

УДК 621.171:633

АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ

С. Г. Фришев¹, М. П. Волоха², М. І. Ікальчик¹

¹Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Ніжинський агротехнічний інститут», Україна.

²Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: fryshev@outlook.com.

Історія статті: отримано – листопад 2020, акцептовано – грудень 2020.

Бібл. 7, рис. 1, табл. 1.

Анотація. У статті наведено методику аналізу пропускної здатності збирально-транспортного комплексу (ЗТК) для буряків цукрових, яка спрямована на пошук шляхів раціонального використання ресурсу машин в технологічному комплексі.

Розглянуто перевантажувальний спосіб транспортування врожаю буряків, особливістю якого є гнучкість, адаптивність до погодно-кліматичних та господарських умов під час збирання. При сприятливих погодних умовах і наявності достатньої кількості автотранспортних засобів (АТЗ) буряки, які вивезені від комбайна з поля тракторним напівприцепом (НП), перевантажуються у великовантажні АТЗ, що знаходяться на дорозі з краю поля, та перевозяться на цукровий завод. У випадку зміни умов (в дощову погоду, при переувлажненому ґрунті або при недостатній кількості АТЗ) в комплекс машин додається навантажувач-очишувач і робота комплексу переходить на перевалочний або потоково-перевалочний спосіб.

Збирання та транспортування буряків розглянуто як роботу технологічного ланцюга, який складається з трьох ланок: «поле – бурякозбиральний комбайн (БК)», «БК – НП», «НП – АТЗ». Основні кроки аналізу пропускної здатності – це визначення пропускної здатності першої, другої і третьої ланок, їх зіставлення та наступний вибір та аналіз альтернативних варіантів, що дозволяють подолати можливу суттєву різницю між їх значеннями. Проаналізована можливість зменшення пропускної здатності третьої ланки до гранично можливої – пропускної здатності першої ланки за рахунок зменшення на певну кількість автомобілів на перевезенні буряків з одночасним збільшенням їх технічної швидкості руху.

Наведений приклад розрахунку кількості одиниць техніки у збирально-транспортному комплексі відповідно до розробленої методики доводить її дієвість і переваги.

Проведений аналіз пропускної здатності ЗТК показує шляхи удосконалення параметрів

транспортного процесу в технологічному комплексі збирально-транспортних робіт.

Ключові слова: буряки цукрові, збирання, транспортування, збирально-транспортний комплекс, бункерний комбайн, автомобільний транспортний засіб, продуктивність.

Постановка проблеми

Буряки цукрові збирають та перевозяться потоковим, перевалочним, потоково-перевалочним та перевантажувальним способами. Вибір способу залежить від особливостей ґрунтово-кліматичних зон бурякосіяння та від способу транспортування коренеплодів на завод.

При потоковому збиранні, характерному для зон нестійкого зволоження, де спостерігається чергування посушливих і помірно зволжених років, викопані комбайнами чи коренезбиральними машинами коренеплоди навантажуються у транспортні засоби, що рухаються поруч, і доставляються на бурякозбиральні пункти заводів. Такий спосіб забезпечує мінімальні затрати праці і коштів, менші втрати урожаю, вищу технологічну якість доставленої на бурякоприймальні пункти заводів цукросировини, а головне, підвищення валового збору коренеплодів за рахунок безпосереднього транспортування їх на цукрові заводи та уникнення тимчасового зберігання у польових кагатах.

За перевалочного способу, який застосовується переважно в зонах достатнього зволоження, коренеплоди навантажуються в транспортні засоби з-під бурякозбиральних машин і доставляються в польові кагати для тимчасового зберігання та подальшого очищення і перевезення на бурякозбиральні пункти заводів. Такий спосіб застосовується також в разі обмежено-дозованого приймання сировини заводами, що практикується останнім часом заводами, особливо в західноєвропейських країнах.

Потоково-перевалочний спосіб збирання буряків поєднує потоковий та перевалочний способи.

Важливим напрямком підвищення ефективності збирально-транспортних процесів для буряків цукрових є застосування потужних збиральних комбайнів з великою місткістю бункерів в поєднанні з великовантажними спеціалізованими тракторними напівпричепами-перевантажувачами та потужною вантажно-очисною технікою, які забезпечують перевантажувальний спосіб або перевалочний його варіант. Цей напрямок необхідно розглядати в тісному взаємозв'язку з проблемою зменшення ущільнення ґрунту під час транспортування коренеплодів з поля.

Пропонований аналіз пропускної здатності збирально-транспортного комплексу (ЗТК) машин для цукрових буряків спрямований на пошук шляхів раціонального використання ресурсу машин в технологічному комплексі збирально-транспортних робіт з урахуванням детермінованого підходу.

Аналіз останніх досліджень

Вперше в Україні перевантажувальний варіант збирально-транспортної технології для цукрових буряків був запропонований у Всесоюзному НДІ цукрових буряків (м. Київ) в 70-х роках минулого століття [1,2]. Але його виробниче впровадження на той час ускладнювалось відсутністю розробок як причепів, так і збиральних комбайнів достатньо високого технічного рівня.

Нині, коли у країнах ЄС з'явилися досконаліші бурякозбиральні комбайни (БК) з бункерами великої місткості – 40 м³ (комбайни фірми ROPA, Vervaet Beet Eater 625 та ін.) чи навіть 50 м³, як у 12-рядного комбайна Agrifac HEXA 12, і причепи-перевантажувачі RUHNAWE місткістю 40 м³ в агрегаті з трактором John Deere 8400, а в Україні – напівпричепи ТЗП-27 «Атлант» та ін.), реальним є впровадження у виробництво потоково-перевантажувальної технології збирання.

Мета досліджень

Мета дослідження полягає у пошуку шляхів раціонального використання ресурсу машин у технологічному збирально-транспортному комплексі для виробництва буряків цукрових

Результати досліджень

За оцінкою науковців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України найбільш ефективним способом вивезення буряків цукрових з поля на приймальний пункт заводу є потоковий за умови застосування автопоїздів у складі великовантажних автомобілів (АМ) та причепів. Але такий спосіб має наступні суттєві недоліки:

- для ефективної роботи бурякозбиральних комбайнів (БК) без зупинок і з урахуванням великої відстані перевезення до цукрових заводів потрібна

одночасно значна кількість автомобільних транспортних засобів (АТЗ), в той же час у зв'язку із значними коливаннями часу обороту АТЗ простої БК в очікуванні транспорту сягають 20% [3]; перечіплення причепів потребує додаткових трудовитрат;

- на перезволожених ґрунтах неможлива робота АТЗ в полі, що призводить до простоїв БК;

- великовантажні АТЗ значно ущільнюють ґрунт, що спричиняє його деградацію і, як наслідок, потребує додаткових витрат на рихлення;

- з полів у вигляді вороху коренеплодів вивозиться значна кількість родючого ґрунту.

Перші два недоліки призводять до зниження продуктивності як БК так і АТЗ, затягування агротехнічних термінів збирання та втрат урожаю.

Еволюція розвитку БК відбувалася в напрямку обладнання їх спочатку бункерами-компенсаторами місткістю 1,5-3,5 т, а потім, із збільшенням потужності двигунів до 250-300 кВт, місткість бункера збільшували поетапно від 10-12 т до 15-18 та 20-25 т. Відповідно, за показником вантажопідйомності значно зростав і транспортний парк, який збагачувався спеціалізованою технікою.

Як показує досвід країн ЄС застосування на перевезенні буряків від БК за перевантажувального способу транспортування значною мірою ліквідує вказані вище недоліки. Основою такого способу є впровадження високопродуктивних ЗТК, до складу яких входить, наприклад, комбайн SF-10 Franz Kleine або «Холмер», спеціалізований НП ТЗП-27 з трактором потужністю 150-200 к.с., обладнаним широкопрофільними шинами низького тиску, навантажувач-очищувач та великовантажні АТЗ. Це дає також змогу значно зменшити ущільнення ґрунту через виключення відвозу буряків від комбайнів великовантажними АТЗ. БК працює без зупинок, навантажуючи буряки у НП, що рухається поруч, з можливістю накопичення буряка в бункері при заміні НП для подальшого перевантаження у великовантажний автомобіль або у кагати. Використання великої місткості бункера дозволяє комбайну робити довгі робочі проходи, здатні перекривати тим самим можливі транспортні затримки. НП працює як мобільний компенсатор.

Не менш важливою перевагою НП перед вантажівкою є зменшення впливу на ґрунт, адже при в'їзді вантажівки на поле відбувається високий тиск на ґрунт, що негативно позначається на подальшій врожайності вирощуваних культур. Якщо питомий тиск трактора, НП чи комбайна завдяки широкопрофільним шинам наближається до нормативних вимог, то у вантажівки цей показник в рази перевищує допустиму норму, а в дощову погоду вантажівки взагалі непрацездатні в полі.

В Україні на заводі Кобзаренка розпочато виробництво універсальних зсувних напівпричепів серії «Атлант»: ТЗП-27 вантажопідйомністю 20 т та об'ємом 32 м³; ТЗП-39 вантажопідйомністю 30 т та об'ємом 40 м³. Конструкція «Атланта» передбачає його універсальне застосування шляхом встановлення на напівпричіп змінного гноєрозкидаючого механізму або перевантажувального шнека для зерна, що дає можливість його використання як мобільного

компенсатора під час збирання урожаю цукрових буряків або зерна. Технічна характеристика напівпричепів дана в таблиці 1.

Таблиця 1. Технічна характеристика напівпричепів «Атлант».

Table 1. Technical characteristics of the Atlant semi-trailer.

Показники	ТЗП-39	ТЗП-27
Вантажопідйомність, кг	30 000	20 000
Об'єм, м ³	40,0	32
Об'єм з нашивками, м ³	48,4	
Необхідна потужність трактора, к. с.	250-300	220-250
Вісі, шт	3	2

Особливістю перевантажувального способу транспортування врожаю буряків є гнучкість, адаптивність до погодно-кліматичних та господарських умов під час збирання. При сприятливих погодних умовах і достатній кількості АТЗ ЗТК здійснює потоково-перевантажувальний спосіб перевезення. Буряки, які вивезені з поля напівпричепом, перевантажуються у великовантажні АТЗ, що знаходяться на дорозі на краю поля, та перевозяться на цукровий завод.

У випадку зміни умов (в дощову погоду, при перезволоженому ґрунті або за недостатньої кількості АТЗ) в комплекс машин додається навантажувач-очишувач і робота комплексу переходить у перевалочний спосіб перевезення. НП розвантажує продукцію в кагати на краю поля, звідки вона після просихання завантажується з одночасним очищенням в АТЗ, або частина буряків відразу перевантажується в АТЗ для перевезення. Створений на перевалочних майданчиках запас коренеплодів дозволяє більш раціонально і продуктивніше використовувати автомобільний транспорт на вивезенні буряків протягом доби.

Доставляти коренеплоди на цукровий завод можна сучасними окремими великовантажними автомобілями і автопоїздами КрАЗ-6230С4-330+КрАЗ А261С3, КамАЗ-45143+СЗАП 8357 або МАЗ-650108+МАЗ-856103.

Розглянемо збирання та транспортування буряків як роботу технологічного ланцюга, який складається з трьох ланок: «поле – БК», «БК – НП», «НП – АТЗ».

Умовою безперервної роботи ЗТК є баланс часу, коли кожний напівпричеп обслуговує один БК. Тоді кількість НП, які обслуговують групу БК, визначаємо як

$$n_H = m_K, \text{ од.}, \quad (1)$$

де n_H та m_K – кількість відповідно НП та БК в ЗТК.

Для цього тривалість робочого циклу НП ($t_{ЦН}$) – від моменту часу завершення його завантаження БК до моменту повернення після розвантаження (в АТЗ або в бурти на поле) до БК для чергового завантаження повинна бути менша або дорівнювати часу завантаження бункера комбайна (t_B). Ця умова визначається виразом:

$$t_{ЦН} \leq t_B, \quad (2)$$

$$\text{де } t_{ЦН} = t_{ПВХ} + \frac{K_M q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{БК}})}{W_{НП}} \text{ год.} \quad (3)$$

$$t_B = \frac{q_B}{W_{KP}} \text{ год.}, \quad (4)$$

де $W_{НП}$ – продуктивність вивантажувального транспортера напівпричепи;

K_M – коефіцієнт, який враховує додатковий час на маневрування НП під час завантаження АТЗ ($K_M=1,5$);

q_B – маса буряка, яка міститься у бункері БК, т.;

W_{KP} – продуктивність БК за годину основного часу;

$W_{БК}$ – продуктивність вивантажувального транспортера БК.

$t_{ПВХ}$ – тривалість перебування НП у полі за робочий цикл (їздки), яка містить час переїзду та завантаження від БК. Згідно експериментальних даних [4, 5] $t_{ПВХ} = 0,07 \text{ год.}$

З урахуванням одержаних значень (3) і (4) умова безперервної роботи ЗТК має такий вигляд:

$$t_{ПВХ} + \frac{K_M q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{БК}})}{W_{НП}} \leq \frac{q_B}{W_{KP}} \quad (5)$$

Пропускна здатність першої ланки технологічного ланцюга «поле – бурякозбиральний комбайн» це найбільша кількість бункерів буряків, які можуть бути зібрані комбайнами ЗТК за основний час робочого дня і визначається як

$$N_1 = \frac{m_K T_P}{t_{Ц}} \text{ бунк./р. д.}, \quad (6)$$

де m_K – кількість комбайнів комплексу;

T_P – основний час робочого дня БК, який залежить від організації взаємодії роботи машин;

$$T_P = T_{ЗМ} K_{ЗМ} \tau,$$

де $\tau = 0,81$ – коефіцієнт використання часу зміни [6],

$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни;

$K_{ЗМ}$ – коефіцієнт змінності (1,5 - 2,0), який показує кількість змін ($T_{ЗМ} = 7$ год), що працює комбайн за робочий день (добу);

$t_{Ц}$ – тривалість робочого циклу БК, який враховує час заповнення і розвантаження бункера на ходу комбайна, а також тривалість холостих ходів на поворотах, яка припадає на 1 цикл роботи комбайна [6]:

$$t_{Ц} = 1,1 [q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{БК}}) / W_{KP}] \text{ год.} \quad (7)$$

Пропускна здатність другої ланки «БК – НП» це найбільша кількість бункерів буряків комбайнів, які можуть бути перевезені НП за основний час робочого дня. Вона визначається як:

$$N_2 = \frac{n_H T_P}{t_{ЦН} \rho} \text{ бунк. / р.д.}, \quad (8)$$

де n_H – кількість НП в ЗТК, од.

ρ – кількість бункерів БК, які вивантажуються в НП, дорівнює 1.

Вантажопідйомність НП з урахуванням технічних показників сучасних БК визначається як:

$$q_{НП} = q_B \left(1 + \frac{W_{KP}}{W_{БК}}\right) = 1,08q_B \text{ т.} \quad (9)$$

Пропускна здатність третьої ланки «НП – АТЗ» це найбільша кількість бункерів буряків комбайнів, які можуть бути перевезені автомобілями за основний час робочого дня і визначається як:

$$N_3 = \frac{n_A T_P}{t_{ЦА}}, \text{ бунк} / \text{р.д.} \quad (10)$$

де n_A – кількість автотранспортних засобів або груп АТЗ для перевезення буряків визначається як [7]:

$$n_A = \frac{n_{НП} t_{ЦА}}{t_{НП} \rho} \text{ од.}, \quad (11)$$

де $t_{НП}$ – час заповнення НП буряками і його розвантаження:

$$t_{НП} = 1,08q_B \left(\frac{1}{W_{БК}} + \frac{K_M}{W_{НП}}\right) \text{ год.}, \quad (12)$$

де $t_{ЦА}$ – тривалість обороту АТЗ:

$$t_{ЦА} = \frac{K_M \cdot q_{НП}}{W_{НП}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{АВІВ} \text{ год.}, \quad (13)$$

де $t_{АВІВ}$ – тривалість перебування АТЗ в пункті розвантаження;

l_{ij} – відстань перевезення буряків з поля (пункт і) в пункт розвантаження (пункт j);

v_T , км/год – середня технічна швидкість автомобіля на шляху від поля в пункт розвантаження та назад.

Загальну пропускну здатність технологічного ланцюга ЗТК під час застосування перевантажувальної технології визначає та обмежує перша ланка. В той же час пропускну здатність інших ланок може бути суттєво (надмірно) більшою (рис. 1).

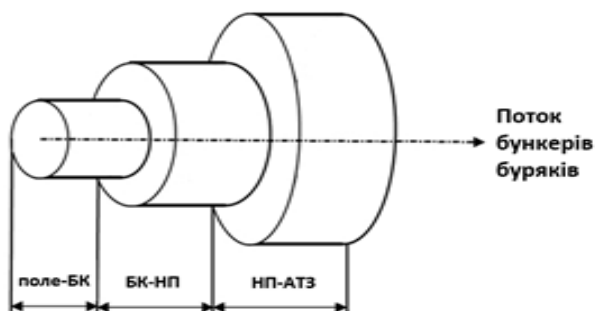


Рис. 1. Пропускна здатність 3-х окремих ланок ЗТК: «Поле – БК»; «БК – НП»; «НП – АТЗ».

Fig. 1. The capacity of three separate parts of ZTK: "Field – BC"; "BC – NP"; "NP – ATZ".

Якщо це так, то ланцюг працює з максимальною продуктивністю, але пропускну здатність другої або третьої ланки залишається частково невикористаною. Пропускна здатність це ресурс, який у такому випадку повністю невикористаний. Рациональне використання ресурсу (машин ЗТК) визначає підвищення ефективності технологій. Суттєва (надмірна) різниця в пропускну здатності окремої ланки в порівнянні з попередньою це така різниця, зменшення якої дозволяє зменшити кількість машин ЗТК за рахунок раціональної зміни певних параметрів технологічних процесів.

Основні кроки аналізу пропускну здатності – це зіставлення пропускну здатності першої, другої і третьої ланок, та наступний вибір та аналіз альтернативних варіантів, що дозволяють подолати можливу суттєву різницю між їх значеннями. Ці кроки можна сформулювати в наступному вигляді:

1) визначити пропускну здатність окремих ланок та порівняти їх значення між собою;

2) проаналізувати можливість зменшення, а в окремих випадках і збільшення пропускну здатності другої та третьої ланки до гранично можливої – пропускну здатності першої або другої ланки при зменшенні (в окремих випадках при збільшенні) на одну або декілька одиниць транспортних засобів на перевезенні буряків за рахунок зміни тривалості обороту АТЗ;

3) запропонувати альтернативний варіант робочих параметрів певної ланки, який дозволяє усунути суттєву різницю її пропускну здатності з попередньою.

Отримані аналітичні залежності та експериментальні дані дають змогу розрахувати раціональні значення пропускну здатності окремих ланок перевантажувального технологічного ланцюга та при необхідності удосконалити раціональний склад ЗТК.

Необхідною умовою ефективної роботи ЗТК для перевантажувальної технології є виконання умови, при якій забезпечується максимальна пропускну здатність першої ланки «поле – бурякозбиральний комбайн», і не гальмується її робота з боку другої, а також з боку третьої ланки, що відображається наступними виразами:

$$N_1 \leq N_2, \quad (14)$$

$$N_1 \leq N_3, \quad (15)$$

Таким чином відсутність гальмування роботи першої головної ланки досягається раціональним режимом взаємодії першої і другої ланок, першої і третьої ланок.

Розглянемо варіант, коли пропускну здатність третьої ланки «НП – АТЗ» суттєво перебільшує пропускну здатність другої ланки. Проаналізуємо можливість зменшення пропускну здатності третьої ланки до гранично можливої – пропускну здатності першої ланки за рахунок зменшення на певну кількість автомобілів на перевезенні буряків. Для аналізу приймаємо умову граничну пропускну здатності для третьої ланки як

$$N_3^* = N_1, \quad (16)$$

де N_3^* – пропускна здатність третьої ланки зі зменшенням кількості АТЗ на Δn_A до $n_A^* = n_A - \Delta n_A$ та відповідним зменшенням тривалості циклового часу на Δt_A :

$$\Delta t_A = \frac{T_P \Delta n_A}{N_1} \text{ год.} \quad (17)$$

Зменшення кількості АТЗ на Δn_A потребує підвищення швидкості АТЗ до:

$$v_{T1} = \frac{2l_{ij}}{2l_{ij} / v_T - \Delta t_A} \quad (18)$$

Іншим варіантом зменшення тривалості обороту АТЗ може бути зменшення часу на завантаження та розвантаження АТЗ.

Приклад. Провести аналіз пропускної здатності окремих ланок технологічного ланцюга, який містить 1) три БК марки «Холмер», з техніко-експлуатаційними показниками: $W_{KP} = 125$ т/год., $q_B = 20$ т, $W_{BK} = 1600$ т/год. коефіцієнт використання часу зміни $\tau = 0,81$; 2) тракторні НП марки ТЗП-27, «Атлант» з трактором потужністю 220-250 к. с. та продуктивністю вивантажувального транспортера $W_{НП} = 600$ т/год., $q_{НП} = 20$ т; 3) АТЗ. Умови роботи: відстань перевезень буряків $l_{ij} = 15$ км, $v_T = 40$ км/год., час зміни $T_{3M} = 7$ год., $K_{3M} = 2,0$.

Рішення. Перевіряємо умову безперервної роботи ЗТК, яка має такий вигляд:

$$t_{PVX} + \frac{K_M q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{BK}})}{W_{НП}} \leq \frac{q_B}{W_{KP}}$$

$$t_{PVX} + \frac{K_M q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{BK}})}{W_{НП}} = 0,12 \text{ год}$$

$$\frac{q_B}{W_{KP}} = \frac{20}{125} = 0,16 \text{ год}$$

Тобто, необхідна умова виконується: $0,12 \text{ год} < 0,16 \text{ год}$.

Проводимо аналіз пропускної здатності окремих ланок.

1. Пропускна здатність першої ланки «поле-ЗК» визначається як

$$N_1 = \frac{m_K T_P}{t_{ц}} = \frac{3 \cdot 11,3}{0,19} = 178 \text{ бунк / п.д.},$$

де T_P – розрахунковий основний час робочого дня, який залежить від організації взаємодії роботи машин і визначається як

$$T_P = \tau_{3M} K_{3M} T_{3M} = 0,81 \cdot 2 \cdot 7 = 11,3 \text{ год.}$$

Тривалість робочого циклу БК:

$$t_{ц} = 1,1 [q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{BK}}) / W_{KP}] = 1,1 [20(1 + \frac{125}{1600}) / 125] = 0,19 \text{ год.}$$

2. Пропускна здатність другої ланки «БК – НП» знаходиться як

$$N_2 = \frac{n_H T_P}{t_{цH} \rho} = \frac{3 \cdot 11,3}{0,12 \cdot 1} = 282 \text{ бунк / п.д.},$$

де

$$t_{цH} = 0,07 + \frac{K_M q_B (1 + \frac{W_{KP}}{W_{BK}})}{W_{НП}} = 0,07 + \frac{1,5 \cdot 20(1 + \frac{125}{1600})}{600} = 0,12 \text{ год}$$

3. Пропускна здатність третьої ланки «НП-АТЗ» дорівнює:

$$N_3 = \frac{n_A T_P}{t_{цA}} = \frac{23 \cdot 11,3}{0,9} = 288 \text{ бунк / п.д.}$$

Кількість автомобілів або груп АТЗ для перевезення зерна визначиться як:

$$n_A = \frac{n_H t_{цA}}{t_{цH} \rho} = \frac{3 \cdot 0,9}{0,12 \cdot 1} = 23 \text{ од.},$$

де тривалість обороту АТЗ:

$$t_{цA} = \frac{K_M \cdot q_{НП}}{W_{НП}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{АВІВ} = \frac{1,5 \cdot 20}{600} + \frac{2 \cdot 15}{40} + 0,1 = 0,9 \text{ год.}$$

Отримані дані свідчать, що ЗТК забезпечує максимальну пропускну здатність першої ланки «поле – БК», оскільки відсутнє гальмування її роботи збоку другої та третьої ланок:

$$N_1 = 178 < N_2 = 282 \text{ бунк. / п.д.}$$

$$N_1 = 178 < N_3 = 288 \text{ бунк. / п.д.}$$

Пропускна здатність третьої ланки «НП – АТЗ» перебільшує пропускну здатність першої ланки, тому проаналізуємо альтернативний варіант перевезення із зменшенням кількості АТЗ на $\Delta n_A = 3$ од. до $n_{A1} = 20$ од. з одночасним зменшенням тривалості обороту (робочого циклу) автомобіля шляхом збільшення швидкості руху АТЗ.

Для аналізу приймаємо умову граничну пропускної здатності для третьої ланки як:

$$N_3^* = N_1 = 178 \text{ бунк / п.д.},$$

де N_3^* – пропускна здатність третьої ланки зі зменшенням кількості АТЗ на $n_{3MDO} \Delta n_A = n_A - n_{3M}$ та відповідним зменшенням тривалості циклового часу на Δt_A :

$$\Delta t_A = \frac{T_P \Delta n_A}{N_1} = \frac{11,3 \cdot \Delta n_A}{178} = 0,0635 \Delta n_A \text{ год.}$$

Зменшення АТЗ на 3 од. $\Delta n_A = 3$ потребує підвищення швидкості АТЗ до:

$$v_{T1} = \frac{2l_{ij}}{2l_{ij} / v_T - \Delta t_A} = \frac{2 \cdot 15}{2 \cdot 15 / 40 - 0,0635 \cdot 3} = 53,5 \text{ км / год}$$

Менша кількість АТЗ (20 од. замість 23 од.) забезпечить необхідну пропускну здатність третьої ланки «НП – АТЗ». В показаному прикладі раціональний альтернативний ЗТК містить 3 од. БК, 3 од. НП з тракторами і 20 од. АТЗ.

Висновки

1. Розроблена методика аналізу пропускної здатності збирально-транспортного комплексу для цукрових буряків, яка спрямована на пошук шляхів раціонального використання ресурсу машин в технологічному комплексі.

2. Проведений аналіз пропускної здатності збирально-транспортного комплексу з БК показує шляхи удосконалення параметрів транспортного процесу в технологічному комплексі збирально-транспортних робіт.

Список літератури

1. Волоха М. П. Моделирование механизированных технологических процессов выращивания и сбора буряков цукрових: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. НУБіП України. Київ, 2020. 343 с.

2. Шаар Д., Дрегер Д., Каленська С. Цукрові буряки (виращування, збирання, зберігання). Київ. ННЦ «ІАЕ». 2005. 340 с.

3. Измайлов А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. Москва. ФГНУ «Росинформагротех». 2007. 200 с.

4. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohienko M. M., Kulik V. P. Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

5. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.

6. Фришев С. Г., Козупиця С. І. Розробка ефективних технологій транспортування зерна від комбайнів: монографія. Київ. НУБіП України. 2015. 224 с.

7. Гречкосій В. Д., Войтюк В. Д., Шатров Р. В. Проективання технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 2014. 392 с.

References

1. Volokha M. P. (2020). Modeling of mechanized technological processes of planting and picking up beet: dis. ... Doctor Tech. Sciences: 05.05.11. NULES of Ukraine. Kyiv. 343.

2. Shaar D., Dreger D., Kalenska S. (2005). Sugar beets (growing, harvesting, storage). Kyiv. NNC «IAE». 340.

3. Izmailov A. Yu. (2007). Technologies and technical solutions to improve the efficiency of transport systems of the agro-industrial complex. Moscow. FGNU "Rosinformagrotech". 200.

4. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohienko M. M., Kulik V. P. (2020).

Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 60(1). 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

5. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 162.

6. Frishev S. G., Kozupitsya S. I. (2015). Development of efficient technologies for transporting grain from harvesters. Monograph. Kyiv. 224.

7. Grechkosiy V. D., Voytyuk V. D., Shatrov R. V. (2015). Design of technological processes in crop production: a textbook. Kyiv. 392.

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

С. Г. Фришев, М. П. Волоха, М. І. Ікальчик

Аннотация. В статье приведена методика анализа пропускной способности уборочно-транспортного комплекса машин для сахарной свеклы, которая направлена на поиск путей рационального использования ресурса машин.

Рассмотрен перегрузочный способ транспортировки урожая свеклы, особенностью которого является гибкость, адаптивность к погодноклиматическим и хозяйственным условиям во время уборки. При благоприятных погодных условиях и наличии достаточного количества автотранспортных средств (АТС) свекла, вывезенная с поля тракторным полуприцепом, перегружается в большегрузные АТС, которые находятся на дороге с края поля, и перевозится на сахарный завод. В случае изменения условий (в дождливую погоду, при переувлажненной почве или при недостаточном количестве АТС) в комплекс машин добавляется погрузчик-очиститель. ЗТК переходит на перевалочный способ работы.

Уборка и транспортировка свеклы рассмотрены как работа технологической цепи, состоящей из трех звеньев: «поле – свеклоуборочный комбайн (БК)», «БК – полуприцеп (ПП)», «ПП – АТС». Основные шаги анализа пропускной способности это определение пропускной способности первого, второго и третьего звеньев, их сравнение и следующий выбор и анализ альтернативных вариантов, позволяющих преодолеть возможную существенную разницу между их значениями. Проанализирована возможность уменьшения пропускной способности третьего звена до предельно возможной - пропускной способности первого звена за счет уменьшения на определенное количество автомобилей на перевозке свеклы с одновременным увеличением их технической скорости движения.

В анализе показаны пути совершенствования параметров транспортного процесса в технологическом комплексе уборочно-транспортных работ.

Ключевые слова: сахарная свекла, уборка, транспортировка, уборочно-транспортный комплекс,

бункерный комбайн, автомобильное транспортное средство, производительность.

ANALYSIS OF THROUGHPUT RATE OF
HARVESTING AND TRANSPORTATION COMPLEX
OF MACHINES FOR SUGAR BEET PRODUCTION

S. G. Fryshev, M. P. Volokha, M. I. Ikalchik

Abstract. The article presents a methodology for analyzing the throughput rate of a harvesting and transport complex of machines for sugar beet, which is aimed at finding ways of rational use of the resource of machines.

The reloading method of transporting the beet crop is considered, a feature of which is flexibility, adaptability to weather, climatic and economic conditions during harvesting. Under favorable weather conditions and the presence of a sufficient number of motor vehicles (MV), the beets removed from the field by a tractor semitrailer are reloaded into heavy MV located on the road from the edge of the field and transported to the sugar factory. If conditions change (in rainy weather, with waterlogged soil or with an insufficient number of vehicles), a loader-cleaner is added to the complex of machines. The complex switches to the transshipment method of work.

Harvesting and transportation of beets are considered as the work of the technological chain, which consists of three links: "field – beet harvester (BH)", "BH – semi-trailer (ST)", "ST – MV". The main steps of the throughput analysis are the determination of the throughput of the first, second and third links, their comparison, and the next selection and analysis of alternative options to overcome the possible significant difference between their values. The possibility of reducing the throughput of the third link to the maximum possible – the throughput of the first link by reducing by a certain number of vehicles for the transportation of beets with a simultaneous increase in their technical speed is analyzed.

The analysis shows ways to improve the parameters of the transport process in the technological complex of harvesting and transport operations.

Key words: sugar beet, harvesting, transportation, harvesting and transport complex, bunker harvester, motor vehicle, productivity.

С. Г. Фришев ORCID 0000-0001-6474-2191.

М. П. Волоха ORCID 0000-0002-0112-7324.

М. І. Ікальчик ORCID 0000 0001-7085-2952.

