastic deformation of metals are limited. Very often the deformations required to obtain products of the desired shape exceed the plasticity of the material - the degree of deformation at which a crack is formed under the conditions of this mechanical scheme of deformation. Therefore, it is necessary at the design stage of technological processes to establish whether the material will withstand the projected operation, which will lead to intensification of metalworking processes by pressure, as well as significant savings associated with reducing production experiments to adjust the process.

Modern theory of plasticity allows to formulate and solve all these problems, however, given their complexity and connectivity, the result can be achieved only by using direct numerical methods, which in combination with high-speed computer equipment have created the preconditions for mathematical models of metalworking pressure and led to the emergence of appropriate programs, based in most cases on the finite element method.

Key words: *finite element method, polynomial function, discrete model, simplex function, shape function, local coordinate system, approximation.*

Відомості про авторів

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, wnatalia@ukr.net).

Романов Віталій Валерійович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва», Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна)

Veselovska Natalia - phd, professor, department of machinery and equipment of agricultural production of agricultural production of Vinnitsa national agrarian university (3 soniachna st., vinnitsa, 21008, ukraine, wnatalia@ukr.net).

Romanov Vitaliy – postgraduate student department of machinery and equipment of agricultural production of agricultural production of Vinnitsa national agrarian university (3 soniachna st., vinnitsa, 21008, Ukraine)