

**МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО
ОРГАНІЗАЦІЇ ЗБОРУ ТА ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ В
БІОГАЗОВИХ КОМПЛЕКСАХ**

С. А. Шворов, доктор технічних наук

Д. С. Комарчук, кандидат технічних наук

П. Г. Охріменко, Д. В. Чирченко, аспіранти

О. В. Васямович, бакалавр

e-mail: sosdok@i.ua

Анотація. Розглядаються підхід та методичні основи щодо побудови гібридної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, за допомогою якої забезпечується формування обґрунтованих пропозицій з організації збору та переробки органічної сировини в біогазових установках (комплексах). За допомогою запропонованої системи вирішуються такі задачі: моніторинг вирощування енергетичних культур та виявлення залишків органічної сировини після збирання врожаю на основі застосування безпілотних літальних апаратів, обґрунтування пропозицій щодо застосування збирально-транспортної техніки для збору та переробки органічної сировини в біогазових комплексах.

Ключові слова: *інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, технологічний процес, біогазові комплекси, органічна сировина*

Нині одним з важливих завдань є інтенсивний розвиток біогазових технологій для заміщення природного газу. У західних країнах вже застосовується технологія відокремлення CO₂ та домішок H₂S від біогазу для подачі біометану в газопроводи. При цьому для отримання біометану використовуються органічні відходи не тільки із сільськогосподарських ферм та птахофабрик, а також й з господарств, орієнтованих на вирощування, збір та

переробку спеціальних енергетичних культур (ЕК) у біогазових установках (БГУ) [8]. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є широке застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) щодо організації вирощування, збору та перевезення енергетичних культур для подальшої їх переробки в БГУ [1-4].

Мета досліджень – розробка методичних основ створення гібридної інтелектуальної СППР з організації збору та переробки органічної сировини в БГУ.

Матеріали та методика досліджень. Для досягнення поставленої мети виникає необхідність у вирішенні таких задач:

розробка методу та алгоритму розпізнавання біомаси на полях за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА);

удосконалення методу синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху збирально-транспортної техніки (ЗТТ) для визначення мінімальної довжини маршрутів руху ЗТТ до виявленої біомаси з урахуванням пасивних (нерухомих) перешкод;

розробка методу та алгоритму розпізнавання органічної сировини та активних (рухомих) перешкод на шляху пересування ЗТТ;

обґрунтування структури гібридної інтелектуальної системи управління процесами збору та переробки органічної сировини шляхом системної інтеграції в базі знань методів та алгоритмів інтелектуальної підтримки прийняття рішень [5, 6, 7].

За допомогою запропонованої СППР вирішуються такі задачі: моніторинг за процесом вирощування ЕК та пошук органічної сировини на основі застосування БПЛА; розподіл спеціальної техніки по полях та планування маршрутів їх руху для збору органічної сировини; розпізнавання органічної сировини та активних і пасивних перешкод на шляху руху ЗТТ, оперативне управління процесами перевезення, завантаження та доставки до БГУ сировини.

Для вирішення перерахованих задач СППР повинна включати підсистеми моніторингу, планування та оперативного управління процесами збору і доставки до БГУ сировини.

Однією з найбільш важливих задач, яка вирішується за допомогою СППР є розміщення посівів різних енергетичних культур на спеціально визначеній місцевості з врахуванням геофізичних особливостей для кожної культури.

Процес планування змісту та часу виконання робіт поділяється на декілька етапів, а саме: сівба ранніх озимих культур та їх збирання; сівба наступних ЕК та їх збирання. Кожний з перерахованих етапів планування має свої особливості, і для їх реалізації доцільно передбачити у СППР відповідну базу даних та знань.

Підсистема моніторингу (пошуку) органічної сировини є геоінформаційною системою, яка отримує дані про кількість і якість сировини з датчиків інформації, що розташовані на БПЛА. На основі цих даних формується множина припустимих рішень щодо стану енергетичних культур, а також організації збору та подальшого використання органічної сировини в БГУ. Основою підсистеми є спеціальні методи та алгоритми розпізнавання образів, за допомогою яких забезпечується вирішення таких задач: сприйняття образу (технічний вимір), попередня обробка отриманого сигналу (фільтрація), виділення потрібних характеристик і класифікація образу (прийняття рішення). Для цього синтезована нейромережева структура і перевірений на адекватність відповідний багатошаровий персептрон. На основі отриманої інформації про біомасу забезпечується планування маршрутів руху та розподіл ЗТТ технологічними ділянками за допомогою використання методів динамічного та лінійного програмування. Крім того, за допомогою СППР обґрунтовується рішення про доцільність залучення до збирання необхідної кількості збиральних комбайнів і транспортних засобів.

Підсистема оперативного управління процесами збору і доставки органічної сировини до БГУ побудована на базі гібридної інтелектуальної СППР, до основних складових якої входить (рис. 1): база знань, блок імітації

роботи ЗТТ, підсистеми моніторингу, планування, контролю та управління, модуль навчання й інтерфейс. При розробці бази знань здійснено системну інтеграцію моделей і алгоритмів, які ґрунтуються на класичних методах моделювання систем і методах штучного інтелекту, що забезпечує ефективне розв'язування задач планування, контролю й оперативного управління процесами збору та переробки різних видів органічної сировини.

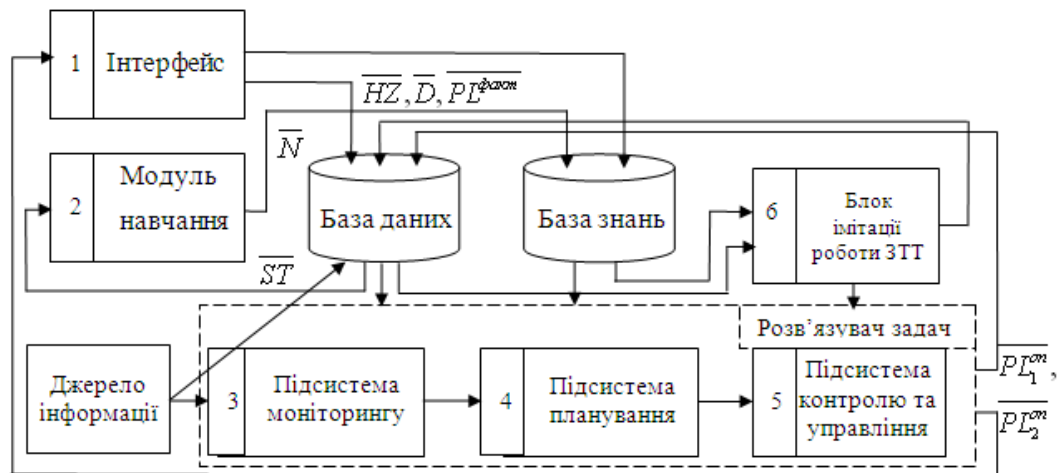


Рис. 1. Структура гібридної інтелектуальної СППР

У підсистемі планування, залежно від наявності технічних засобів і прогнозованих умов $u^p \in U$ збиральної кампанії, генерується множина варіантів $\{V\}$ виконання робіт ЗТТ. Серед існуючої множини таких варіантів визначають раціональний $v^p \in V$, який забезпечує отримання максимального прибутку (P) від реалізації біометану:

$$P(v^p) = D - (B + Z) \rightarrow \max, \quad (1)$$

при $u^p \in U$,

де D, B, Z – відповідно прогнозований дохід від реалізації біометану, втрати v^p -го варіанта збирання, перевезення та переробки ЕК для отримання біометану, грн.

База знань, що є серцевиною СППР, призначена для зберігання сукупності одиниць знань, які представляють собою формалізоване

відображення об'єктів (технічних засобів), їх взаємозв'язків і дій над ними, а також знань про процес вирішення задач управління збиральною кампанією.

База знань СППР синтезується у вигляді сукупності трьох рівнів знань. Перший рівень призначений для зберігання знань з моделювання процесів засіву і вирощування ЕК, збору і перевезення ОС, а також управління переробкою ЕК, що забезпечує вирішення задачі прогнозу показників (1). Крім того, на першому рівні здійснюється постійний моніторинг ділянок з додатковою ОС. Другий рівень знань містить алгоритми розподілу збиральної та транспортної техніки по полях та визначення її кількості для доставки біомаси до БГУ. Таким чином, другий рівень відповідає за зберігання знань, необхідних для вирішення задач розподілу техніки для організації посіву, вирощування, збирання, транспортування та переробки ЕК. Третій рівень містить знання про процедури вирішення задач планування, контролю й оперативного управління посівною та збиральною кампанією, тобто керуючі знання системи, які необхідні для обґрунтування рішень, що приймаються, для отримання максимального прибутку (P).

Проведення контролю збиральної кампанії – це необхідна умова ефективного управління процесами збору та перевезення органічної сировини. Відхилення від плану роботи у більшості випадків виникає внаслідок несправностей технічних засобів або за несприятливих погодних умов проведення робіт. Але існують ситуації, коли на відхилення «план-факт» впливає і людський фактор, в результаті чого можливе як недовиконання плану, так і навпаки. Недовиконання плану може бути наслідком зниження інтенсивності робіт або припущення помилок при вводі початкових даних у СППР, що знижує адекватність моделі реальному процесу. Збільшення планових показників може бути внаслідок підвищення швидкості проведення технологічних операцій, що може призвести до додаткових втрат ОС або зниження її якості. Також на етапі впровадження інтелектуальної системи виникає необхідність її донавання з метою отримання більш адекватних рішень. Таким чином, при проведенні контролю необхідно встановити

відповідність фактичного відхилення «план-факт» прогнозованому системою на основі даних про ситуації, що мали місце при збиранні ОС.

З цією метою синтезовано продукційні правила контролю процесами збору та перевезення ОС, в яких використовуються такі позначення: PY – погодні умови; RZ – працездатність засобу; PR^f – фактичний відсоток виконання плану; PR – прогнозований відсоток виконання плану.

IF ($PY = \text{"несприйнятлив\i"}$ AND ($PZ = \text{"незадов\iльна"}$ OR $PZ = \text{"задов\iльна"}$ OR $PZ = \text{"добра"}$)) AND $PR = \text{"низький"}$ AND $PR^f = \text{"низький"}$) THEN («невиконання плану внаслідок поганих погодних умов»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"незадов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"низький"}$ AND $PR = \text{"низький"}$) THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"незадов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"середн\iй"}$ AND $PR = \text{"низький"}$) THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу з можливою втратою якості збирання внаслідок підвищення швидкості переробки ОС»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"незадов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"високий"}$ AND $PR = \text{"низький"}$) THEN («необхідно донавчити систему»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"задов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"низький"}$ AND $PR = \text{"середн\iй"}$) THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу зі зниженням інтенсивності проведення робіт»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"задов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"середн\iй"}$ AND $PR = \text{"середн\iй"}$) THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу»);

IF ($PY = \text{"сприйнятлив\i"}$ AND $PZ = \text{"задов\iльна"}$ AND $PR^f = \text{"високий"}$ AND $PR = \text{"середн\iй"}$) THEN («план виконано за наявності несправності засобу, можливо була збільшена швидкість збирання» або «необхідно донавчити систему»);

IF($PY = \text{"сприйнятливі"}$ AND $PZ = \text{"добра"}$ AND $PR^f = \text{"низький"}$ AND $PR = \text{"високий"}$) THEN(«необхідно донавчити систему»);

IF($PY = \text{"сприйнятливі"}$ AND $PZ = \text{"добра"}$ AND $PR^f = \text{"середній"}$ AND $PR = \text{"високий"}$) THEN(«план не виконано внаслідок технологічних причин» або «необхідно донавчити систему»);

IF($PY = \text{"сприйнятливі"}$ AND $PZ = \text{"добра"}$ AND $PR^f = \text{"високий"}$ AND $PR = \text{"високий"}$) THEN(«план виконано»).

Наведені продукційні правила призначені для контролю роботи збиральних і транспортних засобів під час збиральної кампанії з метою видачі певних рекомендацій у випадку значного відхилення між фактичними показниками проведення робіт та прогнозованими, що стосуються як управління ЗТТ, так і здійснення перенавчання системи.

Процедура розв'язування задачі контролю проводиться згідно з такими етапами:

1) завдання початкових даних на основі фактичних і запланованих результатів роботи збиральних і транспортних засобів, а також інформації про технологічні та погодні умови проведення збиральної кампанії;

2) визначення фактичного відсотку виконання плану робіт PR^f для кожного технічного засобу;

3) розрахунок прогнозованого відсотку виконання плану робіт PR на основі застосування методів лінійного та динамічного програмування, а також імітаційної моделі (блок імітації роботи ЗТТ на рис. 1) за вказаних умов;

4) формування рекомендацій на основі продукційних правил контролю;

5) визначення фактичного проценту виконання плану для технологічних підрозділів;

6) формування рекомендацій щодо складання нового плану робіт в оперативному режимі на наступні зміни або донавчання системи.

Загальний алгоритм функціонування СППР наведено на рис. 2.

Формування початкового плану здійснюється у блоці 1. Блоки 2, 3, 8 та 9 організують цикли за часовими інтервалами (Δt) та технічними засобами (z). У блоках 4 та 7 забезпечується перевірка початкових умов та відповідність виконання встановленого плану. Якщо є невідповідність між фактичними показниками проведення робіт та прогнозованими, то здійснюється корекція плану (блок 5) та вивід рекомендацій щодо прийняття (реалізації) управлінських рішень (блок 6).

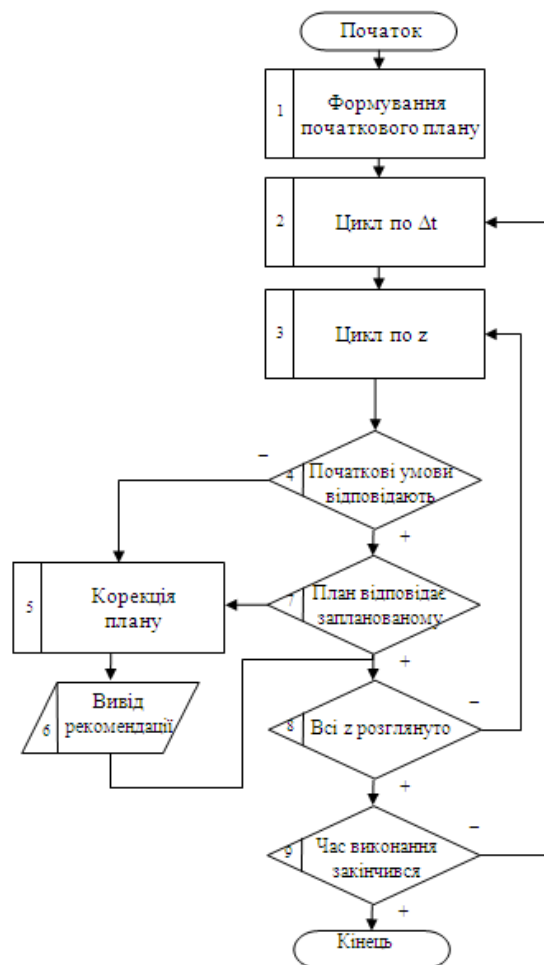


Рис. 2. Загальний алгоритм функціонування СППР

Алгоритм функціонування СППР передбачає, що при проведенні контролю збиральної кампанії, на відміну від планування робіт, у першу чергу аналізуються результати роботи кожного технічного засобу (z), а потім – результати роботи технологічних підрозділів. У випадку, коли фактичні результати роботи технологічних підрозділів значно відрізняються від

запланованих результатів, виникає потреба у розв'язанні задачі оперативного управління.

При вирішенні задачі оперативного управління необхідно здійснити перепланування робіт з метою усунення відхилень між запланованими та фактичними показниками роботи технологічних підрозділів. Процедура розв'язування цієї задачі складається з тих самих пунктів, що й процедура розв'язування задачі планування, відрізняється тільки алгоритм формування початкових даних. Зокрема, необхідно скорегувати характеристики полів, визначити сукупність технічних засобів, що знаходяться у справному стані та можуть бути задіяні в роботах, уточнити їх технічні характеристики. У випадку виникнення декількох несправностей впродовж попередньої зміни збирання доцільно доповнити базу даних системи характеристиками додаткових технічних засобів, що можуть бути взяті в оренду у сторонньої організації.

На основі синтезованих процедур розв'язування задач управління збиральною кампанією у СППР передбачені алгоритми підтримки прийняття рішень у тих або інших ситуаціях.

Таким чином, на основі проведеного аналізу задач управлінської діяльності, що впливають на ефективність виробництва біометану, синтезована система підтримки прийняття рішень, яка максимально пристосована до вирішення завдань щодо організації планування вирощування, збору та переробки органічної сировини в біометан для його подальшого постачання у розподілену газотранспортну систему за «зеленим тарифом».

Висновок

Таким чином, за допомогою запропонованої гібридної інтелектуальної СППР забезпечується ефективне вирішення цілого комплексу задач щодо збору та переробки різних видів органічної сировини для отримання максимального прибутку від реалізації біометану.

Список літератури

1. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы: [монография] / Гаврилов А. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.
2. Друкований М.Ф. Вибір технологічного комплексу переробки біомаси в біогаз та органічні біологічні добрива / М.Ф. Друкований, О.С. Яремчук, В.В. Брянський // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – №8. – С. 48-53.
3. Дурдыбаев С.Д. Утилизация отходов животноводчества и птицеводства / Дурдыбаев С.Д., Данилкин В.С., Рязанцев В.П. – М.:Агропромформ, – 1989. – 53 с.
4. Селякова С.М. Розв'язання задачі розподілу збиральної техніки по полям методами штучного інтелекту / С.М. Селякова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 1 (42) – С. 91–95.
5. Chirchenko D. Intellectual systems of decision making support in the management of the collection and processing of organic raw materials / D.Chirchenko, S.Shvorov // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 68(Agricultural and Forest Engineering) 2014: (Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, Agricult. 2014).
6. Інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та перетворення енергетичних культур у біометан/ С.А. Шворов, Д.С. Комарчук, П.Г. Охрименко, Д.В. Чирченко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. - Вип. 209(2). – С. 140-147.
7. Theoretical issues construction and operation of agricultural mission robotic system / Shvorov S., Reshetiuk V., Bolbot I., Shtepa V., Chirchenko D. // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 60(Agricultural and Forest Engineering) 2012: (Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, Agricult. 2012).Shvorov, S. Methodical Framework of the Support and Decision-making System for the Collection and Disposal of Organic Raw Materials / Shvorov, S.,

Komarchuk, D., Ohrimenko, P., Chyrchenko D. // Energy Engineering and Control Systems. – 2015, – Vol. 1, No. 1, – pp. 29-34.

8. Эдер Б., Шульц Э. Биогазовые установки. Практическое пособие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zorg-biogas.com>.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО
ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ
В БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСАХ**

*С. А. Шворов, Д. С. Комарчук, П. Г. Охрименко, Д. В. Чирченко,
О. В. Васямович*

***Аннотация.** Рассматриваются подход и методические основы по построению гибридной интеллектуальной системы поддержки принятия решений, с помощью которой обеспечивается формирование обоснованных предложений по организации сбора и переработки органического сырья в биогазовых установках (комплексах). При использовании данной системы решаются следующие задачи: мониторинг выращивания энергетических культур и выявление остатков органического сырья после сбора урожая на основе применения беспилотных летательных аппаратов, обоснование предложений по применению уборочно-транспортной техники для сбора и переработки органического сырья в биогазовых комплексах.*

***Ключевые слова:** интеллектуальная система поддержки принятия решений, технологический процесс, биогазовые комплексы, органическое сырье*

**METHODICAL BASES OF CONSTRUCTION OF SMART DECISION
SUPPORT ORGANIZING AND PROCESSING OF ORGANIC RAW
MATERIALS IN BIOGAS PLANTS**

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Okhrimenko, D. Chirchenko,

O. Vasyamovich

Annotation. *We consider the approach and methodological basis for creating hybrid of intellectual decision support system, by which ensured the formation of reasonable proposals for the organization the collection and recycling of organic materials in biogas plants (complexes). With the proposed system solve the following tasks: monitoring of energy crops and the detection of residues of organic material after harvest through the use of drones, study proposals for the use of harvesting and transport technology for the collection and recycling of organic materials in biogas complexes.*

Key words: *intelligent decision support system, technological process, biogas facilities, organic raw materials*