

УДК 624.131

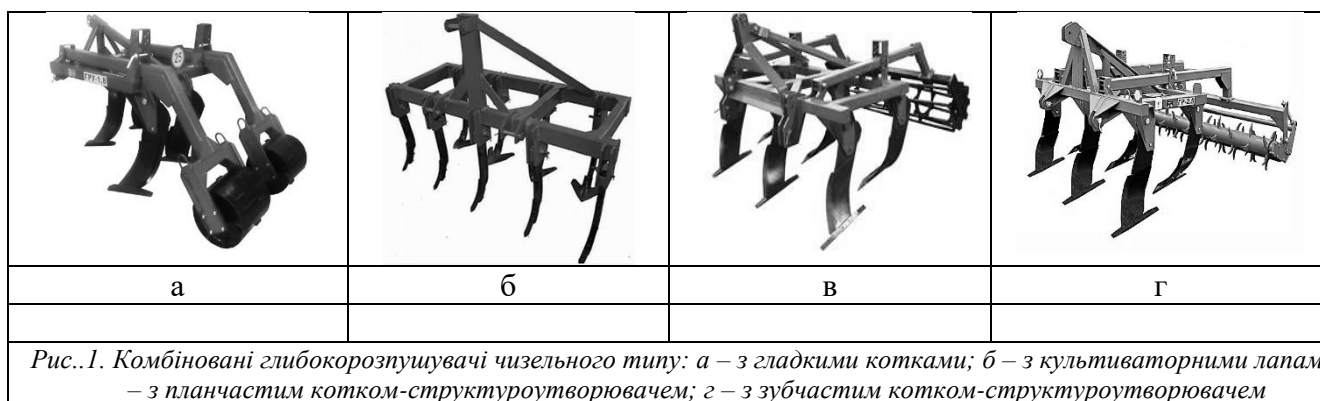
**ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГНУЧКОГО  
ҐРУНТОПОГЛИБЛЮВАЧА В СКЛАДІ ПЛН-5-35**  
JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS OF A FLEXIBLE SUBSOILER AS PART OF  
THE PLN-5-35 PLOW

Євгеній Сироїд

Поліський національний університет, Україна

Однією з найбільш поширених технологічних проблем, що виникає внаслідок тривалого інтенсивного використання орних земель, є формування ущільненого шару ґрунту - так званої плужної підшви, яка зазвичай локалізується на глибині основного обробітку ґрунту [1-5]. Варто підкреслити, що її утворення характерне не лише для традиційної полицевої оранки, а й для застосування різних типів ґрунтообробних машин і робочих органів, зокрема дискових знарядь різної конструкції, плоскорізних лап і культиваторів. Загалом поява плужної підшви має переважно техногенне походження та зумовлюється як дією робочих органів ґрунтообробної техніки, так і ущільнюючим впливом ходових систем мобільних сільськогосподарських агрегатів.

Ефективним способом запобігання формуванню ущільненого шару або його руйнування є механічне розпушування підорних горизонтів ґрунту на збільшену глибину, що здійснюється спеціальними ґрунтопоглиблювальними знаряддями різних типів - чизельними розпушувачами, глибокорозпушувачами, щілювачами та кротувачами [8, 10]. Такі робочі органи можуть використовуватися як у складі самостійних агрегатів, так і в комбінації з котками різних конструкцій або культиваторами для підвищення ефективності обробітку (рис.1).



З урахуванням специфіки механізмів зародження та поширення тріщин [8, 10] у трансверсально-ізотропному ґрунтовому середовищі під час його механічного обробітку доцільним засобом руйнування ущільненого підорного шару є застосування гнучкого ґрунтопоглиблювача [13] у складі машин для основного обробітку ґрунту (рис.2). Водночас, попри підтвержені переваги ланцюгових гнучких ґрунтопоглиблювачів щодо підвищення якості розпушування переущільнених горизонтів [6, 7, 11], їх експлуатація супроводжується нестабільністю робочого процесу, що має стохастичний характер. Така нестійкість зумовлена значною мінливістю механічних властивостей трансверсально-ізотропного ґрунтового середовища та проявляється як у напрямку руху машинно-тракторного агрегату, так і в поперечній площині переміщення робочого органа.

Для зменшення негативного впливу зазначених коливань запропоновано встановлення на одній із гілок гнучкого ґрунтопоглиблювача спеціального механічного пристрою гасіння коливань у вигляді пружного демпфера (рис.3), який забезпечує стабілізацію роботи ланцюгового контуру під час розпушування плужної підшви.

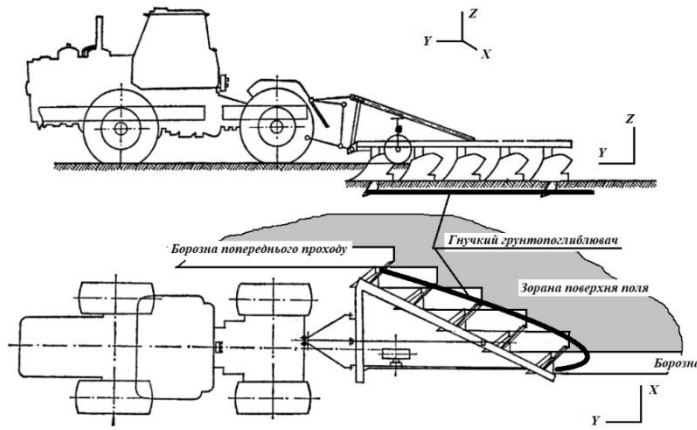


Рис.2. Плуг ПЛН-5-35, оснащений гнучким ґрунтопоглиблювачем

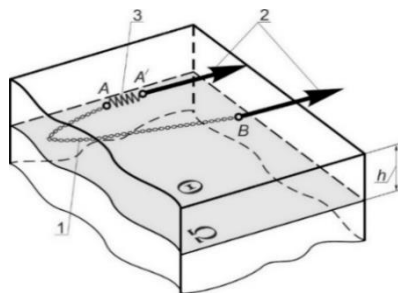


Рис.3. Контур гнучкого ґрунтопоглиблювача, окреслений ланцюговою лінією: 1 – ланцюг гнучкого ґрунтопоглиблювача; 2 – напрямок руху ґрунтообробного машинно-тракторного агрегату; 3 – пружний демпф AA'; Θ – денна поверхня ґрунту; Ω - площина переміщення ґрунтопоглиблювача

Для реалізації фізично матеріалізованого симулятора контуру гнучкого ланцюгового ґрунтопоглиблювача (рис.4, а) у вигляді твірної ланцюгової лінії (рис.4, б) було використано ланцюг коротколанковий вантажний DIN5685A 5/10 вільно підвішений в двох точках, як показано на рис.4, в.

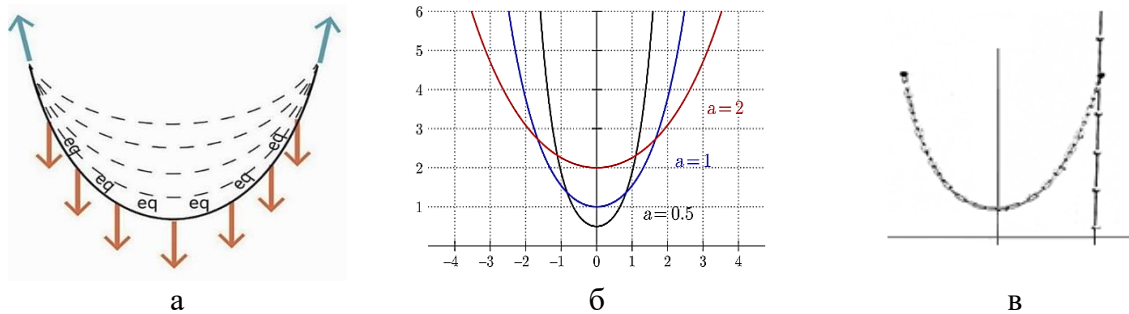


Рис.4. Покрокове вербальне обґрунтування моделі-симулятора контуру гнучкого ланцюгового ґрунтопоглиблювача: а – контур гнучкого ґрунтопоглиблювача, який рухається в ґрунті, б – твірна ланцюгової лінії, в – модель-симулятор гнучкого ланцюгового ґрунтопоглиблювача

Початковий етап оптимізації конструктивної схеми гнучкого ланцюгового ґрунтопоглиблювача передбачає визначення раціональної довжини ланцюгової петлі, яка забезпечує ефективне руйнування ущільненого підорного шару в межах відкритої борозни між суміжно розташованими плужними корпусами. З метою обґрунтування оптимальної довжини ланцюга із застосуванням методів планування експерименту було сформовано відповідні умови дослідження динамічної поведінки ланцюгового контуру. У аналітичному вигляді зазначені умови можуть бути подані таким чином, як (рис.5):

- координати правого шарніра в точці під'єднання ланцюга  $C_1(x_1, y_1)$ ;

- координати лівого шарніра в точці під'єднання ланцюга  $C_2 \left( x_2, y_2 = -a \cosh \frac{x}{a} \right)$ ;
  - довжина розглядуваної частини твірної  $l = l_0 - \frac{l_0}{n} \cdot t$ ,
- де  $l_0$  – початкова довжина твірної;  $n$  – умовна кількість ланок на початковій довжині твірної;  $t$  – крок переміщення переміщуваного шарніра.

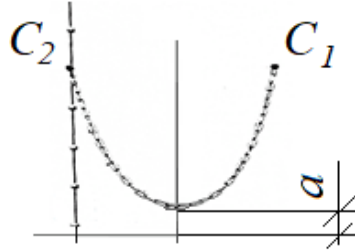


Рис.5. Параметри оптимізації контуру ланцюга ґрунтопоглиблювача

Визначення раціональних параметрів механічного пристрою гасіння стохастичних коливань ланцюгового контуру гнучкого ґрунтопоглиблювача здійснювали шляхом аналізу нормованої довжини ланцюга  $\|L\|$ , яку, відповідно до [13], встановлювали за аналітичною залежністю:

$$\left\{ \begin{aligned} L &= \int_0^2 \sqrt{1 + 4x^2} dx = \left( \frac{1}{4} \ln(4 + \sqrt{17}) + 2\sqrt{17} \right) \text{ (лін. од.)} \\ L &= 4,62 \text{ (лін. од.)} \end{aligned} \right.$$

Параметр  $a$ , що відповідає екстремальному положенню ланцюгової лінії, узгоджували з експериментально встановленою довжиною  $l$ , яка визначається величиною абсолютної деформації  $\Delta l$  демпфувального елемента та залежить від коефіцієнта жорсткості  $k$  пружного поглинача коливань. Модельні дослідження абсолютної деформації  $\Delta l$  виконували шляхом навантаження моделі ланцюгового контуру ґрунтопоглиблювача рівномірно розподіленою силою, а також прикладанням зосередженого зусилля  $N$ , що відтворювало контакт робочого органа з локальною перешкодою, наприклад твердим включенням у ґрунті.

Оцінювання ефективності руйнування плужної підшви здійснювали за значеннями граничних напружень зсуву  $\tau$ , визначених із використанням числового аналога твердоміра Ревякіна, оснащеного конічним пуансоном із кутом при вершині  $\alpha = 30^\circ$ .

За результатами проведених досліджень обґрунтовано удосконалену конструкційну схему комбінованого ґрунтообробного агрегату, що включає плуг ПЛН-5-35 у поєднанні з гнучким ланцюговим ґрунтопоглиблювачем (рис.6).

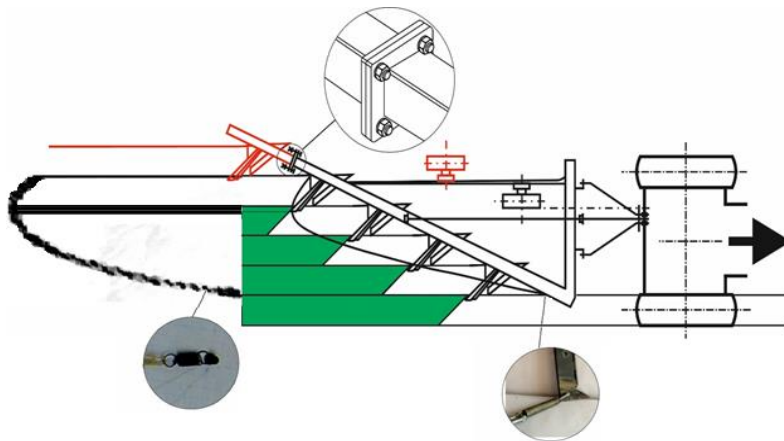


Рис.6. Конструкційне доопрацювання комбінованого ґрунтообробного агрегату в складі плуга ПЛН-5-35 та гнучкого ланцюгового ґрунтопоглиблювача

Запропонована структура компоновки комбінованого ґрунтообробного агрегату практично впроваджена на основі серійного плуга ПЛН-5-35 (рис. 7).



Рис.7. Комбінований ґрунтообробний агрегат в складі: плуг ПЛН-5-35 (модернізований) та гнучкий ланцюговий ґрунтопоглиблювач

За результатами виробничої перевірки комбінованого ґрунтообробного агрегату в складі: плуг ПЛН-5-35 (модернізований) та гнучкий ланцюговий ґрунтопоглиблювач встановлено:

- твердість шару ґрунту плужної підшви на глибині 35 см від денної поверхні ґрунту розпушений гнучким ланцюговим ґрунтопоглиблювачем зменшена в 2,54...2,58 рази за показником граничних напружень  $\tau$  вимірних числовим аналогом твердоміра Ревякіна в порівнянні з контролем та основним обробитком, виконаним базовою моделлю плуга ПЛН-5-35;

- варіаційний розмах показника шару ґрунту плужної підшви (35 см від денної поверхні) вздовж осі, яка є перпендикулярною до напрямку руху комбінованого ґрунтообробного агрегату (ПЛН-5-35 та гнучкий ланцюговий ґрунтопоглиблювач) за показником граничних напружень зсуву становить  $\pm 0,02$  МПа, або  $\pm 3,23\%$  при середньому квадратичному відхиленні  $\Delta_{\text{КВ}} = 0,895 \times 10^{-2}$  МПа, що засвідчує високий рівень суцільності руйнування шару плужної підшви ґрунту.

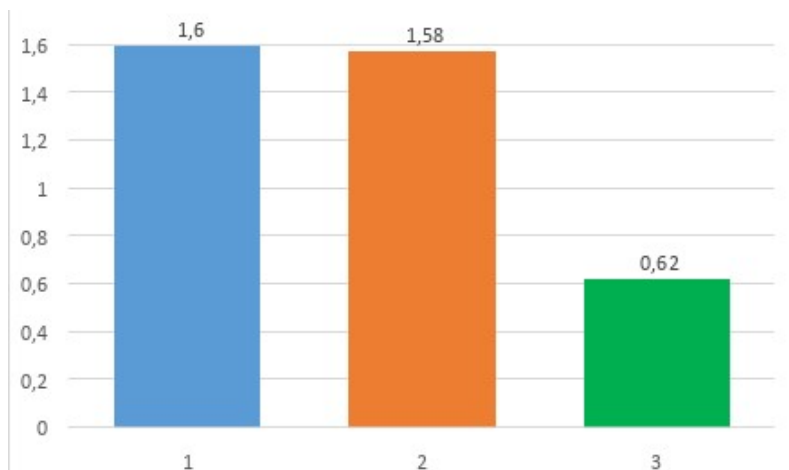


Рис.8. Твердість шару ґрунту плужної підшви:  
1 – контроль; 2 – обробіток базовим знаряддям ПЛН-5-35;  
3 – обробіток комбінованим ґрунтообробним агрегатом (дослідний варіант)

Обґрунтовано конструкційні ознаки контуру гнучкого робочого органу ланцюгового ґрунтопоглиблювача, які забезпечують розвиток тріщин відриву переущільненого шару плужної

підшви в бік денної поверхні відкритої борозни, яка утворена поміж проходами суміжних плужних корпусів.

Реалізація запропонованої конструкції ґрунтопоглиблювача в складі комбінованого ґрунтообробного агрегату суміщеного з плугами лінійки ПЛН забезпечує суцільний обробіток переуцільненого шару ґрунтів, який зумовлений їх довготривалим багаторічним основним обробітком.

Встановлення механічного поглинача стохастичних коливань в гнучкому контурі ланцюгового ґрунтопоглиблювача у вигляді пружного демпфера стабілізує процес розпушування плужної підшви в умовах дії на ланцюг ґрунтопоглиблювача не лише розподіленого навантаження, але і в разі контакту ланцюга з зосередженою силою, наприклад з перешкодою у вигляді кам'янистого “абсолютно жорсткого тіла”.

Результати виробничої перевірки комбінованого ґрунтообробного агрегату в складі: плуг ПЛН-5-35 (модернізований) та гнучкий ланцюговий ґрунтопоглиблювач засвідчили, що твердість шару ґрунту плужної підшви на глибині 35 см від денної поверхні ґрунту розпушеного гнучким ланцюговим ґрунтопоглиблювачем зменшена в 2,54 в порівнянні обробітком виконаним базовою моделлю плуга ПЛН-5-35 та в 2,58 рази в порівнянні з твердістю ґрунту необробленої плужної підшви.

### Список використаних джерел

1. Вербіст, К.; Корнеліс, В.; Шьеткатте, В.; Ольтенфрайтер, Г.; Ван Мейрвенне, М.; Габріельс, Д. Вплив ущільненої підшви плуга на надлишковий стік через насичення. *Soil Tillage Res.* 2007, 96, 292–302. [CrossRef]
2. Білібіо, К.; Уто, Д.; Хорват, М.; Роскопф, У.; Юнге, С.М.; Фінкх, М.Р.; Пет, С. Вплив десятирічного консерваційного обробітку ґрунту в органічному землеробстві на фізичні властивості ґрунту в лесовому ґрунті - Північний Гессен, Німеччина. *Agriculture* 2023, 13, 133. [CrossRef]
3. Тянь, П.; Лянь, Х.; Ван, З.; Цзян, Ю.; Лі, К.; Суй, П.; Ці, Х. Вплив глибокого та поверхневого обробітку ґрунту з внесенням соломи на органічний вуглець, загальний азот та активність ферментів у Північно-Східному Китаї. *Сталий розвиток* 2020, 12, 8679. [CrossRef]
4. Юнесі Аламуті, М.; Навабзаде, М. Дослідження впливу глибини оранки на деякі фізичні властивості ґрунту. *Pak. J. Biol. Sci.* 2007, 10, 4510–4514. [CrossRef]
5. Цян, Х.; Сун, Й.; Нін, Х. Вплив глибокого розорювання на будову оброблюваного горизонту та врожайність зерна озимої пшениці на Північнокитайській рівнині. *Agriculture* 2022, 12, 236. [CrossRef]
6. Азеведо, Р.П.; Корінто, Л.М.; Пейшото, Д.С.; Де Фігейредо, Т.; Сільвейра, Г.К.Д.; Пече, П.М.; Піо, Л.А.С.; Пальярі, П.Х.; Курі, Н.; Сілва, Б.М. Стратегії глибокого обробітку ґрунту при вирощуванні багаторічних культур: структурні зміни в різних класах ґрунтів. *Plants* 2022, 11, 2255. [CrossRef] [PubMed]
7. Чжан, Х.; Юн, Ю.; Дечен, В.; Чжаоюй, В.; Ян'ян, Л.; Сібіао, Л. Характеристики руйнування ґрунту та ефективність розпушування ущільнених трав'янистих угідь глибокорозпушувачами з різними дошками плуга. *Biosystems Engineering* 2024, 237, 170–181. [CrossRef]
8. Махмуді-Ешкафтакі, М.; Ебрахімі, Р.; Ганбарян, Д.; Хоуш'яр, Е. Геометрична характеристика відвального плуга з використанням поєднаної детальної фотографії та моделі підгонки поверхні. *Soil Tillage Res.* 2017, 170, 122–129. [CrossRef]
9. Ярош, Ю.; Шелудченко, Б.; Кондратюк, А.; Білецький, В.; Плужников, О. У візуально-пластичному середовищі будівлі рівномірна «ланцюгова лінія» рухомих гнучких ліній. *Sci. Horiz.* 2020, 4, 65–71. [CrossRef]
10. Напівнавісні плуги. Доступно онлайн: <https://www.gregoire-besson.com/en/machines/voyager> (дата звернення: 27 грудня 2023 р.).
11. Забродський, А.; Шараускіс, Е.; Кухарець, С.; Юостас, А.; Василяускас, Г.; Андрюшіс, А. Аналіз впливу ущільнення ґрунту на навколишнє середовище та сільськогосподарських економічних втрат у Литві та Україні. *Сталий розвиток* 2021, 13, 7762. [CrossRef]
12. Kondratiuk, A.; Šarauskis, E.; Sheludchenko, B.; Kukharets, S.; Jasinskas, A.; Zabrodskyi, P.; Shubenko, V. Substantiation of the Use of a Flexible Chain-Type Subsoiler for Improving the Agrotechnological Properties of Soil. *Sustainability* 2024, 16, 5355. <https://doi.org/10.3390/su16135355>

13. Шелудченко Б.А., Сивак Р.І., Плужніков О.Б. Метрологія та основні засоби технічних вимірювань. - Житомир: Поліський національний університет, 2023. 124с.: іл.

14. Sheludchenko B.A., Syvak R.I., Pluzhnikov O.B. Metrolohiya ta osnovni zasoby tekhnichnykh vymiryuvan'. - Zhytomyr: Poliss'kyu natsional'nyu universytet, 2023. 124s.: il.

УДК 631.171:636:620.92:004.8

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОДЕЛІ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ**  
INTELLECTUAL MODELS OF SUBSTITUTION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF EQUIPMENT FOR AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY OF LIVESTOCK FARMS

**Анатолій Тригуба<sup>1</sup>, Мар'ян Коциловський<sup>1</sup>, Роман Олійник<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, Львів, Україна*

*<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна*

Науково-прикладна задача забезпечення енергетичної стійкості тваринницьких ферм сьогодні є досить актуальною. Це пов'язано із тим, що витрати на енергоресурси формують суттєву частину собівартості продукції тваринництва. Функціонування сучасних тваринницьких ферм супроводжується постійною потребою в електричній та тепловій енергії для забезпечення роботи систем мікроклімату, освітлення, водопостачання, автоматизованого годування, видалення відходів та підтримання технологічних режимів утримання тварин [1, 2]. За умов нестабільності зовнішнього енергозабезпечення, коливання тарифів на електроенергію та підвищення вимог до екологічної безпеки виробництва зростає потреба у створенні локальних систем автономного енергозабезпечення. Вони дають можливість забезпечувати безперервність виробничих процесів і підвищувати енергонезалежність аграрних підприємств.

Особливого значення ця задача набуває для тваринницьких господарств, у яких одночасно наявний значний потенціал власної сировинної бази для виробництва енергії у вигляді органічних відходів. Гній, залишки кормів, побічні продукти технологічних процесів є не лише відходи виробництва, а й стабільне джерело для одержання біогазу, теплової енергії та електроенергії [3, 4]. Проте ефективність використання такого потенціалу значною мірою визначається правильністю вибору конструктивних і технологічних параметрів обладнання. Оскільки навіть незначні відхилення у геометричних характеристиках реакторів, режимах подачі субстрату, параметрах перемішування або температурному режимі можуть суттєво впливати на енергетичну результативність усієї системи.

Під час проектування обладнання для автономного енергозабезпечення застосовуються традиційні інженерні підходи, що базуються на типовому підборі технічних характеристик без достатнього врахування конкретних виробничих умов ферми, сезонної зміни навантаження, структури органічної сировини та динаміки споживання енергії [5, 6]. Унаслідок цього виникає невідповідність між фактичними режимами роботи обладнання та реальними потребами господарства. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії енергетичної системи, збільшення експлуатаційних витрат і зростання термінів окупності технічних рішень. Саме тому актуальним є перехід від статичних розрахункових схем до інтелектуальних методів обґрунтування параметрів обладнання, які здатні одночасно враховувати велику кількість взаємопов'язаних факторів проектного середовища.

Сучасний розвиток методів обчислювального інтелекту створює нові можливості для вирішення таких завдань. Використання алгоритмів машинного навчання, нейромережових моделей для прогнозування, адаптивної оптимізації та багатофакторного аналізу дозволяє встановлювати приховані залежності між характеристиками сировини, режимами функціонування обладнання та