

**Фартушний І.Д.**  
канд. фіз.-мат. наук, доцент  
**Михальчин В.Ю.**

Національний технічний університет України «КПІ»

## **МОДЕЛЬ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА НА ЛОКАЛЬНОМУ РИНКУ**

### **МОДЕЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА НА ЛОКАЛЬНОМ РЫНКЕ**

### **MODEL OF MANUFACTURING ENTERPRISE SOLID BIOFUELS IN THE LOCAL MARKET**

*В даній статті зроблено огляд наукових досліджень в сфері моделювання виробництва твердого біопалива, дано оцінку повноти розкриття теми, сформовано математичну модель діяльності підприємства на ринку твердого біопалива, розглядається задача ефективності діяльності невеликого підприємства з виробництва твердого біопалива на локальному ринку та досліджується оптимальна стратегія підприємства. Параметрами системи виступають: об'єм сировини, об'єм продукції, прибуток та капітал підприємства, а також ринкова ціна. Параметрами управління системи являються: ціна на купівлю сировини, ціна на продаж сировини, кількість працівників та частка інвестицій в підприємство. За критерій якості взято сумарне нарощення капіталу та фінансів підприємства.*

**Ключові слова:** модель підприємства, оптимізація, тверде біопаливо.

*В данной статье сделан обзор научных исследований в сфере моделирования производства твердого биотоплива, дана оценка полноты раскрытия темы, сформирован математическую модель деятельности предприятия на рынке твердого биотоплива, рассматривается задача эффективности деятельности небольшого предприятия по производству твердого биотоплива на локальном рынке и исследуется оптимальная стратегия предприятия. Параметрами системы выступают: объем сырья, объем продукции, прибыль и капитал предприятия, а также рыночная цена. Параметрами управления системы являются: цена на покупку сырья, цена на продажу сырья, количество работников и доля инвестиций в предприятие. Критерия качества взято суммарное наращивания капитала и финансов предприятия.*

**Ключевые слова:** модель предприятия, оптимизация, твердое биотопливо.

*This article reviews the research in the field of modelling production of solid biofuels, evaluated the completeness of the topic, generated a mathematical model of the enterprise in the market of solid biofuel, the problem of efficiency of small companies producing solid biofuels on the local market and investigated the optimal strategy of the company. The parameters of the system are: the volume of raw materials, production volume, profit and capital of the company and the market price. The parameters control system are: the purchase price of raw materials, the price of raw materials sales, number of employees and the share of investment in the company. A criterion taken as the total increase of capital and finance companies.*

**Keywords:** business model, optimization, solid biofuel.

**Вступ.** Сучасний рівень розвитку суспільства та економіки, піднімає питання про необхідність диверсифікації використання енергетичних ресурсів України. В умовах постійного зростання цін на паливно-енергетичні ресурси та збільшенні обсягів їх споживання, пріоритетним й ефективним напрямом є використання виробничих відходів як вторинної сировини для виробництва альтернативного джерела енергії – твердого біопалива.

Вирішенням цієї проблеми в останні роки займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені як О.М. Варченко, який розробив економічний механізм регулювання ринку біопалива в провідних країнах світу; Г.М. Калетнік, який розглянув майже всі аспекти вітчизняного ринку біопалива, зокрема державне регулювання даної галузі та ін.[1].

Зокрема аспірантка НТУУ «КПІ» Климчук М.М. опублікувала статтю «Розвиток ринку твердого біопалива в Україні»[2]. У статті розглянуто потенціал ринку твердого біопалива в Україні, проведено його оцінку, виявлено стримуючі та рушійні чинники.

Досить наглядну концептуальну модель виробництва твердого біопалива запропонували викладачі з Університету Британської Колумбії[3].

Виробництво твердого біопалива як прибутковий варіант сталого розвитку розглядає Анна Кузнецова в серії консультативних робіт Німецько-Українського Аграрного Діалогу[4].

Багато вітчизняних науковців розглядають в своїх працях перспективні ринки продажу біопалива для України. Зокрема це здійснено консультантом з біопалива компанії Ecosfys Карлом Хамелінськ[5].

Ряд науковців розглядає перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Зокрема на таку тему написана аналітична записка №7 Біоенергетичної асоціації України, автори Гелетуха Г.Г., Железна Т.А.[6].

Вітчизняні науковці також займається економічним обґрунтуванням доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Зокрема на цю тему виданий посібник [7].

В останні роки розроблено ряд бізнес планів по будівництву заводів з виробництва та використання альтернативного палива із відходів. Зокрема такий план був складений підприємством «ЕнергоТехноПарк» по будівництву заводу в місті Сміла Черкаської області[8].

Імітаційну модель установки для виробництва твердого біопалива запропонували викладачі Тернопільського національного педагогічного університету імені Гнатюка Федорейко В.С., Рутило М.І., Іскерський І.С.[9].

Надзвичайно об'ємною є робота науковців Технічного університету Данії «Моделювання виробництва пелет і розподілу споживання енергії». Зокрема ними була розроблена економетрична модель цієї галузі для країни.

Як бачимо дана тема достатньо висвітлена як на макро (діяльність всієї галузі) так і на макрорівні (робота устаткування).

**Постановка завдання.** Метою даної статті є створення моделі діяльності підприємства з виробництва твердого біопалива для забезпечення ефективної діяльності деревообробних підприємств.

**Методологія.** Для розв'язку поставлених завдань використано методи економіко-статистичного аналізу та нелінійної оптимізації.

**Результати дослідження.** Розглянемо підприємство по виробництву твердого біопалива. В якості параметрів системи будемо розглядати сировину  $x_1(t)$ , готову продукцію  $x_2(t)$ , фінансові активи підприємства  $x_3(t)$ , капітал підприємства  $x_4(t)$  та ринкову ціну  $x_5(t)$ .

В якості параметрів управління системою виберемо ціну закупівлі сировини  $u_1(t)$ , кількість робітників на підприємстві  $u_2(t)$ , ціну продажу готової продукції  $u_3(t)$ , та частку фінансів що інвестуються в капітал  $u_4(t)$ .

Розглянемо детально параметр  $x_1(t)$ .

Підприємство кожного відрізка часу купує деревину на ринку  $Q_d(P_d)$ . Об'єми закупок залежать від ціни на сировину  $P_d$ , яку підприємство запропонує. Також компанія використовує свої запаси для виготовлення продукції. Об'єм споживання визначається виробничою функцією  $F(K, L)$ .

$$\dot{x}_1(t) = Q_d(P_d) - F(K, L) \quad (1)$$

Кількість сировини, що буде придбана підприємством  $Q_d$  залежить від ємності ринку сировини в даний момент  $c_s$  та ціни яку запропонує підприємство  $P_d = u_1(t)$ , проте цей показник не може бути більшим ніж ємність ринку, а лише наблизитися до цього значення, при  $u_1(t) \rightarrow \infty$ . Також існує мінімальна ціна  $p_s$ , при якій ніхто не погодиться продавати сировину. Отже, щоб врахувати всі вище наведені умови, рівняння обсягу купівлі сировини запишемо формулою (2).

$$Q_d(P_d) = c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) \quad (2)$$

Водночас кожного дня сировина використовується на виробництво твердого біопалива. Скористаємося мультиплікативною виробничою функцією типу Коба-Дугласа формула (3).

$$F(K, L) = a_0 \cdot K^{\alpha_1} \cdot L^{\alpha_2} \quad (3)$$

Проте дана виробнича функція має негативну властивість, яка не збігається з реальними показниками: при збільшенні чисельності працівників до нескінченності, виробництво також зростає до нескінченності, чого не має в

реальному житті. Зазвичай випуск продукції обмежений виробничою потужністю обладнання. Отже, нам так потрібно модифікувати формулу (3) щоб при  $L \rightarrow \infty, F(K, L) \rightarrow a_0 \cdot K^{\alpha_1}$ . Для цього замінимо  $L^{\alpha_2}$  у формулі (3) на  $\left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot L}{K}\right)}\right)$  та отримаємо (4).

$$F(K, L) = a_0 \cdot K^{\alpha_1} \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot L}{K}\right)}\right) = a_0 \cdot x_4^{\alpha_1} \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) \quad (4)$$

При перевірці отриманої виробничої функції було виявлено, що вона відповідає трьом основним вимогам:

- 1) Без затрат одного з ресурсів немає випуску:
- 2) При збільшенні витрат будь-якого з ресурсів випуск зростає:
- 3) Закон зменшення граничної ефективності:

Переконавшись в коректності (4), підставимо (2) та (4) в рівняння (1) та отримаємо диференціальне рівняння (5), яке описує зміну сировини, що знаходиться на складі підприємства.

$$\dot{x}_1(t) = c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) - a_0 \cdot x_4^{\alpha_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) \quad (5)$$

Розглянемо параметр  $x_2(t)$  – готова продукція. Підприємство кожного дня виробляє продукцію. Величина виробництва якого визначається виробничою функцією (4). Також підприємство щодня реалізує свою продукцію  $Q_s(P_s)$ .

$$\dot{x}_2(t) = F(K, L) - Q_s(P_s) \quad (6)$$

Кількість проданої продукції  $Q_s(P_s)$  залежить від ємності ринку твердого біопалива  $c_b$  та ціни, яку встановлює підприємство на свою продукцію  $P_s = u_3(t)$ . Чим ціна на продукцію менша від ринкової  $x_5(t)$ , тим більший інтерес вона становить для покупців. Використовуючи еластичність попиту за ціною  $E_d$  отримаємо:

$$Q_s(P_s) = c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} \quad (7)$$

Підставимо (4) та (7) в (6) і отримаємо диференціальне рівняння зміни готової продукції, що знаходиться на складі:

$$\dot{x}_2(t) = a_0 \cdot x_4^{\alpha_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) - c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} \quad (8)$$

Розглянемо параметр  $x_3(t)$  – прибуток підприємства. Відомо, що прибуток – це дохід  $R(t)$  відняти витрати  $C(t)$ .

$$\dot{x}_3(t) = R(t) - C(t) \quad (9)$$

Дохід підприємства  $R(t)$  розраховується як осяг продаж товару  $Q_s(P_s)$  помножений на ціну його реалізації  $P_s$ . Запишемо рівняння.

$$R(t) = Q_s(P_s) \cdot P_s \quad (10)$$

Підставимо (7) у формулу (10) та отримаємо рівняння (11).

$$R(t) = c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} \cdot u_3(t) \quad (11)$$

Загальні витрати підприємства  $C(t)$  включають в себе витрати на закупівлю сировини  $Q_d(P_d) \cdot P_d$ , витрати на оплату праці  $C(L)$ , витрати на обслуговування устаткування  $C(K)$  та інвестиції в капітал  $I$ .

$$C(t) = Q_d(P_d) \cdot P_d + C(L) + C(K) + I \quad (12)$$

Витрати на оплату праці  $C(L)$  розраховуються як кількість працівників  $u_2(t)$  помножити на середню зарплату працівників  $p_l$ .

$$C(L) = p_l \cdot u_2(t) \quad (13)$$

Витрати на обслуговування устаткування  $C(K)$  розраховуються як вартість устаткування  $x_4(t)$  помножена на витрати на одиницю вартості устаткування  $p_k$ .

$$C(K) = p_k \cdot x_4(t) \quad (14)$$

Інвестиції в капітал  $I$  розраховуються як прибуток підприємства  $x_3(t)$  помножений на частку інвестицій прибутку в капітал  $u_4(t)$ .

$$I = u_4(t) \cdot x_3(t) \quad (15)$$

Підставивши рівняння (2), (13), (14) та (15) у (12) отримаємо формулу витрат (16).

$$C(t) = u_1(t) \cdot c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) - p_l \cdot u_2(t) - p_k \cdot x_4(t) - u_4(t) \cdot x_3(t) \quad (16)$$

Підприємство кожного дня витрачає кошти на закупівлю сировини, оплату праці, витрати пов'язані з виробництвом. Водночас підприємство отримує кошти від продажу власної готової продукції. Підставимо отримані вирази (11) та (16) в рівняння (9) та отримаємо диференціальне рівняння зміни фінансових активів підприємства.

$$\dot{x}_3(t) = u_3(t) \cdot c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} - u_1(t) \cdot c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) - p_l \cdot u_2(t) - p_k \cdot x_4(t) - u_4(t) \cdot x_3(t) \quad (17)$$

Розглянемо параметр  $x_4(t)$  – капітал підприємства. Устаткування підприємства постійно амортизується  $A$ . Водночас підприємство може інвестувати частину свого прибутку в капітал  $I$ .

$$\dot{x}_4(t) = I - A \quad (18)$$

Амортизація устаткування  $A$  розраховується як коефіцієнт амортизації  $\mu$  помножений на вартість устаткування  $x_4(t)$ .

$$A = \mu \cdot x_4(t) \quad (19)$$

Підставимо рівняння (15) та (19) у вираз (18) та отримаємо диференціальне рівняння, що описує зміну капіталу підприємства.

$$\dot{x}_4(t) = u_4(t) \cdot x_3(t) - \mu \cdot x_4(t) \quad (20)$$

Розглянемо параметр  $x_5(t)$  – ринкова ціна на пелети. Використаємо павутино подібну динамічну модель, яку наводить Чернишов С.Л [10].

В цій моделі враховується, що на ринку рівновага має місце тільки в ідеальній ситуації, а на практиці в різні моменти часу можуть виникнути і незадоволений попит (дефіцит товару), і надлишок товару.

Механізм зміни ринкової ціни залежить від того як іде торгівля: якщо є дефіцит товару, то продавець підвищує ціну, а якщо товар погано продається та виникає його надлишок, що приводить до накопичення товару, то продавець змушений знижувати ціну.

Нехай в  $k$ -й період різниця між пропозицією та попитом матиме вигляд:

$$\Delta Q(k) = S(k) - D(k) \quad (21)$$

Якщо  $\Delta Q(k) \geq 0$ , очевидно, що пропозиція перевищила попит і в кінці періоду лишився залишок товару, який повинен бути проданий в наступний період. Якщо припустити, що рівень попиту не зміниться, для його продажу необхідно знизити ціну. Якщо  $\Delta Q(k) \leq 0$ , то товару в цей період не вистачало, тому на наступний період можна підвищити ціну. В цілому цей механізм описується рівнянням (22).

$$p(k) = p(k - 1) - E_p \cdot \Delta Q(k - 1) \quad (22)$$

Виходить, що ціна  $p(k)$  в  $k$ -й період буде визначатися ціною в попередній період  $p(k - 1)$  та залишком (дефіцитом) товару на кінець минулого періоду  $\Delta Q(k - 1)$ . Коефіцієнт  $E_p$  називається еластичністю ціни по запасу[10].

$$E_p = - \frac{dp}{dQ} \quad (23)$$

Враховуючи рівняння (21), (22) та (23) отримаємо диференціальне рівняння, що описує динаміку ринкової ціни.

$$\dot{x}_5(t) = -E_p \cdot \int_0^t S(t) - D(t) \quad (24)$$

Тепер перейдемо до визначення критерія оптимальності задачі. Перш за все будь-яка компанія старається максимізувати власний прибуток  $x_3(t)$ . Проте в даному випадку розробляється модель для компанії, які лише виходять на ринок твердого біопалива, тому також варто максимізувати нарощення капіталу  $x_4(t)$ . Отже в якості критерію оптимальності виберемо суму капіталу та фінансів підприємства.

$$I = \int_0^T (x_3(t) + x_4(t))dt \rightarrow \max \quad (25)$$

Залишилося визначитися із обмеженнями системи. Перш за все розглянемо параметри системи: сировина, продукція, прибуток, капітал та ринкова ціна. Відразу зрозуміло, що перші два та два останні параметри не можуть бути від'ємними. Стосовно прибутку, то можна стверджувати, що він також буде позитивним, оскільки компанія саме для цього і виходить на ринок – заради отримання прибутку. Отже ми визначилися із першим обмеженням.

$$x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t) \geq 0 \quad (26)$$

Тепер розглянемо управляючі змінні: ціна закупівлі сировини, кількість працюючого персоналу, ціна продажу продукції, частка інвестиції в капітал. Очевидно, що ціна купівлі сировини та ціна продажу продукції не може бути від'ємною.

$$u_1(t), u_3(t) \geq 0 \quad (27)$$

Наступне обмеження системи – це кількість працівників залучених на виробництві підприємства. Логічно, що до виробництва повинен бути залучений як мінімум один працівник.

$$u_2(t) \geq 1 \quad (28)$$

Щодо останнього параметра управління – частки інвестиції в капітал, то зрозуміло, що його значення будуть коливатися від 1 до 0. Оскільки ми можемо інвестувати в капітал весь прибуток, його частку або взагалі не здійснювати інвестиції.

$$0 \leq u_4(t) \leq 1 \quad (29)$$

Підприємство постійно використовує свої запаси сировини для виробництва готової продукції. Щоб забезпечити безперебійність виробничого процесу при затримках поставок сировини необхідно постійно мати запас сировини  $x_1(t)$  на наступний період більший ніж потреби виробництва на цей період формула (4).

$$x_1(t) > a_0 \cdot x_4^{a_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) \quad (30)$$

Тепер перейдемо до іншого стратегічного запасу – фінансового. Компанія постійно повинна мати в запасі фінансові активи  $x_3(t)$  для елементарної закупівлі сировини (11), виплати заробітної плати працівникам (13), обслуговування устаткування (14).

$$x_3(t) > u_1(t) \cdot c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) + p_l \cdot u_2(t) + p_k \cdot x_4(t) \quad (31)$$

Оскільки підприємство лише виходить на ринок твердого біопалива і воно здебільшого невідоме більшості споживачів, то підприємству необхідно продавати продукцію за дещо нижчою ціною ніж ринкова.

$$u_3(t) \leq x_5(t) \quad (32)$$

Об'єднавши систему диференціальних рівнянь (5), (8), (17), (20) та (24), критерій якості (25) та обмеження (26-32), отримаємо модель діяльності підприємства по виробництву твердого біопалива.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1(t) = c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) - a_0 \cdot x_4^{a_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) \\ \dot{x}_2(t) = a_0 \cdot x_4^{a_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right) - c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} \\ \dot{x}_3(t) = u_3(t) \cdot c_b \cdot E_d \cdot \frac{x_5(t) - u_3(t)}{x_5(t)} - \\ - u_1(t) \cdot c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) - p_l \cdot u_2(t) - p_k \cdot x_4(t) - u_4(t) \cdot x_3(t) \\ \dot{x}_4(t) = u_4(t) \cdot x_3(t) - \mu \cdot x_4(t) \\ \dot{x}_5(t) = -E_p \cdot \int_0^t (S(t) - D(t)) dt \end{array} \right.$$

Критерій якості:

$$I = \int_0^T (x_3(t) + x_4(t)) dt \rightarrow \max$$

Система обмежень:

$$\begin{array}{l} x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t) \geq 0 \\ u_1(t), u_3(t) \geq 0 \\ u_2(t) \geq 1 \\ 0 \leq u_4(t) \leq 1 \end{array}$$



$$x_1(t) > a_0 \cdot x_4^{a_1}(t) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-a_2 \cdot u_2(t)}{x_4(t)}\right)}\right)$$

$$x_3(t) > u_1(t) \cdot c_s \cdot \left(1 - e^{\left(1 - \frac{u_1(t)}{p_s}\right)}\right) + p_l \cdot u_2(t) + p_k \cdot x_4(t)$$

$$u_3(t) \leq x_5(t)$$

Тепер зводимо модель до задачі математичного програмування провівши дискретизацію. Нам лишається взяти реальний приклад, розрахувати для нього значення констант та промоделювати ситуацію.

Розглянемо модель на прикладі проекту відкриття підприємства в селі Грушвиця Перша Рівненського району та вихід його на локальний ринок твердого біопалива Рівненського району.

Спробуємо визначити сировинну базу. В радіусі 7 кілометрів навколо населеного пункту знаходяться 1200 гектарів лісових насаджень. За рік на одному гектарі площі приріст маси деревини становить 3,5-4 м<sup>3</sup>, що становить приблизно 2 тони. Екологи стверджують, що протягом року з одного гектару лісових насаджень можна вирубати до однієї тони деревини. Таким чином ємність ринку сировини 1200 тон на рік або 5 – на день.

Дослідивши ринки сировини та твердого біопалива показники  $p_s$  та  $p_b$  становлять 500 та 2000 тон відповідно.

Прийmemo рівень оплати праці одному працівнику за зміну  $p_l = 200$  грн..

Нехай повна амортизація устаткування відбувається протягом 10 років. Тоді  $\mu$  становить 0,0004.

Витрати на устаткування пов'язані перш за все із платою за електроенергію, заміною мастил та деталей. Опрацювавши статистичну вибірку устаткування по виробництву твердого палива, його потужності, отримали  $p_k = 0,00625$ .

Еластичність ціни по запасу відображає відсоток зміни ринкової ціни на тверде біопаливо відносно надлишку чи дефіциту товару.  $E_p$  становить 0,9778063.

Еластичність попиту за ціною показує відсоток зміни попиту при зміні ціни на один відсоток.  $E_d$  дорівнює 1,0000898.

Для моделювання ситуації були використані статистичні дані Рівненської районної державної адміністрації про перелік об'єктів району, які споживають тверде біопаливо та їхні показники.

На онові статистичної вибірки устаткування по виробництву біопалива було визначено коефіцієнти виробничої функції:  $a_0 = 0,002484$ ,  $a_1 = 1,196521$ ,  $a_2 = 34,048354$ .

В Рівненському районі на ринку твердого біопалива представлені три місцевих компанії: ТОВ «Biofuel Equipment» зареєстроване в селі Бадівка

Острозького району, ТОВ «В Pal» розташоване в селі Лісопіль Костопільського району, ТОВ «Біоенергія» – м. Рівне.

Використовуючи дані про ринок твердого біопалива в рівненському районі протягом трьох попередніх років необхідно змодельовати попит на пеллети на наступний рік. Для цього спробуємо функцію попиту описати математичною формулою. Розглянемо функцію як суму двох складових.

$$D(t) = D_1(t) + D_2(t) \quad (33)$$

Перший доданок описує лінійну зміну попиту в часі. Перш за все, це ті підприємства, для яких пеллети потрібні для виробничого процесу і обсяг їх споживання має практично лінійний вигляд. В Рівненському районі лівову частку такого попиту забезпечує підприємство ТОВ «Т-Стиль» засноване на базі Рівненського Льонокомбінату.

$$D_1(t) = a \cdot t + b \quad (34)$$

Другий доданок описує циклічну (сезонну) зміну попиту. Перш за все, це опалювальні котельні та приватні господарства, які використовують тверде біопаливо для опалення приміщень. Опишемо цей показник рівнянням (2.36).

$$D_2(t) = c \cdot \cos\left(\frac{t}{\omega} \cdot \pi\right), \quad (35)$$

де  $c$  – амплітуда коливань попиту протягом року;

$\omega$  – півперіод (в нашому випадку 26 тижнів – половина року).

Підставивши (2.35) та (2.36) в рівняння (2.34) отримаємо вираз (2.37).

$$D(t) = a \cdot t + b + c \cdot \cos\left(\frac{t}{26} \cdot \pi\right) \quad (36)$$

Використовуючи дані за попередні три роки знаходимо оптимальні значення параметрів  $a, b$  та  $c$  рівняння (2.37). Підставивши отримані значення в рівняння (2.37) отримаємо вираз (2.38).

$$D(t) = 0.022 \cdot t + 19.675 + 5,988 \cdot \cos\left(\frac{t}{26} \cdot \pi\right) \quad (37)$$

Знаходимо дисперсію відхилень реальних значень попиту від рівняння (37). Припускаємо, що дані відхилення пов'язані із випадковими збуреннями і мають нульове математичне сподівання. Будуємо прогнозний попит на четвертий рік на основі рівняння (37) та знайденої дисперсії.

Тепер коли знайдено всі статистичні дані та визначено всі коефіцієнти системи, переходимо до розв'язання задачі нелінійної оптимізації. Для цього скористаємося методом узагальненого зведеного градієнта для пошуку рішення нелінійних задач.

Отримавши оптимальну траєкторію поведінки системи та оптимальні показники управління представимо їх графічно та обґрунтуємо їхню поведінку.

Розглянемо динаміку зміни першого параметра системи – запасу сировини підприємства (рис. 1). На початковому етапі протягом декількох періодів відбулося накопичення запасу сировини до рівня в півтори тони. Це зумовлено потребою зберігання мінімального запасу для безперебійного виробництва. Після цього з початком осені можна спостерігати накопичення запасу деревини та стрімке його зменшення в кінці осені та взимку. Це пояснюється тим, що в зимовий період попит дещо перевищує пропозицію і запас сировини стрімко використовувався для виробництва твердого біопалива та подальшого його продажу.

Отже, оптимальна стратегія полягає в тому, щоб стабільно підтримувати рівень сировини на складі протягом першої половини року, потім в третій чверті накопичити запас та використати його в четвертій чверті, коли попит на пеллети найбільший.

Тепер розглянемо другий параметр системи – готову продукцію підприємства (рис. 2). Із графіка видно, що вироблені пеллети протягом перших трьох кварталів практично повністю продавалися на ринку і не накопичувалися на складі. Проте, в кінці третьої чверті почалося стрімке збільшення кількості готової продукції на складі, яке змінилося в середині четвертої чверті таким же стрімким скороченням кількості готової продукції підприємства. Зрозуміло, що оптимальна стратегія полягає в тому щоб наростити запас твердого біопалива перед опалювальним сезоном та продати пеллети протягом зими.

Перейдемо до третього параметра системи – фінансові активи підприємства (рис. 3). Можна зробити висновок, що протягом перших трьох кварталів прибуток був практично на одному рівні, проте починаючи із кінця третього кварталу почалось різке його збільшення у зв'язку із збільшенням продаж.

Нарощення капіталу відбувалося протягом перших трьох кварталів коли більша частина прибутку інвестувалася в капітал (рис. 4). В четвертому кварталі ріст капіталу зупинився.

Ціна купівлі сировини протягом року залишалася практично сталою (рис. 5). В кінці року вона дещо знизилася, оскільки підприємство закупувало сировину в малих обсягах і завдяки цьому підприємство здійснювало купівлю за нижчими цінами.

Ціна продажу продукції на початку року була досить високою, проте в подальшому вона знизилася (рис. 6).

Частка інвестицій в капітал протягом перших трьох кварталів коливалася від 0,6 до 0,2, а в четвертому кварталі становила 0 (рис. 7).

Критерій оптимальності показав найкращу тенденцію в четвертому кварталі, коли максимально збільшився продаж продукції підприємства (рис. 8).

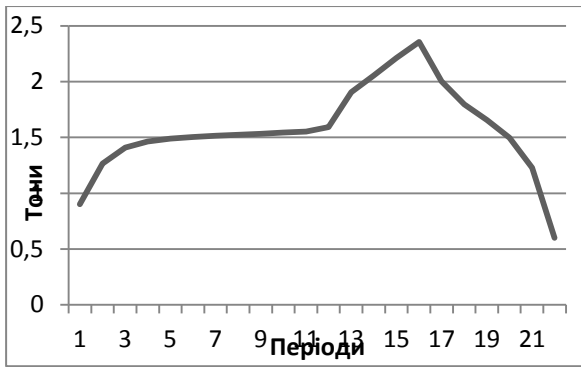


Рис. 1. Динаміка запасів

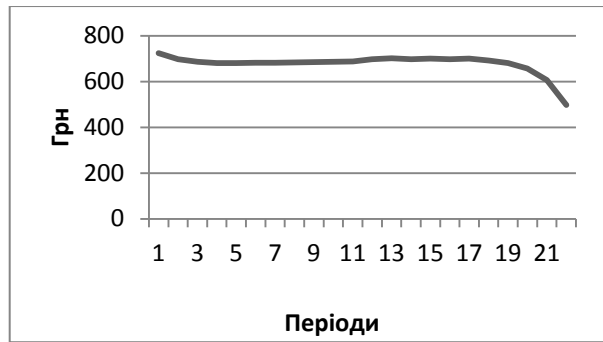


Рис. 5. Ціна купівлі сировини

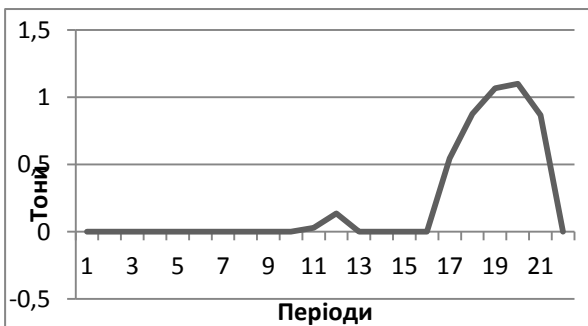


Рис. 2. Динаміка продукції

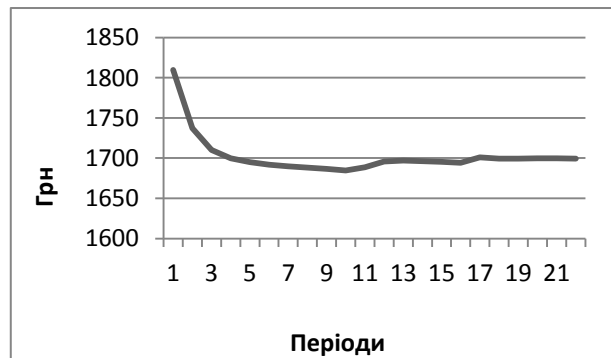


Рис. 6. Ціна продажу продукції

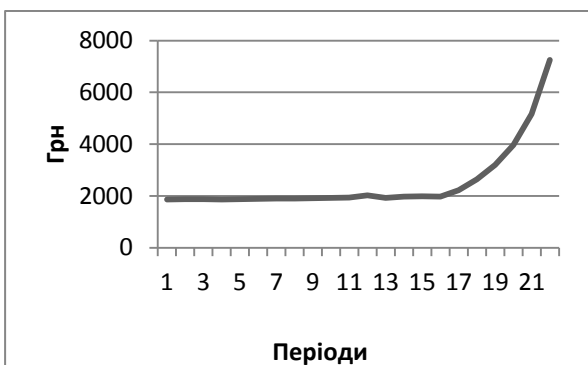


Рис. 3. Динаміка фінансів

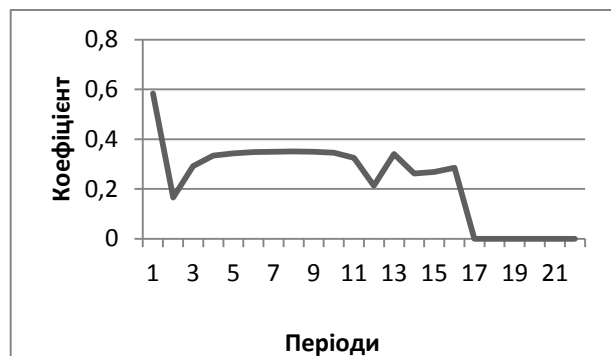


Рис. 7. Частка інвестицій

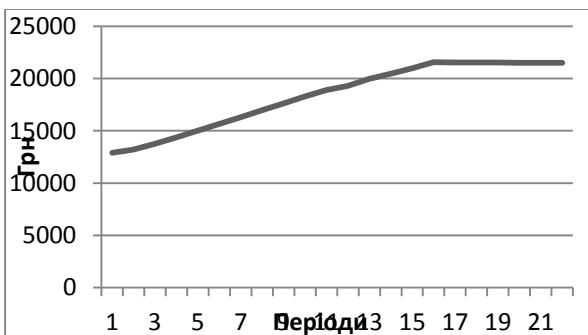


Рис. 4. Динаміка устаткування

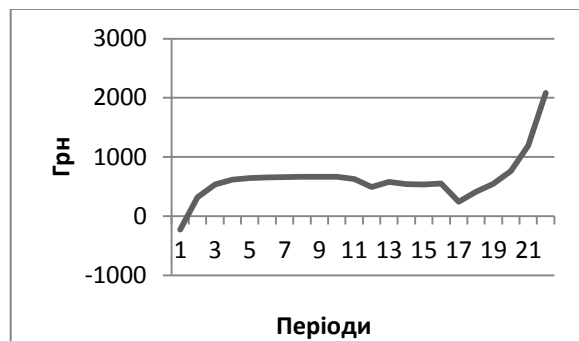


Рис. 8. Критерій оптимальності

**Висновки.** Наукова новизна даної роботи полягає у тому, що була поставлена задача ефективності діяльності невеликого підприємства з виробництва твердого біопалива на локальному ринку, досліджено оптимальну стратегію підприємства. Дана модель може бути використана міні-підприємствами, що виготовляють однорідну продукцію.

Графіки показників показали, що підприємству необхідно накопичувати запас сировини та продукції в осінній період та активно реалізувати його в зимовий. Графік інвестиції в капітал наглядно показав до якої пори необхідно вкладати в капітал, а коли необхідно зупинитися. Критерій якості найбільше зростає в четвертому кварталі.

В подальшому планується більш детально представити конкуренцію на ринку та врахування оподаткування.

### Література:

1. Економічні аспекти державних витрат та необхідність державної підтримки ринку біопалива [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1008>
2. Климчук М.М. Розвиток ринку твердого біопалива в Україні / М.М. Климчук. – Формування ринкових відносин в Україні №2 (129)2012. – 143-147 с.
3. Mahdi Mobini. Simulation of wood pellet production and distribution supply chains / Mahdi Mobini, Taraneh Sowlati, Shahab Sokhansanj // University of British Columbia, Department of Wood Science, Faculty of Forestry, Vancouver, Canada
4. Анна Кузнецова. Виробництво пелет в Україні: прибутковий варіант сталого розвитку? / Серія консультативних робіт. Німецько-Український Аграрний Діалог. – Київ, 2012.
5. Карло Хамелінськ. Попит на стале біопаливо в ЄС / Семінар з сертифікації сталості біопалива. – Київ, 2013.
6. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Аналітична записка Біоенергетична асоціація України №7. – 2014.
7. Посібник «Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС» / «Український Пелетний Союз». – 2014.
8. Бізнес план. Виробництво і використання альтернативного палива із відходів / ТОВ «ЕнергоТехноПарк». – 2012.
9. Федорейко В.С. «Підвищення ефективності електротехнологічного комплексу для виробництва твердого біопалива з використанням нейроконтролера» / Федорейко В.С., Рутило М.І., Іскерський І.С. – Науковий вісник НГУ, – 2013, № 5. – 78-85 с.
10. Чернышев С.Л. Моделирование экономических систем и прогнозирование их развития: [учебник] / С.Л. Чернышев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.