

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

№1 (96)



2017

Техніка

енергетика

транспорт АПК



**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково– виробничого та навчального спрямування  
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою “Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту”.  
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.  
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ № 16644– 5116 ПР від 30.04.2010 р..

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /  
Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2017. – 1 (96) – 189 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету  
(протокол № 8 від 23.02.2017 р.)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.*

*Журнал є друкованим засобом масової інформації, який внесено до переліку наукових фахових  
видань України з технічних наук (Додаток 12 до наказу Міністерства освіти і науки України  
16.05.2016 № 515).*

**Головний редактор**

**Калетнік Г.М.** – д.е.н., проф., академік НААНУ,  
Вінницький національний аграрний університет

**Заступник головного редактора**

**Матвійчук В.А.** – д.т.н., проф., Вінницький  
національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Анісімов В.Ф.** – д.т.н., проф., Вінницький  
національний аграрний університет

**Солона О.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний  
аграрний університет

**Іскович – Лотоцький Р.Д.** – д.т.н., проф.,  
Вінницький національний технічний університет

**Іванов М.І.** – к.т.н., проф., Вінницький національний  
аграрний університет

**Сивак І.О.** – д.т.н., проф., Вінницький  
національний технічний університет

**Кондратюк Д.Г.** – к.т.н., доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Огородніков В.А.** – д.т.н., проф., Вінницький  
національний технічний університет

**Любін М.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний  
аграрний університет

**Бурдо О.Г.** – д.т.н., проф., академік АНТКУ,  
Одеська національна академія харчових  
технологій

**Пришляк В.М.** – к.т.н., доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Гулько І.В.** – к.т.н., доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Середа Л.П.** – к.т.н., проф., Вінницький національний  
аграрний університет

**Бандура В.М.** – к.т.н., доц., Вінницький  
національний аграрний університет

**Веселовська Н.Р.** – д.т.н., проф., Вінницький  
національний аграрний університет

**Булгаков В.М.** – д.т.н., проф., академік НААН,  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України

**Гевко Р.Б.** – д.т.н., проф., Тернопільський  
національний економічний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

**Володимир Крочко** – д.т.н., проф., Словацький  
аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

**Людвікас Шпокас** – д.т.н., проф., Університет  
Олександра Стулгинського (Литва)

**Януш Новак** – д.т.н., проф., Люблінський  
аграрний університет (м. Люблін, Польща)

**Марош Коренко** – д.т.н., проф., Словацький аграрний  
університет (м. Нітра, Словачія)

**Маріан Веселовські** – д.т.н., проф.,  
Люблінський природничий університет (м.  
Люблін, Польща)

**Ян Франчак** – д.т.н., проф. Словацький аграрний  
університет (м. Нітра, Словачія)

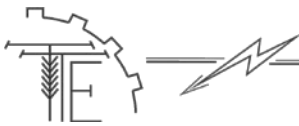
**Зденко Ткач** – д.т.н., проф., Словацький  
аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

**Володимир Юрча** – д.т.н., проф., Чеський  
університет сільського господарства (м. Прага, Чехія)

**Семенс Івановс** – д.т.н., проф., Латвійський  
аграрний університет (м. Улброка, Латвія)

**Гражина Езевська-Вітковська** – д.т.н., проф.,  
Люблінський аграрний університет (м. Люблін,  
Польща)

**МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ***Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Булгаков В.М.***СТАН ТА ОСНОВНІ ПЕРСПЕКТИВИ ПІДГОТОВКИ ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ ІНЖЕНЕРНИХ ТА НАУКОВИХ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АГРОІНЖЕНЕРІЇ.....5***Ігнат'єв Є.І.***ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ НОВОГО КОМБІНОВАНОГО ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....16***Ільченко В.Ю., Пономаренко Н.О., Журенко Ю.І., Федоров П.М.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТОСОВАНOSTІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОСАПНИХ КУЛЬТИВАТОРІВ І КУЛЬТИВАТОРІВ-ОКУЧНИКІВ ДО ОПЕРАЦІЙ ПЕРІОДИЧНОГО ТА ЩОЗМІННОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....22***Котов Б.І., Спірін А.В., Зозуляк О.В.***МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ДРІБНОГО ВОРОХУ ВІБРАЦІЙНО-ПОВІТРЯНИМИ ОЧИСТКАМИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ.....26***Кувачов В.П.***ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ШИРОКОКОЛІЙНОГО АГРОЗАСОБУ.....30***Налобина О.О., Ковальчук Р.В., Васильчук Н.В.***КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ КОНОПЛЯРСЬКОЇ ГАЛУЗІ АПК УКРАЇНИ.....37***Паламарчук І.П., Бандура В.М., Кордонський В.А., Кордонський Т.В.***ПІДНІМАЛЬНИЙ ПРИСТІЙ ДО АДАПТОРА ДЛЯ МОТОБЛОКУ “МОТОР СІЧ”.....42***Петриченко Є.А.***РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НОВОГО КОМБІНОВАНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ.....45***Червінський Л.С., Радько І.П.***РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАНАЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ШЕРСТИННИМ ПОКРИВОМ В ОРГАНІЗМ ТВАРИНИ.....51***Друкований М.Ф., Янович В.П., Сосновська Л.В.***РОЗРОБКА ВІБРАЦІЙНОГО ДЕЗІНТЕГРАТОРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ДОБАВОК ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ.....56****ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ***Деркач О.Д., Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Волошин С.В.***ПРИСТОСОВАНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ТРАКТОРА ДО ОПЕРАЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ.....60****ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ***Божко Н.В., Пасічний В.М., Шалда І.С.***ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З М'ЯСОМ КАЧКИ.....66***Борисов О.О.***ГЕОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКУ КИСЛОТНО-СОЛЬОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ ДІЛЯНОК ПЕДОСФЕРИ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЄВА).....70***Головач І.В., Дерев'янка Д.А., Дерев'янка О.Д.***ТРАВМУВАННЯ НАСІННЯ ПРИ ПІДСУШУВАННІ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ.....78***Друкований М.Ф., Янович В.П., Ольшевська А.І.***ЗАСОБИ АЛГОРИТМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗЧИНЕННЯ ЧАСТИНКИ ФОСФАТУ КАЛЬЦІУ В РІДКІЙ БІОМАСІ.....83***Заяць В.Ю., Кофлюк Т.М., Гавула Н.В., Солоний М.В.***ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ЗАДАЧІ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА ПЕРЕД ПОДАЛЬШОЮ ЙОГО ПЕРЕРОБКОЮ.....88***Котов Б.І., Калініченко Р.А., Курганський О.Д.*



<b>ТЕПЛО І МАСООБМІН ПРИ СУШІННІ І ОХОЛОДЖЕННІ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ЩІЛЬНОМУ РУХОМОМУ ШАРІ.....</b>	<b>93</b>
<i>Котов Б.І., Спірін А.В., Зозуляк І.А., Півнюк А.В.</i>	
<b>РОЗРАХУНОК КІНЕТИКИ СУШІННЯ НЕОДНОРІДНИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ.....</b>	<b>96</b>
<i>Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П., Ляшук О.Л.</i>	
<b>ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРУЖИННОГО ГВИНТОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ЕКСТРУДЕРА.....</b>	<b>100</b>
<i>Паламарчук І.П., Янович В.П., Михальова Ю.О.</i>	
<b>РОЗРОБКА ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИПКИХ СУБСТАНЦІЙ.....</b>	<b>104</b>
<i>Пасічний В.М., Українець А.І., Храпачов О.В., Маринін А.І.</i>	
<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО БАГАТОШАРОВИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ М'ЯСОПРОДУКТІВ.....</b>	<b>108</b>
<i>Романчук А.В., Гончарова Н.Г., Кошулько В.С., Сова Н.А.</i>	
<b>АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СЕПАРУВАЬНИХ МАШИН З ПРИНЦИПОМ ВІБРОФРИКЦІЙНОЇ ТА ВІБРОУДАРНОЇ ДІЇ НА ОБРОБЛЮВАНИЙ МАТЕРІАЛ.....</b>	<b>113</b>
<i>Сабадаш Н.І., Пасічний В.М., Бахмут Ж.О., Рубнікович А.Ю.</i>	
<b>РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ЕМУЛЬСІЙНОГО КРЕМУ НА НАТУРАЛЬНІЙ ОСНОВІ З ЛАНОЛІНОМ.....</b>	<b>120</b>
<i>Святненко Р.С., Маринін А.І., Кочубей-Литвиненко О.В.</i>	
<b>ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ НА МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....</b>	<b>125</b>
<i>Стаднік М.І., Рубаненко О.О., Римар В.В.</i>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ.....</b>	<b>131</b>
<i>Солоний М.В.</i>	
<b>ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ З СОЄЮ В ЕКСТРУДЕРАХ.....</b>	<b>136</b>
<i>Тищенко В.І.</i>	
<b>ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСО-РИБНИХ ФАРШІВ.....</b>	<b>140</b>
<i>Чурсінов Ю.О., Ковальова О.С.</i>	
<b>АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СОЛОДОВОГО ТА ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА.....</b>	<b>144</b>
<i>Янаков В.П.</i>	
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСТОПРИГОТОВЛЕНИЯ.....</b>	<b>150</b>
<b>ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ</b>	
<i>Боднар Л.А., Робак М.Г., Головка А.О.</i>	
<b>ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ПОТУЖНІСТЮ 100 кВт ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ СОЛОМИ.....</b>	<b>157</b>
<i>Матвійчук В.А., Рубаненко О.О., Явдик В.В.</i>	
<b>АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІКРОЕЛЕКТРОМЕРЕЖ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НИМИ.....</b>	<b>162</b>
<i>Стаднік М.І., Рубаненко О.О., Бондаренко С.В.</i>	
<b>ВИБІР ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.....</b>	<b>166</b>
<b>ТРАНСПОРТНІ ТА ТРАНСПОРТНО - ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ</b>	
<i>Гевко Б.М., Клендій В.М., Навроцька Т.Д., Мельничук С.Л.</i>	
<b>МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ.....</b>	<b>176</b>
<i>Дячун А.Є., Чвартацький Р.І., Мельничук С.Л., Маруніч О.П.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ВАНТАЖУ У СЕРЕДНЬОШВИДКІСНОМУ ГВИНТОВОМУ КОНВЕЄРІ-ЗМІШУВАЧІ ІЗ ОСЬОВИМ КОЛИВАННЯМ ШНЕКА.....</b>	<b>181</b>
<i>Пришляк В.М., Грицун А.В., Бабін І.А.</i>	
<b>АНАЛІЗ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ СІНАЖНИХ БАШТ.....</b>	<b>187</b>

## РОЗРАХУНОК КІНЕТИКИ СУШІННЯ НЕОДНОРІДНИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

*Котов Борис Іванович* д.т.н., професор  
*Спірін Анатолій Володимирович* к.т.н., доцент  
*Зозуляк Ігор Анатолійович* к.т.н., старший викладач  
*Півнюк Андрій Вікторович* аспірант  
Вінницький національний аграрний університет

*Kotov B.*  
*Spirin A.*  
*Zozuliak I.*  
*Pivnyuk A.*

Vinnitsa National Agrarian University

**Анотація:** в статті наведені теоретичні дослідження по визначенню кінетики сушіння окремих частин рослинної маси. Для інтерпретації частин рослин були вибрані три класичні фігури: пластина, циліндр та куля. Отримані залежності для розрахунку часу сушіння вегетативних частин рослин.

**Ключові слова:** кінетика сушіння, куля, пластина, циліндр, вологовміст, масопровідність, масообмін.

**Постанова проблеми:** застосування сушіння зелених кормових трав інших видів листостеблевих рослинних матеріалів забезпечує найбільшу схоронність поживних і технологічних показників якості і на найближчу перспективу залишається основним методом консервування вологої сільськогосподарської сировини. Процеси переносу вологи в матеріалі і його видалення з поверхні до сушильного агента виключно складні і врахувати дію окремих факторів практично неможливо. Тому використовують спрощені уявлення про процеси переносу до яких відноситься уподобання процесу масо переносу до добре вивчених процесів перенесення теплоти в твердому тілі. Але отримані розв'язки рівнянь масопровідності дуже складні і описують процес при сталих значеннях коефіцієнтів переносу і параметрах зовнішнього середовища. Тому використання їх для розрахунків нестационарних процесів сушіння викликає значні математичні складності. Але отримання аналітичних залежностей для визначення експозиції сушіння можливе після належного спрощення розв'язків класичних задач тепло- і масопровідності. Тому одержання найближчих аналітичних рівнянь процесу сушіння залишається актуальною задачею, рішення якої спрощує дослідження різних способів сушіння рослинного матеріалу.

### *Аналіз досліджень та публікацій*

Для розв'язку задач визначення кінетики сушіння запропоновано низку математичних підходів висвітлених в роботах [1,2], де використовуються розв'язки рівнянь типу теплопровідності отримані О. Ликовим в різні роки для тіл класичної форми. В роботі [3] розглянуто моделювання процесу сушіння двокомпонентної сировини з використанням спрощених кінетичних залежностей О.Ликова. В роботі [4] час сушіння трав'яної маси визначається за поглинальною здатністю повітря, як агента сушіння. В роботі [5] використанні рівняння теплового і матеріального балансів. Таким чином, процеси внутрішнього тепло- і масо переносу визначаються тільки сумісним розв'язком рівнянь тепло- і масо провідності [1, 2]. Разом з тим, в роботі показана можливість визначення динаміки зміни маси матеріальна на основі тільки одного рівняння масо провідності, а температурний фактор враховується залежністю коефіцієнтів переносу від температури матеріалу. В роботі [7] розглянуто метод визначення часу охолодження тіл різної форми за зміною температури в центрі. Таким чином, є методична основа для отримання спрощених рівнянь кінетики сушіння з урахуванням внутрішнього масо переносу.

**Мета роботи.** Визначення кінетичних закономірностей сушіння вегетативних частин рослинних матеріалів різної форми на основі компактних формул, отриманих аналітично.

**Результати досліджень.** Рослинні сільськогосподарські матеріали: подрібнена кормова трава, насінневий ворох, лубоволокнисті культури, які консервуються для зберігання шляхом конвективного сушіння мають неоднорідний за формою (лист, стебло, бутон, насіннина) склад в загальній масі сировини. Це зумовлює різну швидкість переміщення і віддачі вологи. Тому розглянемо процес масопереносу для тіл розподіл вологовмісту в якому визначається однією



координатою (пластина – товщина, циліндр, куля – радіус).

Диференціальне рівняння масо провідності (яким моделюється процес сушіння) для тіл класичної форми можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \left[ \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{2V+1}{x} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} \right], 0 \leq x \leq R \quad (1)$$

де –  $U$  – вологовміст матеріалу,  $a_m$  – коефіцієнт масопровідності,  $x$  – просторова координата,  $\tau$  – час,  $V$  – коефіцієнт форми (пластина  $V=-0.5$ ; циліндр  $V = 0$ ; куля  $V=0,5$ ),  $R$  – розмір (пластина половина товщини, куля, циліндр радіус).

При граничних умовах третього ряду (задається закон масообміну і параметри навколишнього середовища і поверхні, які характеризуються величиною рівноважного вологовмісту, як функцією  $U_0 = f(t, \varphi)$  температури  $t$  та вологовміст повітря  $\varphi$  поле концентрації вологи визначається розв'язком рівняння (1) при граничних умовах (2):

$$-a_m \left( \frac{\partial U}{\partial \tau} \right)_n = \beta (U - U_p(t, \varphi)) \quad (2)$$

Для тіл різної форми геометричної форми С.В. Ликовим отримані наступні рівняння у вигляді нескінченних рядів які швидко сходяться [7]:

- для пластини:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i \cdot \cos(\mu_i \frac{x}{R})}{\mu_i + \sin \mu_i \cos \mu_i} e^{-\mu_i^2 Fom} \quad (3)$$

- для циліндра:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_1 \mu_i \cdot I_0(\mu_i \frac{x}{R})}{\mu_i + I_0 \mu_i I_1^2 \mu_0} e^{-\mu_i^2 Fom} \quad (4)$$

- для кулі:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i - \mu_i \cos \mu_i \sin \mu_i \frac{x}{R}}{\mu_i - \sin \mu_i \cos \mu_i \mu_i \frac{x}{R}} e^{-\mu_i^2 Fom} \quad (5)$$

де:  $Fom = \frac{Om}{R^2} \tau$  – масообмінний критерій Фур'є,  $\bar{U} = \frac{U - U_p}{U_0 - U_p}$  – відносний вологовміст.

При сушінні матеріалів повне висушування (до рівноважної вологості) досягається при  $x=0$ , тобто коли рівноважна вологість досягається, центр частинки матеріалу, тоді рівняння (3) - (5) набувають вигляду:

- для пластини:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i \cdot e^{-\mu_i^2 Fom}}{\mu_i + \sin \mu_i \cos \mu_i} \quad (6)$$

- для циліндра:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_1 \mu_i \cdot e^{-\mu_i^2 Fom}}{\mu_i + [I_0^2(\mu_i) + I_1^2(\mu_0)]} \quad (7)$$

- для кулі:

$$\bar{U} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_i - \mu_i \cos \mu_i}{\mu_i - \sin \mu_i \cos \mu_i} e^{-\mu_i^2 Fom} \quad (8)$$

$$tg \mu = \frac{1}{\beta_{im}} \mu$$

де:  $\mu_i$  – корені характеристичного рівняння;  $\beta_{im}$  – критерій;  $I_0(\mu), I_1(\mu)$  – функції Бесселя



першого ряду, нульового і першого порядків. Значення коренів наведені в [8].  $\beta_{im} = \frac{\beta R}{a_m}$ .

Таким чином, рівняння (6) – (8) можна узагальнити залежністю:

$$\bar{U} = f(F_0, \beta_i) \quad (9)$$

При аналізі числових значень параметрів у функції (9) в роботі [7] встановлено, що залежність між величинами  $\bar{U}$ ,  $\beta_i$ ,  $F_0$  для тіл геометричної форми може бути подана у вигляді:

$$F_0 = -K 2,3 \ln \bar{U} + n \quad (10)$$

де  $K = \frac{c}{\beta_1} + d$ ,  $n$ ,  $c$ ,  $d$  – числові коефіцієнти, які для різної форми матеріалу мають такі значення:

пластина:  $n=0,12$ ;  $c=2,3$ ;  $d=0,8$

циліндр:  $n=0,06$ ;  $c=1,15$ ;  $d=0,4$

куля:  $n=0,04$ ;  $c=0,767$ ;  $d=0,27$ .

Розкриваючи значення параметрів у формулі (10) матимемо:

- для пластини:

$$\tau = -\frac{R^2}{a_m} \left[ \frac{2,3}{\beta_{im}} + 0,8 \right] \ln \frac{U_k - U_p}{U_0 - U_p} 2,3 + 0,12 \quad (11)$$

- для циліндра:

$$\tau = -\frac{R^2}{a_m} \left[ \frac{1,15}{\beta_{im}} + 0,4 \right] 2,3 \ln \frac{U_k - U_p}{U_0 - U_p} 2,3 + 0,06 \quad (12)$$

- для кулі:

$$\tau = -\frac{R^2}{a_m} \left[ \frac{0,767}{\beta_{im}} + 0,27 \right] 2,3 \ln \frac{U_k - U_p}{U_0 - U_p} 2,3 \quad (13)$$

де:  $U_0$  – початковий вологовміст матеріалу;  $U_k$  – кінцевий вологовміст.

Рівняння (11) – (13) визначають експозицію сушіння матеріалу різної геометричної форми від початкового до кінцевого значення вологовмісту.

З рівняння (10) можна отримати часову залежність, яка визначає кінетику сушіння:

$$\bar{U} = \exp \left[ -\frac{1}{2,3K} \left( \frac{a_m}{R^2} \tau - n \right) \right] \quad (14)$$

або

$$U(\tau) = U_p + (U_0 - U_p) e^{\frac{n}{2,3K}} \exp \left( -\frac{a_m}{R^2 2,3K} \tau \right) \quad (15)$$

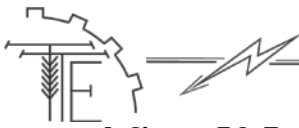
Таким чином, узагальнене рівняння (15) в залежності від значень коефіцієнтів  $k$  і  $n$  які входять до нього, визначають зміну вологовмісту матеріалу за часом для частин рослинних матеріалів різної форми.

### Висновки

Отримані спрощені рівняння, які визначають кінетику сушіння частин рослинної маси, що мають різну форму, а також формули для розрахунку часу висушування вегетативних частин рослин при відомих значеннях коефіцієнтів масопровідності і масообміну та рівноважного вологовмісту.

### Список літератури

1. Гірник М.Л. Математичне моделювання процесів конвективного сушіння / М.Л. Гірник, В.М. Гербей, З.Ю. Мазяк. – К: Будівельник. 1993. - 248с.
2. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. -Л: Химия, 1987. - 208с.
3. Дідух В.Ф. Науково-технологічні основи механізованого сушіння неоднорідних рослинних матеріалів. Авт. реф. доктора. техн. наук. Тернопіль. 2003-39с.
4. Пятрушьявичюс В.И. Активное вентилирование травяных кормов / В.И. Пятрушьявичюс, В.М. Любарский-Л. Агрпромиздат, 1986-96с.



5. Котов Б.І. Тепло- і масообмін при сушінні сільськогосподарських рослинних матеріалів у щільному нерухомому шарі / Б.І.Котов, А.В. Спирін, Р.А.Калініченко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016, №2, (94). С. 24-28

6. Котов Б.І. Ідентифікація закономірностей тепло- і масо перенесення у процесах термічної обробки і зберігання рослинної сировини / Б.І. Котов, В.О. Грищенко, Р.А. Калініченко // Збірник наукових праць ЛДТУ Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2003, вип. 11. С. 59-68.

7. Фикиін А.Г. Расчет продолжительности охлаждения твердых тел различной геометрической формы / А.Г.Фикиін, И.К.Фикиїна // Инженерно физический журнал. 1971. т.20. №4. С. 730-732.

8. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В.Лыков. М. Высшая школа. 1969. -559с.

### References

1. Hirnyk M.L. Matematychnе modelyuvannya protsesiv konvektyvnoho sushynnya / M.L. Hirnyk, V.M. Herbey, Z.YU. Mazyak. - К: Budivelnik. 1993.-248s.

2. Frolov V.F. Modelirovaniye sushki dispersnykh materialov / V.F. Frolov.-L: Khimiya, 1987. -208s.

3. Didukh V.F. Naukovo-tekhnologichni osnovy mekhanizovanoho sushynnya neodnorodnykh roslynnykh materialiv. Avt.ref.doktora.tekhn.nauk.Ternopil. 2003.-39s.

4. Pyatrushyavichyus V.I. Aktivnoye ventilirovaniya travyanykh kormov / V.I. Pyatrushyavichyus, V.M.Lyubarskiy-L.Agropromizdat, 1986. -96s.

5. Kotov B.I. Тепло- у масообмін при сушінні сільськогосподарських рослинних матеріалів у щільному нерухомому шарі / Б.І.Котов, А.В. Спирін, Р.А.Калініченко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016, №2, (94) С. 24-28

6. Kotov B.I. Ідентифікація закономірностей тепло- у масо перенесення у процесах термічної обробки у зберігання рослинної сировини / Б.І. Котов, В.О. Грищенко, Р.А. Калініченко // Збірник наукових праць ЛДТУ Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2003, вип. 11. С. 59-68.

7. Fikiin A.G. Raschet prodolzhitel'nosti okhlazhdeniya tverdykh tel razlichnoy geometricheskoy formy / A.G.Fikiin, I.K.Fikiina // Inzhenerno fizicheskiy zhurnal. 1971. t.20. №4. S. 730-732.

8. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti / A.V.Lykov. M. Vysshaya shkola. 1969. -559s.

### РАСЧЕТ КИНЕТИКА СУШКИ НЕОДНОРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Аннотація:** в статті приведені теоретическі дослідження по визначенню кінетики сушки окремих частей рослинної маси. Для інтерпретації частей рослин були вибрані три класическі фігури: пластина, циліндр і шар. Отримані залежності для розрахування часу сушки вегетативних частей рослин.

**Ключевые слова:** кінетика сушки, шар, пластина, циліндр, вологосодержание, масопровідність, масообмін.

### CALCULATION OF THE DRYING KINETICS INHOMOGENOUS PLANT MATERIAL

**Summary:** in this article theoretical research to determine the drying kinetics of individual parts of the plant mass. To interpret parts of plants were selected three classic shapes, plate cylinder and ball. The dependences for calculation of drying time vegetative plant parts.

**Keywords:** drying kinetics ball, plate cylinder, moisture content, masoprovodnist, mass transfer.