

Управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства

С.М. Балюта, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електропостачання і енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

Л.О. Копилова, аспірант кафедри електропостачання і енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

Є.О. Корольов, аспірант кафедри електропостачання і енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

20

В статті запропонована функціональна схема автоматизованої системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства побудована з використанням нечіткої логіки, що забезпечує оптимізацію енергоспоживання підприємства. Представлені алгоритми управління, які забезпечують інформаційні, точнісні, часові, вартісні та інші характеристики ефективності функціонування системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства.

Ключові слова: управління напругою, нечітка логіка, система електропостачання промислового підприємства, оптимізація електроспоживання.

В статье предложена функциональная схема автоматизированной системы управления напряжением в системе электроснабжения промышленного предприятия, которая построена с использованием нечеткой логики и обеспечивает оптимизацию энергопотребления предприятия. Представлены алгоритмы управления, обеспечивающие информационные, точностные, временные, стоимостные и другие характеристики эффективности функционирования системы управления напряжением в системе электроснабжения промышленного предприятия.

Ключевые слова: управление напряжением, нечеткая логика, система электроснабжения промышленного предприятия, оптимизация энергопотребления.

The article suggests a functional block diagram of an automated control system voltage in the system of industrial enterprises of power, which is built with the use of fuzzy logic, and optimizes the energy consumption of the enterprise. Presented control algorithms that provide information, accuracy, timing, cost, and other characteristics of the functioning of the system voltage control system of industrial enterprise power.

Keywords: voltage control, fuzzy logic, power supply system of industrial enterprises, optimization of power consumption.

Проблема управління напругою і оптимізація споживанням електричної енергії є актуальною для цукрової промисловості, оскільки дозволяє підвищити ефективність використання генеруючих потужностей, зменшити втрати електроенергії при транспортуванні та зменшити енергоємність продукції, що випускається підприємствами галузі.

Постановка завдань і дослідження. Завдання полягає у розробці методологічних основ побудови автоматизованої системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства, алгоритмів управління, які дозволять забезпечити інформаційні, точнісні, часові, вартісні та інші характеристики ефективного функціонування системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства.

Система регулювання напруги СЕП промислового підприємства

Для регулювання напруги трансформатора ГПП (зв'язку з системою) використовується РПН. Для підвищення надійності системи регулювання, кількість перемикачів пристрою РПН трансформатора обмежується, що знижує якість регулювання [1]. До того ж регулювання напруги проводиться для великої кількості споживачів, що приєднані виходячи з сумарного струму навантаження. При цьому напруга у споживачів, що знаходяться в кінці кожної лінії, весь час змінюється внаслідок зміни струму навантаження в лінії.

На цехових підстанціях (наприклад, 10/0,4 кВ) встановлюються трансформатори з перемиканням без збудження (ПБЗ). Перемикання регулювальних відгалужень цих трансформаторів можли-

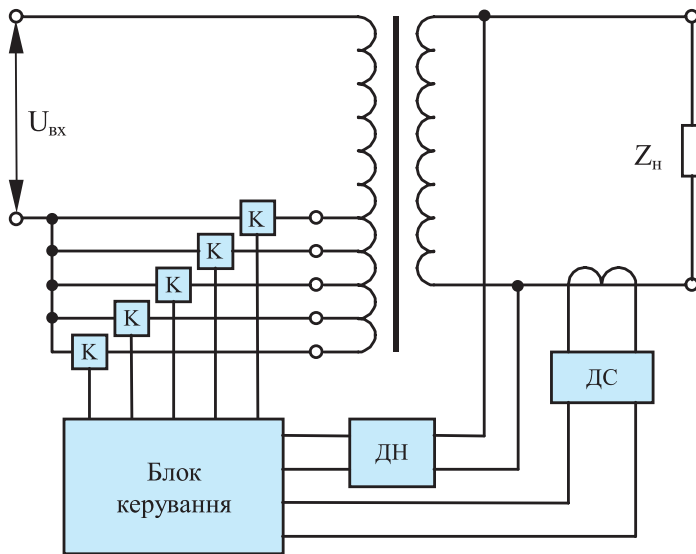


Рис. 1. Функціональна схема системи регулювання напруги трансформатора з ПБЗ і електронним комутатором ДН – датчик напруги, ДС – датчик струму, К – електронний ключ

ве лише при відключенні трансформатора від мережі. В останні роки стрімкий розвиток силової напівпровідникової техніки призвів до створення силових ключів на великі напруги і струми. Це дозволяє проводити комутацію виводів ПБЗ за допомогою електронних ключів. На **рис.1** приведена функціональна схема системи регулювання напруги за допомогою трансформатора з ПБЗ і електронного комутатора.

Напруга на вторинній обмотці трансформатора вимірюється за допомогою датчика напруги ДН, а струм навантаження – датчиком струму ДС. За цими даними блок керування розраховує зна-

чення відхилення напруги на споживачах від номінальної і в залежності від цього значення дає команду на відкриття одного з напівпровідникових силових ключів К. Оскільки одне відгалуження змінює напругу на 2,5%, то діапазон регулювання складає $\pm 5\%$.

Ефективне управління напругою в системі електропостання промислового підприємства може забезпечити багаторівнева (дворівнева) автоматизована система управління напругою (АСУН), що є складовою автоматизованої системи управління електроспоживанням підприємства (АСУЕП) [2, 3]. На нижньому рівні АСУН система складається з системи регулювання напруги цехового трансформатора (ЦТ) на основі ПБЗ з електронним комутатором, а на верхньому рівні складається з системи регулювання напруги трансформатора ГПП. Функціональна схема такої системи приведена на **рис. 2**.

Враховуючи ймовірнісний характер параметрів, що описують стан навантаження і ліній живлення, для вибору режиму напруги на відповідному рівні СЕП і алгоритмів регулювання напруги на трансформаторі ГПП і цеховому трансформаторі не вдається застосувати строгу однозначну процедуру синтезу на основі математичної моделі, яка б описувала стан всієї системи електропостачання і навантаження. Тому синтез алгоритмів вибору режимів напруги і регулювання напруги трансформаторів повинен здійснюватися із застосуванням методів теорії нечіткої логіки і досвіду фахівців, коли повинна проводитися обробка лінгвістично сформульованих експертних знань, тоб-

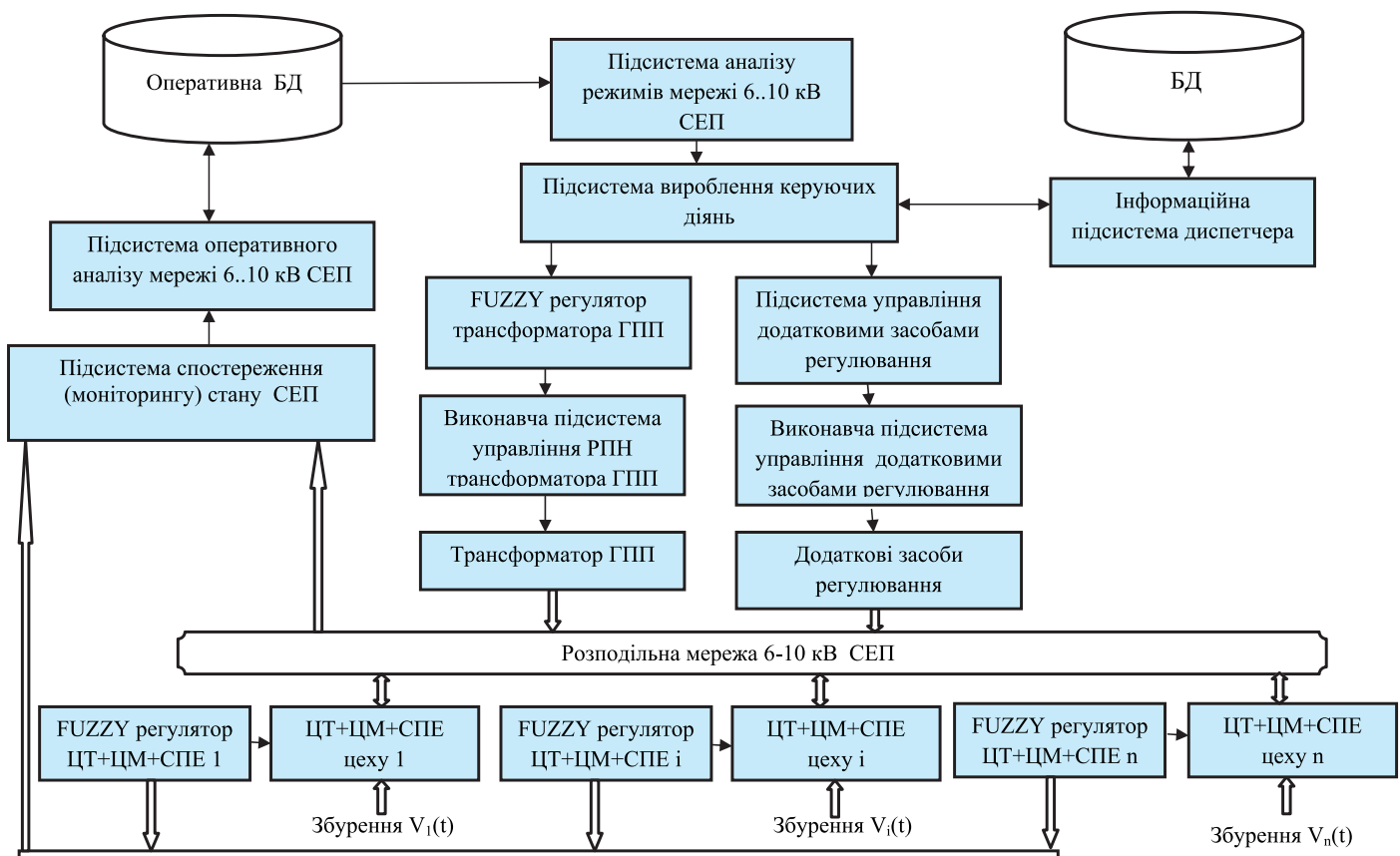


Рис. 2. Структура дворівневої підсистеми управління напругою в СЕП промислового підприємства

то з використанням фаззи-технологій [4].

Зв'язок між системами регулювання нижнього і верхнього рівнів доцільно виконати на основі промислової інформаційної мережу типу Fieldbus. Для зручності обробки інформації сигнали передаються в дискретній формі.

Алгоритми регулювання напруги

Зміни навантаження протягом часу і режиму напруги в центрі живлення (на шинах ГПП) призводять до зміни втрат напруги в елементах електричних мереж і до відхилення напруги на затискачах всіх електроспоживачів мережі. Тому в мережах всіх ступенів потрібне управління напругою. При розробці СЕП завжди виникає необхідність у виборі регулюючих пристроїв, місць установки, діапазону і ступенів регулювання. При цьому розглядаються питання як виконання технічних вимог відповідно до діючих норм, так і підвищення економічності режимів.

Основним завданням регулюючих пристроїв розподільних мереж (системи нижнього рівня) є забезпечення рівнів напруги на клеммах електроспоживачів, що забезпечує мінімальне енергоспоживання за рахунок використання статичних характеристик споживачів. При цьому завдання регулюючих пристроїв живлячих мереж (система верхнього рівня) зводиться до поліпшення техніко-економічних показників роботи цих мереж перш за все шляхом зниження втрат потужності і енергії за рахунок зміни рівня напруги в мережі, підвищення економічності роботи неоднорідної замкнутої мережі і т. д.

Вибір засобів регулювання починається з вибору трансформатора з РПН, що встановлюється в центрі живлення розподільних мереж. Діапазон регулювання напруги і ступінь регулювання залежить від потужності трансформатора.

При виборі типу трансформатора з заданим діапазоном регулювання напруги необхідно врахувати не тільки напругу на стороні ВН трансформатора при максимальному та мініальному навантаженні енергосистеми (U'_1 і U''_1), але і необхідність здійснення зустрічного регулювання напруги на трансформаторі (на стороні НН трансформатора з метою оптимізації енергоспоживання, а також при зміні навантаження при мініальному навантаженні $U''_{mp2} = U_{НОМ2}$, а при максимальному навантаженні $U'_{mp2} = 1,05U_{НОМ2}$, де $U_{НОМ2}$ номінальна напруга ліній, що відходять від шин НН трансформатора).

Оскільки відомі бажані напруги на стороні НН трансформатора ($U'_{mp2} = 1,05U_{НОМ2}$; $U''_{mp2} = U_{НОМ2}$), можна визначити номери відгалужень на яких повинен працювати трансформатор при максимальному навантаженні

$$n' = \frac{\left[(U'_1 - \Delta U'_{TP}) \frac{U_{mpНОМ2}}{U_{трном1} U'_{TP2}} - 1 \right] \cdot 100}{E_{cm}} \quad (1)$$

при мініальному навантаженні:

$$n'' = \frac{\left[(U''_1 - \Delta U''_{TP}) \frac{U_{mpНОМ2}}{U_{трном1} U''_{TP2}} - 1 \right] \cdot 100}{E_{cm}} \quad (2)$$

де U^c_{mp} і U''_{mp} - втрати напруги в трансформаторі при максимальному і мініальному навантаженні відповідно; $U_{ТРНОМ2}$ і $U_{ТРНОМ1}$ номінальні (каталожні) напруги на сторонах НН і ВН трансформатора відповідно; E_{CT} - ступінь регулювання напруги трансформатора %.

Отримані номери округлюються до найближчих стандартних, а розрахункові значення напруг відгалужень порівнюються зі стандартними. Якщо $n > n_{CT}$, тоді це означає, що такий трансформатор не зможе забезпечити необхідні відхилення напруги і необхідний трансформатор з великим діапазоном відгалужень ($\pm n_{CT} \times E_{CT}$), або необхідно передбачити заходи щодо зниження відхилень напруги на стороні ВН трансформатора або по зменшенню втрат напруги в самому трансформаторі.

Після того як визначили, на яких відгалуженнях повинен працювати трансформатор, знаходять напруги, які будуть на стороні НН трансформатора при максимальному і мініальному навантаженні в енергосистемі:

$$\left. \begin{aligned} U'_{TP2} &= (U'_1 - \Delta U'_{TP}) \frac{U_{ТРНОМ2}}{U_{ТРНОМ1} (1 + n'_{CT} E_{CT} / 100)} \\ U''_{TP2} &= (U''_1 - \Delta U''_{TP}) \frac{U_{ТРНОМ2}}{U_{ТРНОМ1} (1 + n''_{CT} E_{CT} / 100)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Наступним етапом є вибір закону регулювання напруги на шинах центру живлення, визначення допустимих втрат напруги в розподільних мережах напругою вище 1000 В (СН) і в мережах напругою до 1000 В (НН), а також узгодження закону регулювання розподільних (цехових) трансформаторів. В основу розрахунку покладено забезпечення оптимальних значень напруг на затискачах всіх електроспоживачів з однорідними графіками навантажень.

Рішення завдання починається з аналізу можливості забезпечення відхилень на-напруги на затискачах всіх електроспоживачів. При цьому користуються поняттям електричної віддаленості розподільного трансформатора від центру харчування, під якою розуміють сумарну втрату напруги в лінії живлення ΔU_{li} і в трансформаторі ΔU_{mpi} :

$$\lambda_i = \Delta U_{li} + \Delta U_{mpi} \quad (4)$$

Спочатку визначається максимально можлива віддаленість розподільного трансформатора від центру живлення

$$\lambda_M = E_{TPmax} + E_{CT} + \lambda_m \quad (5)$$

де E_{TPmax} - максимально можлива добавка напруги трансформатора (для вітчизняних трансформаторів $E_{TPmax} = 10\%$; E_{CT} - ступінь регулювання, %; λ_m - мінімальна віддаленість трансфор-

матора,%. Ця величина визначається за допомогою нечіткої логіки з використанням статичних характеристик споживачів [4].

Потім визначається віддаленість кожного розподільного трансформатора

$$\lambda_i = \Delta U_{li} + \Delta U_{mpi} \quad (6)$$

і перевіряється можливість забезпечення допустимих відхилень напруги на затискачах електроспоживачів (умова $\lambda_M \geq \lambda_i$).

Наступним кроком є визначення закону регулювання напруги в центрі живлення (трансформатора ГПП). З цією метою знаходяться величини:

$$\left. \begin{aligned} E'_{и} &= V_{доп}^+ + \lambda_m \\ E_{mpM} &= \lambda_M - \lambda_m \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $V_{доп}^+$ - максимально допустиме відхилення напруги на затискачах споживачів, які живляться від розподільного трансформатора, що забезпечує оптимальне значення споживаної енергії.

За значенням E_{mpM} , знайденим за (7), вибирається найближче стандартне відгалуження трансформатора E_{mpSTM} і визначається добавка напруги живлення при коефіцієнті завантаження трансформатора $\beta = 0$:

$$E'_{иx} = V_{доп}^+ - E_{трстM} \quad (8)$$

Закон регулювання напруги в центрі живлення має вигляд:

$$V_{доп}^+ = \beta D + E'_{иx} = \beta(E'_{и} - E'_{иx}) + E'_{иx} \quad (9)$$

де $E'_{и}$ - добавка напруги в центрі живлення при $\beta = 1$.

За формулою.

$$E'_{mpi} = \lambda_i - \lambda_m \quad (10)$$

визначаються необхідні добавки напруги на всіх розподільних трансформаторах мережі і добираються стандартні відгалуження.

Сформульовані закони регулювання напруги використовуються при синтезі регулятора РПН на основі нечіткої логіки.

У разі, якщо електрична віддаленість будь-якого розподільного трансформатора більше λ_M необхідно передбачити місцеві засоби регулювання напруги, в першу чергу автоматизовані джерела реактивної потужності.

У мережах промислових підприємств, що живлять силові електроприймачі та джерела світла, пред'являються більш жорсткі вимоги до відхилення напруги (+5 і -2,5% у порівнянні з +10 і -5% для електродвигунів; При неможливості виконання цих вимог на затискачах всіх електроспоживачів доцільно джерела світла жити від групових регулюючих пристроїв, що випускаються промисловістю. У цьому випадку закон регулювання напруги живлення і відгалуження на розподільному трансформаторі вибираються виходячи з допустимих відхилень напруги на затискачах силових електроспоживачів.

Технічні засоби реалізації системи управління

Технічна реалізація системи управління електропостачанням і підсистеми управління напругою передбачає вирішення двох взаємопов'язаних завдань: установки технічних засобів реалізації функції управління напругою і поточкорозподілом в системі електропостачання і збору та передачі інформації.

Системи управління електропостачанням ставлять такі завдання перед пристроями збору і передачі інформації: забезпечення стійкості системи електропостачання, які значно ускладнюються останнім часом; великий обсяг оперативної інформації; дистанційний моніторинг і управління розподіленням вироблення електроенергії; управління системою електропостачання з розподіленою генерацією; управління навантаженням і реакція на зміну попиту енергії; тарифікація електроенергії в режимі реального часу; управління відключенням навантаження для секціонування системи електропостачання; виявлення аварійних струмів, ізолювання пошкоджених ділянок і відновлення електропостачання; автоматичні перемикання для зміни конфігурації системи електропостачання.

Для забезпечення вирішення поставлених завдань крім системи електропостачання формується інформаційна система управління. Структура інформаційної системи управління електропостачанням в загальному випадку складається з трьох рівнів: верхній рівень; середній рівень; нижній рівень.

Компоненти верхнього рівня встановлюються, як правило, на центральному диспетчерському пункті (ДП).

Верхній рівень включає в себе: один або більше базових серверів (наприклад на основі MicroSCADA); сервер зв'язку, вбудований в ПК базового сервера або стоїть окремо; графічні робочі станції (АРМ) користувачів; периферійне офісне та спеціальне обладнання (принтери, пристрої звукової і світлової сигналізації, пристрої синхронізації часу, мнемощити та ін.).

У більшості випадків перераховані пристрої об'єднуються локальною обчислювальною мережею (ЛОМ). На випадки непередбачених відмов сервери і лінії ЛОМ можуть резервуватися.

Середній рівень включає в себе: процесори зв'язку, де здійснюється збір інформації з використанням різних протоколів і перетворення її до єдиного вигляду для подальшої обробки.

Компоненти верхнього і середнього рівнів об'єднуються між собою за допомогою ЛОМ на базі Ethernet, при необхідності резервованої.

Нижній рівень утворюють такі пристрої: віддалені термінали (RTU) і пристрої телемеханіки (ТМ); програмовані логічні контролери (PLC); цифрові термінали релейного захисту та автоматики (РЗА); пристрої контролю якості електроенергії.

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Як «пристрої» нижнього рівня можуть виступати комплекси АСУ підстанцій. У підсистемі нижнього рівня входять пристрої зв'язку, які об'єднують обладнання верхнього і нижнього рівнів однієї і більше систем в єдиний інформаційно-обчислювальний комплекс. Зв'язок між підсистемами будь-яких рівнів здійснюється за допомогою пристроїв дистанційного зв'язку (модеми, адаптери, шлюзи і ін.). Інформаційна мережа може підключатися до ЛОМ програмно-технічних комплексів «третьої сторони».

Для вирішення зазначених завдань в системі електропостачання застосовуються такі компоненти, які управляється з використанням інформаційної системи: прилади дистанційного керування електроапаратами; джерела безперебійного живлення, для забезпечення роботи приладів; індикатори напрямку короткого замикання / заземлення; датчики струму і напруги; електроприводи силових роз'єднувачів або силових вимикачів; контакти головного контролера; регульовані трансформатори центру живлення (ГПП) і цехові трансформатори; пристрій реєстрації якості електроенергії; пристрої візуалізації розподільних пристроїв; електронні лічильники; алгоритми регулювання, програмне забезпечення для управління напругою і електроспоживанням; алгоритми регулювання для регульованих трансформаторів центру живлення і цехових трансформаторів.

Рішення задач управління вимагає цілісної інтеграції датчиків, виконавчих елементів, комунікаційних і ІТ систем в наявну інфраструктуру.

Реалізація представленої концепції управління робить можливим: управління розподільною мережею низької напруги з використанням даних лічильників, регулювання трансформатора центру живлення і трансформатрив розподільної мережі, а також координацію живлення і навантаження; контроль мережі середньої напруги і управлін-

ня цеховими розподільними підстанціями, а також визначення місць пошкодження і автоматичне відновлення електропостачання; надання і передачу даних вимірювань і повідомлень з мережі середньої і низької напруги.

Висновки

1. Представлені основні підходи до створення автоматизованої системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства.

2. Для ефективного управління напругою і оптимізації електроспоживання необхідно створити математичні моделі системи електропостачання на різних ієрархічних рівнях.

3. В умовах невизначеності інформації щодо режимних параметрів системи електропостачання алгоритми регулювання напруги цехового трансформатора і трансформатора ГПП доцільно проводити на основі нечіткої логіки

Список використаних джерел:

1. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением/ А.В. Праховник – Вища школа, Киев, - 1986, - 76 с.

2. Черемісін М.М. Автоматизация обліку та управління електроспоживання/ М.М. Черемісін – Харків. – Факт – 2005. - 320 с

3. Балюта С.М. Методологічні основи управління споживанням електричної енергії промисловими підприємствами/ С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова, Є.О. Корольов // Цукор України. 2015. №4 (112) . С. 22-30.

4. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учебное пособие./ В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов - М. : Издательство Физико-математической литературы. 2001. - 224 с.

ЦІКАВІ ФАКТИ

«Астарта» ініціювала проект крапельного зрошення полів в Полтавській області



Український агрохолдинг «Астарта» приступив до впровадження проекту по крапельному зрошенню полів в Полтавській області. Зокрема, технологія поливу буде застосована на посівах цукрових буряків: спочатку на 360 га, а за результатами проекту в цьому році буде розглянуто питання про розширення площ поливу. У даний час Компанія завершує реконструкцію меліораційної інфраструктури (каналу, насосної станції), після чого почнеться безпосередньо монтаж систем крапельного зрошення ізраїльського виробництва.

На даному етапі інвестиції в проект становлять близько 10 млн. грн. За оцінками фахівців Компанії, крапельне зрошення цукрових буряків забезпечить їм стабільно високу врожайність незалежно від кліматичних факторів.

Джерело: astartakiev.com