

# Механізація

УДК 631.35:633.78

**С.І. Мельник**  
к.е.н., професор  
**А.С. Малиновський**  
д.е.н., професор  
**В.М. Стельмах**  
к.т.н., с.н.с.  
**О.Ю. Романишин**  
к.т.н., доцент  
**О.Д. Муляр**  
к.с.-г.н.

Житомирський національний агроєкологічний університет

## **ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦИКОРІЮ – ОСНОВА РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБИРАННЯ**

*Досліджено фізико-механічні і розмірні характеристики коренеплодів районованого в господарствах України сорту цикорію «Уманський-99». Отримані результати дадуть змогу проводити подальшу наукову роботу з розробки механізованої технології та технічних засобів зі спеціальними робочими органами, з обґрунтуванням їх параметрів і режимів роботи для викопування крихких коренеплодів типу цикорію.*

### **Постановка проблеми**

Основне завдання сільськогосподарського виробництва – забезпечення потреб населення в продуктах харчування, а промисловості – в сировині. Важлива роль в цьому належить вирощуванню нетрадиційних коренеплодів, особливо цикорію. Цикорій відноситься до невибагливих рослин, яка може при дотриманні певних умов вирощування приносити значні прибутки. Завдяки стійкості рослини до хвороб і шкідників захисні заходи із застосуванням різних ядохімікатів не потребуються. Тому продукція, що виробляється з цикорію, є екологічно чистою і має велике значення в зв'язку зі зростаючим потенціалом використання продуктів цикорію у медицині.

Враховуючи високий біологічний потенціал продуктивності цикорію кореневого, його народногосподарське значення, в Україні слід налагодити промислове виробництво сировини, яка вкрай необхідна багатьом галузям промисловості, перш за все, харчовій, фармацевтичній, кондитерській та ефірно-масляній.

Недосконалість існуючих технологій в Україні призводить до значних затрат коштів і великих втрат коренеплодів цикорію при збиранні. Це пояснюється низькою механізацією технологічного процесу вирощування і, насамперед, процесу викопування коренів, що обумовлено специфічними фізико-механічними властивостями коренеплодів цикорію. Для вирішення

поставлених проблем слід розробити сучасну комплексну технологію вирощування і технічні засоби для збирання цикорію кореневого.

Вирішення даної проблеми, згідно з договором з Міністерством аграрної політики України і відповідно до бюджетної програми 2801050 «Прикладні наукові та науково-технічні розробки, виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері розвитку агропромислового комплексу, фінансова підтримка наукових кадрів», розпочато вченими Житомирського національного агро-екологічного університету.

### **Аналіз останніх досліджень та постановка завдання**

Цикорієм, його селекцією, технологією посіву і вирощуванням займаються науковці Інституту коренеплідних культур (м. Умань) і Хмельницької державної сільськогосподарської дослідної станції. За останні роки ними досягнуто значних успіхів у селекції цикорію. У 2001 році проведено реєстрацію й районовано в цикоросіючих господарствах України новий сорт цикорію з підвищеним вмістом інуліну – «Уманський-99». Частково вказаними науково-дослідними установами було вирішено проблему посіву і вирощування цикорію кореневого [1, 2], але повністю залишено поза увагою основне питання – розробка механізованої технології та технічних засобів для збирання цикорію кореневого [3]. Вирішення поставленої задачі – основне завдання колективу вчених Житомирського національного агро-екологічного університету.

Для створення механізованої технології збирання цикорію кореневого, розробки робочих органів, обґрунтування їх параметрів і режимів роботи, в першу чергу, необхідно встановити властивості коренеплідів основного районованого сорту цикорію «Уманський-99», а саме – його фізико-механічні (критичні зусилля на згин, кручення, розтягування, ступінь ударної в'язкості, коефіцієнти тертя коренів на різних матеріалах) і розмірні характеристики.

### **Об'єкти та методика досліджень**

Об'єктом досліджень є коренеплоди цикорію сорту «Уманський-99», а саме – їх розмірні і фізико-механічні характеристики. Дослідження проводились на цикорії, вирощеному в господарствах Житомирської та Хмельницької областей. Визначення фізико-механічних характеристик проводилось згідно зі стандартними методиками. При визначенні критичного зусилля на кручення використовували установку КМ-50, величину ударної в'язкості визначали на маятниковому копрі БКМ-5, коефіцієнти тертя – на пристрої Желіговського; коренеплоди з ґрунту витягували спеціально розробленим пристроєм, що одночасно дозволяє заміряти зусилля тертя коренів.

### **Результати досліджень**

В результаті досліджень встановлено, що зусилля тертя коренів цикорію прямо пропорційно залежить від довжини останніх (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1. Зусилля терєблення невідкопаних коренеплодів цикорію (сорт «Уманський-99»)

Довжина коренеплодів, см	Зусилля терєблення, кгс
до 20	33
20–25	39
25–30	46
понад 30	52

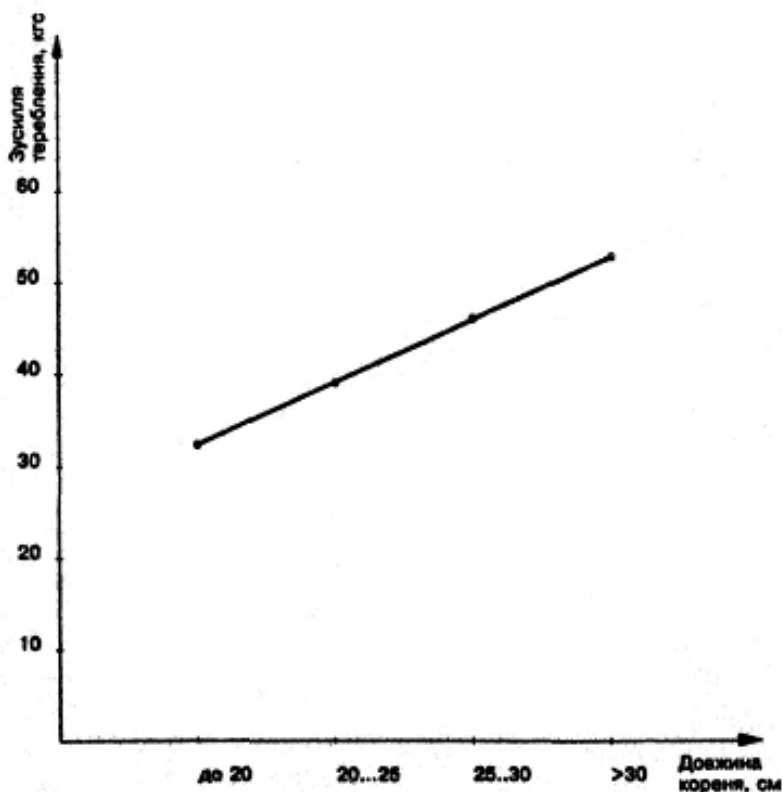


Рис. 1. Залежність зусилля терєблення від довжини кореня

Збільшення довжини кореня на 1 см вимагає збільшення зусилля терєблення у середньому на 1,27 кгс.

Розмірні характеристики з викопаних коренів знімалися за схемою, що наведена на рис. 2.

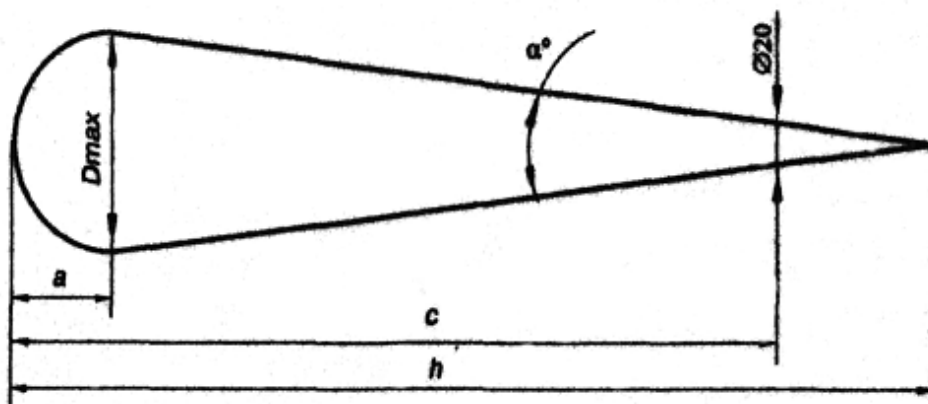


Рис. 2. Схема обміру коренів цикорію

Таблиця 2. Основні розміри коренеплодів цикорію (сорт «Уманський-99»)

Розмірні характеристики	Значення параметра в досліді		
	мінімальне	середнє	максимальне
Загальна довжина викопаного кореня (h), см	15	25,3	41,5
Довжина продуктивної частини кореня (C), см	13,2	18,95	27
Максимальний діаметр кореня (D), см	3,9	5,7	7,3
Висота головки (a), см	2,4	4,2	5,2
Конусність, $\alpha^{\circ}$	8,5	11,8	16,5

Як свідчать дані табл. 2, конусність коренів районаного сорту «Уманський-99» коливається в межах від  $8,5^{\circ}$  до  $16,5^{\circ}$ , загальна довжина коренів може сягати понад 40 см.

Викопування можна обмежити глибиною до 30 см, тому що продуктивна частина коренів (діаметром більше 2 см) залягає на глибині від 13,5 до 30 см (табл. 3).

В такому випадку буде повністю викопуватись близько 97,7 % коренів, що придатні для переробки; 2,3 % коренів викопуватиметься не на всю довжину, оскільки вони залягають глибше 30 см і це становитиме 2,3 % загального врожаю.

Таблиця 3. Глибина залягання продуктивної частини коренів

Глибина залягання коренів цикорію, см	Відсоток залягання, %
до 25	88,4
25–30	9,3
більше 30	2,3

Вивчення міцності коренеплодів цикорію розпочинали з визначення руйнівної сили при його вертикальному розтягуванні статичним методом (рис. 3).

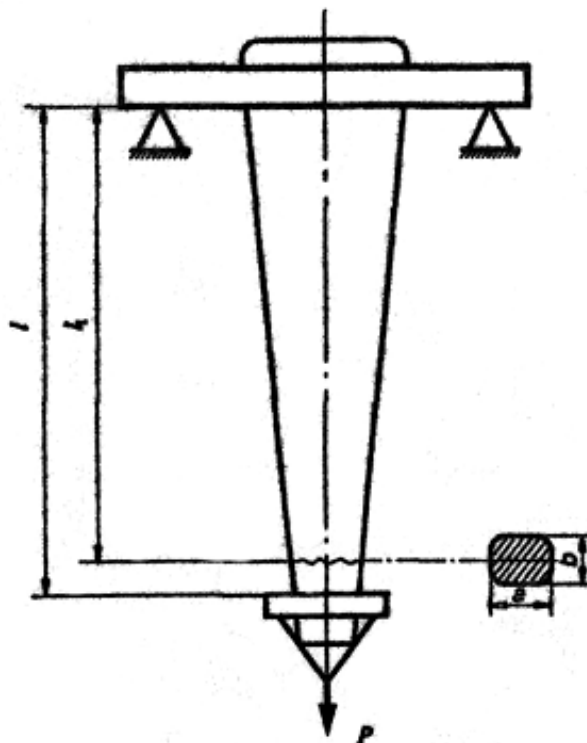


Рис. 3. Схема навантаження на розтягування

Встановлено, що корінь цикорію, як правило, руйнується у районі нижньої опори, а форма відриву має чіткий овальний переріз.

Значення руйнівних зусиль коренеплодів цикорію наведені у табл. 4.

Таблиця 4. Характеристики коренів цикорію при дослідженні на розтягування

l, мм	l <sub>1</sub> , мм	a, мм	b, мм	P, кг	$\sigma$ , кг/см <sup>2</sup>
183	170	20	18	18	6,4
196	180	22	16	16	5,79
160	155	16	12,6	8,75	5,53
200	200	16	14	13	7,39
220	220	15	12	9	6
290	290	12,5	10	7	7,13
250	250	14	12	11	8,34
210	210	18	16	14,5	6,4
230	196	22	16	16	5,79

*Середнє значення вертикальних руйнівних зусиль в досліді становило  $\Sigma = 6,53$  кг/см<sup>2</sup>*

Як бачимо, величина вертикальної руйнівної сили досить значна. Допустиме навантаження коренеплодів цикорію на розрив знаходиться в межах 5,53–8,34 кг/см<sup>2</sup>. Отже корінь цикорію може витримувати значні вертикальні навантаження.

Дослідження коренеплодів цикорію на згинання проводили згідно зі схемою, що наведена рис. 4.

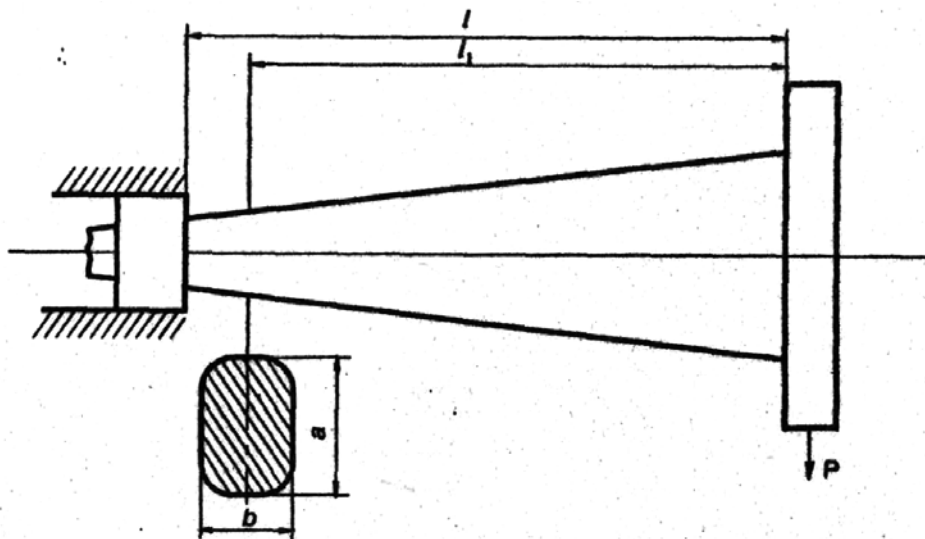


Рис. 4. Схема навантаження на згинання

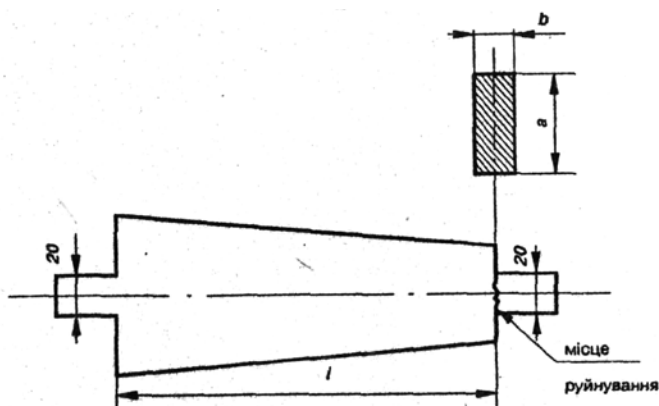
Результати визначення руйнівного зусилля на згинання наведені у табл. 5.

Таблиця 5. Характеристики коренів цикорію  
при дослідженні на згинання

Маса кореня, кг	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$P$ , кг
0,195	200	200	23	23	1,0
0,160	165	165	29	23	1,6
0,150	145	143	31	23	1,8
0,145	120	119	33	29	2,3
0,230	220	220	26	22	0,9
0,210	180	180	21	18	0,42
0,190	160	160	24	22	0,65
0,215	210	210	17	15	0,3
0,200	190	190	20	19	0,4
0,210	170	170	22	16	0,7
0,200	150	150	28	23	1,9
0,200	150	150	26	21	1,5

За результатами досліджень можна зробити висновок, що допустиме зусилля на згинання кореня цикорію в десятки разів менше від допустимого зусилля на розтягування. Тому основне зусилля при тербленні повинне прикладатися у напрямку вертикально вгору, вздовж осі кореня й при цьому не перевищувати допустиме зусилля  $\sigma = 5,5 \text{ кг/см}^2$ .

При проведенні експериментальних досліджень на кручення використовували установку КМ-50. Для цього брали свіжовикопані корені, кінці яких для кращої фіксації в машині підрізали по товщині до 20 мм (рис. 5).

Рис. 5. Ескіз зразка кореня цикорію для проведення досліджень  
на кручення

Закріпивши корінь, вмикали установку, поступово збільшуючи момент кручення. При цьому фіксували кут повороту  $\varphi^\circ$  і момент кручення  $M_{кр}$ . Далі підраховували модуль зсуву  $\sigma$  і допустиме зусилля кручення  $\tau$  (табл. 6).

Таблиця 6. Характеристики коренів цикорію при дослідженні на кручення

$l$ , мм	$b$ , см	$a$ , см	$M_{кр}$ , кг·М	$\varphi^0$	$\tau$ , кг/см <sup>2</sup>	$\sigma$ , кг/см <sup>2</sup>
100	1,5	2,4	0,18	95	0,0685	0,187
80	1,5	2,4	0,18	58	0,154	0,956
148	1,5	2,3	0,18	66	0,154	1,55
105	1,9	3,2	0,18	80	0,0758	0,353
111	1,6	2,6	0,18	68	0,128	0,952
114	1,5	2,4	0,18	62	0,154	1,253
108	1,7	2,9	0,18	74	0,1019	0,652
92	1,7	2,8	0,18	69	0,1149	0,6545
Середнє значення				71,5	0,1189	0,8197

Модуль зсуву ( $\sigma$ ) кореня цикорію знаходиться в межах від 0,187 до 1,55 кг/см<sup>2</sup>, а допустиме зусилля кручення ( $\tau$ ) – в межах від 0,0685 до 0,154 кг/см<sup>2</sup>. Тобто, корінь цикорію при викопуванні здатний витримувати незначні крутильні зусилля.

Величину ударної в'язкості кореня цикорію визначали на маятниковому копрі БКМ-5. Для цього з кореня у трьох його частинах (верхній, середній та нижній) вирізали зразки за схемою (рис. 6).

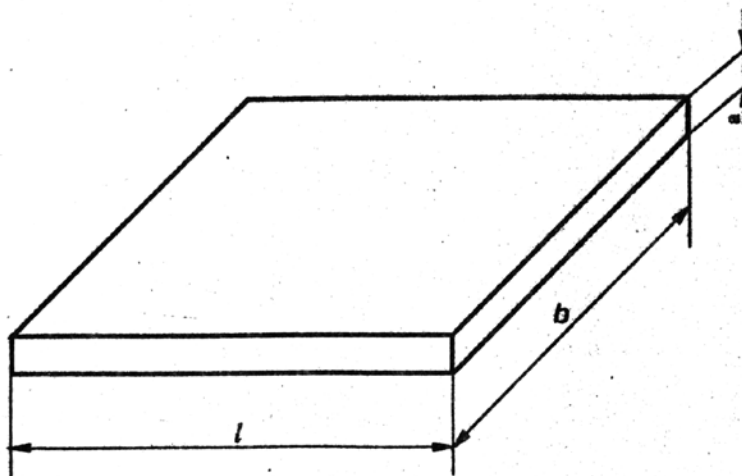


Рис. 6. Ескіз зразка для визначення ударної в'язкості кореня цикорію

Величину ударної в'язкості кореня визначали за формулою  
 $k = A/F$  (кг·см/см<sup>2</sup>),

де  $k$  – величина ударної в'язкості, кг·см/см<sup>2</sup>;



$A$  – робота руйнування зразка за шкалою копра, кг/см;  
 $F$  – площа, см<sup>2</sup>.

Отримані результати досліджень наведені в табл. 7.

Таблиця 7. Результати досліджень ударної в'язкості цикорію  
 кореневого (сорт «Уманський-99»)

Місце розташування зразка	$a$ , см	$b$ , см	$l$ , мм	$A$ , кг·см	$k$ , кг·см/см <sup>2</sup>	Середнє значення, $k$ , кг·см/см <sup>2</sup>
1. Вгорі	1,2	1,1	80	1,75	1,326	1,7
	1,03	1,12	80	1,5	1,3	
	1,15	1,35	100	2	1,228	
	1,1	1,8	100	3	1,515	
	1,3	1,5	100	4,5	2,3	
	1,2	1,6	100	3	1,562	
	1,1	1,1	100	1,375	1,03	
	1,1	1,5	100	1,75	1,25	
	1,15	1,35	100	4,25	2,17	
	1,2	1,05	100	2	1,59	
2. Посередині	1,3	1,5	100	2,5	1,67	1,452
	0,9	0,9	100	1,25	1,54	
	1,3	1,3	100	2,25	1,33	
	1,25	1,2	100	1,75	1,17	
	1,35	1,4	80	2,5	1,452	
	1,1	1,05	80	1,75	1,515	
	1,15	1,25	80	3,75	2	
	1,5	1,25	80	2,5	1,3	
3. Внизу	1,2	1,7	80	4,5	2,20	1,95
	1,6	1,3	80	4,25	2,04	
	1,6	1,3	80	4,5	2,16	
	1,2	1,2	80	2,5	1,736	
	1,1	1,2	100	2,5	1,89	
	0,99	0,61	100	1,25	2,06	
	1,14	1,34	100	2,25	1,47	
	1,1	1,3	100	2,25	1,29	

Середнє значення за дослідом  $k = 1,701$ .

Досліди показали, що корінь цикорію дуже крихкий. Ударна в'язкість кореня ( $k = 1,701$  кг·см/см<sup>2</sup>) у декілька разів менша від найкрихкіших матеріалів (фенопласт ЭЗ-340-65 –  $k = 3,5$  кг·см/см<sup>2</sup>; амінопласт –  $k = 4,0$  кг·см/см<sup>2</sup>). Тому при збиранні цикорію кореневого слід уникати ударних навантажень.

При визначенні коефіцієнта тертя виходили з того, що він залежить від властивості зразка, матеріалу та його технологічної обробки. В експерименті швидкість ковзання зразка цикорію брали рівною 5 мм/с. Навантаження створювалось масою кореня. Визначали коефіцієнт тертя спокою  $f_0$  і коефіцієнт тертя руху  $f$  (табл. 8).

Як бачимо, найбільший коефіцієнт тертя кореня на гумовій основі ( $f = 0,618$ ;  $f_0 = 0,85$ ), а найменший – на пластмасовій ( $f = 0,349$ ;  $f_0 = 0,43$ ).

При випробуванні зразків на пристрої Желіговського визначили коефіцієнт тертя на сталій та латунній поверхні  $f_x = 0,16$ . Коефіцієнт тертя значно знижується при зволоженні зразка.

Таблиця 8. Результати досліджень при визначенні коефіцієнтів тертя

Маса кореня 0,47 г	Матеріал контртіла	Коефіцієнт тертя	Середнє значення коефіцієнта тертя
Коефіцієнт тертя руху	Пластмаса	0,298	$f = 0,349$
Коефіцієнт тертя спокою		0,319	
		0,298	
		0,394	
		0,384	
		0,404	$f_0 = 0,43$
Коефіцієнт тертя руху	Гума	0,638	$f = 0,618$
Коефіцієнт тертя спокою		0,691	
		0,638	
		0,609	
		0,553	
		0,609	$f_0 = 0,85$
Коефіцієнт тертя руху	Сталь	0,4468	$f = 0,429$
Коефіцієнт тертя спокою		0,489	
		0,4042	
		0,426	
		0,388	
		0,425	$f_0 = 0,46$

### Висновки та перспективи подальших досліджень

В результаті проведених досліджень встановлено, що зусилля викопування коренеплодів цикорію прямо пропорційно залежить від їх довжини; збільшення довжини кореня на 1 см викликає збільшення зусилля тертя у середньому на 1,27 кгс.

Виходячи з експериментальних даних, встановлено, що викопування коренеплодів цикорію сорту «Уманський-99» слід проводити на глибину до 30 см. Це дасть змогу збирати до 98,0 % продуктивної частини коренів.

Корінь цикорію здатний витримувати значні вертикальні навантаження. Допустиме навантаження його на розрив перебуває у межах від 5,53 до 8,34 кг/см<sup>2</sup>, а допустиме зусилля на згин – в десятки разів менше.

Модуль зсуву кореня цикорію знаходиться в межах від 0,187 до 1,55 кг/см<sup>2</sup>; допустиме зусилля кручення – від 0,0685 до 0,154 кг/см<sup>2</sup>, тобто корінь цикорію може витримувати незначні зусилля кручення.

Ударна в'язкість кореня цикорію дорівнює  $k = 1,7$  кг·см/см<sup>2</sup>, отже корінь цикорію крихкий і при збиранні слід уникати ударних навантажень.

Коефіцієнт тертя руху  $f$  і спокою  $f_0$ , кореня цикорію на різних покриттях дорівнює:

на пластмасі  $f = 0,349; f_0 = 0,43;$

на сталі  $f = 0,429; f_0 = 0,46;$

на гумі  $f = 0,618; f_0 = 0,85.$

Таким чином, відповідно до результатів досліджень, для розробки механізованої технології та технічних засобів викопування цикорію кореневого, необхідні робочі органи, що здатні звести до мінімуму дію на корені згинаючих та крутильних зусиль і які не створюватимуть зусиль, що перевищуватимуть допустиме зусилля розтягування кореня  $\sigma = 5,5$  кг/см<sup>2</sup>, і при цьому викопуватимуть коренеплоди з глибини до 30 см.

Виходячи з отриманих експериментальних даних фізико-механічних і розмірних характеристик коренеплодів районowanego сорту цикорію «Уманський-99», вченими Житомирського агроєкологічного університету на даний час проводиться розробка механізованої технології викопування цикорію в двох напрямках. Перший – розробка технології викопування цикорію кореневого існуючими коренезбиральними технічними засобами. Друге – розробка спеціальних робочих органів з обґрунтуванням їх параметрів і режимів роботи для викопування крихких коренеплодів типу цикорію.

### Література

1. Вергунов В.М. Вивчення дії гербіцидів на посівах цикорію кореневого / В.М. Вергунов, В.П. Кузьмич, В.М. Стельмах // Наук.-техн. бюл. Хмельницької держ. с.-г. дослідної станції, 1996. – № 4. – С.127–130.
2. Кузьмич М.К. Безвисадковий спосіб одержання насіння цикорію кореневого / М.К. Кузьмич // Наук.-техн. бюл. Хмельницької держ. с.-г. дослідної станції. – 1996. – № 4. – С. 64–66.
3. Стельмах В.М. Цикорій і механізація його вирощування / В.М. Стельмах // тези доп. наук.-техн. конф. “Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва с.-г. Продукції”: – / ІМЕСГ УААН. – Глеваха, 1993. – С. 26–27.