



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Зберігання біомаси, призначеної для енергетичного використання

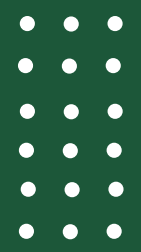
Драгнєв Семен, к.т.н.,
ТОВ «НТЦ «Біомаса»,
Біоенергетична асоціація України



Зміст

- 01** Загальні підходи до зберігання біомаси
- 02** Зберігання деревної біомаси
- 03** Зберігання сухої агробіомаси
- 04** Зберігання вологої агробіомаси
- 05** Зберігання паливних брикетів і пелет





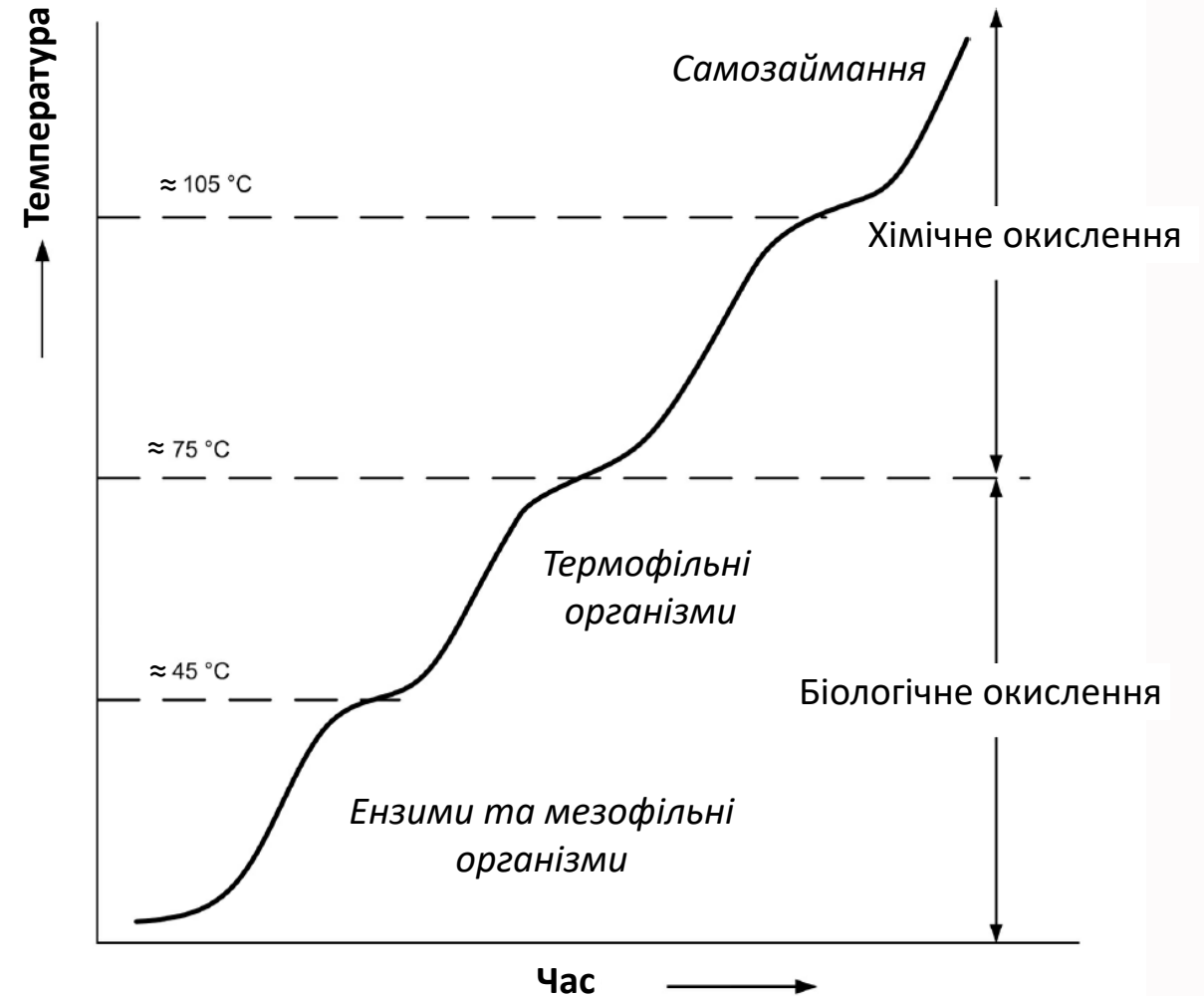
1 Загальні підходи до зберігання біомаси

Загальні підходи до зберігання біомаси

- **Локальні склади** для короткочасного зберігання поблизу місць утворення біомаси.
- **Центральні склади** для довгострокового зберігання біомаси.
- **Оперативні склади** для короткочасного зберігання до використання на біоенергетичному об'єкті.

Найпростішим способом зберігання біомаси є її штабелювання та укладання у купи. При цьому потрібно враховувати, що **тривале зберігання біомаси вологістю понад 20-30% у купах супроводжується її біологічною та біохімічною деградацією, а також, у деяких випадках, процесами хімічного окислення, які призводять до виділення тепла, що може спричинити самозаймання.**

Також, слід брати до уваги, втрати сухої речовини, зміни вмісту вологи, і ризику для здоров'я (розмноження грибів і бактерій).



Джерело: The handbook of biomass combustion and co-firing/edited by Sjaak van Loo and Jaap Koppejan.

Вологість біомаси та її зберігання

Критичний вміст води (КВМ)

КВМ > Точка насичення волокна → Мікробний ріст

КВМ змінюється від:

- складу біомаси;
- переважної популяції мікробів;
- методу та умов визначення.

КВМ визначають за:

- диханням мікроорганізмів;
- мікробним ростом;
- деградацією біомаси.

Вид біомаси	КВМ (%, DB ¹)
Рисова, пшенична солома та стебла кукурудзи	40
Деревина	12,3-31
Сіно	41

Розрахунок абсолютної вологості (u) за відносною вологістю (M)

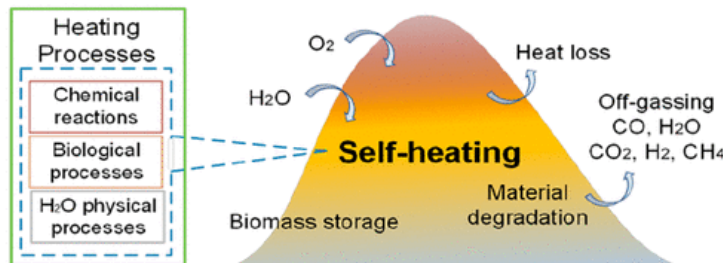
$$u = \frac{100 * M}{100 - M}$$

Розрахунок (M) за (u)

$$M = \frac{100 * u}{100 + u}$$

Примітка:

¹ DB – суха основа
(абсолютна вологість – співвідношення загальної води до ваги сухої сировини)



Джерело: Baldeep Kaur
Self Heating in Biomass
Materials. 26.05.2023

Типова вологість вибраних видів біомаси

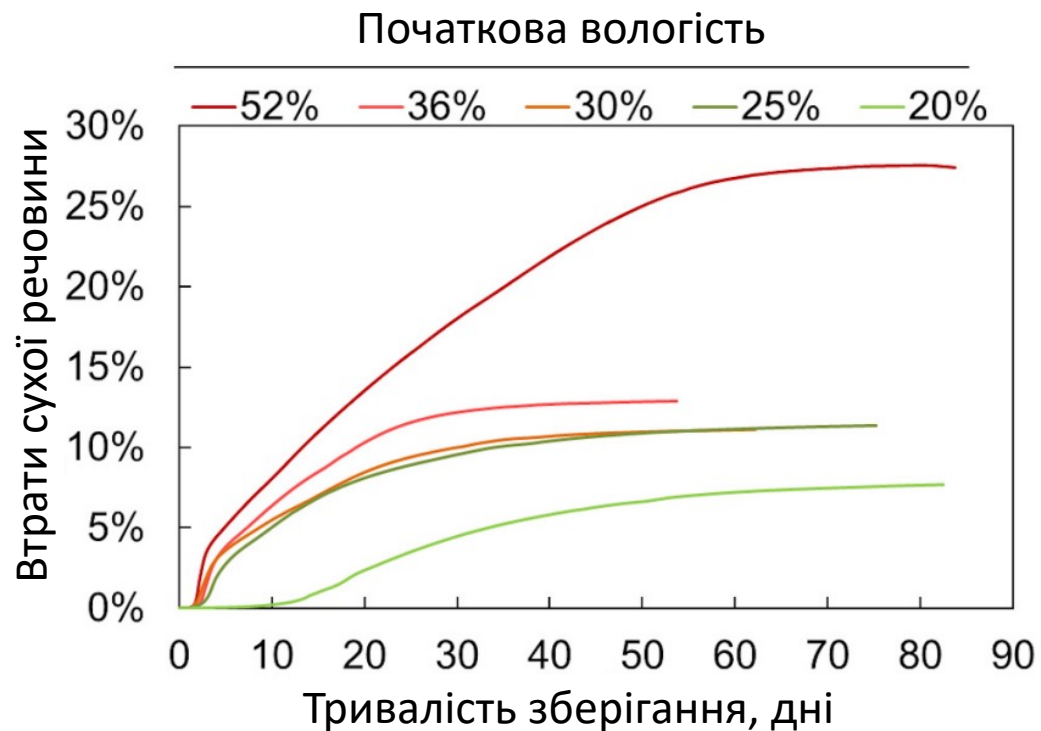
Види біомаси	Відносна вологість (M), %	Абсолютна вологість (u), %
Гній ВРХ	88	733
Рисова солома	50-80	100-400
Харчові відходи	70	233
Стебла кукурудзи	40-60	67-150
Верба	60	150
Кора деревини	30-60	43-150
Тополя	45	82
Тирса	25-55	33-122
Солома пшениці	8-20	9-25
Світчграс	13-15	15-18
Лузга рису	7-10	8-11
Міскантус	11,5	12

Джерело:

<https://doi.org/10.1039/C6EE00935B>

Вплив вологості на втрати сухої маси кукурудзиння

Загальна втрата сухої речовини у кукурудзинні при зберіганні у аеробних умовах з часом



У дослідженні впливу вмісту води при зберіганні на стабільність, склад та ефективність конверсії біомаси кукурудзиння визначили, що **втрати сухої речовини біомаси коливаються від 8% до 28%** у виміряному діапазоні вмісту води (20%, 25%, 30%, 36% та 52%) .

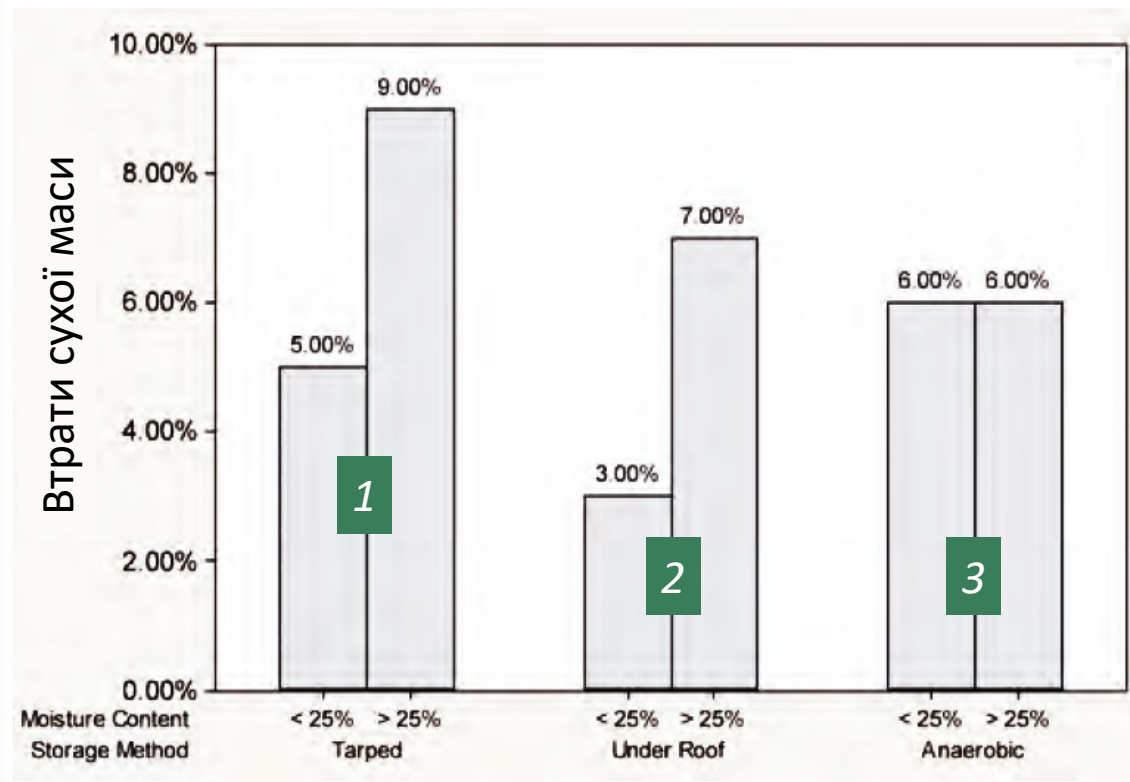
Результати цього дослідження показують короткострокову стабільність кукурудзиння, **що зберігається при вологості менше 35%**, але вище цього граничного значення розкладання є швидким і значним. Втрати відбуваються головним чином у компонентах геміцелюлози.

Джерело: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7371782/pdf/fbioe-08-00716.pdf>

Втрати біомаси при зберіганні

Мікробна активність сповільнюється, якщо **вміст вологи у біомасі менше 22%** і стає майже неактивною за вологості **менше 18%**.

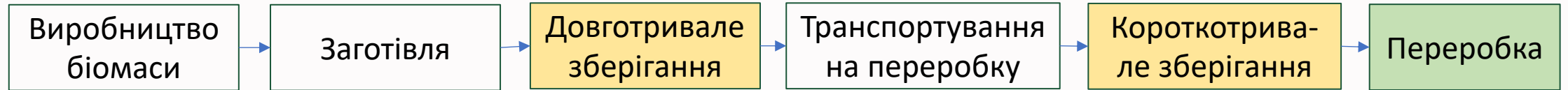
Типові втрати при зберіганні тюків кукурудзиння під гнучким накриттям (1), критаго складі (2) та в анаеробних умовах (3)



Рішення для зберігання в анаеробній упаковці забезпечують найбільш ефективний варіант зберігання сировини, коли вологість тюків перевищує 25%.

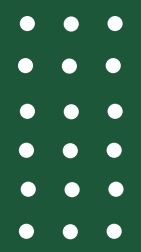


Зберігання агробіомаси



*За відносної вологості
біомаси \approx 40-65%*

Тип біомаси	Сухе зберігання	Вологе зберігання
Солома пшениці	X	
Солома ячменю	X	
Стебла сорго зернового	X	
Кукурудзиння	X	X
Міскантус	X	X
Світчграс	X	x



2 Зберігання деревної біомаси

Заходи при зберіганні деревної біомаси

Розкладання деревної речовини відбувається внаслідок посилення метаболічної діяльності грибів і бактерій. При цьому спостерігається втрата органічної маси палива. Для мінімізації таких втрат біологічну активність необхідно тримати під максимальним контролем.

Для цього необхідно вжити наступні заходи:

- **зберігайте деревну біомасу з мінімальною можливою вологістю та захищайте її від опадів;**
- надавайте перевагу природній вентиляції: вона прискорює втрати тепла та вологи;
- проміжки між деревиною сприяють її внутрішній вентиляції;
- використовуйте достатньо гострі ріжучі інструменти (стандартного розміру);
- необхідно звести до мінімуму наявність хвої і листя, які легко атакуються мікроорганізмами;
- потрібно звести до мінімуму тривалість зберігання;
- виберіть раціональну висоту купи.

Категорії деревини	Вміст вологи (W)
Абсолютно суха	0%
Повітряно-суха	15-20%
Придатна для зберігання	< 30-35%
Свіжа	> 50%

Джерело:

https://www.srcplus.eu/images/Handbook_SRCplus.pdf

Зміна показників якості деревної біомаси при її зберіганні

Метод зберігання	Втрата маси, %	Зміни теплоти згоряння, %
<i>Відходи рубки</i>		
У малих купах на лісосікі до серпня	-10	0
У малих купах на лісосікі до жовтня	-25	-23
У великих 4 м відкритих купах до вересня	-1	+4
У великих 4 м критих купах до грудня	-2	+4....+10
<i>Тріска</i>		
У малих (<60 м ³) критих купах з травня до листопада	-18	-7
У малих (<60 м ³) відкритих купах з травня до листопада	-20	-18
У малих (<60 м ³) купах з травня до січня	-23	-23
У великих (>6000 м ³) критих та ущільнених купах з червня до січня	-10	-5
У великих (>6000 м ³) відкритих та ущільнених купах з червня до січня	-12	-12
У великих (>6000 м³) критих та неущільнених купах з червня до січня	-7	-1
У великих (>6000 м³) відкритих та неущільнених купах з червня до січня	-8	-4

Для тривалого зберігання кращі великі купи як для відходів рубки так і для тріски

Зберігання дров

На початковому етапі зберігання дров (1,5-2 місяці) відбувається їх природне сушіння до 22-25% (абсолютна вологість). Подальше зберігання без дотримання мінімальних вимог до організації зберігання дров може призвести до втрати їхньої енергетичної цінності.

- Для ефективного сушіння деревину необхідно розколоти на більш тонкі частини. Нерозколотій деревині потрібно вдвічі більше часу для відповідного сушіння, ніж розколотій.
- Місце для сушіння має бути на сонячному та вітряному місці.
- Купа повинна бути піднята принаймні на 10 см над землею, щоб забезпечити циркуляцію повітря та зменшити вплив вологи на землю.
- Свіжу деревину не можна зберігати в закритих приміщеннях або складах (або навіть у підвалах), де не може випаровуватися вода та розвиваються гриби і бактерії, що створює небезпеку для здоров'я.
- Після літа купи деревини потрібно накрити, щоб захистити від дощу.
- Відстань між різними купами, а також між купами та стінами сховищ має бути не менше 10 см для циркуляції повітря.



Джерело: *WOOD FUELS HANDBOOK*

<http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/timcheck1/docs/fao-krajnc-2015.pdf>

Зберігання тріски

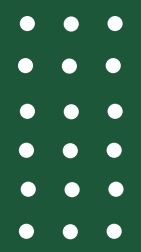
Деревна тріска, яка використовується в котлах малої або середньої потужності, повинна бути сухою (вміст води не повинен перевищувати 30%). Основні рекомендації щодо виробництва та зберігання тріски:

- деревина повинна зберігатися не менше трьох місяців (влітку) в сухому, вітряному і сонячному місці (природна сушка);
- деревина, яка належним чином зберігається влітку, повинна мати вміст вологи менше 30%;
- після закінчення сухого сезону (на початку осені) купи деревини необхідно вкрити;
- у закритому складі можна зберігати тільки суху деревну тріску (з вмістом вологи нижче 30%);
- деревну тріску слід видаляти зі складу, дотримуючись простого правила FIFO «першим прийшов – першим вийшов»;
- завжди надягайте маску для захисту від дрібних частинок пилу та різних мікроорганізмів під час роботи з деревною тріскою в закритих складах;
- уникайте зберігання мокрої деревної тріски з великою кількістю голок і листя. Температура в купі такого виду деревної тріски (зеленої тріски) підвищиться (активність мікроорганізмів). Розкладання почнеться менш ніж через три тижні. Деревну тріску слід зберігати в штабелях максимальною висотою 7 м і лише 2-3 тижні.



Джерело: *WOOD FUELS HANDBOOK*

<http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/timcheck1/docs/fao-krajnc-2015.pdf>



3 Зберігання сухої агробіомаси

Зберігання тюків на складах

Солома та інші сухі післяжнивні рештки, призначені для енергетичного використання, повинна зберігатися в умовах, що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Найкраще зберігати тюки біомаси у закритих приміщеннях або під навісами.



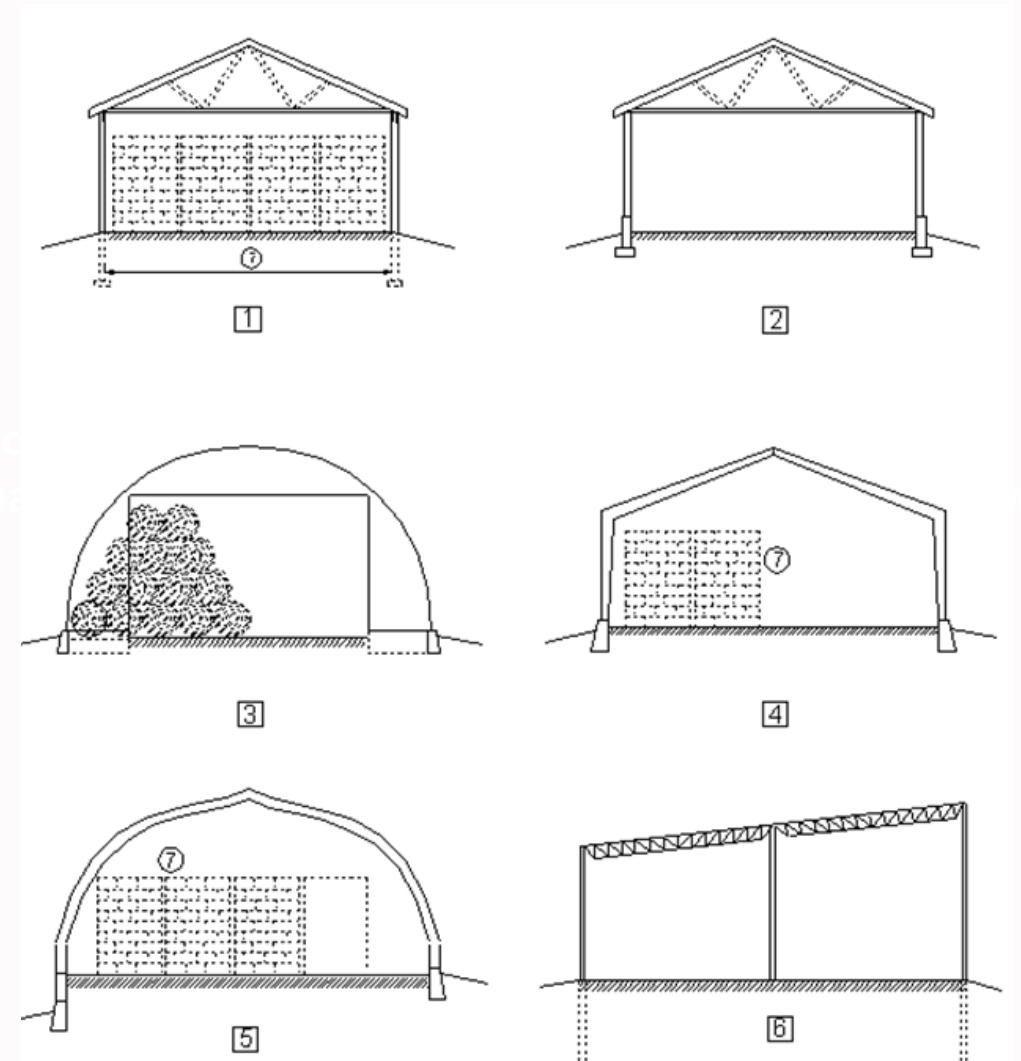
Зберігання у закритих приміщеннях дозволяє підтримувати вологість біомаси на одному рівні, запобігає гниттю. Великі склади соломи мають питоме навантаження на площу складу 1,5-2,5 т/м².

При використанні навісів вони повинні мати великий козирок, щоб дощова вода не попадала на біомасу. Важливо забезпечити вільний доступ до біомаси, для того щоб спростити процедуру зберігання та її завантаження і розвантаження. Крім того, у приміщенні має бути достатньо вільного місця для маневрів розвантажувача/навантажувача.

3.3 Закриті склади для соломи

Основні функції та робочі операції на центральному складі соломи:

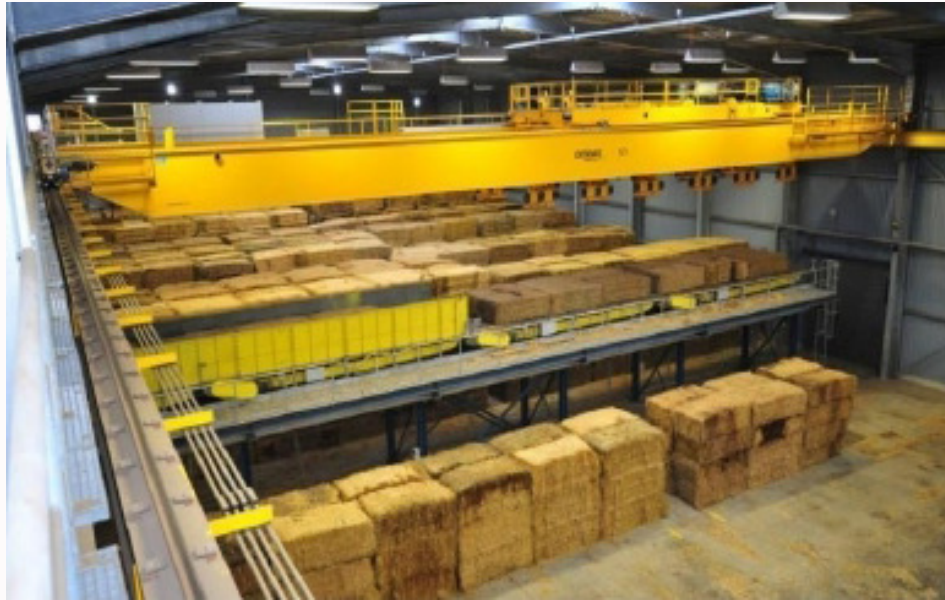
- приймання тюків, що перевозяться автомобільним транспортом у постачальників, за кількістю, вагою та якісними характеристиками;
- розвантаження тюків з автомобілів та завантаження в склад для зберігання;
- навантаження на автомобіль для перевезення на оперативний склад;
- ведення відповідної документації щодо кількості прийнятих та відвантажених тюків, їх ваги, вологості та інших характеристик.



Конструкції складів для зберігання тюкованої соломи:

1 – стовпчастий каркас; 2 – дерев'яний каркас; 3 – без рамна аркова структура; 4 – жорстка сталева рамна структура; 5 – дерев'яна арка; 6 – сталевий каркас на палях, з відкритими стінками

Обладнання складів



ТЕЦ ВЕКВ Emsland на соломі у Німеччині потужністю 10,2 МВт_e / 49,8 МВт_т. Річне споживання 60 тис. т соломи. Середні потреби 250 т соломи/день. На оперативному складі площею 2700 м² можна зберігати 1200 т соломи для забезпечення виробництва електрики протягом 5 днів.



Триточкове мікрохвильове вимірювання вологості пари тюків.

Конвеєр.



Джерело: <https://uabio.org/news/uabio-news/13752/>; <https://processbio.com/moisture-measuring/>

Зберігання тюків на відкритому повітрі

Зберігання біомаси на відкритому повітрі є значно дешевшим ніж у закритих складах, але у більшості випадків цей спосіб підходить лише для короткочасного зберігання. При зберігання тюків без накриття існує ризик підвищення вологості біомаси (особливо її верхнього шару) до рівня, що перевищує допустимий для спалювання в енергетичних установках.



Зберігання тюків під гнучким накриттям

Захисне волокно тент (агроволокно) для соломи та сіна призначене для надійного захисту, накриття соломи і сіна від вітру та дощу. Забезпечує ефективне дихання ролонів та захищає від потрапляння опадів. Висока якість сировини зберігається протягом усього зимового сезону, завдяки висиханню після сильних опадів і уникненню розвитку цвілі.



Доступні розміри:

- 9,8 12,5 м;
- 12 x 25 м;
- 9,8 x 25 м.

Переваги використання агроволокна при зберіганні тюків на відкритому повітрі:

- Забезпечує проникність повітря та захищає від розвитку цвілі
- Захищає від потрапляння вологи (вода стікає під кутом 45 градусів)
- Сиртка швидко висихає після опадів
- Особливо висока стійкість до поривів вітру
- УФ-стабілізація - 3 роки



Джерело: https://shop.ag-bag.ua/ua/p937295687-agrovlokn-tent-dlya.html?source=merchant_center

Відео накриття рулонів соломи



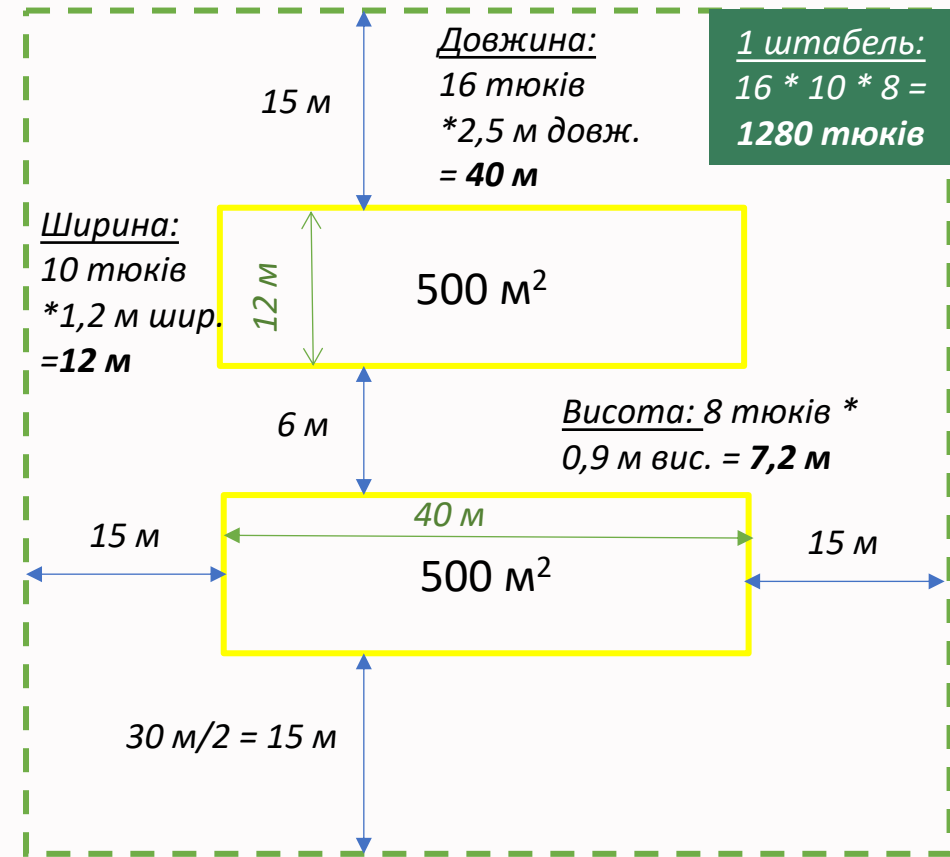
Зберігання тюків під плівкою



Розміщення штабелів із тюків соломи

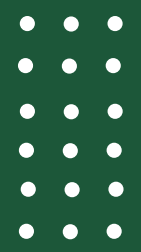
При організації зберігання потрібно враховувати вимоги Правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-07#Text>):

- 8.2.5. Площа основи однієї скирти не повинна перевищувати 300 кв.м, а штабеля пресованого сіна чи соломи – 500 кв.м. Біля штабеля пресованого сіна чи соломи необхідно мати два гаки завдовжки не менше висоти штабеля.
- 8.2.6. Протипожежні розриви між скиртами, штабелями мають бути не менше 20 м. Відстань від скирт, штабелів грубих кормів повинна бути не менше 15 м до ліній електропередач, 20 м – до доріг, 50 м – до будинків та споруд.
- 8.2.7. Скирти, штабелі дозволяється розташовувати попарно, при цьому розриви між скиртами, штабелями в одній парі мають бути не менше 6 м, а між сусідніми парами – не менше 30 м. Протипожежні розриви між двома парами повинні бути проорані смугою не менше 4 м завширшки на відстані 5 м від основи скирти, штабеля.



Для пари штабелів на 2560 тюків потрібна площа:
 $(15+12+6+12+15) * (15+40+15) = 4200 \text{ м}^2 = 0,42 \text{ га}$

Якщо тюк 500 кг, то один гектар вміщує 3048 т тюків соломи



4 Зберігання вологої агробіомаси

Загальні підходи до вологого зберігання

Вологе зберігання є перспективною технікою збереження вуглеводнів у лігноцелюлозній біомасі до року. Для цього кукурудзиння збирають при вологості понад 45% і зберігають шляхом силосування відразу після збирання.

Вологе збирання та зберігання врожаю дозволяє уникнути очікування підсушування лігноцелюлозної біомаси в полі, що значно покращує ефективність і своєчасність збору врожаю. Крім того, втрати сухої речовини під час зберігання у вологому стані можуть бути менше ніж 5%, а продукт краще засвоюється, ніж лігноцелюлозна біомаса, що зберігається в сухому стані.



Джерело: Storing Lignocellulosic Biomass for Bio-Refining Industry
<https://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-651.1-11>

Зберігання кукурудзиння на БГУ у Китаї

Вміст сухої речовини в кукурудзяній соломі після збору врожаю перевищує 85% із розміром частинок у діапазоні від 10 до 20 см. Солому спочатку подрібнюють на менші шматочки (менше 3 см). Потім її силосують у силосних ямах, де вміст вологи доводять приблизно до 60% шляхом додавання води. Пошарово ущільнюють кукурудзиння і накривають плівками для видалення повітря. Це може зменшити втрати сухої речовини, зазвичай на 80% менше втрат сухої речовини порівняно з відкритим зберіганням. Під час силосування виробляються органічні кислоти, які скорочують необхідний гідролітичний час утримування в збродженні до менш ніж 35 днів.



Подрібнення кукурудзиння перед подрібненням



Силосна яма

БГУ потужністю 2МВт_{ел} споживає 30 000 т жовтої кукурудзяної соломи/рік. Вихід біогазу досягає 320-350 м³/т сухої речовини.

Підходи до силосування кукурудзиння

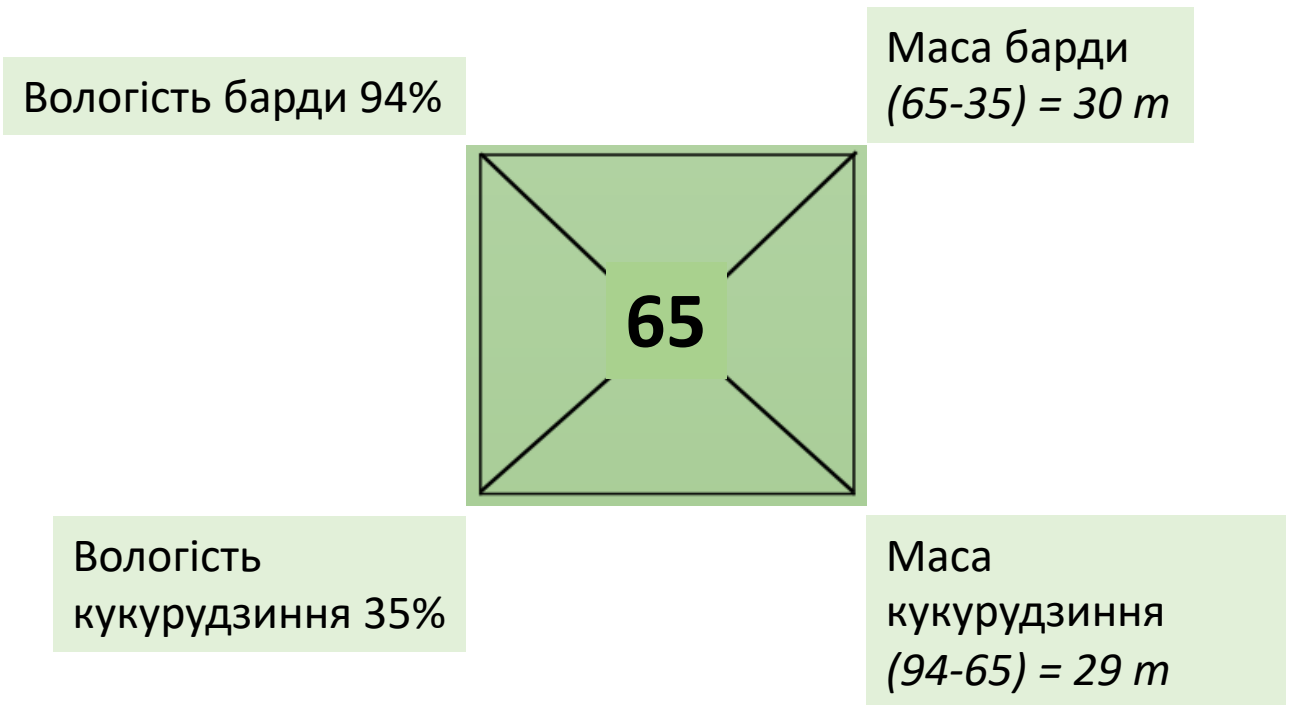
Основні фактори технології силосування:

- вологість сировини (60-70%);
- розмір частинок біомаси (не більше 20 мм за вологості 60-65%);
- вміст цукру та наявність буферних речовин;
- щільність пресування;
- анаеробні умови.

Характеристики кукурудзиння:

- вміст цукрів 4-5%;
- вміст протеїну 3-7%;
- співвідношення цукри : сирий протеїн = 1,7 ... 0,6;
- вміст золи близько 7%;
- ущільнення досягається приблизно 50% щільності кукурудзи на силос. Ціль ущільнення від 125 кг с.м./м³.

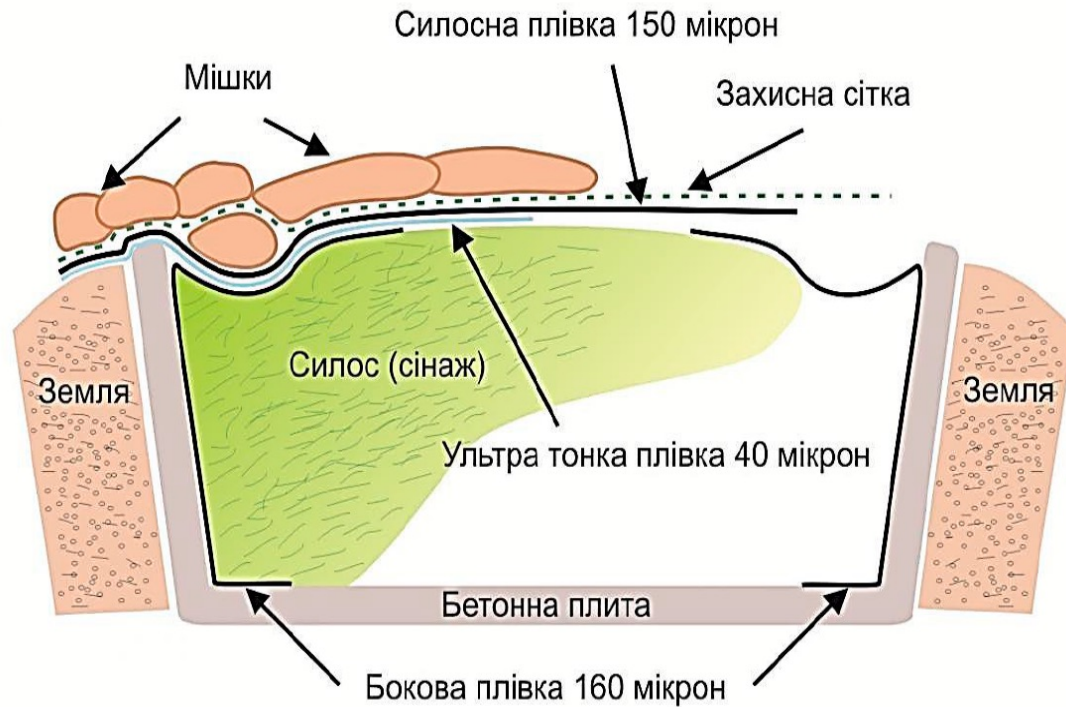
Для визначення співвідношення компонентів біомаси з різною вологістю користуються квадратом Пірсона:



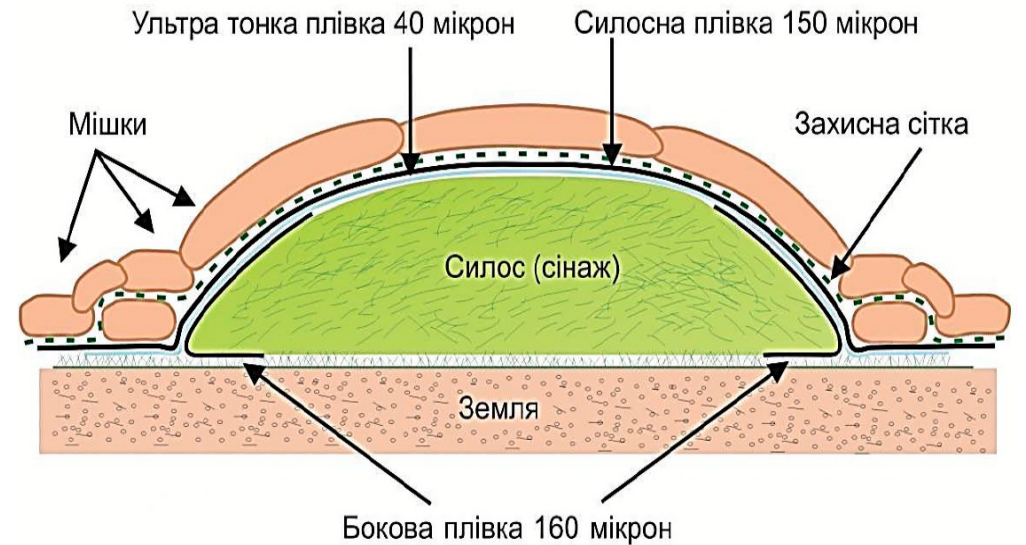
На 29 т кукурудзиння потрібно 30 т барди

Силосні ями та кургани

Оптимальне накриття силосної ями



Оптимальне накриття кургану



Джерело: <https://smf.org.ua/wp-content/uploads/2020/04/Tekhnolohiia-vyrobnytstva-sinazhu-i-sylosu-16.12.19.pdf>

Силосування у рукавах

Маса, яка силосується, повинна подрібнюватися до частинок розміром: силос кукурудзи – 1-2 см, конюшина/люцерна – 2-4 см;

Вологість маси повинна становити:

- 55-65% для трав (конюшина, люцерна)
- 65-73% для силосу кукурудзи;
- 70-78% для жому та пивної дробини.

За потреби використовують консерванти.



Рукава Budissa Bag Standart 1,95 x 60 м

297 €



Рукава Budissa Bag Standart 2,40 x 60 м

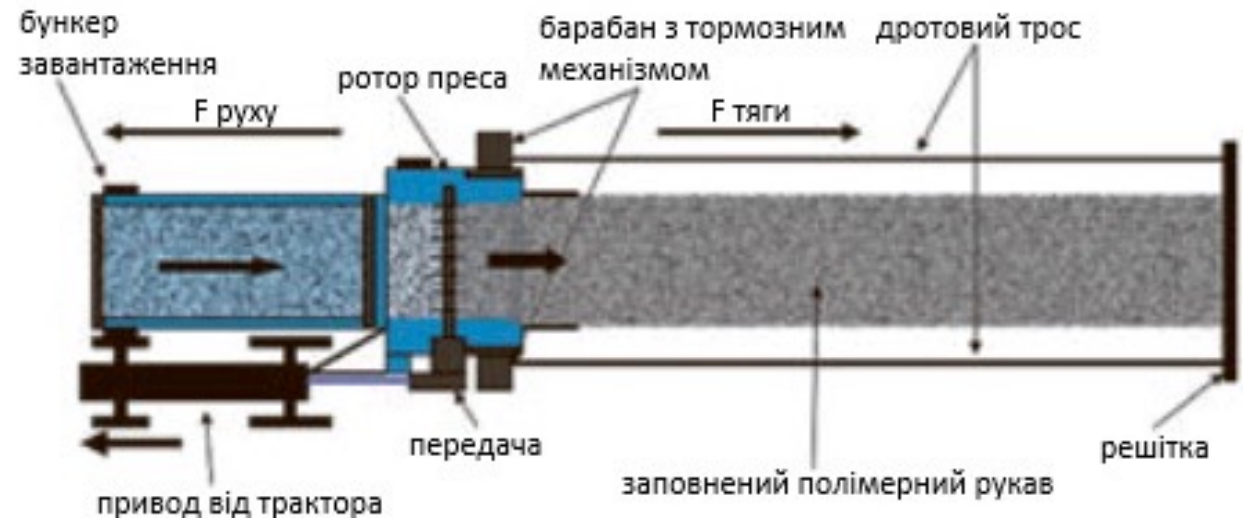
389 €



Рукава Budissa Bag Standart 3,0 x 60 м

504 €

Діаметр рукава потрібно розраховувати так, щоб після його відкриття за один день проводилося виїмка 1-2 метрів упакованої маси.





5 Зберігання паливних брикетів і пелет

Зберігання пелет і брикетів

Пелети (брикети) фасуються на виробництві у спеціальні мішки та біг-беги. Важливо забезпечити відповідні умови для зберігання пелет у приміщенні:

- Простір повинен провітрюватись. У приміщенні має бути сухо та прохолодно.
- Не можна зберігати паливний матеріал поблизу відкритого вогню. Інакше існує ризик, що станеться займання та пожежа.
- Не рекомендується складувати усі упаковки в одному місці. Мішки розкладають рівномірно по периметру біля стін. Це дозволить знизити тиск на біопаливо та унеможливити їх швидке руйнування.
- Навіть у поліетиленових упаковках біопаливо не зберігають на землі чи бетоні. Мішки укладають на дерев'яні піддони або облаштовують настил. Якщо основа приміщення стане мокрою, це призведе до псування пелет.
- Приміщення має бути закритим. Всередину не повинні потрапити тварини, шкідники, які можуть розірвати пакети, порушивши цілісність упаковки і розкидавши вміст.
- Потрібно періодично перевіряти, чи приміщення залишається сухим, чи не піднявся рівень ґрунтових вод, чи не засмічена вентиляція. Якщо біопаливо стане вологим, його горючість та інші експлуатаційні якості погіршаться.



Джерело: <https://bioenergybank.com.ua/uk/yak-zberigati-peleti/>

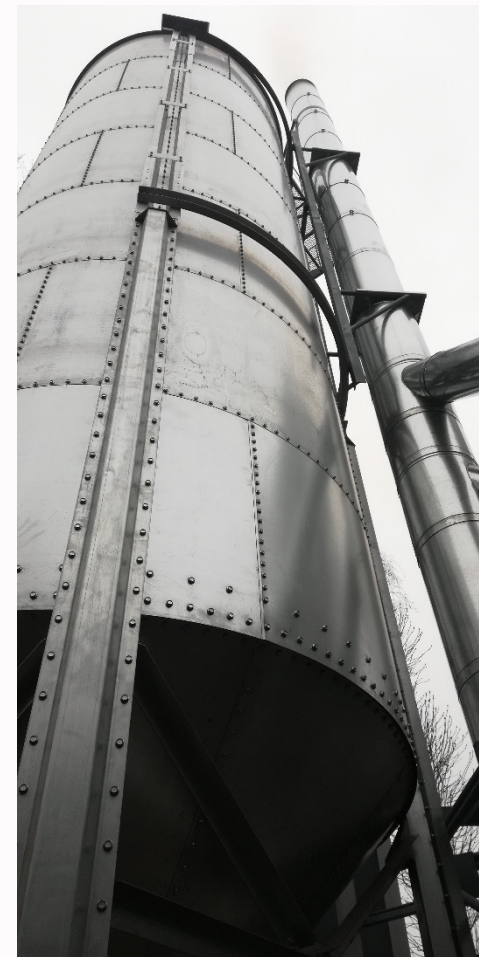
Зберігання пелет у сховищах

Попередження ризиків виникнення пожеж у силосі:

- не допускати протікання даху;
- час перебування біопалива у сховищі повинен бути менше максимального часу для заданого вмісту вологи;
- моніторинг вмісту вологи;
- розвантажувати за правилом перша партія прийшла перша вийшла;
- повністю розвантажувати і очищати силос;
- запобігати завантаженню перегрітого матеріалу;
- ізоляція силосу для запобігання утворенню конденсату.



*На електростанції
Draخ (Англія) чотири
сховища, кожне
може вмістити 80
тис. т деревних
пелет.*





Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую!

Семен Драгнєв



Експерт UABIO, к.т.н.



+380 66 324 84 80



dragnev@uabio.org



<https://uabio.org>

