

**В. М. КВАК, О. М. ГАНЖЕНКО, В. І. КРАВЧУК, М. Я. ГУМЕНТИК,
Я. Д. ФУЧИЛО, О. Б. ХІВРИЧ, Л. А. ПРАВДИВА, М. В. ІВАНЮТА,
О. М. АТАМАНЮК, Г. С. ГОНЧАРУК, Р. В. КУБРЯК, Н. О. КОНОНЮК,
В. М. КАТЕЛЕВСЬКИЙ**

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ

Науково-методичні рекомендації



КИЇВ 2025

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**В. М. Квак, О. М. Ганженко, В. І. Кравчук, М. Я. Гументик,
Я. Д. Фучило, О. Б. Хіврич, Л. А. Правдива, М. В. Іванюта,
О. М. Атаманюк, Г. С. Гончарук, Р. В. Кубряк, Н. О. Кононюк,
В. М. Кателевський**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ
ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ
ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР З УРАХУВАННЯМ
ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ**

Науково-методичні рекомендації

Київ 2025

Рекомендовано до опублікування вченою радою
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
(протокол № 18 від 10 листопада 2025 р.)

Рецензент:

В. Т. Саблук, доктор с.-г. наук, професор;

В. В. Іваніна, доктор с.-г. наук, професор.

(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН)

Квак В. М., Ганженко О. М., Кравчук В. І., Гументик М. Я., Фучило Я. Д., Хіврич О. Б., Правдива Л. А., Іванюта М. В., Атаманюк О. М., Гончарук Г. С., Кубряк Р. В., Кононюк Н. О., Кателевський В. М.
Обґрунтування вимог до технологічних процесів вирощування багаторічних злакових культур з урахуванням екологічних чинників : науково-методичні рекомендації / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2025. 49 с.

ISBN 978-617-8706-35-7 (PDF)

У методичних рекомендаціях викладено ботанічну характеристику родів *Miscanthus* та *Panicum virgatum*, вимоги до умов вирощування, також наведено вимоги до проведення технологічних процесів. Особливу увагу приділено вимогам до збирання, транспортування і зберігання біомаси, а також ліквідації плантації після закінчення терміну її експлуатації.

Рекомендації розроблені для сільськогосподарських підприємств, зацікавлених у вирощуванні біоенергетичних культур. Якісне та своєчасне виконання всіх технологічних процесів, передбачених цими рекомендаціями, забезпечить отримання стабільно високих урожаїв сухої біомаси багаторічних злакових культур необхідної якості для виробництва твердого біопалива.

УДК 633.282: 633.283:620.952

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-35-7>



Цей твір поширюється на умовах ліцензії CC BY-NC-SA 4.0
(Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International)

ISBN 978-617-8706-35-7 (PDF)

© Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН, 2025

© Колектив авторів, 2025

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ.....	5
ВСТУП.....	8
1. ПОХОДЖЕННЯ ТА БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР.....	9
1.1. Ботанічна характеристика рослин роду <i>Miscanthus</i>	9
1.2. Ботанічна характеристика культури проса прутоподібного (<i>Panicum virgatum L.</i>)	12
2. ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР	14
2.1. Екологічні та агротехнічні вимоги до створення плантацій міскантусу гігантського	14
2.2. Екологічні та агротехнічні вимоги до створення плантацій проса прутоподібного	16
3. ВИМОГАМИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО	18
3.1. Вибір ділянки.....	18
3.2. Основний обробіток ґрунту	19
3.3. Ранньовесняний обробіток ґрунту.....	19
3.4. Передсадильний обробіток ґрунту	20
3.5. Садіння ризомів міскантусу гігантського	21
3.6. Догляд за рослинами в перший рік вегетації.....	23
3.7. Утримання плантації міскантусу гігантського в багаторічному циклі.....	24
3.8. Вимоги до збирання біомаси міскантусу гігантського	25
3.9. Вимоги до транспортування та зберігання біомаси міскантусу гігантського	26
3.10. Вимоги до ліквідації плантації міскантусу гігантського у зв'язку зі старінням рослин	27
4. ВИМОГАМИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО.....	28
4.1. Вибір ділянки.....	28
4.2. Основний обробіток ґрунту	29
4.3. Ранньовесняний обробіток ґрунту.....	30
4.4. Передпосівний обробіток ґрунту.....	30

4.5. Підготовка насіння та сівба проса прутоподібного.....	31
4.6. Коткування посівів проса прутоподібного	33
4.7. Догляд за посівами проса прутоподібного	33
4.8. Вимоги до збирання біомаси проса прутоподібного.....	35
4.9. Вимоги до транспортування та зберігання біомаси проса прутоподібного.....	36
4.10. Догляд за посівами проса прутоподібного	37
5. ПЕРЕРОБЛЯННЯ БІОМАСИ БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР	39
5.1. Виробництво твердого біопалива.....	39
5.2. Технологічні показники якості біомаси та твердого біопалива.....	41
5.3. Використання біомаси міскантусу в будівництві.....	45
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Альтернативні види палива – тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою відповідним традиційним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини [1].

Альтернативні джерела енергії – відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Біобутанол – спирт бутиловий, виготовлений з біомаси, що використовується як біопаливо або біокомпонент [1].

Біоводень – водень, отриманий з біомаси і є одним з видів біогазу [1].

Біогаз – газ, отриманий з біомаси, що використовується як паливо [1].

Біодизельне паливо (біодизель) – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент [1].

Біоенергетика – галузь енергетики, що базується на використанні біопалива, виробленого з біомаси.

Біоенергетична плантація – швидкоросла рослинність, спеціально висаджена на плантаціях для одержання біомаси, з якої можуть бути виготовлені горючі та паливні матеріали. Такі плантації можуть бути розміщені на суші чи у воді (морській або прісній) [2].

Біоенергетичні рослини – це рослини, сировина яких використовується для виробництва різних видів біопалива.

Біоетанол – спирт етиловий зневоджений, виготовлений з біомаси або спирту етилового-сирцю для використання як біопалива [1].

Біокомпонент – біопаливо, що використовується як компонент інших видів палива.

Біологічні види палива (біопаливо) – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива [1, 2].

Біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [1].

Біопаливний брикет – ущільнене біопаливо з добавками, або без них, у формі кубічних, багатогранних або циліндричних елементів, отриманих стискуванням подрібненої біомаси.

Біопаливні пелети (гранули) – ущільнене біопаливо з добавками, або без них, вироблене з порошкоподібного палива, зазвичай циліндричної форми з довільною довжиною, здебільшого у межах від 3,15 до 40 мм, та з обламаними торцями.

Брунька – зародок пагона (ризомі) рослин, що забезпечує його верхівкове наростання та галуження.

Видовжені пагони (ауксібласти) – необмежені в рості пагони з добре вираженими міжвузлями. Бруньки розміщені на більш-менш значній віддалі одна від іншої.

Виробник біопалива – суб'єкт господарської діяльності, що безпосередньо виробляє біопаливо з біомаси [1].

Відходи – шлаки та відходи промисловості, сільського господарства, комунально-побутових та інших підприємств, які можуть бути джерелом або сировиною для видобутку чи виробництва альтернативних видів палива [1].

Вкорочені пагони (брахібласти) мають нерозвинуті міжвузля. Вузли зближені, бокові бруньки часто відсутні.

Вміст сухої речовини – масова частка сухої речовини у всьому матеріалі.

Геміцелюлоза (або напівклітковина) – відноситься до вищих молекулярних сполук і займає проміжне положення між крохмалем і целюлозою, але на відміну від останньої краще розчиняється. У рослинах геміцелюлоза виконує функцію опорного конструкційного матеріалу і резерву поживних речовин. Терміни «геміцелюлоза» і «пентозани» часто використовують для означення одного і того ж, що часто ускладнює розуміння їх значення.

Глибина загортання ризомів – відстань від верхньої точки ризоми міскантусу гігантського, до поверхні ґрунту.

Глибина садіння ризомів – відстань від нижньої точки ризоми міскантусу гігантського, до поверхні ґрунту.

Добавка – матеріал, який покращує якість палива (наприклад, характеристики горіння), зменшує викиди або робить продукцію більш ефективною [2].

Добавки на основі біоетанолу – біокомпоненти моторного палива, отримані шляхом синтезу із застосуванням біоетанолу або змішуванням біоетанолу з органічними сполуками та паливом, одержаними з вуглеводневої сировини, в яких вміст біоетанолу відповідає вимогам нормативно-правових актів та які належать до біопалива [1].

Енергетичні культури – багаторічні рослини, коренева система яких залишається у ґрунті після збору врожаю та продовжує процес вегетації, що вирощуються у плантаційний спосіб з періодичністю збирання врожаю від 1 до 5 років з метою отримання біомаси для перероблення на енергетичні цілі.

Захисна зона рядка – частина міжрядь поруч із рядком міскантусу, яку під час механічного розпушування не обробляють.

Зола – твердий мінеральний залишок, отриманий з повністю спаленого палива.

Крок садіння – відстань між центрами ризомів міскантусу гігантського в рядку.

Лігнін – це органічна речовина, яка поряд із целюлозою є складовою частиною задерев'янілих тканин вищих рослин та разом з геміцелюлозою зумовлює міцність їх стовбурів і стебел.

Маточні кореневища міскантусу – кореневища рослин міскантусу, які вирощуються для розмноження.

Насадження – сукупність рослин міскантусу, що вирощуються на одному полі (ділянці).

Нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини – сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, виробництво (видобуток) і переробка яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива [1].

Ортотропні пагони – пагони, які за звичайного і всебічного освітлення ростуть вертикально догори.

Осьова лінія рядка – умовна лінія, що проходить посередині рядка міскантусу.

Пагін – один з основних органів вищих рослин (приспосований до асиміляції, транспірації і розмноження), що має листостеблову структуру (стебло, листки, бруньки). Пагін відростає від коріння, яке в свою чергу утримує рослину в наземному середовищі. Місце прикріплення листка на пагоні – вузол. Ділянку пагона між вузлами називають міжвузлям.

Побічний продукт – продукт, який одержують попутно без свідомої модифікації виробничого процесу під час виробництва основного продукту.

Польовий кагат – насип (кореневищ, ризомів, біомаси) визначеної форми й розміру, розміщений на полі для їх тимчасового зберігання.

Приживлюваність ризомів міскантусу – виражене у відсотках відношення числа ризомів міскантусу, які дали сходи до загального числа висаджених ризомів.

Продукт – речовий або інтелектуальний результат людської праці, або речовина, які усвідомлено були отримані в ході виробничого процесу та саме вони були ціллю виробництва.

Пропуски ризомів – виражене у відсотках відношення числа пустих (не зайнятих ризомами) садильних місць до загального числа таких місць, передбачених схемою садіння.

Ризома (фр. Rhizome «корневище») – частина кореневища, яка містить бруньки і може використовуватись для вегетативного розмноження.

Рідке паливо з біомаси – біопаливо дизельне, біоетанол, біобутанол, чиста олія та інші синтетичні палива, виготовлені з біомаси [1].

Садивний матеріал міскантусу – ризоми, розсада, насіння (для сортів) сортів та гібридів міскантусу, внесених до Реєстру сортів рослин України та визначених перспективами за результатами державного сортопробування, які використовуються для розмноження.

Садивні якості – сукупність біологічних якостей, господарських ознак і властивостей садивного матеріалу міскантусу, які характеризують його придатність до висаджування.

Синтетичні біопалива – синтетичні вуглеводні та суміші синтетичних вуглеводнів, виготовлені з біомаси [1].

Синтетичні біопалива – синтетичні вуглеводні та суміші синтетичних вуглеводнів, виготовлені з біомаси.

Сировина – початковий продукт – основа для виробництва іншого продукту. Зазвичай охоплює сільськогосподарську продукцію, що використовується для виробництва біопалива.

Споживачі альтернативних видів палива – фізичні та юридичні особи, які використовують технічні засоби, у тому числі двигуни внутрішнього згоряння, котельні агрегати, печі, інші енергетичні агрегати, установки та машини, що працюють повністю або частково на альтернативних видах палива [1].

Сфера альтернативних видів палива – сфера діяльності, пов'язана з виробництвом (видобутком), транспортуванням, зберіганням та споживанням альтернативних видів палива [1].

Тверде біопаливо – тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

Теплотворна здатність; теплота згоряння – кількість енергії, отриманої під час повного згоряння матеріалу, віднесеної до одиниці маси або об'єму.

Фітоенергетика – це частина біоенергетики, яка використовує сировину рослинного походження в енергетичних цілях.

Фітопаливо – паливо, яке отримане на основі рослинної сировини.

Целюлоза – природний полімер, полісахарид з видовженою ланцюговою молекулою.

Ширина міжрядь – відстань між осьовими лініями двох суміжних рядків міскантусу.

ВСТУП

У сучасних умовах трансформації енергетичного сектору та посилення вимог до екологічної безпеки особливого значення набуває вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біоенергії. Такі культури поєднують високу продуктивність, здатність до довготривалого використання земельних ресурсів і позитивний вплив на стан довкілля. Вони формують основу для розвитку сталих агроecosистем, сприяють зменшенню викидів парникових газів та підвищенню енергетичної незалежності держави.

Одними з найбільш перспективних представників є міскантус гігантський (*Miscanthus* × *giganteus*) та просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.), які завдяки біологічним особливостям можуть вирощуватись на малопродуктивних, деградованих або забруднених ґрунтах без конкуренції з традиційними продовольчими культурами. Ці рослини характеризуються типом фотосинтезу C₄, що забезпечує ефективне використання сонячної енергії, вологи та мінеральних ресурсів навіть у посушливих умовах [3].

Результати численних досліджень, проведених в Україні та за її межами, свідчать, що багаторічні енергетичні трави здатні стабільно забезпечувати урожайність біомаси 15–20 т/га з високими енергетичними показниками та низьким вмістом золи. Крім того, вони виконують важливі екологічні функції – запобігають водній та вітровій ерозії, покращують структуру ґрунту, сприяють накопиченню органічної речовини та фіксації вуглецю.

Міскантус та просо прутоподібне демонструють високу пристосованість до різних ґрунтово-кліматичних умов України, зокрема регіонів Полісся, Лісостепу й північного Степу. У досліджах Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН встановлено, що на малородючих землях вони забезпечують енерговіддачу, еквівалентну 10–12 т/га умовного палива, при значно нижчих витратах, ніж традиційні зернові культури.

Розвиток сектору вирощування енергетичних культур також сприяє диверсифікації сільського господарства, створенню нових напрямів переробки біомаси (паливні пелети, біогаз, біоматеріали), а також підвищенню соціально-економічної стійкості сільських територій. У цьому контексті важливо розробити науково обґрунтовані вимоги до технологічних процесів їх вирощування з урахуванням екологічних, кліматичних і економічних чинників.

Методичні рекомендації розроблено з урахуванням сучасних наукових даних, результатів польових і лабораторних досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України та провідних міжнародних джерел. Матеріали призначені для науковців, агрономів, фермерів і спеціалістів аграрного сектору, які займаються вирощуванням та переробкою енергетичних культур, які прагнуть ефективно впроваджувати технології вирощування енергокультур, забезпечуючи раціональне використання природних ресурсів і мінімальний вплив на довкілля. А також для використання у навчальному процесі аграрних закладів вищої освіти.

1. ПОХОДЖЕННЯ ТА БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР

Багаторічні злакові культури відіграють важливу роль у сучасному агроекологічному землеробстві, поєднуючи високу продуктивність біомаси, стійкість до стресових умов середовища та екологічну стабільність агроecosystem. Їх використання як джерела енергії та відновлюваної сировини розглядається одним із ключових напрямів сталого розвитку сільського господарства та біоенергетики.

До найперспективніших представників належать міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.) та просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.) – види, що походять із різних географічних зон, але мають подібні морфологічні та агробіологічні особливості. Вони характеризуються потужною кореневищною системою, інтенсивним нагромадженням сухої речовини та високою здатністю до відновлення після збирання, що забезпечує тривалу експлуатацію плантацій (до 15–20 років).

Міскантус гігантський – стерильний міжвидовий гібрид, створений на основі азійських видів *M. sinensis* і *M. sacchariflorus*. Він вирізняється високим потенціалом урожайності (20–30 т сухої біомаси з гектара), низьким вмістом золи та здатністю до росту на малопродуктивних, деградованих і забруднених ґрунтах. Просо прутоподібне, або *switchgrass*, є аборигенною культурою Північної Америки, яка протягом десятиліть використовувалася як кормова та ґрунтозахисна рослина. Завдяки значній адаптивності, воно демонструє добру приживлюваність у континентальних кліматичних умовах України.

Обидві культури належать до родини *Poaceae* (*Gramineae*) і мають C4-фотосинтетичний тип, що забезпечує високу ефективність використання сонячної енергії, вологи та вуглекислого газу. Ці властивості визначають їх як провідні енергетичні культури майбутнього, придатні для виробництва твердого біопалива, біогазу та біоматеріалів, а також для екологічної рекультивациі деградованих земель.

1.1 Ботанічна характеристика рослин роду *Miscanthus*

Міскантус (*Miscanthus*) або віяльник (рис. 1) згідно з ботанічною класифікацією належить до:

Відділу – Покритонасінні (*Angiospermae*)

Класу – Однодольні (*Monocotyledonae*)

Порядку – Лускоцвіті (*Glumiflorae*)

Родини – Злакові (*Gramineae*) або Тонконогові (*Poaceae*)

Підродини – Просові (*Panicoideae*)

Триби – Соргові або Бородачевникові (*Andropogoneae* Dum)

Andropogoneae – поширені у тропічних і помірних регіонах. Роди, що належать до цієї триби включають: *Andropogon*, *Bothriochloa*, *Chrysopogon*, *Coix*, *Dianthium*, *Saccharum*, *Miscanthus*, *Schizachyrium*, *Zea*, *Sorghum*, *Sorghastrum*, *Tripsacum*, *Heteropogon*, *Trachypogon*, *Imperata*, *Themeda*.

Триба походить із Західної Африки, Індії, Австралії і Південної Америки. Представників цієї триби, зокрема, кукурудзу, цукрову тростину, міскантус та сорго відносять до найефективніших фотосинтезуючих рослин земної кулі.

Підтриби – Цукротросткові (*Saccharinae* Griseb)

Роду – Віяльник (*Miscanthus* Anderss) [2, 4, 5, 6, 7].



а)



б)

Рис. 1. Рослини міскантусу гігантського: а) влітку; б) восени

Нині відомо до 40 видів, які поширені в тропічній, субтропічній і помірно теплій зонах Азії, Африки, Далекого Сходу та Австралії. У природі рослини роду міскантус ростуть на берегах річок, у передгір'ї, гірській місцевості. В культурі застосовують 6 видів та понад 100 форм і сортів [8, 9, 10, 11]. У міжнародній базі даних «The Plant List» наведено 22 види роду *Miscanthus* [12]. Серед них найбільш поширеними є:

- *M. floridulus* (Labill.) Warb.
- *M. intermedius* (Honda) Honda
- *M. longiberbis* Nakai
- *M. lutarioparius*
- *M. oligostachyus* Stapf.
- *M. paniculatus* (B.S.Sun) Renvoize & S. L. Chen
- *M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack.
- *M. sinensis* Anderss.
- *M. tinctorius* (Steud.) Hack.
- *M. transmorrisonensis* Hayata
- *M. giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize
- *M. sinensis ssp. condensatus* (Hackel) T.Koyama.
- *M. kanehirae* Honda [10, 12, 13].

Цей великий розподіл забезпечує багатство генетичного різноманіття і можливості гібридизації і поліпшення генофонду міскантусу [14, 15, 16]. У ньому поєднані високі біологічні, екологічні, економічні, господарські характеристики, до яких відносять: швидкий ріст, здатність повністю утилізувати вуглекислий газ у процесі фотосинтезу (C_4 -рослина), високу продуктивність біомаси (20–25 т/га сухої речовини щорічно в умовах України), стійкість до хвороб, адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов (зимостійка, посухостійка рослина), невибагливість до якості ґрунту, низьку собівартість сировини.

До найперспективніших енергетичних рослин представників роду *Miscanthus* відносять міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) [17, 18, 19, 20, 21]. Його вперше випробували в Данії. Це міжвидовий гібрид міскантусу китайського (*M. sinensis*, диплоїдний) та цукроквіткового (*M. sacchariflorus*, тетраплоїдний). Через це рослина не належить до інвазійних видів і набуває все більшого застосування.

Результати інтродукційних випробувань міскантусу гігантського у різних кліматичних зонах дають підставу стверджувати, що він є високопластичною і високопродуктивною

культурою. Планації можна створювати на ґрунтах IV і V–VI класу. Міскантус – це теплолюбна рослина, яка має ефективну форму фотосинтезу, що забезпечує значне збільшення біомаси з асиміляційної поверхні. Рослина з C₄-шляхом фотосинтезу, має високу фотосинтетичну активність, високу здатність засвоювати азот та вуглець і є посухостійкою [22, 23].

Miscanthus sinensis – міскантус китайський. Висота стебел 2,0–3,5 м. Ризоми короткі. Популяції анізоплоїдні. Частіше зустрічаються диплоїдні рослини з кількістю хромосом 38.

Батьківщиною міскантусу китайського є Східний Китай, Корея, Японія, Тайвань, Маньчжурія, Таїланд, Полінезія і Східне узбережжя США [24].

Рослини міскантусу китайського зустрічаються на відкритих, більш або менш сухих трав'янистих схилах, серед кущів, на лісових галявинах до нижнього гірського поясу на півдні Приморського краю Росії, Кореї та Японії. Міскантус китайський зростає в районах з субарктичним, прохолодно-помірним і помірно-теплим кліматом [25].

У субтропічній Азії міскантус китайський є кодомінантним видом лісових угруповань. На Філіппінах він поширений на висоті вище 2300 м над рівнем моря. Ступінь його домінування зменшується з пониженням висоти та в долинах лук. Температура є лімітуючим фактором вертикального поширення виду [26].

У Сполучених Штатах міскантус китайський натуралізувався і розповсюджений у районах більшості східних штатів на південь від Масачусетса вздовж Атлантики і від південно-східних штатів до Флориди та Луїзіани. Ареал виду охоплює штати району Великих Озер, включаючи Огайо, Мічиган і Іллінойс. На заході поширений в Колорадо та Каліфорнії. В Північній Америці міскантус китайський розповсюджений на антропогенно змінених територіях: покинуті поля, сади, узбіччя доріг і залізничних шляхів [27].

Miscanthus sacchariflorus – міскантус цукроквітковий. Це багаторічник висотою 0,8–2,0 м, з довгими повзучими кореневищами, який швидко колонізує ґрунтовий простір, утворюючи суцільні плантації. У більшості випадків – це тетраплоїди з кількістю хромосом 76. Листкові пластинки 0,5–1,5 см завширшки. Волоті 12–30 см завдовжки, сріблясті від довгих шовковистих волосків, які оточують колоски. Нижні квіткові луски безості.

Рослини міскантусу цукроквіткового зростають на вологих лугах, піщаних берегах річок, лісових галявинах, відкритих кам'янистих схилах Кореї, Китаю, Японії, від Амурської області до півдня Приморського краю Росії. Через наявність довгих кореневищ та здатність зав'язувати насіння, даний вид дещо обмежено культивується. У тропічних та субтропічних районах Північної Америки натуралізовані міскантус китайський та цукроквітковий вважаються бур'янами та належать до інвазійних видів. Так, в Сполучених Штатах міскантус китайський вказується як інвазійний вид для Алабами, Джорджії, Кентуккі, Південної Кароліни, Міссурі, Теннессі. Для контролю популяцій застосовують механічні, хімічні та біологічні методи. Рослини легкозаймисті та можуть стати причиною поширення пожеж [28, 29].

Встановлено, що кілька видів є міжвидовими стерильними гібридами, а деякі можуть утворювати міжродові гібриди з цукровою тростиною [30, 31]. Міскантус китайський та цукроквітковий натуралізувалися в Європі та Північній Америці, а в тропічних та субтропічних районах вважаються інвазійними [30].

Міскантус китайський і цукроквітковий також широко адаптовані і використовуються у Європі як потенційні види для біоенергетики через їх високу адаптивну властивість і для підвищення генетичної мінливості та створення нових гібридів високої продуктивності [32]. З двох батьківських видів міскантус китайський має більше географічне поширення з точки зору широти та довготи, йому притаманні високі адаптивні властивості та фенотипове і генетичне різноманіття. Крім того, зазвичай в природі диплоїдні форми міскантусу китайського демонструють великий ступінь гібридизації. Недавні дослідження показали існування мінливості строків цвітіння, що забезпечує широкі можливості для гібридної генерації і подальшої оптимізації сортів для різних кліматичних зон і ґрунтів [33, 34].

1.2. Ботанічна характеристика культури проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.)

Рід *Panicum* L. належить до родини *Poaceae* (*Gramineae*) – однієї з найчисленніших родин покритонасінних рослин, що об'єднує понад 700 родів і близько 12 000 видів [35]. У межах роду *Panicum* описано понад 450 видів, поширених переважно у тропічних, субтропічних і помірних регіонах світу [36]. Центри видового різноманіття розташовані в Південній Америці, Африці та Південно-Східній Азії, проте окремі види зустрічаються і в Європі, включно з Україною.

Більшість представників роду – трав'янисті однорічники або багаторічники, що утворюють густі дернини або розгалужені кущі. Стебла (соломини) переважно прямостоячі, порожнисті, заввишки від 30 см до 3 м залежно від виду та умов зростання. Листки чергові, лінійні або ланцетні, з характерною мембранною або волосяною лігулою, що є важливою діагностичною ознакою для визначення представників роду [35].

Суцвіття у всіх видів *Panicum* – волоть (*panicula*), різного ступеня розгалуженості: від стиснених до розлогих. Колоски дрібні, двоквіткові; нижня квітка здебільшого стерильна або чоловіча, верхня – двостатева і плодюча. Зернівка щільно прилягає до квіткових лусок (лем), іноді повністю з ними зростається [35, 36].

Більшість видів запилюються анемофільно (вітрозапилення), що сприяє формуванню значної генетичної мінливості.

За типом фотосинтезу рід *Panicum* є поліморфним: у його складі присутні як C₃-, так і C₄-види, що забезпечує широку екологічну амплітуду роду [36]. Саме завдяки наявності C₄-фотосинтетичних механізмів, багато представників *Panicum* добре адаптовані до високих температур, інтенсивного освітлення й дефіциту вологи.

Види цього роду мають високу господарську цінність. Деякі з них (наприклад, *Panicum miliaceum* L. – просо посівне) культивуються як зернові культури; інші – як кормові (*Panicum maximum* Jacq., *Panicum antidotale* Retz.) або декоративні трави. Окремі багаторічні види, такі як *Panicum virgatum* L. (просо прутоподібне), набули стратегічного значення у сфері біоенергетики завдяки високій продуктивності біомаси, довговічності плантацій і стійкості до екологічних стресів [35, 37].

Таким чином, рід *Panicum* є морфологічно та екологічно різноманітною групою, що поєднує види з високим потенціалом для аграрного, енергетичного й екологічного використання. Найбільш перспективним для помірного клімату залишається *Panicum virgatum* L., який поєднує властивості багаторічності, C₄-фотосинтезу та високої ефективності використання вологи.

Просо прутоподібне або свічгарс (*Panicum virgatum* L.) – англійська назва культури – «світчгарс» – це одна з багаторічних кореневищних трав, яка вирощується з метою отримання біомаси (Рис. 2). Висота рослини залежно від сорту та кліматичних умов становить 100–250 см. Відноситься до C₄ за механізмом фотосинтезу, що дає змогу раціонального використання азоту і вологи.



Рис. 2. Просо прутіподібне

Продуктивність коливається в межах від 6 т сухої речовини на північноєвропейських ґрунтах з низькою родючістю до 25 т на південно європейських ґрунтах з високою родючістю. За умови хорошого догляду можна збирати урожай протягом 15 років. Свічграс походить з Північної Америки, де у природних умовах росте вздовж 55° північної довготи аж до Мексики. З початку 90-х років свічграс почав розглядатися як трав'яна енергетична культура для виробництва етанолу і електроенергії в США та Канаді, а також як сировина для целюлозної промисловості. Крім того, у США просо прутіподібне використовується для запобігання ерозії ґрунту та забезпечення кормом тваринам за сухих та жарких умов. Коли просо прутіподібне вирощується на біомасу, рекомендується пізніше збирання врожаю взимку (на початку весни). Збирання урожаю перед фазою старіння восени призведе до гіршої холодостійкості, зменшення весняного росту та можливо до втрати сходів. Вміст вологи в тюках не повинен перевищувати 15–20 %.

Просо прутіподібне – це прямостояча теплолюбна рослина, що відноситься до групи (C₄), схожа на кущовий злак. Розмножується насінням і кореневищем. Рослина має червонуваті прямостоячі стебла, які досягають 0,5–2,8 м у висоту. Суцвіття – відкрита волоть довжиною 15–40 см. Коренева система може досягати 3 м у глибину. Характерна особливість – білий пух на місці виходу листка зі стебла, має відносно мале насіння з високим рівнем стану спокою, особливо одразу після збирання. Рослини теплого сезону, такі як просо прутіподібне, мають панікоїдну морфологію сходів.

2. ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР

2.1. Екологічні та агротехнічні вимоги до створення плантацій міскантусу гігантського

Міскантус за біологічними особливостями істотно відрізняється від більшості сільськогосподарських культур. Це пов'язано насамперед з його вегетативним способом розмноження – ризомами. Які є неправильної форми з різної величини бруньками, що надає можливості їх сепарувати, тому автоматизоване садіння без ручного калібрування неможливе.

Ще однією особливістю є те, що рослини багаторічні, тому різні вимоги до навколишнього середовища у перший рік вегетації, другий та наступні. Це пов'язано із системою живлення та захисту від бур'янів.

Іншою властивістю міскантусу гігантського є здатність ефективно використовувати сприятливі умови для росту і розвитку, накопичуючи велику кількість сухих речовин за вегетаційний період. Але при цьому рослини потребують відповідних вимог до умов вирощування, особливо до тепла та вологи. Крім того, на ріст і розвиток міскантусу значно впливають агротехнічні прийоми його вирощування.

Вимоги до температури. Міскантус – холодовитривала і теплолюбна трав'яниста рослина. Це – одна з небагатьох рослин, що здатна зростати в кліматичних умовах США, Центральної та Східної Європи і досягати високих урожаїв біомаси. За даними дослідження університету Іллінойсу, рослини здатні розвивати листки, які можуть фотосинтезувати за температури повітря від 10 °С. Коренева система міскантусу здатна витримувати періодичні пониження температур до –23 °С за умови наявності снігового покриву. Найбільш інтенсивний ріст та розвиток рослин відбувається за температури повітря +25...32 °С [38].

Результати багаторічних досліджень і виробничих випробувань, проведених в умовах Лісостепу України, дозволяють відзначити, що види роду міскантус мають досить широку екологічну амплітуду.

За відношенням до добових і сезонних коливань температур, види входять до групи евритермних рослин, які витримують великі перепади температур. За відношенням до тепла всі види теплолюбні й одночасно холодостійкі.

Деякі види міскантусу морозо- і зимостійкі. Вони на другий і подальші роки життя успішно переносять морози без снігу до мінус 15–18 °С, а під снігом – до мінус 25–30 °С. В літній період рослини роду *Miscanthus* здатні витримувати спеку до + 35⁰С.

Рослини різних видів міскантусу починають відростати за температури +5–7 °С, а більш інтенсивно за +15–20 °С. Вони здатні переносити весняні заморозки до мінус 1–3 °С. В умовах України міскантус починає вегетацію у квітні місяці, коли температура ґрунту досягає 10...12 °С, а закінчує – з настанням заморозків у жовтні-листопаді.

У перший рік вегетації рослини особливо чутливі до морозу, тому в деяких випадках необхідний захист рослин (наприклад, за допомогою підстилки).

Найбільш уразливими рослини є під час перезимівлі після завершення першого періоду вегетації. Весняні заморозки теж можуть призводити до випадання рослин. Після другого року вирощування рослини адаптуються, внаслідок чого здатні витримувати пониження температури повітря до –20 °С.

Досліджено також рівень ушкодження морозом і здатність до регенерації рослин міскантусу гігантського. Ці дослідження показали, що сходи можуть пошкоджуватись вже за температури –2 °С (до 40 % пошкоджених рослин). Етап другого і четвертого листка не був уразливим за температури до –4 °С включно. За температури –8 °С зареєстровано 83 % пошкоджених рослин, які були на етапі другого листка, які на 90 % були здатні до регенерації і 75 % пошкоджених рослин, які були на етапі четвертого листка зі значно меншою здатністю до регенерації і складала 20 %. У рослин, які не показали жодних

видимих ушкоджень одразу після морозів, спостерігалось зниження темпів росту до 45 днів. Перші обстеження перезимівлі показали, що існує залежність між ушкодженнями, спричиненими пізніми морозами та толерантністю до морозів у наступній зимі.

Вимоги до вологи. Міскантус відноситься до вологолюбної, але не переносить затоплення (заболочені ґрунти). Для отримання високого врожаю міскантус потребує близько 500...800 мм опадів за рік (на продукування 1 кг сухої маси необхідно близько 250 л). Загальна кількість опадів за весняно-літній період (квітень – серпень) повинна бути не менше 250 мм і розподілені рівномірно. Корені міскантусу можуть проникати на глибину до 2 м і ефективно використовувати наявні ресурси вологи.

За посухи листки спочатку в'януть, скручуються та відмирають, що призводить до значних втрат біомаси [39, 40, 41]. У посушливі періоди на формування біомаси позитивно впливає зрошення.

Вимоги до світла. Міскантус належить до світлолюбних культур. Він використовує значно більше сонячної енергії, ніж інші представники родини злакових. Для утворення оптимальної площі листової поверхні та нагромадження достатньої кількості органічної речовини, міскантус потребує інтенсивного сонячного освітлення впродовж періоду вегетації. За недостатнього освітлення рослини витягуються й жовтіють, у них значно знижується інтенсивність фотосинтезу і кількість асимілянтів [7]. Особливо чутливі до освітлення рослини міскантусу в перший рік вегетації, за пригнічення бур'яном знижується кількість пагонів (висота їх зростає), що призводить до зниження врожайності навіть і в наступні роки, знижується зимостійкість. Тому важливою умовою під час їх вирощування у перший рік вегетації є захист від бур'янів.

Вимоги до ґрунтів та елементів живлення. Важливою перевагою міскантусу є те, що його можна вирощувати на ґрунтах, які не придатні для вирощування інших сільськогосподарських культур. Він здатен зростати на ґрунтах різних типів (від пісків з низьким рівнем ґрунтових вод, до ґрунтів з відрегульованим водним режимом та високим вмістом органічних речовин і за широкого діапазону кислотності та засоленості) [42]. Але найсприятливіші умови для росту та розвитку досягаються на вологих, добре дренованих ґрунтах з кислотністю в межах рН – 6,5...7,5 [43]. За високої кислотності (рН нижче 5,5) ґрунти потребують вапнування.

Для формування максимального врожаю біомаси, міскантус потребує певної кількості елементів живлення, а саме на 1 т сухої біомаси рослини виносять із ґрунту близько 3 кг азоту, 1 кг оксиду фосфору, 4 кг оксиду калію.

Найвища концентрація елементів живлення (азоту, фосфору і калію) у листках та стеблах міскантусу спостерігається у період з початку весни до середини літа. Після закінчення активного росту та розвитку рослин, біогенні елементи мігрують у кореневище, де і накопичуються. За відновлення процесів вегетації, ці елементи можуть бути легко використані рослинами [44].

Для створення високопродуктивних плантацій слід враховувати біологічні особливості міскантусу гігантського та вимоги до ґрунтового-кліматичних умов (табл. 1).

Таблиця 1

Екологічні та агротехнічні умови вирощування міскантусу

Абіотичні фактори та біологічні особливості	Показники
Тепло:	
- мінімальна температура проростання ризом, °С [38] повітря / ґрунту	+5–10 / +10–12
- температура, що спричиняє пошкодження сходів, °С	–4
- оптимальна температура росту і розвитку, °С	+25
- мінімальна температура повітря для процесу фотосинтезу, °С	+6
- сума активних температур за вегетаційний період	1900–3500
- оптимальна температура повітря для процесу фотосинтезу, °С [38]	+28–32

Абіотичні фактори та біологічні особливості	Показники
- максимальна температура перезимівлі, °С без снігу / під снігом	-15-18 / -25-30
Волога:	
- оптимальна вологість ґрунту, %	70
- транспіраційний коефіцієнт	397
- коефіцієнт водоспоживання, м ³ /ц	80-110
- потреба опадів у період вегетації, мм	700
- на продуктування 1 кг сухої маси потрібно води, л [38]	250
Середньорічна кількість опадів, мм	500-800
Кліматична зона	достатнього і нестійкого зволоження
Світло:	
Відношення до світла (довжина дня)	короткого дня
Використання ФАР, %	1,0-1,5
Тривалість вегетаційного періоду, днів	200
Ґрунт:	
Вимоги до реакції ґрунтового розчину	5,5-7,5
Рівень залягання ґрунтових вод	0,5-1,0
Оптимальна щільність ґрунту, г/см ³	1,0-1,2 на чорноземах, 1,2-1,3 на сірих лісових
Вміст гумусу в ґрунті (шар 0-20 см), %	2,1-3,0
Рівень рухомого азоту в ґрунті, кг/га, д. р. за Корнфілдом	60-90
Вміст фосфору в ґрунті, кг/га, д. р. за Кірсановим	30-40
Вміст калію в ґрунті, кг/га, д. р. за Кірсановим	120-150
Вміст магнію в ґрунті, кг/га, д. р.	20-25
Заглиблення коренів у ґрунт, м	2,0-2,5
Тип кореневої системи	мичкувата
Живлення:	
За урожайності 20 т/га сухої маси міскантус з ґрунту виносить, кг/га, д.р.: - азоту NO ₃ ;	60
- фосфору P ₂ O ₅ ;	16
- калію K ₂ O	80

2.2. Екологічні та агротехнічні вимоги до створення плантацій проса прутоподібного

Просо прутоподібне належить до багаторічних культур, його можна вирощувати на одній площі від 10 до 15 років. Рослини проса прутоподібного невимогливі до якості ґрунту, їх можна рекомендувати вирощувати на деградованих, малопродуктивних землях та на полях зі схилами. Завдяки розгалуженій кореневій системі рослини також можна вирощувати на піщаних та супіщаних ґрунтах з низьким рівнем ґрунтових вод. Просо прутоподібне добре адаптоване до несприятливих умов вирощування, зокрема бідних ущільнених ґрунтів, тому можна його вирощувати як на піщаних ґрунтах, так і на ґрунтах з підвищеним вмістом органічних речовин. Рослини ростуть на ґрунтах з рН 4,9...7,6, однак рекомендована кислотність ґрунту становить рН 6,5, особливо впродовж перших двох років вирощування. Тому плантації проса прутоподібного можуть бути закладені на ґрунтах, які не придатні для вирощування інших сільськогосподарських культур.

Якщо культура культивується на ґрунтах з низькою родючістю та рН (кислотні), вона матиме відносно невисоку врожайність порівняно з рослинами, що ростуть у зоні помірною типу, або з деревами, наприклад, вербою [45].

При виборі ділянки під посів проса прутоподібного слід враховувати призначення біомаси. Для спалювання вона повинна бути з низьким вмістом мінеральних речовин, у тому числі діоксиду кремнію, такий вміст в сухій біомасі проса прутоподібного, вирощеного на піщаних ґрунтах, нижчий, ніж у вирощеного на глинистих ґрунтах. Звідси випливає висновок, що піщані ґрунти більше підходять для вирощування біомаси, ніж глинисті ґрунти [46].

Якщо на полі, відведеному під посів проса прутоподібного, є велика кількість бур'янів, з осені перед оранкою їх необхідно знищити шляхом внесення гліфосату (Раундап).

Екологічні та агротехнічні умови вирощування проса прутоподібного подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Екологічні та агротехнічні умови вирощування проса прутоподібного

Абіотичні фактори та біологічні особливості	Показники
Тепло:	
- мінімальна температура проростання насіння, °С	
повітря	+10–15
ґрунту	+15–16
- температура, що спричиняє пошкодження сходів, °С	-2
- оптимальна температура росту і розвитку, °С	+25
- мінімальна температура повітря для процесу фотосинтезу, °С	+10,3
- сума активних температур за вегетаційний період	1900–3500
- оптимальна температура повітря для процесу фотосинтезу, °С	+28–32
- максимальна температура перезимівлі, °С	-20
Волога:	
- оптимальна вологість ґрунту, %	70
- транспіраційний коефіцієнт	397
- коефіцієнт водоспоживання, м ³ /ц	80–110
- потреба опадів у період вегетації, мм	500
- на продуктування 1 кг сухої маси потрібно води, л	200
Середньорічна кількість опадів, мм	450–750
Кліматична зона	достатнього і нестійкого зволоження
Світло:	
Відношення до світла (довжина дня)	довгого дня
Використання ФАР, %	1,0–1,5
Тривалість вегетаційного періоду, днів	135–166
Ґрунт:	
Вимоги до реакції ґрунтового розчину	4,9–7,6
Рівень залягання ґрунтових вод	0,5–1,0
Оптимальна щільність ґрунту, г/см ³	1,0–1,2 на чорноземах, 1,2–1,3 на сірих лісових
Вміст гумусу в ґрунті (шар 0–20 см), %	0,1–3,0
Рівень рухомого азоту в ґрунті, кг/га, д. р. за Корнфілдом	60–90
Вміст фосфору в ґрунті, кг/га, д. р. за Кірсановим	30–40
Вміст калію в ґрунті, кг/га, д. р. за Кірсановим	120–150
Вміст магнію в ґрунті, кг/га, д. р.	20–25
Нахил поля	до 7°
Заглиблення коренів у ґрунт, м	до 3
Тип кореневої системи	мичкувата

3. ВИМОГАМИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО

3.1. Вибір ділянки

Вибір ділянки є одним із ключових технологічних етапів при закладенні багаторічних плантацій міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*), що безпосередньо впливає на продуктивність культури, тривалість експлуатації насаджень та екологічну безпеку агроландшафтів. У зв'язку з високою пластичністю міскантусу, можливим є вирощування як на родючих землях, так і на малопродуктивних, маргінальних та деградованих ґрунтах, непридатних для традиційних агрокультур.

Кліматичні та екологічні передумови. Міскантус належить до теплолюбних і світлолюбних рослин з C4-типом фотосинтезу. Оптимальні умови вирощування:

- Сума активних температур за вегетаційний період: 1900–3500 °С.
- Середньорічна кількість опадів: 500–800 мм, з рівномірним розподілом у період квітень – серпень.
- Температурний режим: початок вегетації за температури ґрунту +10...12 °С; рослина витримує короточасні зниження температур до –23 °С (за наявності снігу).
- Освітлення: інтенсивне пряме світло, уникаючи затінених ділянок.

Ґрунтові вимоги. Міскантус демонструє задовільну продуктивність навіть на ґрунтах зі зниженим рівнем родючості, зокрема:

- Тип ґрунтів: дерново-підзолисті, легкі супіщані, сіро-лісові, техногенно порушені, рекультивовані.
- Вміст гумусу: рекомендований – не нижче 1,2 % у шарі 0–20 см. За менших значень – доцільне внесення органіки або вирощування сидератів у попередній рік.
- рН ґрунтового розчину: 5,5–7,5; за значенням < 5,5 – рекомендовано вапнування.
- Ґрунтові води: допустимий рівень залягання не ближче 0,5 м.
- Рельєф: ухил не повинен перевищувати 7°, щоб уникнути водної ерозії.
- Структура ґрунту: дрібногрудкувата, добре аерована, щільність – 1,1–1,3 г/см³.

Обмеження для вибору ділянки. Забороняється закладення плантацій на:

- сильно засолених ґрунтах (електропровідність > 4 дСм/м),
- заболочених та тимчасово підтоплюваних ділянках,
- торф'яниках з нестабільним водним режимом.

Міскантус як культура для маргінальних і забруднених ґрунтів. Завдяки біологічним особливостям, міскантус придатний для вирощування на маргінальних землях, зокрема: деградовані ґрунти з низькою природною родючістю; техногенно забруднені території, які не використовуються для харчових цілей; промислові зони після рекультивації.

Культура також ефективно використовується для фітореMediaції – здатна накопичувати важкі метали (Cd, Pb, Zn), уран, цезій-137 у надземній масі, не втрачаючи біомасу. Біомасу, вирощену на таких ділянках, слід використовувати виключно для технічного спалювання з контролем золи, без залучення до побутового сектору або тваринництва.

Рекомендована передпосадкова діагностика: аналіз родючості (гумус, макроелементи, рН); аналіз вмісту важких металів і пестицидів; визначення щільності, структури та глибини залягання підґрунтових вод.

3.2. Основний обробіток ґрунту

Успішне вирощування міскантусу гігантського починається з якісного обробітку ґрунту. Від цього залежить приживлюваність рослин, доступність вологи та поживних речовин, а також активність корисних мікроорганізмів. Особливо це важливо на маргінальних або деградованих землях, де ґрунт може мати підвищену кислотність, недостатню родючість або ущільнену структуру.

Основні завдання обробітку:

- Розпушення ущільнених шарів ґрунту.
- Боротьба з багаторічними бур'янами.
- Покращення водопроникності та накопичення вологи.
- Підготовка до внесення органіки або вапнування (за потреби).
- Створення рівномірного, добре обробленого шару ґрунту (табл. 3).

Таблиця 3

Рекомендації за типами ґрунтів

Тип ґрунту	Глибина обробітку	Додаткові заходи
Легкі супіщані, малогумусні	20–22 см (оранка)	Внесення добрив
Деградовані, ущільнені	25–28 см (оранка або чизелювання)	Глибоке рихлення чизелем
Піщані, з низьким гумусом	18–20 см	Вапнування (якщо pH < 5,5)
Рекультивовані / кар'єрні	Індивідуально (до 30 см)	Попереднє дискування, внесення добрив

На схилах (> 7°) або піщаних ґрунтах глибоку оранку замінюють дискуванням на 10–14 см у два проходи (перехрестно).

Технологія обробітку. Попередня підготовка: вирівнювання рельєфу, лущення стерні або дискування. Основна оранка: зяблева оранка на глибину 20–28 см (залежно від ґрунту). Після оранки: боронування для запобігання утворенню великих грудок. Корекція ґрунту: за потреби вносять вапно, перегній, сидерати або мінеральні добрива.

Підживлення ґрунту. Для підвищення родючості рекомендують застосовувати органічні добрива у вигляді сидератів (10–15 т/га), мінеральні добрива: NPK у базовій дозі з подальшим підживленням, вапнування: 2–4 т/га (залежно від pH), а також попіл: 1–2 т/га як джерело калію.

Важливі застереження. Не орати перезволожений ґрунт – це спричиняє утворення плужної підшви.

Уникати надмірного подрібнення ґрунту – це знижує його здатність утримувати вологу. Після зяблевої оранки поле залишають до весни без додаткового обробітку.

Критерії якості обробітку:

Глибина оранки ± 3 см від заданої.

Грудки > 10 см – не більше 10% від загального об'єму.

Щільність ґрунту – до 1,3 г/см³.

Переважають грудки 1–10 мм (≥ 60%).

Правильний обробіток ґрунту – основа високого врожаю міскантусу!

3.3. Ранньовесняний обробіток ґрунту

Ранньовесняний обробіток ґрунту для садіння міскантусу гігантського є важливою ланкою у підготовці поля після зимового періоду. Його основною метою є максимальне збереження вологи, що накопичена за зиму, відновлення рихлості верхнього шару ґрунту, та знищення пророслих бур'янів, особливо у районах із ранньою весною або затяжною осінню попереднього року.

Завдання ранньовесняного обробітку:

- збереження запасів вологи у верхньому (0–10 см) шарі ґрунту;
- руйнування ґрунтової кірки та капілярів випаровування;
- забезпечення умов для подальшої якісної передсадильної культивуації;
- стримування росту ранньовесняних бур'янів.

Терміни виконання. Ранньовесняний обробіток слід проводити при досягненні фізичної стиглості ґрунту – коли на глибині 10 см грудка ґрунту легко розпадається в руці. Зазвичай це настає: **на півдні України** – у другій половині березня; **у зоні Лісостепу** – наприкінці березня – на початку квітня; **у Поліссі** – в середині квітня (за сприятливої погоди). Проведення робіт із запізненням призводить до втрат 20–30 мм вологи, що може негативно позначитися на приживлюваності ризомів.

Агротехнічні заходи. Залежно від типу ґрунту, погодних умов і рельєфу застосовують (табл. 4):

Таблиця 4

Агротехнічні заходи

Тип обробітку	Глибина, см	Знаряддя	Особливості
Боронування	3–5	БЗТС-1,0; БЗШ-1; ЗБП-0,6	В 1–2 сліди під кутом до напрямку оранки
Легка культивуація	5–7	КН-2,8; КГШ-4,0; КПС-4	На важких ґрунтах з кіркою
Комбіновані агрегати	6–8	Типу «Європак», «Компактор»	Для одночасного розпушення та вирівнювання

На схилах (> 3–5°) рекомендовано обмежити кількість проходів техніки або використовувати ошадну систему (наприклад, боронування у шаховому порядку).

Особливості на маргінальних ґрунтах. На піщаних або структурно слабких ґрунтах важливо не допустити пересушування посівного горизонту. У таких умовах ефективним є одноразове щільування або розпушування важкими зубовими боронами з подальшим прикочуванням (при потребі).

На важких глинистих ґрунтах із поганим дренажем доцільне глибше весняне розпушування (8–10 см), особливо якщо за зиму утворилась плужна підшва (табл. 5).

Таблиця 5

Поширені помилки та як їх уникнути

Помилка	Наслідки	Як уникнути
Обробіток ґрунту у перезволоженому стані	Утворення плужної підшви, ущільнення	Дочекатись фізичної стиглості ґрунту
Надмірне подрібнення або повторне боронування	Втрати вологи, осипання ґрунту	Обмежити до 1–2 проходів техніки
Застосування важкої техніки на схилах	Ризик водної ерозії	Використовувати легкі агрегати з широким захватом

3.4. Передсадильний обробіток ґрунту

Пересадильний обробіток ґрунту забезпечує остаточне формування посівного горизонту з оптимальними агрофізичними показниками для закладання плантацій міскантусу гігантського. На цьому етапі особливо важливо досягти рівномірної глибини обробітку, дрібногрудкуватої структури та достатньої вологості, що забезпечують щільний контакт садивного матеріалу з ґрунтом, рівномірне прогрівання та активне вкорінення ризомів.

Мета передсадильного обробітку:

- створення оптимального посівного ложа (глибина 5–8 см);
- вирівнювання поверхні поля;
- збереження вологи;
- остаточне знищення проростаючих бур'янів;
- забезпечення однорідної щільності та пухкості верхнього шару.

Терміни виконання. Передсадильний обробіток проводиться безпосередньо перед висадкою ризомів, коли: температура ґрунту на глибині 10 см стабільно перевищує +10 °С, волога в ґрунті утримується на рівні 60–70 % НВ, прогноз не передбачає інтенсивних дощів упродовж 3–5 днів. У Лісостепу й Поліссі оптимальний період – друга половина квітня – початок травня; на півдні – наприкінці березня – першій декаді квітня (табл. 6–7).

Таблиця 6

Технологія обробітку

Захід	Глибина, см	Техніка / Знаряддя	Примітки
Культивація	5–8	КПС-4; КГШ-3,6; агрегати типу «Компактор»	Уникайте переущільнення
Боронування	3–5	ЗБП-0,6; БЗШ-1,0	По діагоналі до основного обробітку
Прикотковування (за потреби)	–	кільчасто-шпорові котки	На легких ґрунтах, за недостатньої щільності
Локальне внесення добрив	–	аплікатори, сівалки з добривами	Рекомендовано при низькій забезпеченості елементами живлення

Технічні та екологічні застереження. Уникати обробітку на пересушених ґрунтах – порушується структура, утворюється пилоподібна фракція. На піщаних і супіщаних ґрунтах обробіток варто поєднувати з **коткуванням**, щоб забезпечити ущільнення ложа. Не рекомендується використання надмірно важкої техніки – це спричиняє ущільнення підорного шару.

Таблиця 7

Агрофізичні показники ґрунту, оптимальні для садіння

Показник	Оптимальне значення
Щільність ґрунту	1,1–1,3 г/см ³
Структура (грудочки 1–10 мм)	не менше 65 %
Вологість	60–70 % НВ
Температура на глибині 10 см	не менше +10...12 °С
рН	5,5–7,5 (для активного коренеутворення)
Твердість ґрунту в розпушеному шарі	0,3...0,5 МПа
Фракційний склад	масова частка грудочок розміром 0,01...10 мм становила не менше 60 %, 10...20 мм – близько 35 %, більше 20 мм – менше 5 %

Специфіка для маргінальних ґрунтів. На ґрунтах із порушеною структурою або слідами техногенного впливу (кар'єри, деградовані чорноземи). Передсадильний обробіток може поєднуватися з локальним внесенням гранульованих органо-мінеральних добрив. У разі наявності ущільненого шару нижче 10 см доцільно провести розпушування стрілочастими лапами або чизелем.

3.5. Садіння ризомів міскантусу гігантського

Садіння (рис. 3) є ключовим етапом у формуванні високопродуктивної багаторічної плантації міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*), оскільки саме на цьому етапі закладається потенціал майбутнього врожаю на період 15–20 років [47]. Успішне приживлення садивного матеріалу (ризомів) залежить від якості садіння, фізіологічного стану посадкового матеріалу, температурно-вологості ґрунту, технічних параметрів заготання та рівномірності розміщення у полі.



Рис. 3. Садіння міскантусу гігантського на дослідному полі ІВКіЦБ (с. Ксаверівка друга) дворядною машиною СМ-2 (розробка відділу технологій вирощування біоенергетичних культур)

Тип садивного матеріалу. У практиці вирощування використовуються:

Ризоми (кореневища) – переважаючий спосіб садіння в Україні;

Мікроклональна розсада – для селекційних та науково-виробничих ділянок;

Саджанці з контейнерів – на важкодоступних ділянках або в умовах крапельного зрошення.

У даних рекомендаціях розглянуто технологію садіння **ризомми** як основний варіант для промислових плантацій (табл. 8).

Таблиця 8

Вимоги до садивного матеріалу

Параметр	Мінімальні вимоги
Довжина ризому	10–15 см
Маса ризому	25–50 г
Кількість бруньок на ризомі	≥ 3
Вологість на момент садіння	55–70 % (без пересушування)
Відсутність ураження гниллю	Повна

Зберігання до моменту висадки – у поліпропіленових мішках, у затемненому місці при температурі +2...+4 °С не довше 2–3 тижнів.

Оптимальні строки садіння:

Садіння проводять при досягненні:

- температури ґрунту не нижче +10...12 °С на глибині 10 см [48];
- відсутності ризику зворотних приморозків;
- рівня вологи 60–70 % НВ.

В зонах:

- **Полісся, Лісостеп** – друга половина квітня – перша декада травня;
- **Південь України** – кінець березня – перша половина квітня.

Запізнення з термінами призводить до погіршення приживлення ризомів, особливо на піщаних і пересушених ґрунтах (табл. 9, 10).

Таблиця 9

Технологія садіння ризомів

Параметр	Рекомендоване значення
Глибина загортання	5–8 см (до 10 см – на пісках у посушливий рік)
Схема садіння	70 × 90 см
Густота посадки	14–20 тис. рослин/га
Тип техніки	Саджалки для кореневищ

Критичні точки при садінні

Помилка	Наслідок	Рішення
Надто глибоке загортання (> 10 см)	Затримка проростання, загнивання	Контроль глибини та легке ущільнення
Заглиблення в сухий шар	Втрата приживлення	Садіння в оптимальну фазу вологості
Висихання садового матеріалу	Часткова загибель або нерівномірні сходи	Зволоження або прикриття від прямих променів

Специфіка садіння на маргінальних ґрунтах. На ґрунтах із дефіцитом органіки рекомендовано локальне внесення гранульованих добрив у лунку (наприклад, N₁₀P₁₀K₁₀ або збагачений попіл). На схилах – садіння поперек схилу з ущільненням ліній садіння.

3.6. Догляд за рослинами в перший рік вегетації

Перший рік після садіння є критичним етапом у формуванні високопродуктивної та довговічної плантації міскантусу гігантського. На цій стадії рослини витрачають ресурси переважно на формування кореневої системи та укорінення, а надземна біомаса формується повільно. Тому комплекс агротехнічних заходів має бути спрямований на створення сприятливих умов для росту, контроль за забур'яненістю, підтримання вологості і мінімізацію стресових чинників.

Цілі догляду в перший рік:

- забезпечити максимальне приживлення садового матеріалу;
- зменшити конкуренцію з боку бур'янів;
- підтримати оптимальний водно-повітряний режим ґрунту;
- стимулювати розвиток кореневої системи та фотосинтетичного апарату

(табл. 11).

Таблиця 11

Контроль бур'янів

Метод	Період проведення	Засоби / Техніка
Механічне розпушування міжрядь	через 10–14 днів після садіння та за потреби	КМН-2,8; КРН-4,2; фреза міжрядна
Гербіцидний контроль	у фазі проростання бур'янів (до 3 листків)	гліфосат (до сходів міскантусу); ацетохлор, мезотріон*
Ручне виполявання	локально, особливо на малих ділянках	при наявності багаторічників

Післясходове внесення гербіцидів допускається лише препаратами, які не фітотоксичні для міскантусу. Перед використанням слід проводити пробне тестування.

Міжрядна обробка ґрунту проводиться з метою розпушення ущільненого шару, поліпшення аерації та руйнування ґрунтової кірки. Глибина обробки – 6–8 см, ширина захисної смуги вздовж рядка – 15 см. Повторюють 2–3 рази на сезон залежно від забур'яненості та ущільнення.

Підживлення. Якщо в ґрунт не було внесено стартових добрив, рекомендовано:

- N_{30–40} (амонійна селітра або КАС) – у фазі активного наростання листя;
- P₁₀K₁₀ – при низькій забезпеченості ґрунту (локально або під міжряддя);
- Мікроелементи (бор, цинк) – при симптомах дефіциту, за листом.

Спостереження за приживленням і розвитком. У червні – липні проводять візуальну оцінку приживлення:

• якщо < 80 % рослин на ділянці – можливе підсаджування восени або наступної весни цілими рослинами, викопаними на краю поля;

- оцінюється рівномірність росту, наявність пошкоджень шкідниками, симптоми хлорозу чи гнилей.

Захист від шкідників і хвороб. Міскантус маловразливий до типових агрокультурних хвороб, проте на деградованих ґрунтах можливі ураження:

- фузаріозною гниллю (*Fusarium* spp.) – особливо в умовах перезволоження;
- дротяником, личинками хруща – при недостатньому розкладанні органіки.

Уражені рослини викопуються, ґрунт обробляється локально інсектицидами або біопрепаратами.

3.7. Утримання плантації міскантусу гігантського в багаторічному циклі

Утримання плантації міскантусу гігантського після першого року вегетації полягає в системному застосуванні агротехнічних, меліоративних та фітосанітарних заходів, що забезпечують стабільне функціонування культури впродовж 10–20 років експлуатації. Основна мета – підтримання продуктивності, попередження деградації ґрунту і мінімізація витрат, що особливо важливо при вирощуванні культури на маргінальних ґрунтах (табл. 12).

Таблиця 12

Річний цикл утримання: загальна схема

Період	Основні заходи
Осінь після збирання	Утримання стерні, за потреби – мульчування, фрезерування
Зима	Моніторинг пошкоджень, підготовка техніки, добрив
Весна (березень – квітень)	Розпушування міжрядь, при потребі – підживлення
Літо (червень – серпень)	Міжрядна обробка, контроль бур'янів, фітосанітарний нагляд
Осінь (жовтень – листопад)	Збирання врожаю, планування агротехнічних заходів

Міжрядна культивування проводиться 1–2 рази протягом вегетації (у квітні та червні) для зниження щільності ґрунту, контролю бур'янів й покращення водо- та повітрообміну. Глибина обробки – 6–8 см, у разі необхідності – до 10 см.

Підживлення. Норма добрив визначається на основі результатів агрохімічного аналізу ґрунту. Орієнтовні середні показники: Азот (N) 40–60 кг/га на рік (навесні), фосфор (P_2O_5) 100–120 кг/га та калій (K_2O) 120–150 кг/га (під оранку перед закладанням плантації).

Після другого-третього року внесення добрив може обмежуватися азотом залежно від стану ґрунту та урожайності.

Контроль забур'яненості та хвороб. Після другого року вегетації міскантус ефективно конкурує з бур'янами завдяки густому покриву листя і високій щільності надземної біомаси. Однак у випадку порушення структури плантації (вимерзання, механічні пошкодження, забруднення ґрунту):

- застосовується локальне міжрядне розпушування;
- можливе ручне видалення агресивних багаторічних бур'янів;
- за потреби – скошування проблемних ділянок.

Хвороби проявляються рідко; системна фітосанітарна обробка не проводиться. У разі появи фузаріозу чи плямистостей можливе оброблення біопрепаратами (триходерма, бактеріальні фунгіциди).

Агроекологічне утримання плантації. Особливої уваги потребують ділянки:

- із підвищеним вмістом важких металів – контроль зольного залишку після збирання;
- на схилах – регулярний моніторинг ерозійних процесів;
- у зоні радіаційного контролю – обов'язковий аналіз біомаси перед реалізацією.

Рекомендовано раз на 3–4 роки проводити:

- вимірювання щільності й рН ґрунту;
- агрохімічний аналіз (NPK, мікроелементи);
- візуальну ревізію щільності насаджень (норма – не менше 85 % живих стебел).

Реконструкція плантацій. За наявності пропусків або осередків відмирання (< 75 % щільності) проводять підсаджування навесні свіжими ризомами або локальне фрезерування та відновлення посадки в пошкодженій зоні.

3.8. Вимоги до збирання біомаси міскантусу гігантського

Збирання біомаси міскантусу гігантського є завершальним етапом вегетаційного циклу, що безпосередньо впливає на якість сировини, вихід сухої речовини, стабільність плантації в наступному році та економічну ефективність виробництва. З огляду на використання біомаси як сировини для енергетики, мульчі або сировини для біопереробки, важливим є дотримання чітких технологічних вимог до строків, умов, вологості та методів збирання.

Мета збирання:

- отримати максимально суху, структуровану, безпечну біомасу;
- мінімізувати втрати під час збирання та транспортування;
- забезпечити зручну форму сировини для подальшої переробки або зберігання.

Оптимальні строки збирання. Проводиться у фазі повного висихання стебел, коли вологість біомаси не перевищує 20–25 %, немає снігового покриву та ґрунт не перезволожений (уникнення ущільнення) (табл. 13, 14).

Таблиця 13

Агротехнічні вимоги до біомаси

Параметр	Рекомендоване значення
Вологість біомаси	≤ 25 % (оптимально 15–20 %)
Висота зрізу	≥ 10 см (для збереження вузлів відновлення)
Довжина подрібнення (якщо перед подрібненням)	30–100 мм залежно від виду використання
Втрати біомаси під час збирання	≤ 10 %

Таблиця 14

Засоби збирання біомаси міскантусу гігантського

Тип збирання	Техніка	Призначення
Пряме скошування	Косарки-подрібнювачі, ножові жатки	Для формування валків або подальшої подрібненості
Збирання з валка	Прес-підбирачі, рулонні або тюкові преси	Для формування тюків
Подрібнення з одночасним завантаженням	Кормозбиральні або енергетичні комбайни	Для транспортування на ТЕС, біозаводи

Збирання на плантаціях із фітореMediaційним статусом:

- Обов'язковий контроль вмісту важких металів у зібраній біомасі та зольному залишку;
- Біомаса не може використовуватись для побутового опалення;
- Зола має утилізуватись відповідно до вимог ДСП 173-96 (табл. 15).

Таблиця 15

Технічні та екологічні застереження

Проблема	Наслідок	Як уникнути
Надто раннє збирання	Висока вологість, ускладнене сушіння	Чекати повного висихання біомаси на корені
Збирання на перезволоженому ґрунті	Ущільнення, пошкодження кореневищ	Дочекайтесь стійкого підсушення поверхні
Надмірно низьке скошування	Вимерзання вузлів відновлення	Дотримуватись висоти зрізу ≥ 10 см

3.9. Вимоги до транспортування та зберігання біомаси міскантусу гігантського

Правильна організація транспортування та зберігання біомаси міскантусу гігантського має вирішальне значення для збереження енергетичної цінності сировини, мінімізації втрат, попередження самозігрівання чи гниття, а також оптимізації логістичних витрат у ланцюгу постачання біопалива. Особливо актуально це для сировини, зібраної у весняний період, коли погодні умови можуть сприяти підвищенню вологості.

Мета транспортування та зберігання:

- доставити біомасу до місця переробки або зберігання без втрати якості;
- зберегти низьку вологість та структурну цілісність сировини;
- забезпечити вибухо- та пожежобезпечність;
- попередити розвиток мікрофлори та самозігрівання.

Вимоги до транспортування

Форма біомаси для перевезення:

- Рулони (діаметр 120–160 см);
- Прямокутні тюки (щільність $\geq 120 \text{ кг/м}^3$);
- Подрібнена маса (при негайному транспортуванні на ТЕС або біозавод) (табл. 16).

Таблиця 16

Умови транспортування

Параметр	Вимоги
Вологість сировини	$\leq 25 \%$ (оптимально 15–20 %)
Засоби транспортування	бортові вантажівки, напівпричепи, платформи
Час транспортування	не більше 48 годин – при вологості $> 20 \%$
Накриття	бажано використовувати тенти або плівку

На далекі відстані ($> 50 \text{ км}$) доцільне брикетування або тюкування з метою зменшення об'ємної маси при перевезенні.

Вимоги до зберігання біомаси

Залежно від форми, обсягів та подальшого призначення сировини застосовують польове зберігання (тимчасове) або стаціонарне складське зберігання (довготривале).

Польове (тимчасове) зберігання. Застосовується для рулонів і тюків протягом 1–3 місяців. Умови:

- майданчик із щільною, вирівняною поверхнею, не піддається підтопленню;
- тюки встановлюють на дерев'яні піддони або солом'яну підстилку (висота $\geq 10 \text{ см}$);
- рулони – стоячи, з нахилом від стоку дощової води;
- тюки – у штабелі не вище 3 рядів, накриті плівкою або агроволокном;
- відстань між штабелями – не менше 2 м.

Стаціонарне (довготривале) зберігання. Для зберігання біомаси > 6 місяців, призначеної для біоТЕС, брикетування, гранулювання (табл. 17).

Таблиця 17

Вимоги до складу

Показник	Вимога
Вологість біомаси	$\leq 20 \%$
Вентиляція	Природна або примусова (для подрібненої маси)
Температурний контроль	Обов'язковий при зберіганні > 1 місяця
Щільність складування	Не менше 120 кг/м^3 для тюків; $200\text{--}300 \text{ кг/м}^3$ для січки
Засоби пожежогасіння	Наявні на відстані $\leq 50 \text{ м}$
Відстань до джерел вогню	$\geq 15 \text{ м}$

Зберігання подрібненої сировини здійснюється у силосах, ангарах, бункерах, з твердим покриттям і захистом від опадів (табл. 18).

Проблеми та запобіжні заходи

Ризик	Запобігання
Самозігрівання та гниття	Сушіння до 15–20 % вологості перед зберіганням
Утрати енергоємності	Зберігати в щільно утрамбованому стані
Загоряння / перегрів	Періодичний контроль температури в штабелях
Біологічна деструкція (цвіль)	Вентиляція, сухе місце, запобігання затіканню води

3.10. Вимоги до ліквідації плантації міскантусу гігантського у зв'язку зі старінням рослин

Після 15–20 років експлуатації плантації міскантусу гігантського поступово втрачають продуктивність унаслідок старіння кореневої системи, зниження щільності стеблостою, накопичення фітопатогенів та фізичної деградації ділянки. Тому своєчасна та екологічно безпечна ліквідація старих насаджень є необхідною умовою завершення повного циклу вирощування культури.

Мета ліквідації: повне видалення багаторічної кореневої системи; відновлення структури ґрунту; підготовка ділянки до нового сільськогосподарського або лісомеліоративного використання; мінімізація ризиків повторної вегетації міскантусу та розповсюдження бур'янів (табл. 19).

Таблиця 19

Оптимальний період ліквідації

Регіон	Рекомендований період
Полісся	Вересень – жовтень
Лісостеп	Серпень – жовтень
Південь	Після збирання біомаси (липень – серпень)

Ліквідацію бажано проводити в суху погоду, щоб забезпечити ефективну роботу техніки та запобігти утворенню ущільнень.

Технологічні етапи ліквідації плантації. Збирання біомаси – у кінці вегетації. Подрібнення решток – ротаційними або фрезерними подрібнювачами. Викорчовування кореневищ – глибоке фрезерування, чизелювання або використання ґрунтофрез на глибину обробки 25–35 см, а також можливе комбінування з культивуацією та оборотом пласта. Розрівнювання поверхні – боронування, коткування. Агрохімічне обстеження – визначення залишкової родючості, рН, вмісту гумусу (табл. 20).

Таблиця 20

Обмеження та застереження

Чинник	Рекомендації
Наявність корневих залишків	Провести повторне дискування через 2–3 тижні
Сильне ущільнення після техніки	Глибоке чизелювання (до 40 см)
Планується посів продовольчих культур	Перевірити вміст важких металів і пестицидів

Подальше використання ділянки. Після ліквідації можливі варіанти: а) висів сидератів; б) переведення в інше агровикористання (технічні, кормові культури); в) створення нової плантації; г) лісомеліоративне використання (табл. 21).

Таблиця 21

Критерії ефективної ліквідації

Показник	Орієнтовне значення
Щільність залишкових кореневищ	< 5 % на 1 м ²
Рівень ущільнення ґрунту	≤ 1,3 г/см ³
Глибина обробітку	≥ 25 см (по всій площі)
Візуальна оцінка проростання міскантусу	Відсутня на 90 % площі

4. ВИМОГАМИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО

4.1. Вибір ділянки

Просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.), або світчграс, є теплолюбною багаторічною злаковою культурою, яка формується впродовж першого-другого року вегетації та здатна забезпечувати високі врожаї біомаси протягом 10–15 років. Завдяки розвиненій кореневій системі, високій адаптивності до стресових умов і потенціалу накопичення вуглецю в ґрунті, ця культура придатна для вирощування на маргінальних, малопродуктивних або деградованих землях.

Критерії вибору ділянки:

- забезпечення мінімальних агроєкологічних умов для проростання насіння та формування сходів;
- достатній запас продуктивної вологи у ґрунті в період весняної сівби;
- відсутність надмірної засоленості, застою води або тривалих підтоплень;
- екологічна безпека території у разі використання біомаси в енергетичних або технічних цілях.

Кліматичні умови. Просо прутоподібне краще розвивається у зонах з:

- середньорічною температурою повітря – від +7 до +12 °С;
- річною сумою опадів – 500–800 мм, із чітко вираженим весняно-літнім максимумом;
- тривалістю вегетаційного періоду – ≥ 120 днів із температурою > 10 °С.

Умовно придатні для вирощування – Полісся, Лісостеп, північний Степ України, а також освоєні меліоративні землі, за умови адаптованої агротехніки (табл. 22).

Таблиця 22

Ґрунтові умови

Показник	Мінімальні вимоги / оптимум
Тип ґрунту	Супіщані, суглинкові, чорноземи, лесові
Вміст гумусу	$\geq 1,5$ % (оптимально 2–4 %)
рН сольовий	5,5–7,5
Глибина гумусового шару	не менше 25 см
Солонцюватість / засолення	не допускається
Ущільнення / плужна підшва	не допускається (щільність $\leq 1,3$ г/см ³)

Специфіка використання маргінальних земель. Просо прутоподібне добре витримує низький вміст елементів живлення (при стартовому удобренні), посуху та періоди високих температур (після вкорінення), деградовані ґрунти з легкою структурою, включно з рекультивованими ділянками, помірне забруднення важкими металами – при вирощуванні біомаси для технічних потреб, однак за умови контролю використання залишкової продукції (золи).

Не рекомендується висівати культуру на затоплюваних ділянках, ґрунтах із рН $< 5,0$ або $> 8,0$ без попереднього агрохімічного коригування, торфовищах і болотистих землях – через ризик загнивання насіння і пригнічення росту.

Екологічні обмеження (у разі фітореMediaційного вирощування). Перед закладенням плантації на потенційно забруднених землях необхідно провести аналіз ґрунту на вміст важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu) і радіонуклідів. Якщо вміст перевищує гранично допустимі концентрації – продукція не може використовуватись для біогазу чи спалювання в малих котлах. Обов'язкове ведення паспорта поля, фіксація джерела забруднення та моніторинг змін у ґрунті (табл. 23).

Критерії придатності ділянки

Ознака	Придатність
Забезпечення вологою	Придатна за глибоким орним горизонтом
Схили до 5–7°	Придатна, за умови поперечного розміщення рядків
Ущільнений ґрунт або кірка	Придатна після глибокого обробітку
Мульчовані або задерновані ділянки	Придатна після фрезерування / оранки

4.2. Основний обробіток ґрунту

Основний обробіток ґрунту під просо прутоподібне має за мету покращення фізичних властивостей ґрунту, руйнування ущільнених шарів, накопичення вологи, знищення багаторічних бур'янів і підготовку однорідного посівного горизонту. Для маргінальних земель, де структура часто деградована, особливо важливо досягти глибокого аерованого шару та оптимального водопоглинання, що забезпечить успішне укорінення культури в перший рік вегетації.

Завдання основного обробітку:

- руйнування плужної підшви (при її наявності);
- знищення кореневої системи бур'янів (особливо пирію, осоту, берізки);
- накопичення вологи в осінньо-зимовий період;
- поліпшення мікробіологічної активності ґрунту;
- вирівнювання поля перед весняною підготовкою.

Терміни виконання. Основний обробіток проводять восени, одразу після збирання попередника або при звільненні ділянки: для посушливих регіонів – не пізніше вересня; у зонах достатнього зволоження – до настання фізичної стиглості ґрунту (жовтень). Запізнення із проведенням знижує ефективність обробітку та накопичення вологи (табл. 24, 25).

Таблиця 24

Технології основного обробітку

Вид обробітку	Глибина, см	Техніка / Знаряддя	Примітки
Оранка	20–25	ПЛН-3.35, ППО-4-40, навісні оборотні плуги	На злежаних і глинистих ґрунтах
Глибоке рихлення	30–35	Чизельні плуги, ПЧ-4, ОПГ-3,5	Для деградованих ділянок або ущільнень
Безполицевий обробіток	18–20	ЛДГ-10, плоскорізи-глибокородзпущувачі	Для легких, структурно нестійких ґрунтів
Дискування (альтернатива)	10–14	БДТ-7, БДП-6×2	За недоступності оранки, на розроблених цілинах

Таблиця 25

Особливості обробітку на маргінальних ґрунтах

Умова	Рекомендований підхід
Сильне ущільнення, низька пористість	Глибоке чизелювання (до 35 см)
Кам'янисті або піщані ґрунти	Поверхневий безполицевий обробіток
Підвищена кислотність (рН < 5.5)	Вапнування + органо-мінеральні добрива
Високий вміст глини (> 40 %)	Обробіток з оборотом пласта та вирівнювання

Технічні зауваження. Ґрунт має оброблятися лише у фізично стиглому стані – недопустимо розбивання грудок у вологому середовищі. Не рекомендується використовувати важкі агрегати на схилах або ґрунтах із низькою несучістю – є ризик створення колій, ущільнення. На схилах понад 5–7° – оранку проводять поперек схилу або використовують поверхневий мульчувальний обробіток.

4.3. Ранньовесняний обробіток ґрунту

Ранньовесняний обробіток ґрунту є важливим етапом підготовки посівного ложа для проса прутopodobного, оскільки забезпечує збереження вологи, руйнування ґрунтової кірки, усунення капілярного підсмоктування води та вирівнювання поверхні поля. Успішна реалізація цих операцій створює сприятливі умови для рівномірного проростання насіння і зменшує залежність від опадів у посушливий період сівби.

Завдання ранньовесняного обробітку:

- зберегти запаси продуктивної вологи у посівному шарі;
- знищити кірку, що утворилася внаслідок танення снігу;
- обмежити проростання бур'янів у початковий період;
- забезпечити рівномірність температурного режиму у верхньому шарі ґрунту.

Оптимальні строки проведення. Ранньовесняний обробіток проводиться відразу після підсихання поверхневого шару ґрунту, щойно техніка може вийти в поле, зазвичай у південному Степу – початок – середина березня; у Лісостепу – кінець березня – початок квітня; у Поліссі – перша – друга декада квітня.

Зволікання призводить до втрати 15–25 % продуктивної вологи через випаровування (табл. 26).

Таблиця 26

Техніка та методи

Захід	Глибина, см	Техніка / Знаряддя	Примітки
Боронування впоперек схилу	3–5	БЗП-1,0; ЗБП-0,6; ротаційні борони	Одно- або двократне, залежно від стану ґрунту
Шлейфування (за потреби)	2–3	Шлейф-зубчастий, шлейф-сітка	На важких ґрунтах або після ущільнення
Ротаційне розпушування	3–6	РВК-3, КРН з ротаційними лапами	Особливо ефективно на кіркових полях

Особливості на маргінальних землях. У разі ущільнення поверхні рекомендується легке ротаційне фрезерування. На піщаних та супіщаних ґрунтах ранньовесняне розпушування може комбінуватись із прикочуванням, щоб зберегти вологу. У зонах ризику ерозії – боронування поперек схилу або переважно у вечірній час, щоб мінімізувати пересихання (табл. 27).

Таблиця 27

Типові помилки та їх наслідки

Помилка	Наслідок	Рекомендація
Занадто глибоке розпушення	Втрата вологи, нерівність поверхні	Дотримання глибини не більше 5 см
Робота на сирому ґрунті	Прилипання, заліплювання борін	Чекати фізичної стиглості ґрунту
Відсутність розпушення кірки	Повільна поява сходів, зрідженість	Проводити боронування в оптимальний час

4.4. Передпосівний обробіток ґрунту

Передпосівний обробіток ґрунту є завершальним етапом ґрунтопідготовки, спрямованим на формування посівного ложа, збереження вологи та забезпечення рівномірної глибини загортання насіння. Особливо важливо забезпечити дрібнозернисту структуру верхнього шару ґрунту на глибину 3–5 см, що сприяє ефективному проростанню насіння проса прутopodobного – культури, яка має дрібне насіння та слабкі проростки на початкових фазах росту.

Цілі передпосівного обробітку: створити вирівняне, добре розпушене посівне ложе; знищити проростки бур'янів; забезпечити тісний контакт насіння з вологою ґрунту; зменшити втрати вологи до моменту сівби.

Строки проведення. Передпосівний обробіток ґрунту виконують безпосередньо перед сівбою, упродовж 1–2 години до посіву, за умови настання фізичної стиглості верхнього шару ґрунту. У вологу весну або після дощів – не раніше повного підсихання посівного горизонту (табл. 28).

Таблиця 28

Рекомендовані прийоми

Захід	Глибина, см	Техніка / Знаряддя	Примітки
Культивація	4–6	КШУ, КПС-4, КПЕ-3,8	Вирівнювання поверхні, знищення бур'янів
Боронування	3–5	БЗП-1,0; БЗСС; середні зубові борони	Після культивування або одночасно з нею
Комбіноване агрегативання	5–6	«Лемкен», «Квік» або аналогічні	Розпушення, вирівнювання та ущільнення за один прохід
Прикотковування	0–3	ККН-2,8; ЗККШ-6	Обов'язкове на легких ґрунтах або при недостатній вологості

Особливості на маргінальних ґрунтах. На супіщаних і піщаних ґрунтах важливо уникати надмірного розпушення, яке призводить до пересихання. У разі загрози втрати вологи передпосівний обробіток поєднують із коткуванням – це стабілізує глибину загортання та підвищує польову схожість. На еродованих або ущільнених ділянках рекомендується локальне розрихлення міжрядь, щоб зменшити капілярний підйом води (табл. 29).

Таблиця 29

Типові помилки

Помилка	Наслідок	Рекомендація
Занадто раннє проведення	Втрата вологи до моменту сівби	Виконувати за 1–2 дні до сівби
Недостатнє вирівнювання	Нерівномірна глибина посіву	Повторне культивування або боронування
Занадто глибоке розпушення (> 7 см)	Недостатній контакт насіння з вологою	Обробіток тільки в межах посівного горизонту
Робота на сирому ґрунті	Злипання, грудки, ущільнення	Дочекатись фізичної стиглості ґрунту

4.5. Підготовка насіння та сівба проса прутіподібного

Успішне вирощування проса прутіподібного значною мірою залежить від якісного насіння, правильно обраної технології сівби та дотримання термінів, які відповідають біологічним вимогам культури. Оскільки культура має дрібне насіння з відносно низькою енергією проростання, особливо на маргінальних ґрунтах, важливо забезпечити високу якість посівного матеріалу, тісне прилягання до вологого ґрунту та відсутність конкуренції з боку бур'янів у фазі сходів.

Цілі етапу: підвищити схожість насіння; забезпечити рівномірні, дружні сходи; сформувати оптимальну густоту стояння; забезпечити глибину загортання 1,5–2 см на легких ґрунтах і до 2–2,5 см – на важчих (табл. 30).

Вимоги до насіння

Показник	Рекомендоване значення
Схожість лабораторна	≥ 75 % (оптимум ≥ 85 %)
Вологість при зберіганні	≤ 12 %
1000 насінин, г	0,8–1,2
Життєздатність (ТЦС)	не менше 85 % (за методом Тетцеля)
Категорія	Не нижче II репродукції або сортова

Примітка: Насіння може зберігатися до 5 років без втрати схожості, за умови дотримання температурного та вологісного режимів (0...+5 °С; вологість ≤ 40 %).

Передпосівна підготовка насіння. Калібрування – рекомендовано для вирівнювання глибини сівби. **Протруювання фунгіцидом** – обов'язкове на слабких ґрунтах або при високій загрозі ураження фузаріозами. Рекомендовані препарати: тебуконазол, флудіоксоніл (протруйники системної або контактної дії). **Обробка стимуляторами росту** – за потреби, препаратами на основі гіберелінів, ауксинів, фітогормонів (опційно – гумати або біопрепарати на основі *Bacillus subtilis*) (табл. 31).

Таблиця 31

Оптимальні строки сівби

Кліматична зона	Строки сівби	Температура ґрунту на глибині 5 см
Південний Степ	10–25 квітня	≥ 10 °С
Лісостеп, Полісся	20 квітня – 10 травня	≥ 10–12 °С

Запізнення із сівбою призводить до нерівномірних сходів і поганого укорінення до настання літньої посухи (табл. 32).

Таблиця 32

Спосіб сівби

Параметр	Рекомендація
Спосіб сівби	Звичайний рядковий або широкорядний (45–70 см)
Норма висіву насіння	7–10 кг/га (рядовий спосіб), 4–6 кг/га (широкорядний)
Глибина загортання насіння	1,5–2,5 см
Густота стояння	250–350 тис. рослин/га (після сходів)
Сівалки	СЗ-3,6; СПЧ-6М; сівалки точного висіву з сошником-глибиноміром

Агротехнічні рекомендації. У маргінальних умовах рекомендовано **широкорядну сівбу** – це полегшує міжрядну культивування та контроль бур'янів у перший рік. Для стабільного контакту насіння з вологою після сівби – **обов'язкове коткування**. За надто сухих умов у верхньому шарі можна **проводити щілювання** або комбінувати сівбу з прикочуванням та мульчуванням міжрядь (табл. 33).

Таблиця 33

Типові помилки при сівбі

Помилка	Наслідок	Як уникнути
Занадто глибоке загортання	Затримка сходів, низька схожість	Контроль глибини: 1,5–2,5 см
Нерівномірне внесення насіння	Зріджені ділянки, конкуренція	Калібрування та налаштування сівалки
Відсутність обробки протруйником	Ураження сходів патогенами	Застосування системних фунгіцидів

4.6. Коткування посівів проса прутоподібного

Коткування посівів проса прутоподібного – один із обов’язкових прийомів післясівного обробітку ґрунту, який значно впливає на схожість насіння, формування дружних сходів і рівномірну густоту рослин. Оскільки просо має дрібне насіння та слабку енергію проростання, особливо на малородючих або розпушених ґрунтах, коткування сприяє ущільненню посівного ложа, покращенню контакту насіння з вологою і зменшенню втрат вологи через капілярне випаровування.

Мета коткування:

- забезпечити оптимальні умови для проростання насіння;
- зменшити втрати вологи з поверхневого шару;
- вирівняти ґрунт після сівби;
- частково зруйнувати ґрунтову кірку або грудки;
- запобігти переміщенню насіння внаслідок вітру чи опадів (табл. 34, 35).

Таблиця 34

Умови для проведення

Показник	Оптимальне значення
Ступінь розпушеності ґрунту	Середньо або сильнорозпушений
Вологість ґрунту	Стиглий, не перезволожений
Температура повітря	Не нижче +8 °С (у разі ранньої сівби)
Час проведення	У день сівби або не пізніше наступного дня

Таблиця 35

Знаряддя та техніка

Тип котків	Застосування
Кільчасто-шпорові котки (ККН-2,8, ЗККШ-6)	На середніх і важких ґрунтах
Гладкі котки	На легких, супіщаних і сухих ґрунтах
Комбіновані агрегати з прикочуванням	При сівбі «за один прохід»

У разі сівби сівалками з уже вбудованим коткувальним механізмом (наприклад, «Квік» або «Great Plains»), додаткове коткування може бути не потрібним – лише за умов достатньої вологості.

Особливості для маргінальних умов. На легких ґрунтах, схильних до вивітрювання, коткування після сівби є критично важливим. У разі сухої весни рекомендується дворазове коткування – до і після сівби. На піщаних або підзолистих ґрунтах коткування дозволяє зменшити товщину пересохлого шару, сприяючи появі дружних сходів (табл. 36).

Таблиця 36

Поширені помилки

Помилка	Наслідок	Рекомендація
Коткування по вологому ґрунту	Ущільнення, утворення кірки	Почекати фізичної стиглості
Відсутність коткування після сівби	Нерівномірність схожості, зрідженість посівів	Провести коткування в день сівби
Надто важкий коток на легкому ґрунті	Надмірне ущільнення, утруднення проростання	Використовувати гладкі або легкі котки

4.7. Догляд за посівами проса прутоподібного

Догляд за посівами проса прутоподібного у перший рік вегетації є ключовим для формування повноцінної кореневої системи, збереження густоти стояння рослин, а також пригнічення конкурентної рослинності. У наступні роки вирощування культура практично не

потребує догляду, завдяки здатності до самозагущення та витіснення бур'янів, однак на етапі формування плантації необхідне ретельне агротехнічне супроводження.

Мета догляду:

- створення оптимальних умов для росту у фазах сходів – кущіння;
- забезпечення конкурентної переваги культури над бур'янами;
- стабілізація вологозабезпечення та аерації;
- попередження ураження рослин хворобами та шкідниками (табл. 37).

Таблиця 37

Боротьба з бур'янами

Період	Захід	Примітки
До сходів	Обприскування ґрунтовими гербіцидами	Препарати на основі ацетохлору, пендиметаліну
У фазі 2–4 листків	Міжрядна культивування	Глибина 4–6 см, ширина захисної зони ≥ 10 см
Фаза кущіння	Селективні страхові гербіциди	Імідазолінони, похідні нікосульфурону (за потреби)

За умови широкорядної сівби особливо ефективною є механічна обробка міжрядь, яку проводять 2–3 рази на сезон.

Розпушування міжрядь проводиться для покращення аерації ґрунту, руйнування кірки, утримання вологи, стимуляції кущіння рослин (табл. 38-39).

Таблиця 38

Показники якості проведення розпушування

Показник	Оптимум
Глибина розпушування	4–6 см (до 8 см на ущільнених ґрунтах)
Кількість проходів	2–3 на перший рік
Техніка	КРН-4,2; культиватори з лапами-розрихлювачами

Таблиця 39

Підживлення

Фаза	Добрива	Доза (кг/га д. р.)	Примітки
До сівби або по мерзлоталому ґрунту	Азотні (аміачна селітра, КАС)	N ₃₀₋₆₀ (в перший рік)	За умови низької родючості
Після укорінення	Азот + калій (селітра + калімаг)	N ₃₀₋₄₀ + K ₂₀	Підкормка у фазі 3–5 листків

У наступні роки підживлення проводиться раз на 2–3 роки в помірних дозах, або за результатами агрохімічного обстеження.

Захист від шкідників та хвороб. У перший рік захист, як правило, не потрібен. Масового ураження в умовах України не зафіксовано. Однак у несприятливі роки можлива поява хвороб або шкідників (табл. 40).

Таблиця 40

Захист від шкідників та хвороб

Проблема	Діагностика	Засіб контролю
Коренева гниль	В'янення молодих рослин	Протруювання насіння + дренажування
Злакові попелиці	Колонії на листках	Піретроїди (за перевищення ЕПШ)
Слимаки	Сліди слизу, підгризання	Біологічні приманки, агротехнічний догляд

Інші заходи в перший рік. Огляд густоти посівів у фазі сходів – при зрідженні ≤ 70 тис. рослин/га рекомендується досів. Утримання поля чистим від деревно-чагарникової рослинності – просо не переносить затінення.

4.8. Вимоги до збирання біомаси проса прутоподібного

Збирання біомаси проса прутоподібного є фінальним і технологічно важливим етапом щорічного циклу вирощування культури. Основне завдання – отримання максимальної кількості сухої речовини з високою енергетичною цінністю, з одночасним збереженням довготривалої продуктивності плантації. Оптимальна стратегія збирання залежить від цільового використання біомаси (спалювання, пелетування, брикетування, силосування, біогаз) та кліматичних умов сезону.

Мета збирання:

- отримати суху, якісну біомасу з вологістю $\leq 20\%$;
- забезпечити низький вміст золи, кремнію та калію (для спалювання);
- не пошкодити відновлювальні бруньки культури;
- мінімізувати втрати маси та засміченість (табл. 41).

Таблиця 41

Оптимальні строки збирання

Призначення біомаси	Час збирання	Ознаки стиглості
Енергетичне використання	Січень – березень	Повне висихання стебел, відмерлі листки
Кормова / силосна біомаса	Серпень – вересень	Фаза молочно-воскової стиглості зерна
Біогаз / целюлозне перероблення	Жовтень – листопад	Висока вологість, активна фаза вегетації

Рекомендовано зимове збирання (лютий – березень) – знижує вологість біомаси природним шляхом, уникати збирання після сильних опадів або відлиг.

Підготовка до збирання:

- оцінка вологості біомаси (оптимально $\leq 20\%$);
- перевірка стану техніки (ножів, ріжучих агрегатів);
- розчищення проїздів, особливо взимку;
- перевірка наявності уражень грибковими хворобами (впливає на якість золи)

(табл. 42, 43).

Таблиця 42

Методи збирання

Метод	Техніка	Переваги / Застосування
Пряме скошування з плющенням	Косарка-плющилка	Для свіжої зеленої маси (біогаз, силос)
Пряме скошування без плющення	Ротаційна косарка, жатка	Для зимового збирання
Скошування з формуванням валків	Косарка-валкоутворювач	Сушіння в полі, зниження вологи
Пресування в рулони / тюки	Прес-підбирач	Для зберігання і транспортування сухої маси

Таблиця 43

Технічні вимоги

Параметр	Значення
Вологість біомаси	$\leq 20\%$ (оптимум 14–17%)
Висота зрізу	10–15 см (не менше 8 см)
Довжина стебел у масі	≤ 30 см (для брикетування)
Втрати біомаси на полі	$\leq 5\%$ (при якісному обслуговуванні техніки)

Високий зріз сприяє збереженню відновлювальних вузлів і довготривалому існуванню плантації (10–15 років) (табл. 44).

Таблиця 44

Умови, що впливають на якість біомаси

Умова	Вплив
Несвоєчасне збирання (вологість > 30 %)	Зростання витрат на сушіння, ураження грибками
Ураження листя ржавчиною чи плямистостями	Зниження якості золи
Пошкодження бруньок	Зниження урожайності наступного року
Збирання по сирому снігу	Підвищена зольність, втрати маси

4.9. Вимоги до транспортування та зберігання біомаси проса прутоподібного

Правильно організоване транспортування та зберігання біомаси проса прутоподібного є критично важливими для збереження її енергетичної цінності, зменшення втрат сухої речовини, попередження самозігрівання, пліснявіння та загоряння. Найвищої якості досягають при зимовому збиранні, коли природне підсушування на корені знижує вологість сировини до прийняттого рівня.

Мета логістичного етапу:

- зберегти якість біомаси до моменту переробки;
- уникнути повторного зволоження під час транспортування;
- забезпечити технічно безпечне складування (від вогню, самозігрівання);
- оптимізувати витрати на сушіння, особливо при експорті або брикетуванні

(табл. 45, 46).

Таблиця 45

Форма біомаси для перевезення

Форма	Особливості
Пресовані рулони	Оптимальні для тривалого зберігання, логістики
Прямокутні тюки	Висока щільність, зручність складування
Подрібнена маса	Використовується при негайному транспортуванні до переробника
Валки (непресовані)	Потребують швидкого перевезення / тюкування

Таблиця 46

Вимоги до транспортування

Показник	Рекомендоване значення
Вологість при перевезенні	≤ 20 % (оптимум 14–17 %)
Тривалість транспортування	не більше 48 год при вологості > 18 %
Засоби транспорту	Бортові платформи, тентовані напівпричепи
Накриття	Обов'язкове при вологості > 15 % або при опадах

У разі відстаней > 50 км доцільне брикетування або тюкування – для зменшення об'ємної маси та логістичних витрат.

Вимоги до зберігання біомаси. Польове зберігання (короткострокове, ≤ 3 місяців):

- рулони / тюки зберігають на піддонах, дерев'яних решітках або соломі;
- штабелі не більше 3 рядів, з відстанями ≥ 1,5 м між ними;
- зберігати на ділянках з ухилом для стоку води, за можливості – накривати плівкою (табл. 47).

При зберіганні подрібненої маси – обов'язкове ущільнення (≥ 250 кг/м³) та щоденний контроль температури в штабелі (табл. 48).

Складське зберігання (довготривале)

Показник	Вимога
Місце зберігання	Сухі склади, ангари, навіси
Система вентиляції	Природна або примусова
Контроль температури	При зберіганні > 3 місяці – обов'язковий
Пожежна безпека	Засоби пожежогасіння на відстані ≤ 50 м
Вологість повітря	Не вище 60–65 %

Критичні фактори впливу

Фактор	Наслідки	Запобігання
Висока вологість (> 25 %)	Пліснявіння, самозигрівання	Підсушування в полі / активне вентилявання
Відкрите зберігання під дощем	Втрати сухої речовини, підвищення зольності	Накриття, тверде покриття складу
Надмірна щільність штабелів	Підвищення температури, злежування	Вентиляційні канали або активна вентиляція
Шкідники (гризуни, комахи)	Забруднення біомаси, втрати	Біологічний захист, регулярна перевірка

4.10. Догляд за посівами проса прутіподібного

Просо прутіподібне, як багаторічна культура, зберігає продуктивність упродовж 10–15 років залежно від умов вирощування, агротехнічного супроводу та цільового використання біомаси. По завершенні продуктивного циклу або у разі потреби зміни землекористування виникає необхідність у технологічно обґрунтованій ліквідації плантації з метою підготовки площі під нові посіви або природного відновлення екосистеми.

Мета ліквідації: видалити багаторічну кореневу систему культури; усунути ущільнення та біологічну деградацію верхнього шару ґрунту; відновити структуру ґрунту та його біологічну активність (табл. 49).

Ознаки завершення продуктивного циклу

Ознака	Наслідок
Зниження урожайності біомаси < 7 т/га	Недоцільність утримання плантації
Поширення хвороб (іржа, плямистість)	Зниження якості та енерговмісту
Витіснення культурних форм бур'янами	Порушення густоти стояння
Виснаження ґрунту, зниження рівня гумусу	Зменшення стійкості до абіотичних факторів

Етапи ліквідації плантації проса прутіподібного подано в таблиці 50.

Етапи технологічної ліквідації

Етап	Технологія / знаряддя	Примітки
1. Подрібнення залишків	Мульчери, ротаційні фрези, дискові борони	За 2–3 тижні до оранки
2. Виведення кореневища	Глибоке чизелювання, плоскорізи (30–40 см)	Зруйнування основної маси коренів
3. Пожнивне луцення	БДТ-7, ЛДГ-10, дискатори	У 2 сліди – для вирівнювання і аерації
4. Основна оранка	ПЛН-5-35, ППО-8-40 (на глибину 25–30 см)	Залежно від типу ґрунту
5. Висів сидератів (опційно)	Ріпак, гірчиця, фацелія	Для відновлення біологічної активності

У разі органічного землеробства – сидерати використовуються обов’язково (табл. 51).

Таблиця 51

Терміни проведення ліквідації

Варіант	Рекомендований період
Весняне виведення	Березень – квітень (до початку вегетації)
Осіньне виведення	Вересень – жовтень (після останнього збирання)

Осіньна ліквідація дозволяє провести **посів озимих сидератів** або підготовку ґрунту під ярі культури.

Реактивація ґрунту після плантації:

- Внесення органіки (компости) – 20–30 т/га;
- Дефіцієнтні добрива – фосфор, калій за результатами аналізу;
- Вапнування – при рН < 5,5;
- Висів багаторічних трав – для екологічного консерваційного періоду (особливо на еродованих землях) (табл. 52).

Таблиця 52

Типові помилки

Помилка	Наслідки	Рекомендація
Неповне видалення кореневищ	Відновлення культури через рік	Повторне чизелювання + луцення
Відсутність сидератів	Виснаження ґрунту, зниження вмісту гумусу	Застосування бобових / хрестоцвітих
Глибока оранка по вологому ґрунту	Комкуватість, руйнування структури	Проводити тільки у фізично стиглому стані

5. ПЕРЕРОБЛЯННЯ БІОМАСИ БАГАТОРІЧНИХ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР

5.1. Виробництво твердого біопалива

Отримана біомаса або січка після збирання може використовуватись безпосередньо для отримання тепла або перероблятися в паливні брикети та гранули.

Січка багаторічних злакових культур може використовуватись в якості біопалива для більшості твердопаливних котлів, обладнаних системою автоматичної подачі палива у камеру згорання. Однак, у випадку транспортування на значні відстані, використання січки міскантусу стає малоефективним, оскільки її насипна маса становить $0,117 \text{ т/м}^3$. Для паливних гранул, виготовлених з міскантусу гігантського, цей показник становить $0,650 \text{ т/м}^3$, тобто 1 тонна січки займає у 5,5 рази більший об'єм, порівняно із паливними гранулами.

Технологія виробництва паливних гранул. В основі технології виробництва паливних гранул і брикетів лежить процес пресування подрібненої біомаси. Процес виробництва гранул складається з чотирьох етапів:

- 1) Подрібнення біомаси
- 2) Сушіння (зволоження) біомаси
- 3) Гранулювання
- 4) Охолодження та пакування

Подрібнення біомаси. Для надійної роботи преса-гранулятора сировина (січка) багаторічних злакових культур попередньо подрібнюється до стану борошна. Фракція біомаси на вході в гранулятор повинна бути не більше 4 мм. Таку фракцію можуть забезпечити молотковий млин або стружковий верстат. Проблемним моментом може бути високе забруднення повітря пилом. Результати наукових досліджень свідчать, що на енергоємність процесу пресування значний вплив має ступінь подрібнення біомаси. Чим менший розмір часток після подрібнення, тим менші витрати енергії під час пресування. За подрібнення біомаси до мікрорівня за допомогою дезінтегратора відбувається руйнування клітин, в результаті чого процес пресування буде проходити з мінімальними енерговитратами. При цьому кінцевий продукт (гранули або брикети) матиме вищі показники щільності, твердості та теплотворної здатності.

Сушіння (зволоження) біомаси. Біомаса багаторічних злакових культур перед пресуванням за традиційною технологією повинна мати вологість $10 \pm 2 \%$. Сировина з більшою або меншою вологістю вимагає додаткового сушіння або зволоження. Сушіння біомаси багаторічних злакових культур може здійснюватись на сушарках двох типів: стрічкових і барабанних. За якістю, надійністю та безпечністю сушіння біомаси перевагу мають сушарки стрічкового типу, хоча їх вартість вища. В якості сушильного агента в сушарках може застосовуватись пічний газ, нагріте повітря або водяна пара. Паливом для сушарок здебільшого служить природний газ або відходи сільського господарства (солома, лушпиння) та деревообробної промисловості (тирса, щепи).

Сировина з вологістю менше 8% погано піддається гранулюванню, тому потрібне додаткове її зволоження у шнекових змішувачах за допомогою води або водяної пари. Пару застосовують для зниження міцності й збільшення пластичності сировини. Гранулятори деяких виробників не потребують обробки парою. Останню доцільно застосовувати для старої злежаної біомаси, але з такої сировини складно отримати гранули високої якості.

Гранулювання. Після доведення до необхідної вологості та розмелювання сировина потрапляє у гранулятор, в якому її пресують у паливні гранули. Під дією сил тертя та адіабатичних процесів, що відбуваються під час різкого стиснення біомаси, температура в робочій зоні преса сягає $100 \text{ }^\circ\text{C}$, при цьому лігнін, який міститься у структурі біомаси, розм'якшується і склеює частинки в щільні циліндри.

Позитивною особливістю гранул з листя та стебел багаторічних злакових культур є те, що вони відзначаються високою щільністю та низькою гігроскопічністю.

Гранулювання виконується на спеціальних пресах з циліндричною матрицею, на робочій поверхні якої розміщено декілька рядів отворів. У процесі роботи роторні вальці 2 перекочуються по поверхні матриці створюючи контактне напруження зминання біомаси. Таким чином, під дією вальців біомаса протискується через отвори в матриці; зрізання сформованих гранул здійснюється спеціальними ножами. Питоме споживання електроенергії під час гранулювання складає від 30 до 50 кВт-год на 1 тону [49].

Конструкція преса з циліндричною матрицею розроблялась для комбікормової, харчової та хімічної промисловості, а прес з плоскою матрицею – для утилізації промислових і побутових твердих відходів. На сьогоднішній день преси обох модифікацій можуть бути використані для виробництва паливних гранул з біомаси міскантусу гігантського.

Сьогодні існує кілька десятків виробників пресів у різних країнах світу (CPM, Andritz, Salmatec, Amandus Kahl, Buhler, Munch та багато інших).

Охолодження і пакування. Як зазначалось раніше, у процесі гранулювання відбувається сильне нагрівання гранул, що істотно знижує їх міцність. Для охолодження і позбавлення зайвої вологи паливні гранули з преса потрапляють на транспортер (норію), яким подаються у колону охолодження через шлюзовий затвор. Потік повітря, створений вентилятором циклона, проходить через шар гранул і охолоджує їх. Колони охолодження спроектовані таким чином, що потік повітря рухається у зустрічному напрямку відносно гранул, при цьому вже охоложені паливні гранули першими зустрічаються з холодним повітрям. Така технологія дозволяє уникнути ефекту «теплого шоку», коли під впливом холодного повітря поверхня гранул швидко охолоджується і покривається сухою кіркою, в той час як серцевина залишається вологою. Крім того, потоком повітря відділяється пил і дрібна фракція, які виводяться через циклон.

У процесі охолодження вологість гранул знижується, пелети набувають необхідної міцності, вологості та температури. З колони охолодження гранули потрапляють на стіл розсіювання, на якому некондиційні гранули та уламки відділяється від готового продукту. Весь бракований матеріал надходить на вторинну переробку.

Після охолодження та додаткового очищення готові паливні гранули стрічково-скребковим транспортером подаються у фасувальну тару. Пакування гранул для промислових споживачів здійснюється у великі мішки (біг-беги) масою 620–1000 кг або насипом у контейнери масою від 10 до 20 т. Для приватних і невеликих промислових споживачів паливні гранули фасуються у маленькі поліетиленові пакети масою 15–25 кг.

Паливні брикети. З біомаси багаторічних злакових культур можна виготовляти також паливні брикети, технологія виробництва яких схожа з технологією гранулювання, але є більш простою.

Основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його щільність. Чим щільніший брикет, тим вищі показники його якості. Якість брикетів також значною мірою залежить від вологості біомаси, оптимальне значення якої для міскантусу становить 8–10 %. За більш високої вологості внутрішній тиск води, що виникає під час стиснення подрібненої біомаси, не дозволяє сформуванню якісних брикетів.

Для виробництва паливних брикетів із багаторічних злакових культур застосовують поршневі або шнекові преси. Перед пресуванням матеріал додатково подрібнюють і підсушують (вологість не повинна перевищувати 12–14 %).

Поршневий прес працює циклічно – під час кожного ходу поршень протискує певну кількість біомаси через конічне сопло. У конструкції приводу поршневого преса завжди передбачено маховик, який дозволяє вирівняти навантаження на електродвигун. Поршневі преси відносно дешеві і тому мають масове поширення.

Особливістю шнекових пресів (екструдерів) є їх менша маса, порівняно з поршневими, через відсутність масивних поршня і маховика. Продукція з таких пресів виходить безперервно, тому її можна розрізати на брикети необхідної довжини. Щільність брикетів, виготовлених на екструдерах є вищою, ніж на поршневих пресах. Шнекові преси спричиняють менше шуму, завдяки відсутності ударних навантажень. До їх недоліків можна віднести більші витрати енергії і швидке зношування шнека.

Залежно від способу виробництва брикети бувають різних форм: цеглиноподібні, циліндричні, або у вигляді шестикутної призми з отвором посередині. Стандартів на розміри брикетів на даний час немає.

Циліндричні брикети. Цей вид паливних брикетів отримують шляхом пресування біомаси міскантусу на обладнанні ударно-механічного типу. Циліндричні брикети мають високу щільність і можуть бути будь-якої довжини (від шайби до поліна), через що вони користуються широкою популярністю в Європі та на внутрішньому ринку.

Екструдерні брикети. Ці брикети обов'язково мають отвір посередині і темну (обпалену) зовнішню поверхню. В основі екструдерної технології виробництва брикетів лежить процес пресування біомаси шнеком під високим тиском за температури від 250 до 350 °С. Висока температура сприяє оплавленню поверхні брикетів, які завдяки цьому стають міцнішими. Такі брикети закладаються вручну в топку котла чи в грубку. Вони користуються попитом у країнах Прибалтики.

Брикети у вигляді цеглини. Такий брикет має вигляд прямокутного паралелепіпеда зі скошеними кутами і виготовляється шляхом гідравлічного пресування. Брикети у вигляді цеглини користуються попитом на внутрішньому ринку та добре реалізується в усіх європейських країнах.

5.2. Технологічні показники якості біомаси та твердого біопалива

Аналіз сировинної бази з біомаси України для виготовлення твердих видів палива у вигляді гранул або брикетів указує на те, що потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, становить близько 27,7 млн т у.п. на рік. Дані аналізу свідчать, що відходи сільськогосподарського виробництва (солома ріпаку та зернових культур, відходи кукурудзи та соняшнику) та вирощені для біопалива культури (міскантус, свічграс) за своїми енергетичними характеристиками є подібними до деревини. За проведеним аналізом встановлено, що використання біомаси агропромислового комплексу України для виробництва твердих видів палива у вигляді гранул або брикетів дозволить значно скоротити витрати газу [49].

Проте, використання енергії біомаси на часткове забезпечення енергетичних потреб суспільства вже сьогодні призвело до цілої низки екологічних і соціально-економічних проблем глобального масштабу. Використання значних площ ріллі для вирощування олійних культур, зокрема ріпаку, призвело до зменшення площ під традиційні харчові культури, що, в свою чергу, викликало зменшення обсягів виробництва продуктів харчування та призвело до зниження родючості ґрунту. Все це обумовлює необхідність створення відповідного нормативного забезпечення виробництва біомаси та біопалива в країні. Зокрема, нормування вимог до технологічних процесів вирощування та застосування біомаси на енергетичні потреби, до обсягів виробництва твердого, рідкого та газоподібного біопалива, а також нормативного забезпечення сертифікації біомаси сталого розвитку, тобто повного усунення або мінімізації негативного впливу на довкілля [50, 51, 52].

З метою вирішення цих проблем було розроблено ряд нормативно-правових актів, які ставлять відповідні вимоги до якості біомаси та умов її вирощування, до виготовлення біопалива та його реалізації.

Виходячи з того, що на ринку продається готова продукція, а не сировина з якої вона виготовлена, тому більшість нормативних документів ставлять вимоги до якості самого біопалива та вмісту шкідливих елементів і золи.

За використання біомаси для виробництва енергії необхідно довести заощадження обсягу викидів парникових газів порівняно з викопними енергоносіями. Це означає, що у процесі від вирощування рослин для біомаси та до постачання готового продукту кінцевому споживачеві слід підраховувати загальний обсяг викидів парникових газів, а біопаливо чи рідка біомаса повинні досягти певного зменшення викидів парникових газів порівняно з викопними видами палива [53].

Технологічні якості біомаси складають комплекс їх біологічних, хімічних і фізичних особливостей, які є визначальними в технологічному процесі перероблення та спалювання.

Для одержання якісних гранул необхідно використовувати якісне обладнання, чітко дотримуватись технології виробництва та використовувати якісну сировину, яка має відповідати наступним основним вимогам:

- сировина не повинна бути старою (злежаною), тому що вона гірше гранулюється і гранули виходять з меншою енергетичною цінністю;

- не містити залишків ґрунту, каміння та інших неорганічних включень, так як окрім погіршення якості продукту це може призвести до виходу з ладу обладнання;

- вологість сировини перед пресуванням має бути в межах 12...14 %, тому що за більшої вологості гранули виходять менш міцними, і залишкова вологість після охолодження може бути вище норми, у таких гранул менша енергетична цінність та відповідно, ціна;

- вміст шкідливих елементів та золи не повинен перевищувати норми, зазначеної у стандартах.

Паливні гранули є стандартизованим видом біопалива, тому уже розроблено ряд стандартів, таких як ДСТУ «Брикети та гранули паливні». Технічні умови. Частина 1. «Брикети та гранули паливні з деревинної сировини», розробленого в Національному університеті біоресурсів і природокористування України у 2011 р. [54], та інші. Проте більшість виробників ще орієнтуються на західноєвропейські стандарти. Крім того, існуючі західноєвропейські стандарти часом включають у себе не тільки стандарт на самі гранули, а також стандарти на їх виробництво, зберігання і транспортування.

З метою створення конкурентоздатної енергетичної продукції вітчизняного виробництва та виходу на Європейський ринок необхідно запровадити виробництво твердого біопалива у відповідності до вимог тих країн, де дана продукція буде реалізовуватися. Однак, враховуючи діапазон зміни значень показників якості твердопаливної продукції, необхідно дотримуватись «найжорсткіших» вимог щодо зазначеної продукції, розроблених на основі сертифікатів країн Європи.

Як уже зазначалось раніше, згідно з вимогами, паливні гранули – це пресовані циліндри з рослинної біомаси, діаметром до 25 мм. Найбільшого поширення набули паливні гранули діаметром в межах від 6 до 10 мм. Паливні гранули, як і кожний кінцевий продукт виробничого процесу, має задані фізико-геометричні характеристики: діаметр, довжина, щільність, вологість, насипну масу, які визначаються параметрами устаткування з їх виробництва.

Набута циліндрична форма паливних гранул забезпечує їм сипкість і дозволяє використовувати всі відомі способи автоматизації в подаючих пристроях котелень. Саме завдяки цим геометричним характеристикам паливні гранули стали основним видом пресованого палива в Європі.

Якщо фізико-геометричні характеристики паливних гранул визначаються параметрами устаткування з їх виробництва, то хімічні – залежать від властивостей вихідної сировини. У процесі пресування не допускається використання сторонніх матеріалів, таких як клей і пластмаси.

Зазвичай паливні гранули біло-жовтого кольору виготовляються з відходів меблевого виробництва, паливні гранули з додаванням коричневих краплень виготовляють із сировини з додаванням кори, чорну – лущиння соняшника, коричневі – лущиння з гречки, жовті – соломи злакових культур та ін.

Однак, колір паливних гранул не є критерієм якості. За їх кольором можна визначити яка сировина використовувалася, як відбувався процес гранулювання і як паливні гранули зберігалися, але про якість самих паливних гранул колір скаже мало.

Ще однією характеристикою паливних гранул є кількість виділеної теплової енергії. Часто такий показник є основним при формуванні вартості на даний вид палива.

Паливні гранули завжди тонуть у воді, тому що їх щільність більше 1 кг/дм^3 . Не є критерієм оцінки запах паливних гранул, за винятком сторонніх запахів, що вказують на застосування хімічних речовин або неправильного зберігання.

Найбільш важливими параметрами, які характеризують, а отже і встановлюють параметри паливних гранул є [55, 56, 57]: габаритні розміри (діаметр та середня довжина), теплотворна здатність (теплота згорання), зольність, вміст вологи, питома щільність, насипна щільність, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка та ін.), вміст інших компонентів та домішок.

Діаметр і середня довжина. Оскільки паливні брикети мають більш широке застосування і не вимагають спеціальних установок для їх спалювання (є альтернативою дровам), то відповідно їх діаметр і довжина залежать від вимог кінцевого споживача (довжина, як правило, приймається рівною п'ятикратному значенню діаметра).

Для паливних гранул прийняті жорсткіші вимоги до розмірів, ніж до паливних брикетів. Це пов'язано із застосуванням їх в паливних котлах з автоматизованою системою подачі (шнеками, транспортерами та ін.), а тому найбільш поширені є діаметри паливних гранул в межах від 6 до 8 мм.

Теплота згорання. Вища теплота згорання – це кількість тепла, що виділяється при згоранні 1 кг біомаси за повної конденсації всієї пари води, що утворилися при горінні, з віддачею ними тепла, витраченого на їх випаровування (так званої прихованої теплоти пароутворення).

Нижча теплота згорання – кількість тепла, що виділилася при згоранні 1 кг біомаси, без обліку тепла, витраченого на випаровування вологи, що утворилася при згоранні цього палива [58].

Процес вимірювання теплоти згорання біопалива проводиться в так званій «калориметричній бомбі» в спеціалізованих лабораторіях. Теплоту згорання вимірюють зазвичай в МДж/кг або кДж/кг, причому за основу може бути прийнята маса вологого, сухого або сухого беззольного палива. Обумовлена більшістю стандартів теплота згорання паливних гранул становить в межах 18 ± 1 МДж/кг, залежно від сировини з якого вони виготовлені [58].

Зола (зольність). Зольністю називають вміст мінеральних речовин у паливі, що залишаються після повного згорання всієї горючої маси. Зола є небажаною частиною палива, тому що знижує вміст горючих елементів і ускладнює експлуатацію топкових пристроїв. Під час проведення аналізів вміст золи підраховується на суху масу палива.

Вміст золи в паливних гранулах, відповідно до стандарту європейських країн, складає менш 1,5 %. Слід зазначити, що під час спалювання в промислових установках з автоматичним золовидаленням, зольність паливних гранул не має великого значення.

Вміст вологи. Розрізняють абсолютну і відносну вологість біомаси.

Абсолютною вологістю називають відношення маси вологи до маси сухої сировини.

Відотною або робочою вологістю називають відношення маси вологи до маси вологої сировини.

Вологість впливає на теплотворність біопалива. Низький вміст вологи гарантує постійну ефективність спалювання.

Вологість суттєво впливає на якість паливних гранул. Так за вологості сировини понад 14 % зменшується щільність гранул і внаслідок випаровування вологи в них виникають тріщини, що знижують їх міцність [54].

Питома щільність. Питома щільність якісних паливних гранул становить в межах від 1,0 до $1,4 \text{ кг/дм}^3$, і змінюється залежно від виду сировини, з якого виготовлено кінцевий продукт.

Насипна щільність. Під час гранулювання біомаси насипна щільність продукції збільшується з 100 до 650 кг/м^3 [59].

Наприклад, якісні брикети мають насипну щільність не менше 650 кг/м^3 . Щільність є основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність паливних

гранул. Чим щільніші паливні гранули, тим вище показники їх якості. Наприклад, за щільності гранул в межах від 650 до 750 кг/м³ калорійність їх становить від 12 до 14 МДж/кг, а за щільності від 1200 до 1300 кг/м³ – 25–31 МДж/кг [60].

Хлор. Хлор є у деревині лише в невеликих кількостях. Низький вміст хлору свідчить про те, що брикети виготовлені з чистої сировини. Високий вміст хлору в димових газах може призвести до корозії металевої поверхні паливних систем.

Азот. Низький вміст азоту свідчить про те, що паливні брикети були зроблені з екологічно чистої сировини. Високий рівень азоту в димових газах може призвести до корозії металевої поверхні паливних систем.

Сірка. Низький вміст сірки свідчить про те, що паливні брикети були зроблені з чистої сировини. Високий рівень сірки в димових газах може привести до корозії паливного обладнання.

Як зазначалось раніше, процес виробництва твердого біопалива, в т.ч. паливних гранул, потребує постійного та своєчасного контролю параметрів вихідної продукції. У виробничих умовах не завжди є можливим дотримання необхідних параметрів кінцевої продукції із-за ряду факторів: неоднорідність властивостей вхідної сировини, нестабільність процесу виробництва продукції та ін. Однак саме завдяки відповідності кінцевої продукції, в даному випадку паливних гранул, заданим параметрам якості і визначає їх вартість та кінцевого споживача (табл. 53).

Зі зменшенням середніх розмірів частинок біомаси до 2 мм якість паливних виробів зростає. Проте існує спірна думка, що дрібна біомаса сприяє зношуванню матриць [60].

Темні паливні гранули з великим вмістом кори або інших домішок спалюють в котлах більшої потужності, з метою отримання тепла та електроенергії для населених пунктів та промислових підприємств. Темні паливні гранули можуть бути більшого діаметру.

Таблиця 53

Вимоги європейських стандартів до пелет (EN ISO 17225) [61]

Назва показник	Значення показника
Діаметр, мм	не регламентується
Довжина, мм	< 5×d
Щільність, кг/дм ³	> 1,12
Вологість, %	< 10
Насипна маса, кг/м ³	650
Брикетний пил, %	< 2,3
Зольність, %	< 0,5
Теплотворна здатність, МДж/кг	> 18
Вміст сірки, %	> 0,04
Вміст азоту, %	> 0,3
Вміст хлору, %	> 0,02
Миш'як, мг/кг	> 0,8
Свинець, мг/кг	> 10
Кадмій, мг/кг	> 0,5
Хром, мг/кг	> 8
Мідь, мг/кг	> 5
Ртуть, мг/кг	> 0,05
Цинк, мг/кг	> 100

За вмістом загальної сірки в товарній продукції вітчизняні виробники витримують вимоги (менше 0,04 %). Теплота згорання твердого біопалива також перевищує нормативні значення європейських стандартів на рівні не нижче 18 МДж/кг [59].

Нормована європейськими стандартами величина зольності (0,5 %) практично недосяжна для вітчизняних виробників, лише проби паливних гранул, виготовлені з щепи

хвойних порід, дуба, бука, осики та ін. витримують вимоги стандартів DIN 51731 та DIN plus, та мають значення в межах від 0,33 до 0,9 %. На жаль, паливні гранули, виготовлені з лушпиння соняшника та соломи, мають понаднормові значення зольності, відповідно до 2,6 та до 8 %, що і знижує їх показники якості та використання для котелень (тепло- та електростанцій) [62].

5.3. Використання біомаси міскантусу в будівництві

В країнах ЄС зараз досить популярним є будівництво енергоефективних екологічних будинків нульового споживання (енергоавтономних), які практично не потребують палива, і основною вимогою для яких є використання місцевих природних будівельних матеріалів. Тому дедалі популярнішими в усьому світі є будинки, споруджені з природних матеріалів, а прихильників екологічного житла щороку більшає.

Для масового будівництва енергозберігаючих будинків на основі каркасної конструкції з використанням місцевих органічних утеплювальних і конструкційних матеріалів, розробники мають основну мету: спроектувати будинок, який людина збирається купити не просто як сукупність певної кількості квадратних метрів, а для життя в ньому, причому з упевненістю в нешкідливості житла для свого здоров'я і здоров'я своїх дітей.

Природні матеріали, такі як солома, очерет, тощо, у житловому будівництві застосовувались в Україні з давніх часів. Людина використовувала насамперед те, що було поблизу. Природні матеріали за умов відповідних технологій дають змогу забезпечити не тільки високі теплотехнічні показники та здешевити будівництво, а й зменшити негативний вплив житла на здоров'я людини .

Актуальним є питання застосування природних матеріалів і відновлювальних джерел енергії в будівництві. Люди повернулися до давніх традицій, а саме – почали використовувати як будівельний матеріал стебла міскантусу гігантського.

Біомаса міскантусу має значний потенціал використання в будівельній сфері, особливо як матеріал для панелей, утеплення, легких бетонних сумішей, а також як наповнювач чи компонент композитів. Основна перевага – високий вміст целюлози і лігніну, що робить її придатною для виготовлення деревоподібних плит та ізоляційних матеріалів, а також її фізичні властивості (волокнистість, пористість) сприяють хорошим тепло-ізоляційним і акустичним показникам [63].

Одним із реальних практичних застосувань є використання соломи міскантусу як балів (бrolів) для будівництва стін з екологічним утепленням. Наприклад, дослідники побудували будинок з *Miscanthus*, використавши солом'яні бали як матеріал для стін, і після експлуатації показники вологості, а також теплопровідності були порівнянні або кращі, ніж для подібних конструкцій зі звичайної соломи [63]. Крім того, міскантус використовується у виробництві композитних плит (particleboard, fiberboard) – або змішаних із деревиною, або як самозв'язувальні плити – із застосуванням підвищеної кількості дрібної фракції частинок та спеціальних клейових або безклейових зв'язуючих [64]. Також проводяться дослідження з використання міскантусових волокон у легких бетонах для утеплення та звукопоглинання – такі матеріали демонструють низьку теплопровідність і добрі акустичні властивості [64].

Швейцарська будівельна компанія IG Miscanthus розробила технологію виготовлення екологічно чистих будівельних плит із додаванням січки з міскантусу як наповнювач для бетону. Січка розміром 3–4 см завдовжки служить як арміруючий, термо та звукоізоляційний матеріал.

Технологія будівництва будинків з міскантусу. В основі ідеї лежить технологія, яку здавна використовували наші пращурі для створення житлових будинків, а саме: солому в суміші з глиною і гноєм як компоненти для перших будівельних блоків. Неймовірно, але солому, практично в її первісному стані, можна виявити в глиняно-солом'яних цеглинах, вік яких обчислюється століттями.

Переваги січки з міскантусу як будівельного матеріалу в порівнянні з соломою
Одна з головних переваг січки з міскантусу – її дешевизна.

Січку із міскантусу гризун не їдять. Сама технологія зведення дуже проста, і за короткий термін нею може опанувати кожен.

Стіни з додаванням січки з міскантусу мають оптимальну паропроникність, відмінною тепло-і звукоізоляцією, а також не виділяють шкідливих речовин. Такі стіни проводить тепло в чотири рази гірше дерева, і у вісім – цегла. У будинку з міскантусу взимку витрачається мінімальна кількість теплоенергії, а влітку всередині завжди прохолодніше, ніж зовні. Додаткове утеплення такого будинку практично непотрібно.

Собівартість одного квадратного метра житла на 20 % дешевше порівняно із цегляним.

Зовні стіни обробляються сайдингом, штукатуркою та іншими фасадними матеріалами. Після цього стіни обтягуються металевою сіткою, яка служить армуючим каркасом для штукатурки.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України *Про альтернативні види палива* № 1391-VI від 21.05.2009.
2. *Біопаливо тверде. Терміни та визначення*: ДСТУ EN 14588.
3. N., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I. *Інструкція з вирощування світчграсу (*Panicum virgatum*) як біомаси в Європі*. European Biomass Association (AEBIOM), 2010. URL: <https://www.aebiom.org>
4. Таргоня В. Визначення реального потенціалу сільськогосподарської біомаси, придатної для використання на енергетичні потреби. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. Дослідницьке: УкрНДППВТ ім. Л. Погорілого, 2012. Вип. 16 (30), кн. 2. С. 360–371.
5. Hodkinson T. R., Chase M. W., Renvoize S. A. Characterization of a genetic resource collection for *Miscanthus* (Saccharinae, Andropogoneae, Poaceae) using AFLP and ISSR PCR. *Annals of Botany*. 2002. Vol. 89. P. 627–636.
6. Kowal N. Shifting cultivation, fire and pine forest in the Cordillera Central, Luzon, Philippines. *Ecological Monographs*. 1966. Vol. 36, No. 4. P. 389–419.
7. Кравчук В., Цема Т., Таргоня В., Оситняжський М. Нормативне забезпечення виробництва біомаси та біопалива в Україні. *Техніка і технології АПК*. 2010. №7. С. 34–38.
8. *Джерело інформації*: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1149984>
9. McKervey Z., Woods V. B., Easson D. L. *Miscanthus* as an energy crop and its potential for Northern Ireland. *Global Research Unit, AFBI Hillsborough*. 2008. No. 8. P. 37–43.
10. Harrelson S. M., Cantino P. D. The terrestrial vascular flora of Strouds Run State Park, Athens County, Ohio. *Rhodora*. 2006. Vol. 108(934). P. 142–183.
11. Leyneova U. *Travy a kapradiny*. Praha, 2010. 160 s.
12. Trindade L. M., Dolstra O., van Loo E. N., Visser R. G. F. Plant breeding and its role in a biobased economy. In: *The Biobased Economy: Biofuels, Materials and Chemicals in the Post-Oil Era*. Earthscan, London; Washington D.C. P. 67–82.
13. *Encyclopedia of Garden Plants*. – London; New York; Stuttgart; Moscow: Dorling Kindersley, 1996. – Vol. 2: K–Z. – P. 577–1080.
14. Li H. L. et al. *Flora of Taiwan*. 1975–1979.
15. Hodkinson T. R., Chase M. W., Takahashi C., Leitch I. J. et al. The use of DNA sequencing (*ITS* and *trnL-F*), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae). *American Journal of Botany*. 2002. Vol. 89. P. 279–286.
16. Hodkinson T. R., Chase M. W., Lledó M. D., Salamin N. et al. Phylogenetics of *Miscanthus*, *Saccharum* and related genera (Saccharinae, Andropogoneae, Poaceae) based on DNA sequences from *ITS* nuclear ribosomal DNA and plastid *trnL* intron and *trnL-F* intergenic spacers. *Journal of Plant Research*. 2002. Vol. 115. P. 381–392.
17. Jensen E., Farrar K., Thomas-Jones S., Hastings A. et al. Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy*. 2011. Vol. 3. P. 387–400.
18. Зінченко В. О., Кусайло В. П. Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє. *Пропозиція*. 2006. №8. С. 130–132.
19. Dahl J., Obernberger J. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops *Arundo donax*, *Cynara cardunculus*, *Miscanthus* × *giganteus* and *Panicum virgatum*. *2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection* (10–14 May, Rome). Rome, 2004. P. 1265–1270.
20. Dondini M., Hastings A., Saiz G., Jones M. B. et al. The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *Global Change Biology Bioenergy*. 2009. Vol. 1(6). P. 413–425.
21. Christian D. G., Riche A. B., Yates N. E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus* × *giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. 2008. Vol. 28. P. 320–327.

22. Clifton-Brown J., Breuer J., Jones M. Carbon mitigation by the energy crop *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2007. Vol. 13(11). P. 296–307.
23. Dondini M., Hastings A., Saiz G., Jones M. B. et al. The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *Global Change Biology Bioenergy*. 2009. Vol. 1(6). P. 413–425.
24. Leyneova U. *Travy a kapradiny*. Praha, 2010. 160 s.
25. *The Plant List*. 2014. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.theplantlist.org>
26. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J. M. O., Huisman W. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass & Bioenergy*. 2000. Vol. 19, No. 4. P. 209–217.
27. Hartley W. Studies on the origin, evolution and distribution of the Gramineae 1. The tribe Andropogoneae. *Australian Journal of Botany*. 1958. No. 2. P. 6.
28. Keng Y. L. The gross morphology of Andropogoneae. *Sinensia*. 1939. Vol. 10. P. 273–343.
29. Scally L., Hodkinson T., Jones M. B. Origins and taxonomy of *Miscanthus*. In: *Miscanthus for Energy and Fibre*. 2001. P. 1–9.
30. Stewart J., Toma Y., Fernandes F., Nishiwaki A. et al. The ecology and agronomy of *Miscanthus sinensis*, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan: a review. *GCB Bioenergy*. 2009. Vol. 1. P. 126–153.
31. Watson L., Dallwitz M. J. *The Grass Genera of the World: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval*. Version: 2023. URL: <https://www.delta-intkey.com/grass>
32. Deuter M., Abraham J. Genetic resources of *Miscanthus* and their use in breeding. In: *Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the 10th European Bioenergy Conference*. 1998. P. 775–777.
33. Kaufman S. R., Kaufman W. *Invasive Plants: A Guide to Identification, Impacts, and Control of Common North American Species*. Mechanicsburg: Stackpole Books, 2007. 458 p.
34. Watson L., Dallwitz M. *Grass Genera of the World: Descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references*. 1992. [Електронний ресурс]. URL: <http://biodiversity.uno.edu/delta>
35. USDA, NRCS. *Plants Database: Panicum L.* United States Department of Agriculture, 2024. URL: <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=PANIC>
36. Parrish D. J., Fike J. H. The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24(5–6). P. 423–459. DOI: 10.1080/07352680500316433
37. Бунецький В. О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пелет або брикетів. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2011. №10. С. 328–340.
38. Зінченко В. О. Міскантус – джерело енергетичної біомаси. *Новини Агротехніки*. 2008. №3(63). С. 40–41.
39. *Plant Crops Bioenergy Research UK*. [Електронний ресурс]. University of Southampton and TSEC-Biosys Consortium, 2006. URL: <http://www.tsec-biosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=4>
40. Department of Trade and Industry (DTI). *Grasses for Energy Production. Hydrological Guidelines*. Report No. B/CR/00783/GUIDELINES/GRASSES URN 03/882. London, 2003. – 15 p.
41. Quin L. D., Allen D. J., Steward J. R. Invasiveness potential of *Miscanthus sinensis*: implications for bioenergy production in the United States. *GCB Bioenergy*. 2010. Vol. 2, No. 6. P. 310–320.
42. *Planting and Growing Miscanthus*. [Електронний ресурс]. 2007. URL: <http://defra.gov.uk>
43. Caslin B., Finnan J., Easson L. *Miscanthus Best Practice Guidelines*. – 2011. – 50 p.
44. Milovanović J., Babović N. *External and internal factors influencing the growth and biomass production of short rotation woods genus Salix and perennial grass Miscanthus*. Belgrade, 2011. – 172 p. URL: http://www.futura.edu.rs/assets/docs/radovi/Monografska_studija.pdf

45. Мандровська С. М. *Агроекологічні основи введення в культуру проса прутноподібного (*Panicum virgatum* L.) в Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук.* Київ, 2016. 198 с.
46. Elbersen H. W., Christian D. G., El Bassam N., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I. *Інструкція з вирощування світчграсу (*Panicum virgatum*) як біомаси в Європі.* European Biomass Association (АЕВІОМ), 2010. URL: <https://www.aebiom.org>
47. Ганженко О. М., Квак В. М. Вплив глибини садіння ризом міскантусу на їх проростання. *Біоенергетика.* 2013. №1. С. 36.
48. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І., Зиков П. Ю. *Методичні рекомендації з проведення передсадильного обробітку ґрунту і садіння ризом міскантусу.* Київ: ІБКіЦБ НААН, 2012. 21 с.
49. Гайденко О., Кернасюк Ю., Томашина Г. та ін. *Заключний звіт про НДР за 2011–2013 рр. Розробити технологічні процеси та технологічні засоби для заготівлі та використання рослинної біомаси як твердого біопалива.* Кіровоград, 2013. 139 с. Державна реєстрація №0111U005167.
50. *Міскантус в Україні: монографія* / [М. В. Роїк, В. М. Сінченко, В. І. Пиркін, В. М. Квак та ін.]. – Київ: ФОП Ямчинський О. В., 2019. – 256 с.
51. Кравчук В. І., Таргоня В., Луценко М., Бабинець Т. та ін.; за ред. Кравчука В. І., Дубровіна В. О. *Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві: посібник.* Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 184 с.
52. *Пелети за типами.* [Електронний ресурс]. URL: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1576/>
53. *Перспективи ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива.* [Електронний ресурс]. URL: <http://fuelalternative.com.ua>; <http://www.pelletsgold.com>; <http://www.bioresurs.com.ua>; <http://www.dozator.com.ua>
54. Зинченко В., Яшин М. *Енергія міскантуса.* *ЛесПромІнформ.* 2011. № 6 (80). [Електронний ресурс]. URL: <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/2409>
55. *Пелети – стандарти.* [Електронний ресурс]. URL: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1574/>
56. *Пелети – характеристики.* [Електронний ресурс]. URL: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1572/>
57. *Порадник з сталого виготовлення біомаси.* Федеральне відомство з сільського господарства та харчування (BLE). 2010. [Електронний ресурс]. URL: http://www.east-west-bioenergy.net/fileadmin/east-west-bioenergy/pdf/Kiev_Nachhaltigkeit_290410/2_Leitfaden-UKR.pdf
58. Дроздник І. Д., Мирошниченко Д. В. *Топливні пелети і брикети: ресурси, нормативна база.* *Відновлювальна енергетика.* 2009. №4. С. 64–69.
59. Єременко О. І., Паянок О. В., Усенко Д. М. *Аналіз стану та тенденцій розвитку твердопаливних виробництв.* *Вісник Степу.* 2012. Ювілейний вип. 9 (ч. 2). С. 234–240.
60. Сарана В. В., Гудзенко М. М., Кухарець С. М. *Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур та деревини.* *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика.* Київ: НУБіП України, 2010. Вип. 144, ч. 3. С. 190–198.
61. *EN ISO 17225-1:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements.*
62. Гомонай М. В. *Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудованіе, технологии, режимы работы.* Москва: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 68 с.
63. Thornton J. M., Rowan B., Mos M., Donnison I. S. *Construction and As-Built Performance of a Miscanthus Straw Bale House.* *Buildings.* 2025. Vol. 15(17). Art. 3075. DOI: 10.3390/buildings15173075
64. Klimek P., Wimmer R., Meinlschmidt P., Kúdela J. *Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards.* *Industrial Crops and Products.* 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.02.020

Наукове видання

Володимир Михайлович КВАК
Олександр Миколайович ГАНЖЕНКО
Володимир Іванович КРАВЧУК
Михайло Ярославович ГУМЕНТИК
Ярослав Дмитрович ФУЧИЛО
Олександр Борисович ХІВРИЧ
Людмила Анатоліївна ПРАВДИВА
Михайло Васильович ІВАНЮТА
Олег Михайлович АТАМАНЮК
Григорій Семенович ГОНЧАРУК
Роман Васильович КУБРЯК
Надія Олександрівна КОНОНЮК
Валерій Миколайович КАТЕЛЕВСЬКИЙ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ
ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ
ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР З УРАХУВАННЯМ
ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ**

Науково-методичні рекомендації

Електронне видання

Погоджено до опублікування 21.11.2025.
Формат: PDF. Гарнітура Times New Roman.

Видавець

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25
Тел.: (044) 275-50-00; e-mail: sugarbeet@ukr.net
<https://bio.gov.ua>
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5713 від 19.10.2017

