

СТАТИСТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ БІОЛОГІЧНО-ПРЕДМЕТНИХ УМОВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Віктор Дуганець¹, к. т. н., Віталій Пукас¹,
Павло Луб², к. т. н., Андрій Шарибура², к. т. н.

¹Подільський державний аграрно-технічний університет,
вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Україна,
e-mail: duganec-viktor@rambler.ru, pukas.ivanna@gmail.com

²Львівський національний аграрний університет,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: pollylub@ukr.net, ascharibura@gmail.com

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2018.01.107>

Постановка проблеми. Технологічні процеси (ТП) збирання цукрових буряків (ЗЦБ) завершують відповідний виробничий процес та формують сировинну базу для цукрових заводів [2]. Ефективність виконання цих ТП тісно пов'язана зі завданнями зменшення технологічних втрат врожаю коренеплодів та забезпечення відповідного їх якісного стану [6; 7; 18]. Тому для зменшення тривалості перебування зібраних коренеплодів у польових умовах та забезпечення їх кондиційності сільськогосподарські підприємства (СПП) використовують потокову технологію збирання коренеплодів [6]. Однак для вирішення завдань щодо своєчасного виконання ТП ЗЦБ (*technological process of harvesting sugar beet – TP of HSB*) необхідно володіти інформацією щодо початкового стану коренеплодів цукрових буряків та закономірностей їх досягання впродовж осіннього періоду, що є важливою передумовою узгодження часу початку цих ТП та виробничої площі цукрових буряків із параметрами бурякозбиральних комбайнів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проведений аналіз переконує в тому, що терміни початку й тривалості виконання відповідних технологічних операцій із вирощування сільськогосподарських культур відображають на підставі детермінованих [8 – 10; 12] і статистичних [1; 11] показників. Як відомо [11], час початку та перебіг ТП ЗЦБ значною мірою залежать від календарних термінів досягання культури, а також імовірного впливу агрометеорологічних умов [13]. Врахування цих об'єктивно зумовлених складових ТП під час оцінювання ефективності відповідного технічного забезпечення дає змогу

отримати вагомні аргументи для обґрунтування їх параметрів, а відтак забезпечити техніко-технологічний розвиток спеціалізованих СПП [15].

Постановка завдання. Представити результати визначення статистичних закономірностей досягання коренеплодів цукрових буряків, що формують початкові умови для виконання ТП ЗЦБ (*TP of HSB*).

Виклад основного матеріалу. Досягання цукрових буряків супроводжується приростом маси та цукристості їх коренеплодів [2; 17]. Зокрема, темпи приросту маси коренеплодів формують поточну врожайність культури, позначаються на показниках ефективності виконання ТП ЗЦБ (*TP of HSB*), а також залежать від впливу агрометеорологічних умов.

Саме тому для моделювання цих ТП необхідно володіти інформацією про терміни досягання врожаю цукрових буряків, початковий стан коренеплодів та закономірності приросту їх маси в розрізі осіннього періоду. Для врахування в статистичній імітаційній моделі [16; 19; 20] цих біологічно-предметно зумовлених початкових умов виконання ТП ЗЦБ (*TP of HSB*) опрацьовано звітні дані Володимир-Волинської метеорологічної станції (форма ТСХ-1) щодо спостережень за ростом і розвитком цукрових буряків сорту Ялтушковський однонасінний упродовж 38 років (1978 – 2016 рр.). Насамперед проаналізовано та сформовано вибірку даних щодо таких показників: 1) часу ($\tau_{вл}$) початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків; 2) середньої початкової маси ($m_{пк}$) коренеплодів на момент в'янення зовнішніх листків.

Для числового представлення термінів досягання коренеплодів використовували точку відліку – 1 січня. Зокрема, визначення проміжку часу між відповідним етапом досягання та точкою відліку дає змогу встановити тривалість відповідного періоду, або числове значення дня настання події досягання цієї культури (рис. 1). Систематизація значень $\tau_{вл}$ та $m_{пк}$ (див. табл.) дає змогу виконати їх математичне опрацювання та

встановити статистичні закономірності [3; 4], які відображають зв'язок між ними.

Згідно з даними спостережень, поточну середню масу коренеплодів вимірювали щодавно (з кроком у 10 діб). Для випадків, коли масове в'янення листків $\tau_{вл}$ наставало між днями вимірювань, середню початкову $m_{пк}$ масу коренеплодів визначали методом інтерполяції між двома відомими точками.

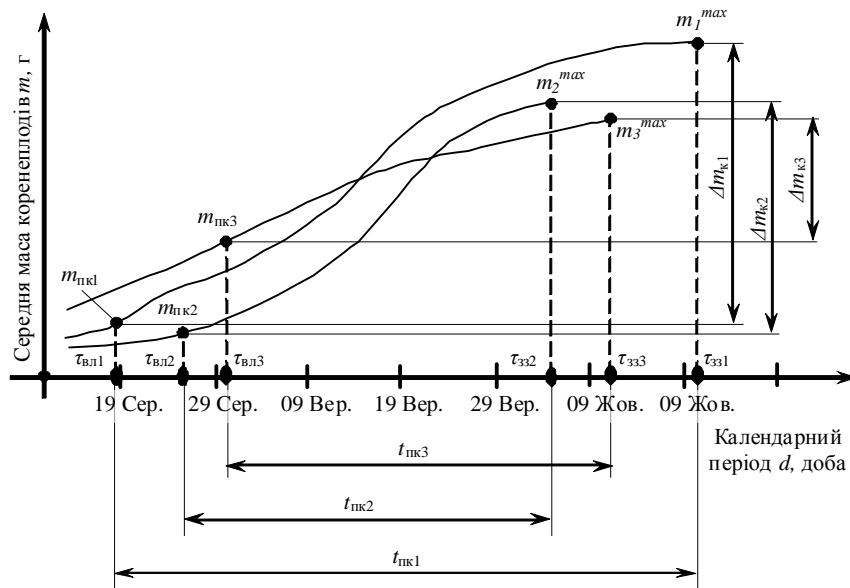


Рис. 1. Календарний приріст маси коренеплодів цукрових буряків: m^{max} – максимальна маса коренеплодів, г; $t_{пк}$ – тривалість приросту маси коренеплодів, діб; $\tau_{зз}$ – час завершення ТП ЗЦБ (TP of HSB), доба

Fig. 1. The calendar increase of the sugar beet root crops mass: m^{max} – maximum weight of root crops, grams; $t_{пк}$ – duration of root crops mass growth, days; $\tau_{зз}$ – time of completion of TP of HSB, day

Таблиця. Систематизація показників початкового стану коренеплодів цукрових буряків для виконання ТП ЗЦБ (TP of HSB)

Table. Indices systematization of the sugar beet root crops initial state for the implementation of TP of HSB

Показник	Рік спостережень				
	1978	1979	...	2015	2016
Час початку в'янення зовнішніх листків ($\tau_{вл}$) цукрових буряків, доба	21 серп.	10 вер.	...	3 вер.	31 серп.
Середня початкова маса ($m_{пк}$) коренеплодів на момент в'янення зовнішніх листків, г	445	586	...	275	364

Календарні терміни досягання коренеплодів цукрових буряків та, зокрема, настання їх технологічної стиглості, зумовлюють початок ТП ЗЦБ і безпосередньо впливають на формування природно дозволеного фонду часу для їх виконання. Окрім того, темпи нагромадження маси та цукристості коренеплодів об'єктивно підвищують вагомість завдання зі своєчасного виконання цих ТП, а отже, забезпечення мінімальних обсягів технологічних втрат.

Для об'єктивного відображення біологічно-предметних особливостей формування початкових умов для виконання ТП ЗЦБ у відповідній статистичній імітаційній моделі ми використали дані метеорологічної станції. Систематизація та математичне опрацювання сформованих даних дали змогу отримати такі статистичні закономірності: 1) розподіл часу початку ($\tau_{вл}$) в'янення зовнішніх листків цукрових буряків; 2) розподіл середньої початкової маси коренеплодів ($m_{пк}$) на

момент в'янення зовнішніх листків культури; 3) закономірність зміни початкової маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цієї рослини; 4) закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів (Δm_k) за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків.

Зокрема, у результаті побудови варіаційного ряду емпіричних даних $\tau_{вл}$ та наступного їх опрацювання за відомими методами математичної статистики [5] із застосуванням критерію χ^2 Пірсона встановлено, що емпіричний розподіл $\tau_{вл}$ (рис. 2) узгоджується з трипараметричним законом розподілу Вейбулла. Диференціальна функція розподілу $\tau_{вл}$ описується рівнянням

$$f(t_{вл}) = 0,092 \cdot \left(\frac{t_{вл} - 221}{19,86} \right)^{0,821} \exp \left[- \left(\frac{t_{вл} - 221}{19,86} \right)^{1,821} \right]. \quad (1)$$

Головні статистичні характеристики розподілу $\tau_{вл}$ такі: математичне сподівання – $\bar{M}[t_{вл}] = 238,7$ доба; коефіцієнт варіації – $u[t_{вл}] = 0,565$. Довірчий інтервал $\tau_{вл}$ для довірчої ймовірності $\gamma=0,95$ становить 221...263 доби.

Використання аналогічної методики для опрацювання даних спостережень за ростом і розвитком цукрових буряків дало змогу сформулювати ретроспективну множину показників щодо середньої початкової маси ($m_{пк}$) їх коренеплодів на момент $\tau_{вл}$ в'янення зовнішніх листків. У резуль-

таті цього обґрунтовано розподіл $m_{пк}$ (рис. 3), який узгоджується з теоретичним розподілом Вейбулла. Диференціальна функція цього розподілу така:

$$f(m_{пк}) = 0,009 \cdot \left(\frac{m_{пк} - 165,7}{238,213} \right)^{1,097} \exp \left[- \left(\frac{m_{пк} - 165,7}{238,213} \right)^{2,097} \right]. \quad (2)$$

Головні статистичні характеристики розподілу $m_{пк}$: математичне сподівання – $\bar{M}[m_{пк}] = 376,69$ г, коефіцієнт варіації – $u[m_{пк}] = 0,50$. Довірчий інтервал $m_{пк}$ для довірчої ймовірності $\gamma=0,95$ становить 165,7...622,0 г.

Застосування методів кореляційно-регресійного аналізу [14] для опрацювання систематизованих даних дало змогу встановити закономірність зміни $m_{пк}$ за різного часу початку $\tau_{вл}$ в'янення зовнішніх листків цукрових буряків (рис. 4). Рівняння цієї закономірності описано поліномом другого степеня:

$$m_{пк} = -0,0934 \cdot \tau_{вл}^2 + 52,207 \cdot \tau_{вл} - 6757,8. \quad (3)$$

Кореляційне відношення $n = 0,702$ підтверджує наявність зв'язку між $m_{пк}$ та $\tau_{вл}$.

За аналогічною методикою встановлено закономірність зміни максимального приросту маси Δm_k коренеплодів за різного часу початку $\tau_{вл}$ в'янення зовнішніх листків цукрових буряків (рис. 5). Отримане рівняння має такий вигляд:

$$\Delta m_k = 0,0614 \cdot \tau_{вл}^2 - 33,789 \cdot \tau_{вл} + 4677,4. \quad (4)$$

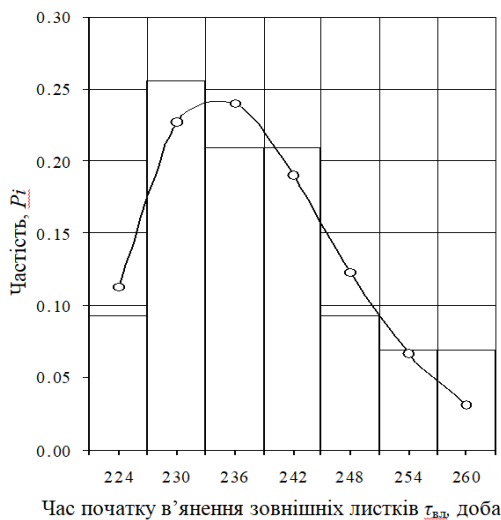


Рис. 2. Розподіл часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків
Fig. 2. Distribution of wilting external leaves beginning time (biological ripeness) of sugar beets

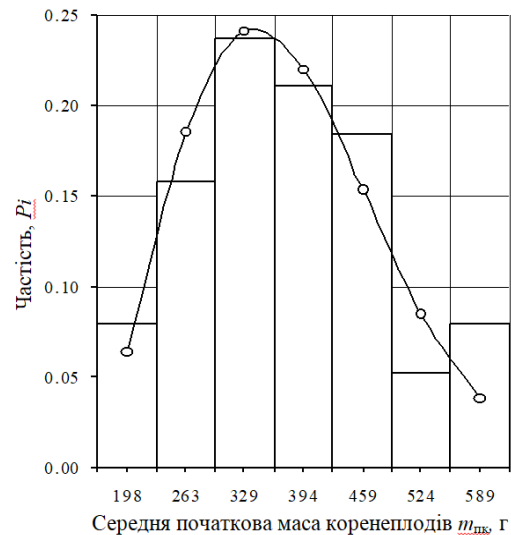


Рис. 3. Розподіл середньої початкової маси коренеплодів цукрових буряків на момент в'янення зовнішніх листків
Fig. 3. Distribution of the average initial mass of sugar beet root crops at the moment of leaf drying

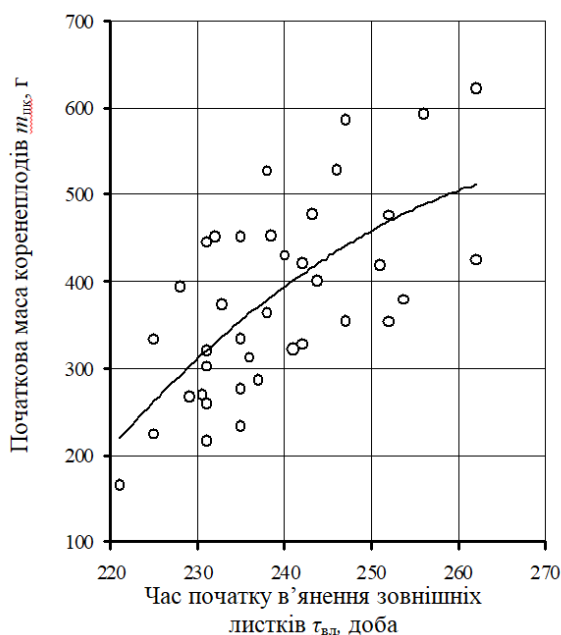


Рис. 4. Закономірність зміни початкової маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків

Fig. 4. The regularity of the root crops initial mass at different times of the sugar beets outer leaves wilting beginning

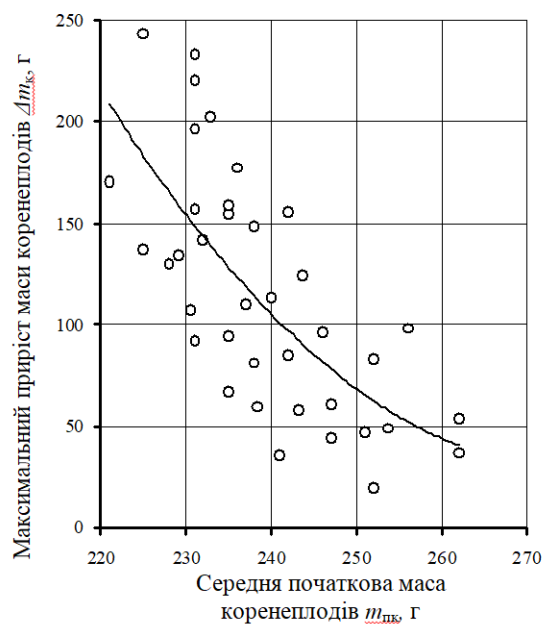


Рис. 5. Закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків

Fig. 5. The regularity of the root crops mass maximum increase at different times of the sugar beets outer leaves wilting beginning

Значення кореляційного відношення $n = -0,708$ підтверджує наявність оберненої закономірності зміни вказаних показників.

Обґрунтовані розподіли та закономірності зміни відповідних показників, що характеризують предметно-біологічну складову ТП ЗЦБ, дають змогу реалізувати методику системно-подієвого відображення цих ТП у статистичній імітаційній моделі [20]. Поєднання статистичних закономірностей впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових дає змогу відобразити об'єктивні причини формування природно-дозволеного фонду часу на виконання ТП ЗЦБ, а відтак оцінити їх своєчасність для заданих умов – часу початку збирання, виробничої площі культури та заданих бурякозбиральних комбайнів.

Таким чином, виконання вищеписаних етапів збору, аналізу та систематизації даних щодо термінів досягання врожаю цукрових буряків, початкового стану коренеплодів та закономірностей приросту їх маси в розрізі осіннього періоду створює можливість формалізувати статистичні закономірності біологічно-предметної складової, а відтак врахувати її вплив на функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ. Зокрема, встановлення диференціальних рівнянь розподілу й закономірностей зміни відповідних показників є

важливою передумовою розроблення адекватних статистичних імітаційних моделей ТП ЗЦБ. Виконання таких кроків дає змогу використати цю імітаційну модель для комп'ютерних експериментів, а відтак встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ за різних значень часу початку їх виконання, виробничої площі цукрових буряків та заданого технічного оснащення.

Висновки. 1. Створення адекватних статистичних імітаційних моделей ТП ЗЦБ передбачає об'єктивне відображення умов функціонування відповідного технічного забезпечення, що досягається завдяки використанню сукупності статистичних закономірностей щодо впливу біологічно-предметної та агрометеорологічної складових.

2. Використання даних спостережень метеорологічної станції та методів математичної статистики дало змогу обґрунтувати розподіл середньої початкової маси ($\tau_{вл}$) коренеплодів та часу початку ($m_{нк}$) в'янення зовнішніх листків цукрових буряків. Зокрема, встановлено, що розподіли $\tau_{вл}$ та $m_{нк}$ узгоджуються з теоретичним законом розподілу Вейбулла й мають такі статистичні характеристики:

$$\bar{M}[\tau_{вл}] = 238,7 \quad \text{доба,} \\ u[\tau_{вл}] = 0,565 \quad \text{та} \quad \bar{M}[m_{нк}] = 376,696 \text{ г,} \quad u[m_{нк}] = 0,50.$$

3. Застосування методів кореляційно-регресійного аналізу для формалізації закономірностей досягання коренеплодів цукрових буряків дало змогу встановити закономірність зміни $m_{пк}$ за різного $\tau_{вл}$ (див. рис. 4) і закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів за різного $\tau_{вл}$ (див. рис. 5). Встановлені коефіцієнти кореляції підтверджують наявність зв'язку між цими показниками.

Бібліографічний список

1. Березовецький С. А. Обґрунтування параметрів технічного оснащення технологічних систем збирання озимого ріпаку: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2017. 21 с.
2. Буряк цукровий. *Аграрний сектор України* URL: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-7/c-22/info/cag-40/>.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1978. 351 с.
4. Гершгорн А. С. Элементы теории вероятностей и математической статистики: учеб. пособие. Львов, 1961. 254 с.
5. ГОСТ 11.006-75 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 32 с.
6. Гречкосій В. Д., Гаркуша Ю. М. Комплексна механізація вирощування та збирання цукрових буряків. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. Вип. 145. С. 281–290.
7. ДСТУ 7062:2009. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. [Чинний від 01.01.2011]. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 12 с.
8. Завалишин Ф. С., Мацнев М. Г. Методи исследований по механизации сельскохозяйственного производства. Москва: Колос, 1982. 226 с.
9. Ковальчик Ю. І., Говда О. І. Розрахунок ймовірності дискретних станів системи із чотирма одиницями збиральної техніки. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2015. № 19. С. 39–44.
10. Кузьмінський Р., Соколовський О., Шеремета Р. Математична модель геометричних параметрів насінин пшениці. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 171–176.
11. Спічак В. С. Управління виробничо-технологічним ризиком у проектах збирання цукрових буряків: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2010. 23 с.
12. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. Москва: Агропромиздат, 1985. 159 с.
13. Тимочко В. О., Луб П. М., Падюка Р. І. Обґрунтування коефіцієнта погодності для прогнозування добової продуктивності машинно-тракторних агрегатів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 20. С. 148–154.
14. Уланова Е. С., Забелин В. Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 146 с.
15. Флис І. Проблеми та чинники ініціалізації інноваційних проектів і програм розвитку агропромислових підприємств в умовах невизначеності. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 6–10.
16. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. Москва: Мир, 1978. 418 с.
17. Шпар Д., Дрегер Д., Захаренко А. Сахарная свекла. Москва: ИД ООО DLV «Агродело», 2006. 315 с.
18. Heidari G., Sohrabi Y., Esmailpoor B. Influence of harvesting time on yield and yield components of sugar beet. *J. Agri. Soc. Sci.* 2008. Vol. 4, No. 2. P. 69–73.
19. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo method. 2-nd edition. Wiley, 2007. 345 p.
20. Schildt H. C#: The Complete Reference. Osborne: The McGraw-Hill Companies, 2003. 752 p.

Дуганець В., Пукас В., Луб П., Шарibuра А.

СТАТИСТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ БІОЛОГІЧНО-ПРЕДМЕТНИХ УМОВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Розкрито завдання узгодження часу початку технологічних процесів (ТП) збирання цукрових буряків (ЗЦБ) та виробничої площі цих культур із параметрами технічного забезпечення. Це завдання пропонується виконувати на підставі методів статистичного імітаційного моделювання. Наведено особливості досягання коренеплодів цукрових буряків, яке супроводжується приростом їх маси та цукристості. Акцентовано на тому, що темпи приросту маси коренеплодів формують поточну врожайність, позначаються на показниках ефективності виконання ТП ЗЦБ. Зазначено, що для моделювання ТП необхідно мати дані щодо термінів досягання врожаю цукрових буряків, початкового стану коренеплодів та закономірностей приросту їх маси впродовж осіннього періоду. Теоретично розкрито, що вплив темпів нагромадження маси та цукристості коренеплодів підвищує важливість завдання щодо своєчасного їх збирання, а також забезпечення мінімальних обсягів технологічних втрат. Виокремлено множину статистичних закономірностей, завдяки яким враховується вплив біологічно-предметної складової на показники ефективності процесів збирання. Наведено методику збору, систематизації та математичного опрацювання даних метеорологічних станцій

щодо темпів досягання врожаю цукрових буряків. Означено потребу використання методів кореляційно-регресійного аналізу та методів математичної статистики для опрацювання даних виробничих спостережень. Наведено статистичні закономірності досягання коренеплідів цукрових буряків, які формують початкову базу знань для статистичного імітаційного моделювання. Використання такої імітаційної моделі дає змогу встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ за різних значень часу початку їх виконання, виробничої площі цукрових буряків та заданого технічного оснащення.

Ключові слова: досягання врожаю, цукрові буряки, початкові умови, технологічні процеси, своєчасність, імітаційна модель, функціональні показники.

Duganets V., Pukas V., Lub P., Sharybura A.

STATISTICAL REGULARITIES OF THE BIOLOGICAL-SUBJECT INITIAL CONDITIONS FORMATION FOR THE SUGAR BEET HARVESTING TECHNOLOGICAL PROCESSES

The coordinating task of the harvesting technological processes (TP) beginning and production area of sugar beet with the technical support parameters is disclosed. The solution of this problem is proposed to be performed on the basis of the statistical simulation methods. The features of sugar beet root crops maturation, which are accompanied by an increase of their mass and sugar content, are presented. It is accentuated that the growth rates of root crops mass are forming the current yield, affecting at the efficiency indicators of sugar beet harvesting (SBH) TP. For the TP modeling it is necessary to find out the data timing of the sugar beet harvest, the root crops initial state and the dependence of the mass growth in the context of the autumn period. It has been theoretically disclosed that the special regularity of mass accumulation and root crops sugar content requires timely harvesting, and also provision of minimum technological losses amounts. The statistical regularities which take into account the biological-substantive component influence on the harvesting processes efficiency indicators are distinguished. The method of collecting, systematizing and mathematical processing of meteorological stations data concerning the sugar beet root crops reaching processes is given. The using necessity of correlation-regression analysis methods and mathematical statistics methods for the processing of production observation data is indicated. The statistical laws of sugar beet root crops reaching, which form the initial knowledge base for statistical simulation modeling, are presented. Use of imitation model allows us to determine the regularities of changing the functional performance indicators of the TP SBH for different moment of sugar beet harvesting, production area and technical equipment are implemented.

Key words: crop maturation, sugar beet, initial conditions, technological processes, timeliness, simulation model, functional parameters.

Стаття надійшла 08.11.2018