

УДК 631.335

Р.Гевко, доктор техн.наук; І.Ткаченко, канд.техн.наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

О.Павелчак

Тернопільська академія народного господарства

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ПОВЕРХОНЬ КОРЕНЕПЛОДІВ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ОЧИСНИКІВ

Запропоновані методи визначення ймовірності взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників коренезбиральних машин з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів, та характеру руху коренеплодів.

Умовні позначення

S_k - повна площа поверхні коренеплоду, м²;
 P_1 - ймовірність взаємодії сферичної поверхні коренеплоду з робочим органом;
 P_2 - ймовірність взаємодії конічної поверхні коренеплоду з робочим органом;
 P_3 - ймовірність взаємодії хвостової частини коренеплоду з робочим органом;
 R - радіус основи кола та півкулі поверхні коренеплоду, м;
 L - твірна конуса поверхні коренеплоду, м;
 L_3 - довжина твірної зрізаного конуса поверхні коренеплоду, м;
 r - радіус меншої основи зрізаного конуса поверхні коренеплоду, м;
 l - твірна конуса хвостової частини коренеплоду.

Для досягнення максимального сепаруючого ефекту робочими органами бурякозбиральних машин при допустимому рівні пошкоджень коренеплодів першочерговим є питання виявлення їх найбільш травмонебезпечних зон. У зв'язку з цим необхідно визначити ймовірність взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів та характеру руху коренеплодів.

З аналізу літературних джерел [1,2] відомо, що основними факторами впливу на рівень пошкодження коренеплодів є швидкість їх ударної взаємодії з робочим органом, площа контакту коренеплід - очисник, жорсткість основи та сепаруючої поверхні робочого органу. При цьому вибір оптимальних параметрів очисників має забезпечити високу сепаруючу здатність коренеплодів, сильні механічні пошкодження яких згідно з агровимогами [3] не повинні перевищувати 5%. Однак при певних режимах роботи і заданих конструктивно-кінематичних параметрах очисника його взаємодія з хвостовою

частиною коренеплоду може призвести до глибоких пошкоджень або руйнувань тіла цукрового буряка, але ймовірність такої взаємодії може бути незначною. Отже, параметри робочих органів необхідно вибирати як з урахуванням фізико-механічних властивостей коренеплодів, так і мінімальної ймовірності такої взаємодії, при якій глибина пошкодження тіла коренеплоду не перевищує величини, встановленої агровимогами.

Ймовірність взаємодії коренеплодів з рифовими поверхнями робочих органів визначатимемо як добуток ймовірностей від контакту окремих поверхонь коренеплоду, центральних і бокових ударів, налиплого ґрунту на тіло буряка та його кутової швидкості обертання.

При розрахунку прийняті наступні припущення:

- коренеплід є ідеальним ізотропним тілом, що складається з півсфери та конуса;
- налиплий ґрунт знаходиться тільки на конусній частині коренеплоду;
- дотичними взаємодіями робочого органу на коренеплід нехтуємо, оскільки пошкодження від таких контактів є незначними;
- взаємодією коренеплодів між собою в процесі очищення, їх ударяннями до захисних еластичних фартухів нехтуємо, оскільки параметри жорсткості ударів від таких взаємодій є незначними, а площі контактів суттєво перевищують активні площі рифових поверхонь очисників.

При розрахунках коренеплід цукрового буряка умовно поділимо на три частини: голівка коренеплоду (I), бокове конусне тіло (II) і хвостова частина (III). Ця схема із зображенням варіантів розподілу сил ударних взаємодій від робочого органу подана на рис. 1.

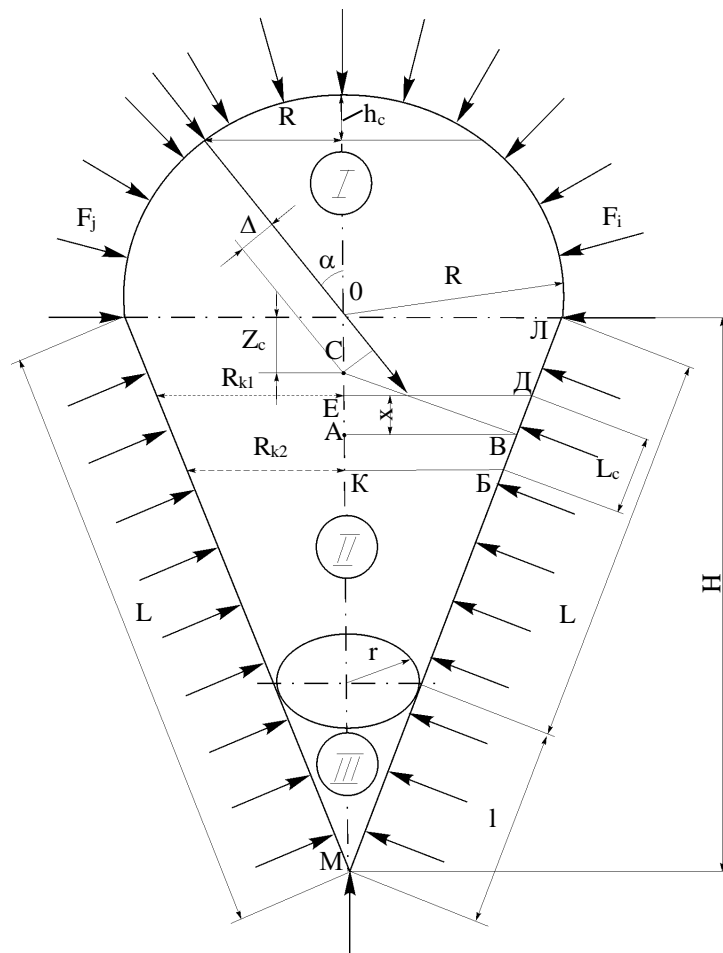


Рис. 1. Схема для визначення ймовірності взаємодії окремих поверхонь коренеплоду з робочими органами.

Попередньо визначимо ймовірність взаємодії частин коренеплоду з очисником залежно від площі їх бокових поверхонь.

Повна площа S_k поверхні коренеплоду, що складається з конуса та півсфери, дорівнює

$$S_k = \pi RL + 2\pi R^2 = \pi R(L + 2R). \quad (1)$$

Відповідно ймовірність взаємодії повної площі зовнішньої поверхні коренеплоду з очисним робочим органом дорівнює 1.

Бокові поверхні трьох частин коренеплоду відповідно визначаються так:

I - площа поверхні голівки коренеплоду;

$$S_1 = 2\pi R^2, \quad (2)$$

II - площа основного тіла конусної частини коренеплоду;

$$S_2 = \pi L_3 (R + r), \quad (3)$$

III - площа хвостової частини коренеплоду

$$S_3 = \pi rl. \quad (4)$$

Згідно з розподілом трьох частин поверхонь коренеплоду ймовірність P_1 його взаємодії з робочим органом сферичною поверхнею становитиме:

$$P_1 = \frac{S_1}{S_k} = \frac{2\pi R^2}{\pi R(L + 2R)} = \frac{2R}{L + 2R}. \quad (5)$$

Ймовірність взаємодії конусною поверхнею визначається:

$$P_2 = \frac{S_2}{S_k} = \frac{\pi L_3(R + r)}{\pi R(L + 2R)} = \frac{L_3(R + r)}{R(L + 2R)}. \quad (6)$$

Ймовірність взаємодії хвостовою частиною становить:

$$P_3 = \frac{S_3}{S_k} = \frac{\pi rl}{\pi R(L + 2R)} = \frac{rl}{R(L + 2R)}. \quad (7)$$

На основі аналізу відомих досліджень системи ґрунт-коренеплід [2], що складається з ґрунту і випадково розміщених в ній коренеплідів, а також характеру утворених у процесі їх вегетаційного періоду ущільнених зон, можна умовно прийняти, що $L=3l$. Це пояснюється тим, що щільність ґрунту біля коренеплоду на глибині 120...160 мм є максимальною, а далі починає спадати у бік хвостової частини. З іншого боку пошкодження хвостика коренеплідів у процесі їх сепарації не призводить до суттєвих втрат цукрової сировини.

Для визначення числових значень ймовірності взаємодії вищевказаних зон коренеплоду з робочим органом звернімося до розмірних і масових характеристик коренеплідів цукрових буряків. Згідно з [2] математичне сподівання діаметра D_k і довжини конусної частини H коренеплідів відповідно становлять $D_k=70...120$ мм і $H=210...240$ мм.

Користуючись відомими регресійними залежностями [1], ми визначили геометричні параметри для кондиційних коренеплідів: 1 - дрібні; 2 - середні; 3 - великі:

$$1 - R=20\text{мм}; H=80\text{мм}; L=82\text{мм}; L_3=61,5\text{мм}; r=5\text{мм}; l=20,5\text{мм}.$$

$$2 - R=45\text{мм}; H=155\text{мм}; L=161\text{мм}; L_3=121\text{мм}; r=11,25\text{мм}; l=40\text{мм}.$$

$$3 - R=70\text{мм}; H=230\text{мм}; L=240\text{мм}; L_3=180\text{мм}; r=17,5\text{мм}; l=60\text{мм}.$$

Таким чином, розрахунки за залежностями (5); (6) і (7) дозволили встановити наступний розподіл ймовірностей:

$$P_1^1 = 0,328; \quad P_2^1 = 0,630; \quad P_3^1 = 0,042;$$

$$P_1^2 = 0,358; \quad P_2^2 = 0,602; \quad P_3^2 = 0,040;$$

$$P_1^3 = 0,368; \quad P_2^3 = 0,592; \quad P_3^3 = 0,039.$$

Нижній індекс у позначенні ймовірності вказує на зону тіла коренеплоду, а верхній - на його розмір.

Наступним етапом розрахунків було визначення розподілу ймовірностей взаємодії при центральних і бокових ударах коренеплодів з боку очисних робочих органів.

З аналізу досліджень [1] відомо, що найбільше тіла коренеплодів пошкоджуються в результаті їх ударних взаємодій з поверхнями очисних робочих органів при виникненні центральних ударів, коли напрям зусилля спрямований у зону центру мас коренеплоду цукрового буряка. При визначенні ймовірності виникнення центральних і бокових ударів умовно вважатимемо, що центральним буде удар, коли напрямок зусилля відхилятиметься від об'єданого центру мас коренеплоду не більше, ніж на 6% від його максимального габаритного розміру $R + H$ (рис.1) для удару в голівку коренеплоду і на 4% для удару в його конусну частину. Дане числове значення отримане на основі багатократного кидання гумового імітатора коренеплоду з незначної висоти (у межах 50мм) на ребро металевої пластини [4]. При цьому позначками відзначалися граничні межі, при яких спостерігалось чітке повертання коренеплоду після ударної взаємодії, як у бік хвостової частини, так і його голівки.

Для визначення розташування центру мас Z_c (рис.1) коренеплоду цукрового буряка відносно його голівки скористаємося відомою аналітичною залежністю [5]:

$$Z_c = \frac{H^2 - 3R^2}{4(2R + H)}.$$

З розрахунків випливає, що значення Z_c збільшується при зростанні габаритних розмірів коренеплодів, і його абсолютна величина для трьох вищевказаних варіантів розподілу геометричних параметрів становить: $Z_c^1 = 10,8$ мм; $Z_c^2 = 18,3$ мм; $Z_c^3 = 25,8$ мм.

Щоб визначити плече Δ між напрямком зусилля удару в напівсферичну голівку коренеплоду і його об'єднаним центром мас звернімося до рис.1. Нехай напрям зусилля розташований під певним кутом α до повздожньої вісі коренеплоду. Враховуючи те, що для голівки коренеплоду відстань Δ не повинна перевищувати $0,06(R + H)$, радіус R_c її сегментної поверхні визначаємо з подібності трикутників:

$$R_c = R \frac{\Delta}{Z_c} = 0,06R \frac{(R + H)}{Z_c}. \quad (8)$$

Висота h_c сегментної частини голівки коренеплоду

$$h_c = R - \sqrt{R^2 - R_c^2} = R \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R + H))^2}{Z_c^2}} \right\}. \quad (9)$$

Використовуючи відому залежність для визначення сегментної поверхні $S_{сегм} = 2\pi R_c h_c$, а також враховуючи залежності (8) і (9), кінцево площа поверхні голівки коренеплоду, при взаємодії з якою удар буде центральним, визначається

$$S_{сегм} = 2\pi R \frac{0,06(R + H)}{Z_c} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R + H))^2}{Z_c^2}} \right\}. \quad (10)$$

Тоді залежність для визначення ймовірності виникнення центрального удару в сферичну поверхню виглядатиме так:

$$P_1 = \frac{0,06(R + H)}{Z_c} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R + H))^2}{Z_c^2}} \right\}. \quad (11)$$

Для розгляду трьох варіантів з урахуванням визначених значень Z_c розрахункові числові значення P_1 дорівнюватимуть: $P_1^1 = 0,094$; $P_1^2 = 0,161$; $P_1^3 = 0,198$.

Насправді ймовірність виникнення центральних ударів у голівку коренеплоду більша, оскільки її поверхня не має форми ідеальної півсфери. Також при виникненні бокових ударів величина кута тертя в парі робочий орган-коренеплід переважатиме кут, що виникатиме між напрямком ударного зусилля та лінією, що з'єднує точку удару з центром мас коренеплоду, а даний фактор гальмуватиме процес його провертання. Однак наявність залишків гички на голівці коренеплоду частково демпфуватиме ударне навантаження, що зменшить ймовірність виникнення контакту між тілом буряка і робочим органом.

Враховуючи те, що найбільше коренеплоди травмуються при їх взаємодії з робочими органами, що мають відносно гострі елементи поверхонь, розрахунки виконані для точкового контакту.

Остаточні висновки та рекомендації можна подати після комплексу експериментальних досліджень у лабораторних умовах з реальними коренеплодами та їх імітаторами. Для визначення ймовірності виникнення центральних ударів навантажень в основу конусної частини коренеплоду визначимо площу її бокової поверхні. Аналогічно (3) вона становить:

$$S_{бок} = \pi L_c (R_{к1} + R_{к2}).$$

Виведемо залежності для визначення L_c , $R_{к1}$, $R_{к2}$. Згідно з вищевикладеними обґрунтуваннями довжина твірної зрізаного конуса становить $L_c = 0,08(R + H)$.

Радіуси більшої $R_{к1}$ та меншої $R_{к2}$ основ зрізаного конуса становлять:

$$R_{к1,к2} = \frac{\frac{R}{L} (H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}} \left(H - Z_c - \frac{R^2 \cdot (H - Z_c)}{2L^2} \right) \pm 0,02 \frac{H \cdot (R + H)}{L}}{H - Z_c - \frac{R}{L^2} (H - Z_c)}. \quad (12)$$

Таким чином, залежність для визначення бокової поверхні конусної частини коренеплоду виглядає так:

$$S_{бок} = 0,16\pi \frac{R}{L} (R + H) (H - Z_c) \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}. \quad (13)$$

Враховуючи, що площа основного тіла конусної частини коренеплоду дорівнює $S_n = \pi L_3 (R + r)$, ймовірність виникнення центрального удару в його бокову поверхню визначається із залежності:

$$P = \frac{S_{бок}}{2 S_n} = \frac{0,16R (R + H) (H - Z_c) \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L \cdot L_3 (R + r)}. \quad (14)$$

На довжині твірної від 0 до $3L/4$ залежність (14) виглядає так:

$$P_2 = \frac{0,16R (R + H) (H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L \cdot \frac{3L}{4} \left(R + \frac{R}{4} \right)} = \frac{0,17 (R + H) (H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L^2}. \quad (15)$$

З аналізу розмірних характеристик коренеплодів і можливих зон виникнення центральних ударів встановлено, що такі удари можуть виникати лише на конусній поверхні тіла коренеплоду на довжині твірної від 0 до $L/4$. Тоді на даній поверхні ймовірність виникнення центрального удару з урахуванням (14) визначається як

$$P_2 = \frac{0,36 \left(\frac{R+H}{L} \right) \left(\frac{H-Z_c}{L} \right) \sqrt{1 - \frac{R^2}{H^2}}}{2} \quad (16)$$

На основі розрахунків для трьох варіантів розмірних характеристик коренеплодів за залежністю (15) встановлено

$$P_2^1 = 0,169; \quad P_2^2 = 0,172; \quad P_2^3 = 0,173,$$

а за залежністю (16)

$$P_2^1 = 0,359; \quad P_2^2 = 0,365; \quad P_2^3 = 0,366.$$

Ймовірність виникнення центральних ударів у хвостову частину коренеплоду практично дорівнює нулю.

У процесі взаємодії коренеплоду з робочими органами досить важливим фактором, що впливає на глибину пошкоджень тіла буряків, є наявність на їх поверхні налиплого ґрунту, що виконує функцію так званого демпферу в процесі ударної взаємодії. Розподіл налиплого ґрунту, а також наявність на голівці коренеплодів залишків гички, аналітичній оцінці не підлягає, а тому визначимо його на основі відомих досліджень, а також візуальних спостережень розподілу налиплого ґрунту на коренеплодах виконаних і очищених бурякозбиральними машинами. При проведенні даної оцінки необхідно виявити найбільш незахищені (чисті від налиплого ґрунту і залишків гички) зони поверхонь коренеплодів, що взаємодіють з робочими органами.

З попереднього аналізу встановлено, що центральний удар у сферичну голівку коренеплоду виникає на його вершині, висота сегментної частини якої визначається із залежності (9). З попередніх досліджень відомо, що для різних розмірних характеристик коренеплодів математичне очікування товщини розташування залишків гички, що захищають поверхню коренеплодів від безпосередньої взаємодії з робочими органами, знаходиться в межах 8,0... 21,4 мм. Застосовуючи залежність (9) для різних геометричних параметрів коренеплодів, визначимо висоту h_c їх сегментної частини, при взаємодії з якою удар буде центральним:

$$\text{дрібні: } R=20\text{мм}; H=80\text{мм}; Z_c = 10,8\text{мм} \rightarrow h_c^1 = 3,37\text{мм};$$

$$\text{середні: } R=45\text{мм}; H=155\text{мм}; Z_c = 18,3\text{мм} \rightarrow h_c^2 = 11,02\text{мм};$$

$$\text{великі: } R=70\text{мм}; H=230\text{мм}; Z_c = 25,8\text{мм} \rightarrow h_c^3 = 19,85\text{мм}.$$

З аналізу можна констатувати, що в зоні виникнення центральних ударів на голівці коренеплодів їх чиста поверхня з робочими органами безпосередньо не взаємодітиме. Налиплий ґрунт захищає голівки коренеплодів приблизно на 40%, оскільки навіть при їх розташуванні у ґрунті (безгербіцидна технологія вирощування цукрових буряків) у період вегетації щільність ґрунту біля поверхні голівки буде незначною порівняно з конусною частиною тіла буряка. Саме даний фактор визначає кількість налиплого ґрунту на поверхні коренеплоду при його очищенні [2].

Щодо конусної частини коренеплоду, то, як показали візуальні спостереження очищених коренеплодів, що переміщуються в технологічному руслі скребоквих транспортерів, розподіл налиплого ґрунту на боковому конусному тілі буряка (II, рис. 1) є нерівномірним. Це підтверджує і щільність розподілу ґрунту по глибині росту коренеплоду. Аналізом встановлено, що на висоті від голівки коренеплоду, тобто від 0 до $L/4$, щільність ґрунту в середньому в 2 рази менша, ніж щільність ґрунту на висоті від $L/4$ до $3L/4$. Таким чином, можна припустити, що на конусній частині коренеплоду від 0 до $L/4$ чиста поверхня тіла буряка знаходиться в межах 70%, а на довжині від $L/4$ до $3L/4$ – 40%. Чиста поверхня хвостової частини знаходиться в межах 60%.

Оскільки налиплий ґрунт на конусній частині коренеплоду розташовується нерівномірно, то при визначенні ймовірностей взаємодії частин буряка з робочими

органами поділимо основне конусне тіло ще на дві частини відповідно з довжинами твірних від 0 до $L/4$.

При визначенні ймовірності взаємодії окремих частин різних кондиційних коренеплодів з робочими органами встановимо виникнення на їх поверхні центральних і бокових ударів (див. табл. 1).

При аналізі результатів досліджень нас в першу чергу цікавить ймовірність виникнення центральних ударів у чисту поверхню коренеплоду, оскільки такі удари викликають найбільші пошкодження тіла цукрового буряка. З таблиці 1 видно, що центральних ударів у півсферичну поверхню голівки коренеплоду та його хвостову частину практично нема. Також відсутні центральні удари в нижню конусну частину коренеплоду. Ймовірність виникнення центрального удару у верхню конусну частину на відстані від 0 до $L/4$ близька до 0,07. Отже, у процесі очищення коренеплоду його взаємодія з робочим органом характеризується 7% ударних контактів чистою поверхнею, на якій відбуватимуться центральні удари, що найбільш небезпечно з точки зору виникнення сильних механічних пошкоджень цукрових буряків.

Отже, обмеження за сильними механічними пошкодженнями цукрових буряків (до 5%) потребують вибору таких конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів, які забезпечили б мінімальні пошкодження коренеплодів при їх взаємодії верхньою конусною частиною із сепаруючими поверхнями. Розробляючи методики для експериментального дослідження ступеня пошкодження коренеплодів, необхідно орієнтуватися на найбільш травмонебезпечні зони цукрових буряків і для них вибирати параметри робочих органів.

Таблиця 1. Ймовірність взаємодії частин тіла коренеплоду з робочими органами

Зона контакту			Розміри коренеплодів		
			дрібні	середні	Великі
Півсфера	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0,031	0,058	0,073
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,178	0,180	0,177
		В захищену поверхню	0,119	0,120	0,118
Конус $0 - L/4$	Центральний удар	В чисту поверхню	0,075	0,072	0,072
		В захищену поверхню	0,032	0,031	0,031
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,133	0,126	0,124
		В захищену поверхню	0,057	0,054	0,053
Конус $L/4 - 3L/4$	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0	0	0
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,133	0,127	0,125
		В захищену поверхню	0,200	0,191	0,187
Хвостова частина	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0	0	0
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,025	0,024	0,024
		В захищену поверхню	0,017	0,016	0,016

Висновки

Визначення ймовірності взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів та характеру руху коренеплодів дозволять підвищити якісні показники роботи бурякозбиральних машин.

The determination methods of interaction probability of different roots surfaces with the working cleaner members of root-harvesting machines taking into account the stuck ground, central and side impacts and the character of roots movement are proposed in this article.

Література

1. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: Конструювання і розрахунок. - Тернопіль: Поліграфіст, 1997. -120с.
2. Свеклоуборочные машины: (Конструирование и расчет) / Л.В.Погорелый, Н.В.Татьянко, В.В.Брей и др.; Под общ. ред. Л.В.Погорелого. - К.: Техніка, 1983. -168 с.
3. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. –К.: Держстандарт України, 1993. –18 с.
4. Булгаков В.М., Павелчак О.Б., Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г. Методика оцінки ступеня пошкодження коренеплодів коренезбиральною машиною // Збірник наукових праць національного аграрного університету. Том 7 "Механізація сільськогосподарського виробництва".-Київ: НАУ, с. 14-19.
5. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б.Гевко, І.Г.Ткаченко, С.В.Синій, В.М.Булгаков, Р.М.Рогатинський, О.В.Павелчак. - Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

Одержано 25.01.01 р.