



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЙ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА ТА ЙОГО ПЕРЕРОБКИ В ХЛІБОБУЛОЧНІ, ХАРЧОВІ ТА КОРМОВІ ПРОДУКТИ**

***Автори:***

***Єгоров Б.В., Гапонюк О.І., Бурдо О.Г., Станкевич Г.М.,  
Іоргачева К.Г., Ковбаса В.М., Дробот В.І.,  
Буценко І.М., Гулавський В.Т., Жукотанський О.В.***

**2015**

**Зерно** – це найбільш цінний продовольчий ресурс України, ефективне використання якого здатне забезпечити стабільний соціально-економічний розвиток і продовольчу безпеку та вирішення геополітичних питань на користь нашої нації.

Від ефективності технологій післязбиральної обробки і сушіння зерна залежать втрати при його зберіганні, а від безпечності та якості зерна залежить ефективність застосування круп'яних продуктів, борошна та хлібобулочних виробів, харчових продуктів і комбікормів.

**Мета роботи** – підвищення ефективності зберігання зерна і використання його природного поживного та енергетичного потенціалу та продуктивності транспортно-технологічних операцій шляхом створення системи технологій післязбиральної обробки і сушіння зерна та його переробки в оздоровчі хлібобулочні, харчові і високопродуктивні кормові продукти.

**Концепція** роботи полягає у застосуванні системного підходу до вирішення проблем удосконалення технологій післязбиральної обробки, сушіння і зберігання зерна та його подальшої переробки в хлібобулочні, харчові і кормові продукти на основі застосування принципів ефективного використання енергій і розвитку методології оцінки ефективності та збільшення продуктивності транспортно-технологічних потоків і процесів в екологічно чистих і вибухобезпечних умовах.





**ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК УКРАЇНИ**

# СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЙ

ПІСЛЯЗБИРАЛЬНА  
ОБРОБКА

ЗБЕРІГАННЯ

СУШІННЯ

ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ В

КРУПИ

БОРОШНО

КОМБІКОРМИ

КОНДИТЕРСЬКІ  
ВИРОБИ

ХЛІБОБУЛОЧНІ  
ВИРОБИ

ОЗДОРОВЧІ  
ПРОДУКТИ

Нові наукові концепції. Інноваційні технології. Обладнання, що зменшує навантаження на довкілля, підвищує енергетичну ефективність та потужність виробництва

ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ПРОЕКТУ

Комбікормова галузь  
3,7 млрд. грн

Хлібопекарна галузь  
4,24 млрд. грн

Технології сушіння  
4 млн. грн

Технології експорту зерна  
4,5 млрд. грн

## **ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ**

**Впровадження результатів роботи здійснено на понад 100 підприємствах України та за кордоном, серед яких основними є:**

**– системи технологій післязбиральної обробки, сушіння та зберігання зерна і його переробки в хлібобулочні продукти, сухі сніданки, зернові пластівці та їх суміші і мюслі швидкого приготування, підвищення кормової цінності зерна і виробництва комбікормів;**

**– принципово нові високоефективні транспортно-технологічні комплекси для енергоощадної післяжнивної обробки зерна – сушильно-очищувальний модуль обсягом зберігання до 12 тис. тонн, автоматизований елеватор місткістю 50 тис. тонн, морський зерновий термінал вагообігом до 4,5 млн. тонн;**

**– нове високопродуктивне обладнання: стрічкові конвеєри продуктивністю 350...1500 т/год.; норії та ланцюгові конвеєри продуктивністю 350...500 т/год.; модульні бункерні ваги продуктивністю 500...1500 т/год.; високопродуктивні комплекси для прийому зерна із залізничних вагонів продуктивністю понад 500 т/год. та для розвантаження зерна автомобільного транспорту продуктивністю понад 350 т/год.; високоефективні лушильні машини, сепаратори для попереднього очищення зерна, круповідділювачі;**

**– системи екологічної безпеки та локальні фільтрувальні установки продуктивністю 500...100 000 м<sup>3</sup>/год.**

**– методика оцінки стабільності технологічних процесів переробки зерна.**



## ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

1. Очікуваний Загальний економічний ефект становить біля 4 млрд. грн. Сумарний підтверджений економічний ефект склав понад 3,7 млрд. грн.

2. Розроблена система технологій зберігання і переробки зерна сприяла виходу України на 3 місце у світі за обсягами експорту зерна (*країни перелічені*) та на 8 місце за обсягами експорту м'яса птиці, а також значно покращила харчовий статус населення України.

3. Результати досліджень впроваджені на підприємствах ПАТ «Миронівський хлібопродукт», ПрАТ «Укрелеваторпром», ЗАТ «АгроТрейдЮг» та ін., а синтез запропонованих транспортно-технологічних комплексів дозволив збільшити обсяги експорту зерна. Про світовий рівень свідчать показники питомих енерговитрат, та якість зернових продуктів та експорт зерна до таких країн як Німеччина, Великобританія, Франція, Швейцарія, Італія, Єгипет, Мексика та ін.

4. Результати досліджень викладено у 15 монографіях, більш ніж у 2500 наукових працях (у т.ч. 22 зарубіжних), загальна кількість цитувань публікацій складає 374, *h-індекс* 7. Отримано понад 400 патентів. За даною тематикою захищено 17 докторських, 95 кандидатських дисертацій.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ, НАГРІВАННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА

**Взаємний вплив режимних факторів** (температура  $t$  і швидкість  $v$  сушильного агента та товщина шару зерна  $h$ ) на кінетику зневоднення і нагрівання зерна пшениці в щільному шарі на різних етапах процесу сушіння описується рівняннями:

$$N_w = 0,6191 + 0,2414x_1 + 0,1084x_2 - 0,2376x_3 + 0,0516x_1x_2 - 0,1259x_1x_3; \quad N_{w1} = 0,7237 + 0,2467x_1 + 0,1015x_2 - 0,2840x_3 - 0,1045x_2x_3;$$

$$N_{w2} = 0,5053 + 0,2230x_1 + 0,1102x_2 - 0,1903x_3 + 0,0675x_1x_2 - 0,0133x_1x_3; \quad N_\theta = 3,0522 - 0,2950x_1 + 0,7325x_1x_2 - 0,3075x_1x_3,$$

де  $N_w = (w_\pi - w_k)/\tau$ ;  $N_{w1} = (w_\pi - w_1)/\tau_1$ ;  $N_{w2} = (w_1 - w_k)/\tau_2$ ;  $N_\theta = (\theta_k - \theta_\pi)/\tau$  – середні швидкості сушіння і нагрівання;  $w_\pi$ ,  $w_1$ ,  $w_k$  – вологовміст зерна, відповідно, початковий, в кінці першого етапу та в кінці сушіння, у % на абс. суху масу ( $w_\pi = 30,15$  %,  $w_1 = 21,40$  %,  $w_k = 16,00$  %);  $\theta_\pi$ ,  $\theta_k$  – температура зерна початкова і в кінці сушіння, °C;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau$  – тривалість сушіння і нагрівання на першому і другому етапах та загальна, хв;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – кодовані значення факторів  $t$ ,  $v$  та  $h$ , відповідно в °C, м/с та мм:  $x_1 = (t - 120)/30$ ;  $x_2 = (v - 0,55)/0,25$ ;  $x_3 = (h - 150)/50$ .

Значущі ефекти взаємодії  $b_{ij}$  свідчать про складний характер взаємовпливу факторів  $t$ ,  $v$  та  $h$  на кінетику сушіння зерна для кожного  $i$ -го фактору, який визначається за квазіоднофакторними моделями  $z_i$ , що відображають діалектичні суперечності реальних сушильних процесів.

$$z_i = (b_i + \sum_{j=1}^k b_{ij} x_j) \cdot x_i$$

**Параметри зерна в охолоджувальних зонах** шахтних зерносушарках в діапазоні зміни факторів

$15\% < u_\pi < 18\%$ ;  $35^\circ\text{C} < \theta_\pi < 55^\circ\text{C}$ ;  $5^\circ\text{C} < t < 30^\circ\text{C}$ ;  $10 \text{ хв} < \tau < 75 \text{ хв}$ ;  $0,1 < \varphi < 0,7$ ;  $0,2 \text{ м/с} < v < 0,5 \text{ м/с}$ .

доцільно описувати емпіричними рівняннями:

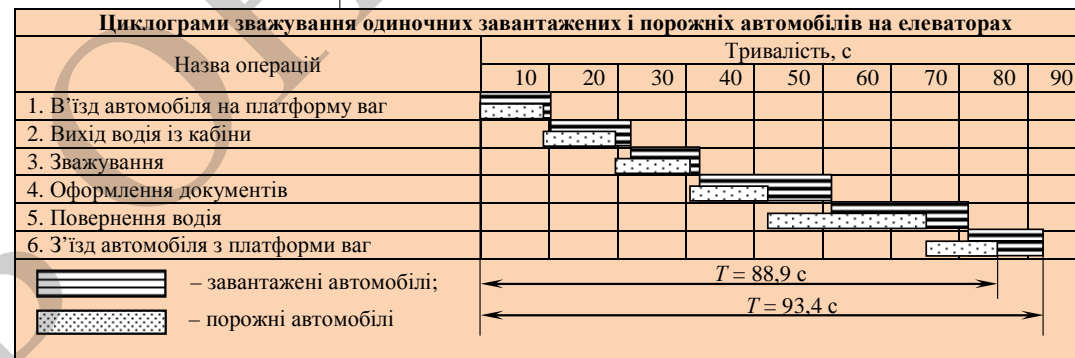
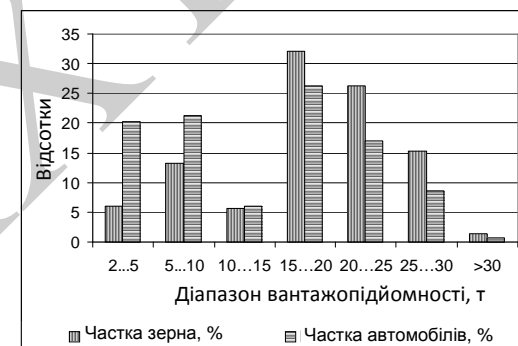
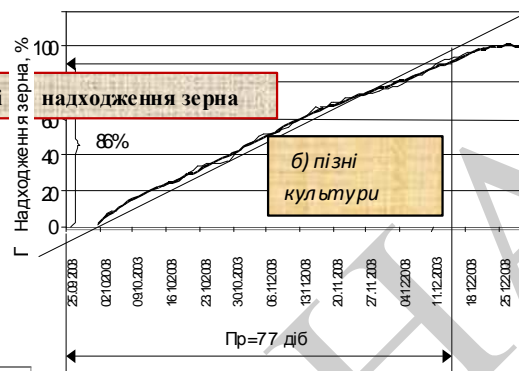
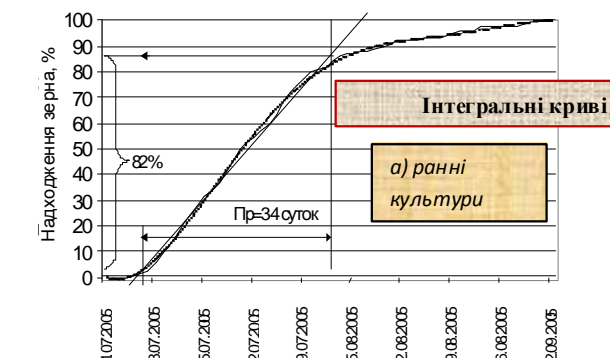
$$u_k = 0,5307 + 0,9828 u_\pi - 2,0952v - 0,008893\tau + 0,0001933t^2 + 2,4698v^2 + 0,0001188 \tau^2 - 0,000878 u_\pi \theta_\pi + 0,0001503 u_\pi t - 0,0003005 u_\pi \tau - 0,0003554 \theta_\pi t - 0,01727 \theta_\pi v + 0,003842 \theta_\pi \varphi - 0,0001786 \theta_\pi \tau + 0,0212 tv - 0,006865 t \varphi + 0,000222 t\tau + 0,006606 v\tau + 0,001067 \tau \varphi;$$

$$\theta_k = 6,8729 + 0,6470\theta_\pi + 0,3734t - 0,2593\tau - 28,7629v - 0,002394\tau^2 + 32,1051v^2 - 0,002486 \theta_\pi t - 0,004565 \theta_\pi \tau - 0,4293 \theta_\pi v + 0,0005427 t\tau + 0,4959tv + 0,1297\tau v.$$

**Кінетика охолодження зерна** описується модифікованим рівнянням  $\theta = \theta_0 + \tau/(A + B\tau)$ , коефіцієнти якого визначаються

виразами  $A = 1/N_t$ ,  $B = 1/(\theta_\pi - t)$ . Максимальна швидкість охолодження  $N_t$ , що відповідає початковому моменту процесу охолодження ( $\tau=0$ ), визначається за формулою  $N_t = [L(c_b + c_\pi d) \theta_\pi + r + 1000c_\pi \theta_\pi N_w \rho + Q_{втр}]/(1000c_3 V\rho)$ .

# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА НА ЕЛЕВАТОРАХ ТА ХЛІБОПРИЙМАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ



Тривалість внутрішньої роботи в залежності від маси партій зерна та продуктивності норій								
Діапазон, т	Сумарна тривалість внутрішньої роботи по підприємствам, хв.							
	Елеватор 2х175			Елеватор 4х175			ХПП	
	Середня маса, т	Q, т/год		Середня маса, т	Q = 175 т/год	Середня маса, т	Q, т/год	
2...5	4,7	7,2	5,6	4,7	3,6	3,5	3,8	2,6
5...10	9,8	11,0	8,0	9,7	5,9	7,5	6,7	4,4
10...15	14,7	14,6	10,2	13,6	8,6	12,5	10,5	6,7
15...20	19,3	18,1	12,3	18,8	11,0	17,5	14,2	9,0
20...25	24,3	21,8	14,6	23,3	13,1	22,5	18,0	11,3
25...30	28,4	24,9	16,5	29,9	16,1	27,5	21,7	13,6
30...35	30,2	26,2	17,3	—	—	—	—	—
	15,8	15,5	10,7	15,9	9,7	—	—	—

На підставі теоретичних узагальнень та експериментальних досліджень запропоновано удосконалити транспортно-технологічні лінії елеваторів та хлібоприймальних підприємств, які дозволяють на 20...30 % підвищити їх продуктивність, знизити на 15...25 % витрати теплової енергії, суттєво поліпшити охолодження зерна та підвищити ефективність післязбиральної обробки зерна різних культур.



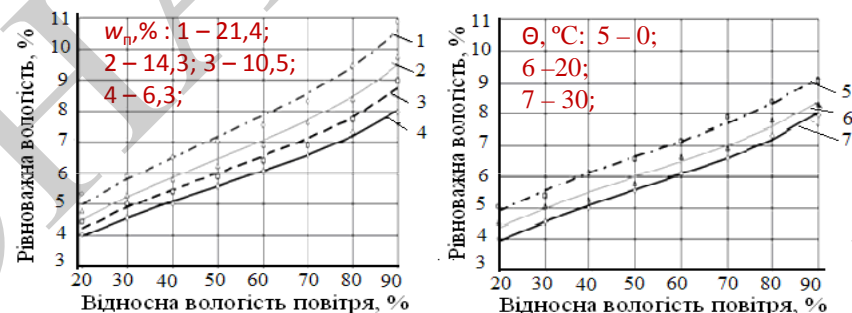
# ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР ЯК ОБ'ЄКТІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ

Культура	Геометричні характеристики					
	w, %	V <sub>з</sub> , мм <sup>3</sup>	F <sub>з</sub> , мм <sup>2</sup>	ψ	d <sub>екв</sub> , мм	a <sub>пит</sub> , мм <sup>2</sup> /мм <sup>3</sup>
Сорго	11,8	19,30	32,24	0,93	3,33	1,67
	16,3	27,10	37,75	0,87	3,73	1,39
	24,2	36,48	42,37	0,80	4,11	1,16
Ріпак	7,30	2,29	7,99	0,87	1,35	3,86
	10,1	2,56	8,66	0,87	1,44	3,63
	13,8	3,95	9,44	0,85	1,78	2,86
	22,0	4,35	11,04	0,86	2,02	2,54
Гірчиця	7,0	3,10	9,09	0,89	1,81	2,94
	9,9	3,93	10,67	0,86	1,96	2,72
	14,1	4,61	11,62	0,87	2,06	2,52
	21,7	5,98	13,68	0,86	2,25	2,29
Льон	6,7	4,23	14,35	0,28	2,01	3,39
	10,3	4,44	14,94	0,29	2,04	3,36
	13,7	6,81	19,97	0,28	2,35	2,93
Мак	22,1	7,74	21,41	0,29	2,45	2,77
	6,3	0,08	1,06	0,30	0,53	13,45
	10,5	0,08	1,10	0,30	0,54	13,11
	14,3	0,10	1,18	0,29	0,57	12,21
	21,4	0,11	1,19	0,27	0,59	10,99

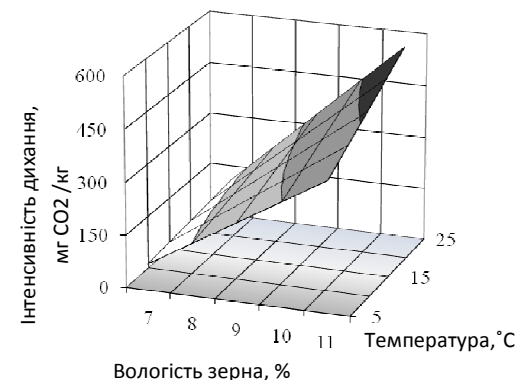
Аеродинамічний опір дрібнонасінних культур, Па (v = 3 м/с)	
Сорго	$H_{ш} = 55,91 - 1,55h + 0,26w + 0,026h \cdot w$ ;
Льон	$H_{ш} = 50,83 - 2,09h + 0,21w + 0,016h \cdot w$ ;
Гірчиця	$H_{ш} = 50,84 - 1,42h + 0,04w + 0,013h \cdot w$ ;
Ріпак	$H_{ш} = 51,54 - 2,22h + 0,07w + 0,0011h \cdot w$ ;
Мак	$H_{ш} = 86,10 - 3,15h - 0,14w + 0,026h \cdot w$ ;

Питомі витрати повітря для активного вентилявання ДК, м³/т									
Культура	w₀, %	Температура повітря, °С			Культура	w₀, %	Температура повітря, °С		
		5	15	25			5	15	25
Сорго	10	1608	1611	801	Ріпак	8	1726	1628	913
	16	1982	1860	1109		12	2359	2243	1768
	22	2292	2060	2052		16	2527	2483	2233
Гірчиця	8	1146	1002	938	Льон	8	1150	1123	902
	12	1961	1795	1409		12	2123	2067	1930
	16	2440	2331	2176		16	2483	2440	2233

Дрібнонасінні культури (ріпак, гірчиця, сорго, льон, сориз, амарант, мак та ін.), виробництво яких останніми десятиріччями суттєво зросло, мають певні відмінності у фізико-технологічних, гіроскопічних властивостей та теплофізичних характеристик, що вимагає оптимізації режимів їх післязбиральної обробки (сушіння, активне вентилявання, охолодження) та зберігання.



Ізотерми сорбції маку за різних умов



Залежність інтенсивності дихання ріпаку від його температури та вологості

# СУШІННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР

Конвективно-мікрохвильове осцилююче сушіння ДК									
Культура	w <sub>0</sub> , %	Тривалість імпульсів, с							
		τ <sub>е</sub> = 6, τ <sub>п</sub> = 20		τ <sub>е</sub> = 10, τ <sub>п</sub> = 20		τ <sub>е</sub> = 6, τ <sub>п</sub> = 30		τ <sub>е</sub> = 10, τ <sub>п</sub> = 30	
		Тривалість сушіння на нашірвання ДЕ							
		τ, хв	θ <sub>к</sub> , °С	τ, хв	θ <sub>к</sub> , °С	τ, хв	θ <sub>к</sub> , °С	τ, хв	θ <sub>к</sub> , °С
Сорго	18	11,4	51	12,8	65	14,0	46	13,4	46
	24	14,4	53	14,4	68	15,6	48	14,6	56
Льон	12	7,4	72	5,9	66	7,6	61	6,8	70
	16	8,9	57	6,8	65	11,6	61	10,4	64
Гірчиця	12	6,8	53	5,1	64	9,0	62	7,8	72
	16	8,4	55	7,0	66	11,6	62	9,1	72
Ріпак	12	7,0	56	5,2	66	6,9	59	6,3	72
	16	7,4	62	5,6	73	7,2	60	6,0	69

Вплив  $w_0$  та  $t_{a.c.}$  на кінетику сушіння льону олійного та показники його якості

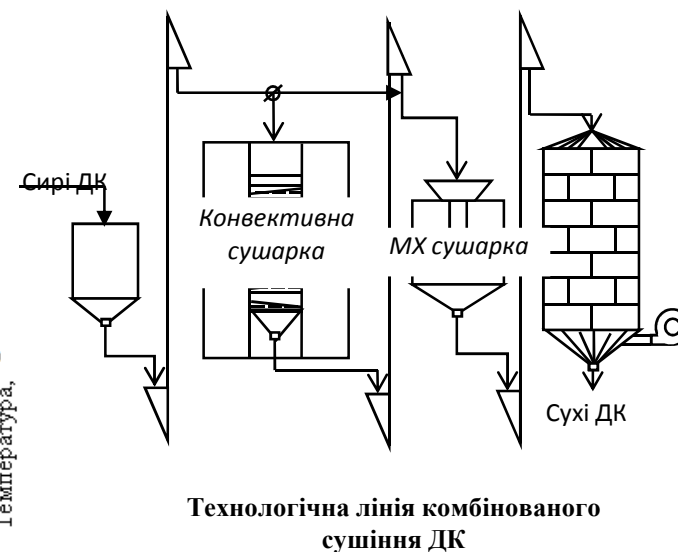
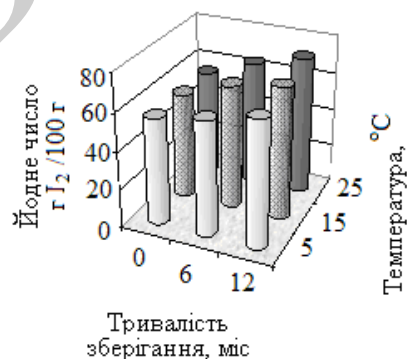
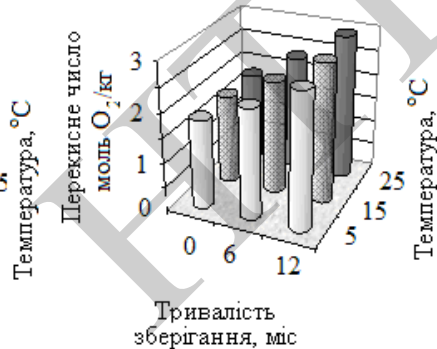
$$K = (0,161 + 1,98w_0 - 0,126 t_{a.c.}) \cdot 10^{-2}$$

$$\theta_k = 7,31 + 0,81 w_0 - 0,33 t_{a.c.}$$

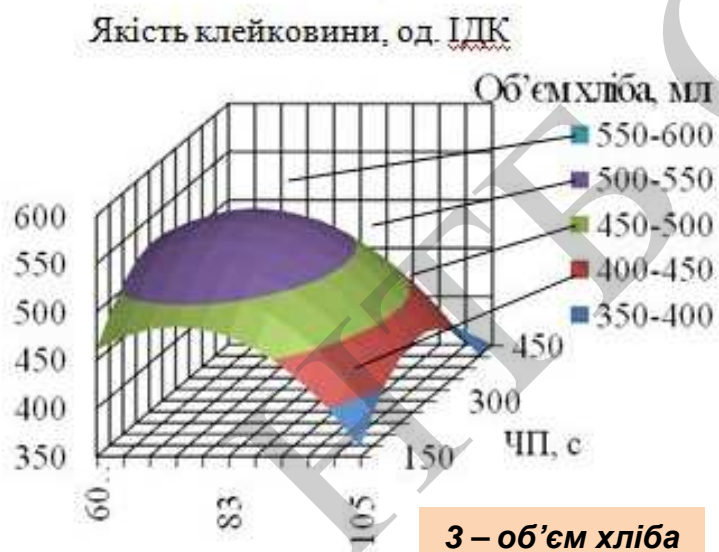
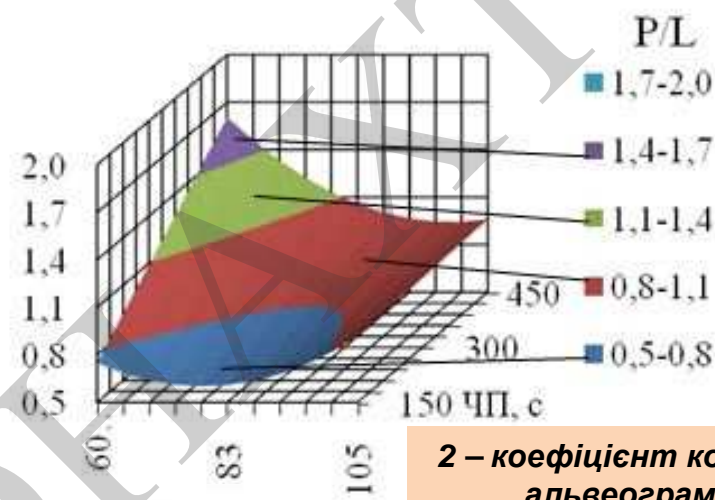
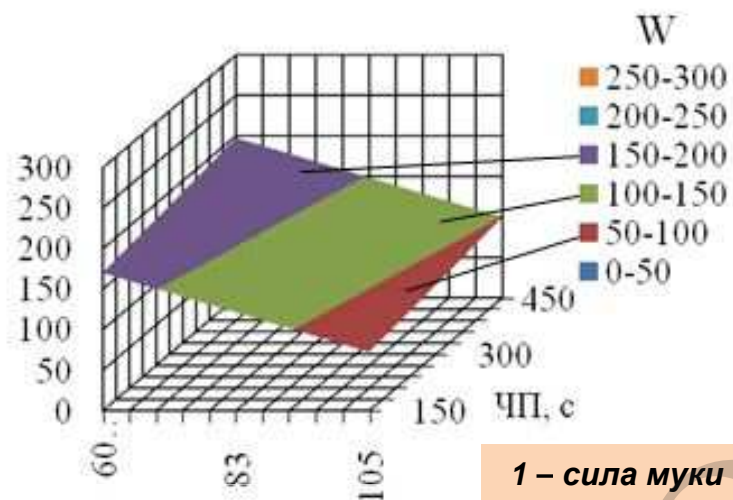
$$КЧ = 2,81 - 0,022 w_0 - 0,009 t_{a.c.} - 0,008 w_0 t_{a.c.}$$

$$ПЧ = 2,57 - 0,019 w_0 - 0,007 t_{a.c.} - 0,002 w_0 t_{a.c.}$$

$$ЙЧ = 87,99 - 1,11 w_0 - 0,35 t_{a.c.} - 0,01 w_0 t_{a.c.}$$

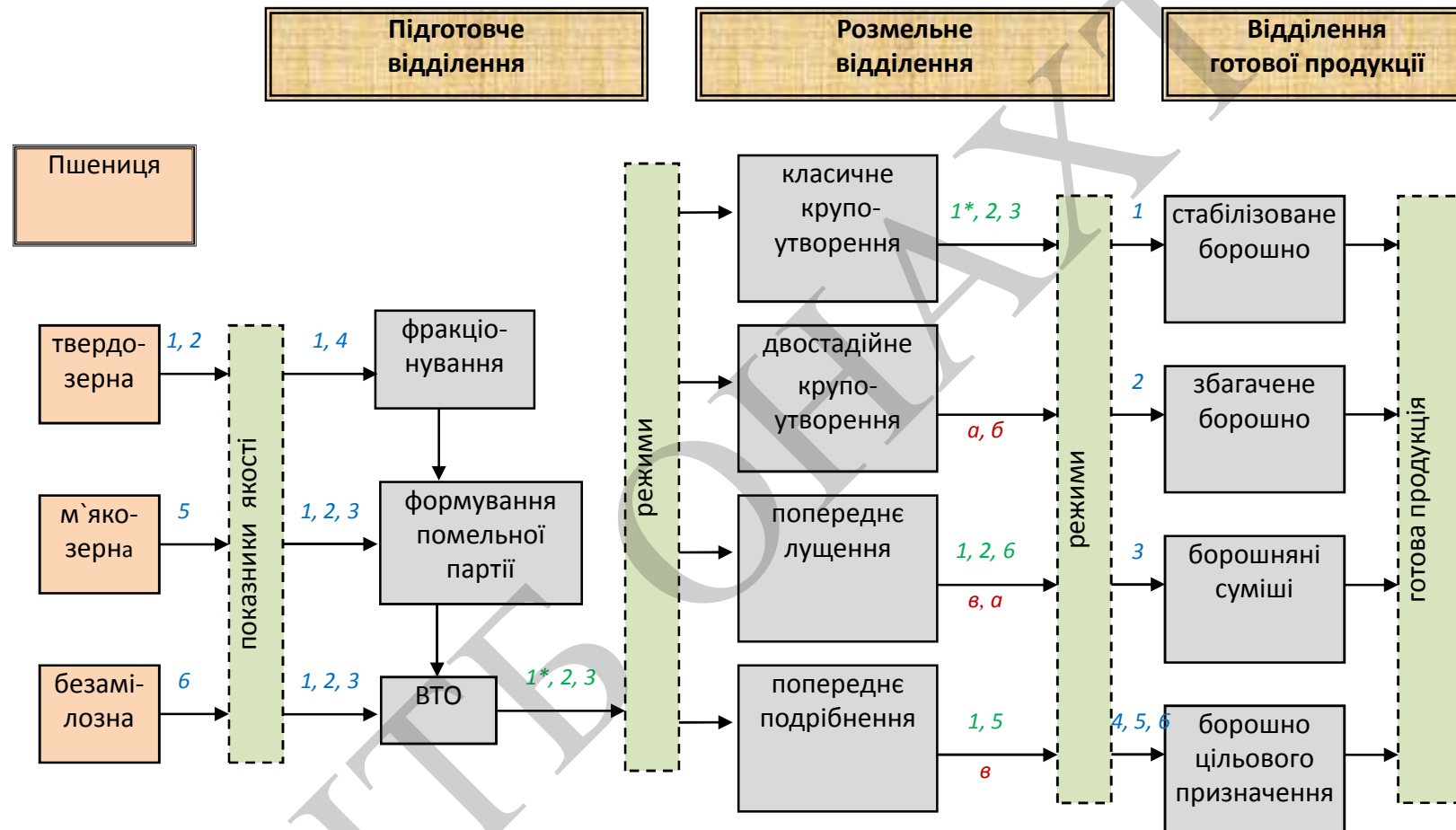


# ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ АЛЬВЕОГРАМИ ТА ПРОБНОЇ ВИПІЧКИ ХЛІБА ВІД ПОКАЗНИКІВ «ЯКІСТЬ КЛЕЙКОВИНИ» ТА «ЧИСЛО ПАДІННЯ» В БОРОШНІ





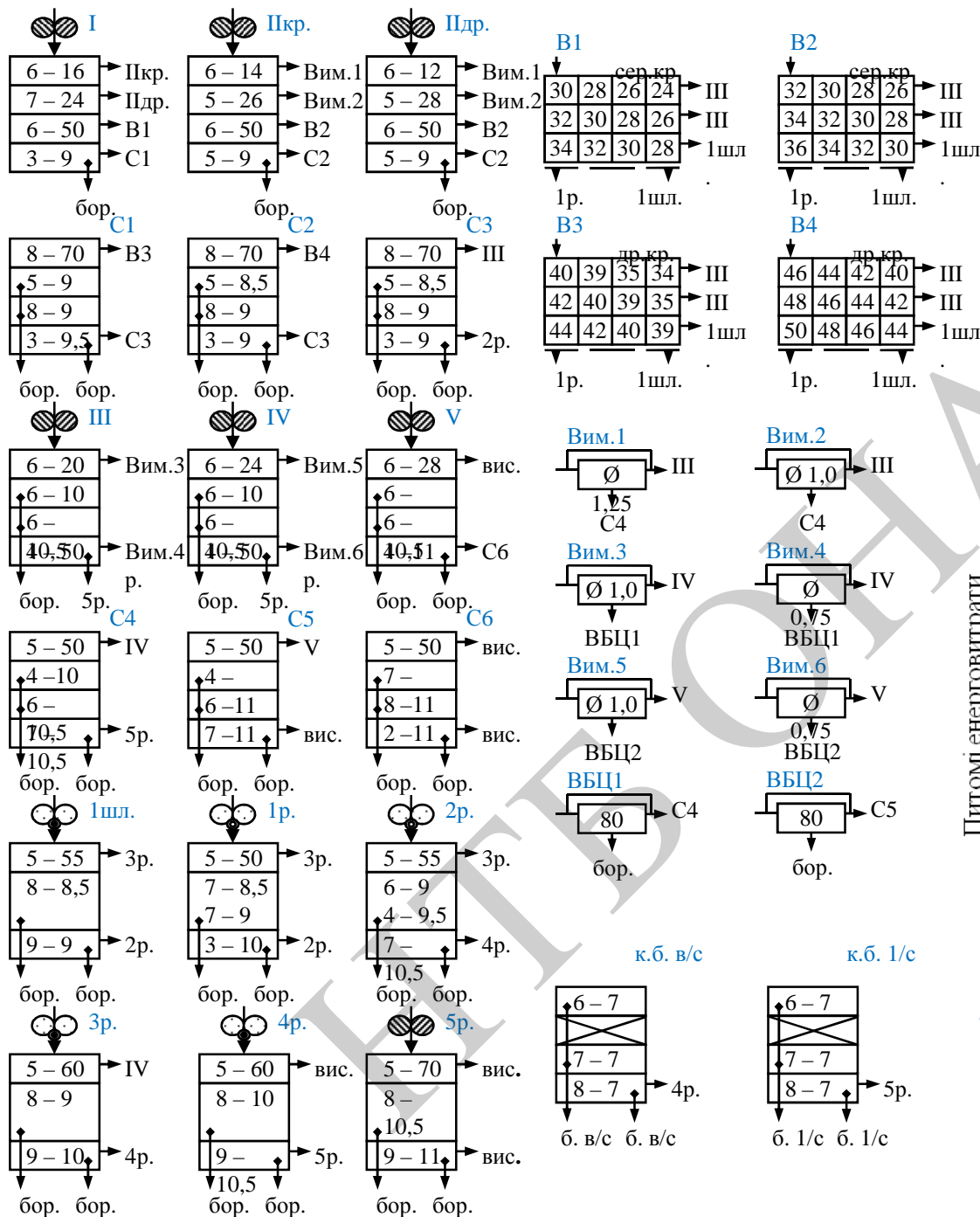
# СТРУКТУРА ГНУЧКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СОРТОВОГО ПОМЕЛУ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ



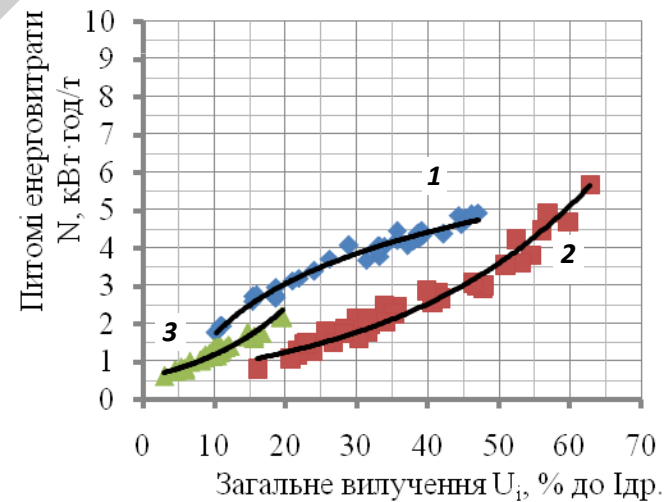
*технологія виробництва:* 1 – стабілізованого борошна; 2 – борошна підвищеної біологічної цінності; 3 – борошняних сумішей; 4 – борошна цільового призначення; 5 – борошна з м'якозерної пшениці; 6 – борошна з безамілозної пшениці;

*цільові функції управління:* а – енерговитратами; б – продуктивністю; в – якістю.

Примітка. \* – необхідність диференціювання режимів.

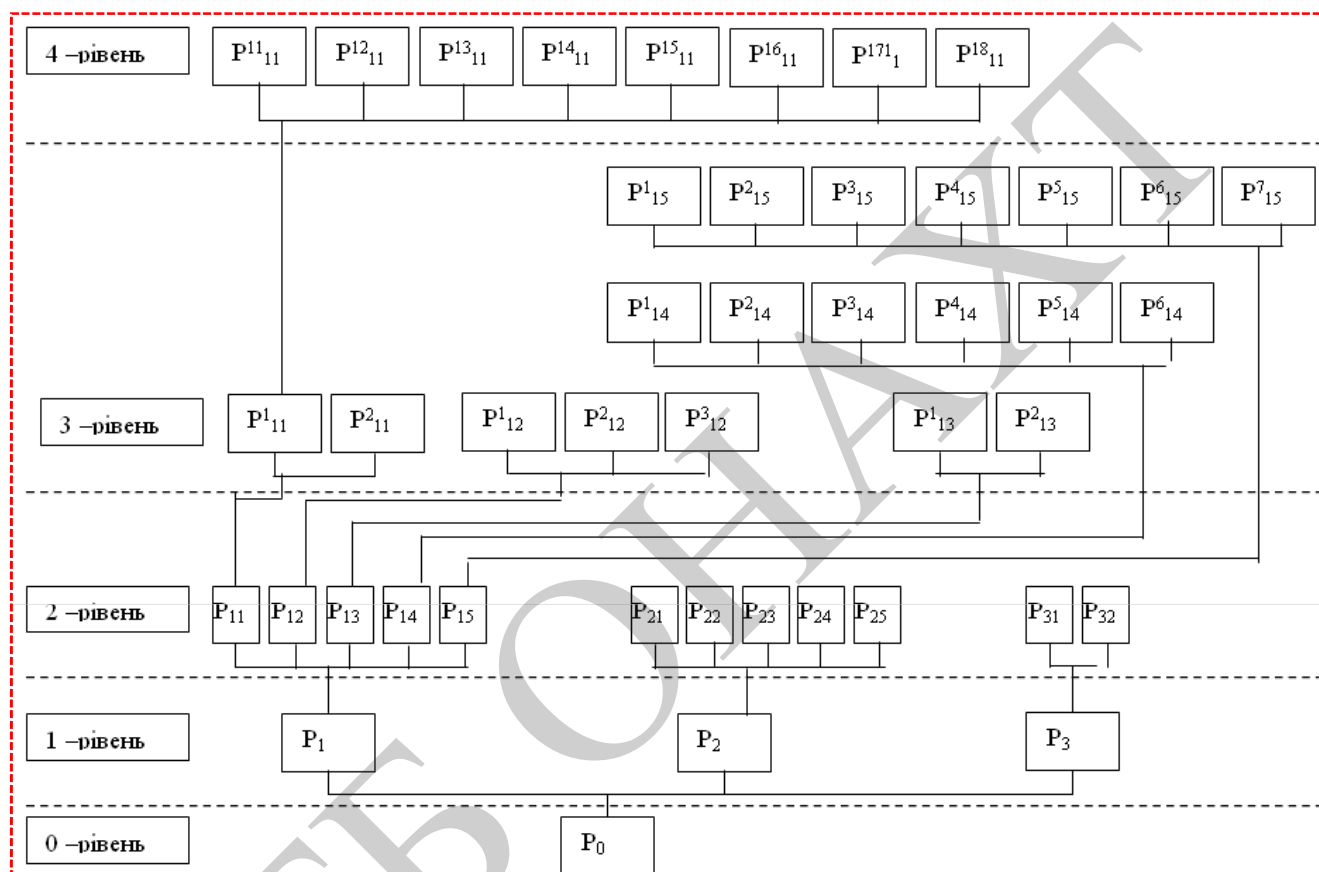


## СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СОРТОВОГО ПОМЕЛУ М'ЯКОЗЕРНОЇ ТА БЕЗАМІЛОЗНОЇ ПШЕНИЦІ У БОРОШНО ПІДВИЩЕНОЇ ПОЖИВНОЇ ЦІННОСТІ



Питомі енерговитрати на подрібнення 1 т зерна по системах:  
1 – I драна; 2 – II драна; 3 – III драна

# ІЄРАРХІЧНЕ ДЕРЕВО ВЛАСТИВОСТЕЙ ЯКОСТІ СУХИХ СНІДАНКІВ



**P<sub>0</sub> – комплексна оцінка:** P<sub>1</sub> – харчова цінність; P<sub>2</sub> – органолептичні властивості; P<sub>3</sub> – структурно-механічні властивості.

**2-й рівень P<sub>1</sub>:** P<sub>11</sub> – вміст білків; P<sub>12</sub> – жирів; P<sub>13</sub> – вміст вуглеводів; P<sub>14</sub> – вміст мінеральних речовин; P<sub>15</sub> – вміст вітамінів.

P<sub>2</sub>: P<sub>21</sub> – смак, P<sub>22</sub> – аромат, P<sub>23</sub> – колір, P<sub>24</sub> – стан поверхні, P<sub>25</sub> – правильність форми.

P<sub>3</sub>: P<sub>31</sub> – густина, P<sub>32</sub> – здатність до набухання, P<sub>33</sub> – в'язкість дисперсії екструдату.

**3-й рівень P<sub>11</sub>:** P<sub>111</sub> – вміст незамінних амінокислот; P<sub>112</sub> – вміст замінних амінокислот.

P<sub>12</sub>: P<sub>121</sub> – P<sub>123</sub> – показники для жирних кислот, поліненасичених та насичених кислот.

P<sub>13</sub>: P<sub>131</sub> – полісахариди; P<sub>132</sub> – моно- та дисахаридів.

P<sub>14</sub>: P<sub>141</sub> – P<sub>146</sub> – вміст натрію, калію, кальцію, магнію, фосфору, заліза.

**4-й рівень P<sub>11</sub>:** P<sub>111</sub> – P<sub>118</sub> – вміст окремих незамінних амінокислот.



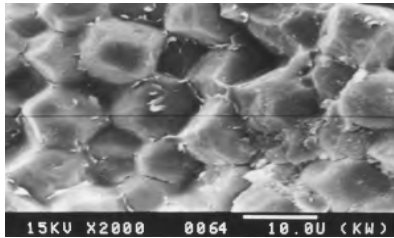
## Вплив споживання сухих сніданків з міпро-вітом на клініко-біохімічні показники хворих з надлишковою вагою в поєднанні з гіперхолестериномією

Показники	Група 1 (дослід)	Група 2 (контроль)
Кількість хворих	25	25
Загальний холестерин, ммоль/л до лікування після лікування	7,90 5,81	7,51 6,12
Тригліцериди, ммоль/л до лікування після лікування	1,80 1,54	1,76 1,58
Ліпопротеїди, ЛПДНЩ, ммоль/л до лікування після лікування	1,62 1,28	1,70 1,45
Глюкоза, ммоль/л до лікування після лікування	6,61 5,22	5,82 5,41

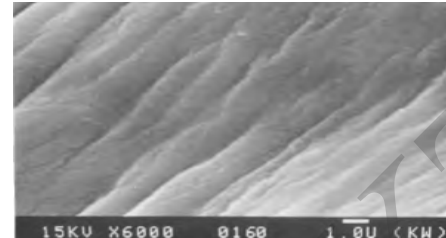
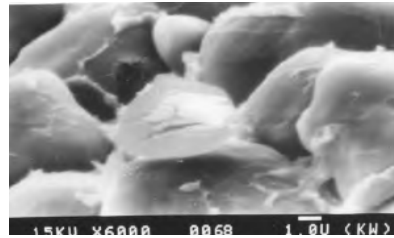
## Вплив споживання сухих сніданків з міпро-вітом на зміни показників вільнорадикального окислення в крові при захворюваннях органів травлення

Показники	Плазма		Еритроцити		Лейкоцити	
	до прийому	після прийому	до прийому	після прийому	до прийому	після прийому
Спонтанна	92,3±3,3	79,4±5,6	68,7±2,4	36,2±4,1	99,3±3,2	41,4±4,3
Норма	80,5±4,2		34,6±3,3		39,6±2,1	
Переокисна хемілюмініценція (швидкий спалах)	115,6±9,8	284,0±12,3	7514±302	4234±302,6	199,5±2,7	82,7±7,6
Норма	294±11,7		3260±409,3		84,2±7,6	
Переокисна хемілюмініценція (повільний спалах)	38,5±2,9	40,1±7,6	54,3±7,9	29,3±3,1	49,2±4,4	15,1±4,2
Норма	64,7±7,8		31,8±1,75		13,8±1,8	

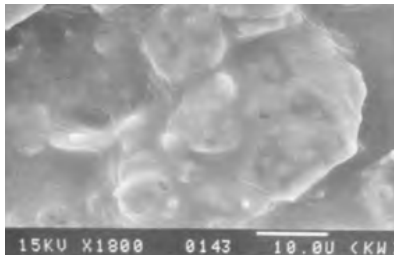
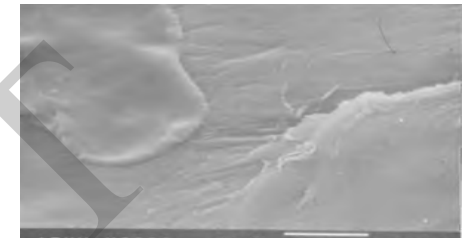
## МІКРОСТРУКТУРА СИРОВИНИ ТА ЕКСТРУДАТІВ, ОТРИМАНИХ НА РІЗНИХ ЕКСТРУДЕРАХ



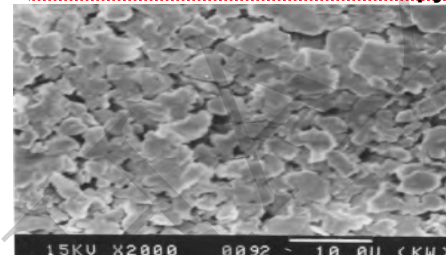
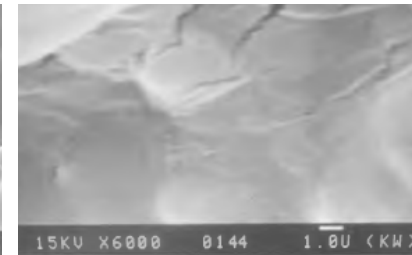
Мікроструктура ендосперму зерна кукурудзи



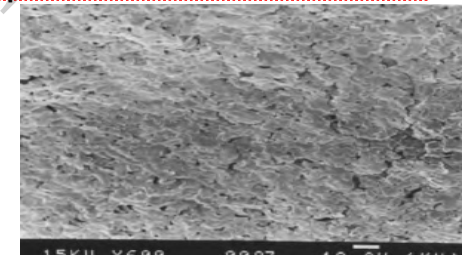
Мікроструктура екструдату, отриманого на одношнековому екструдері S-45



Мікроструктура екструдату, отриманого на одношнековому екструдері A1-KX-2П



Мікроструктура екструдату, отриманого на двошнековому екструдері MPF-50



## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРИ СУХИХ СНІДАНКІВ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ

Оптимізацію амінокислотного складу двокомпонентних композицій (зернова культура – пшеничний зародок) здійснювали розв'язанням систем лінійних рівнянь:

$$\begin{aligned} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 &= B_1; \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 &= B_2; \\ \dots\dots\dots \\ A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 &= B_m; \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{де } A_{11} - A_{m1} &- \text{вміст незамінних амінокислот у 100 г білка пшеничного зародку;} \\ A_{12} - A_{m2} &- \text{вміст незамінних амінокислот у 100 г білка зернової культури;} \\ X_1 - X_2 &- \text{кількість білка у пшеничному зародку; } X_2 - \text{кількість білка в зерновій культурі;} \\ B_1 - B_m &- \text{вміст відповідних амінокислот у 100 г «ідеального» білка (шкала ФАО/ВООЗ).} \end{aligned}$$

Результати розрахунків лягли в основу рецептур нових видів сухих сніданків «Гармонія», «Фантазія», «Юніор» на основі композицій різних видів зернової сировини та добавок, на які затверджено нормативну документацію.

Розроблено трикомпонентні композиції: зернова культура – зернова культура – пшеничний зародок за допомогою методології експериментально-статистичного моделювання (ЕСМ), які забезпечують збалансований амінокислотний склад готових виробів.

# НУТРИЦІОЛОГІЧНА І ДІЄТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ЗЛАКОВИХ, КРУП'ЯНИХ, БОБОВИХ, ОЛІЙНИХ ДРІБНОНАСІННЕВИХ КУЛЬТУР

Суттєве щоденне джерело поживних речовин  
та біологічно активних сполук

- ✓ енергії
- ✓ рослинних білків
- ✓ харчових волокон
- ✓ поліненасичених жирних кислот  $\omega-3$  і  $\omega-6$
- ✓ олігосахаридів
- ✓ лецитину
- ✓ фіторечовин
- ✓ макро-, мікроелементів
- ✓ ізофлавонів
- ✓ вітамінів В, РР, Е

Продукти з захисними,  
детоксикаційними,  
радіопротекторними  
властивостями

Вироби з високою  
енергетичною цінністю,  
пластичними,  
регуляторними функціями

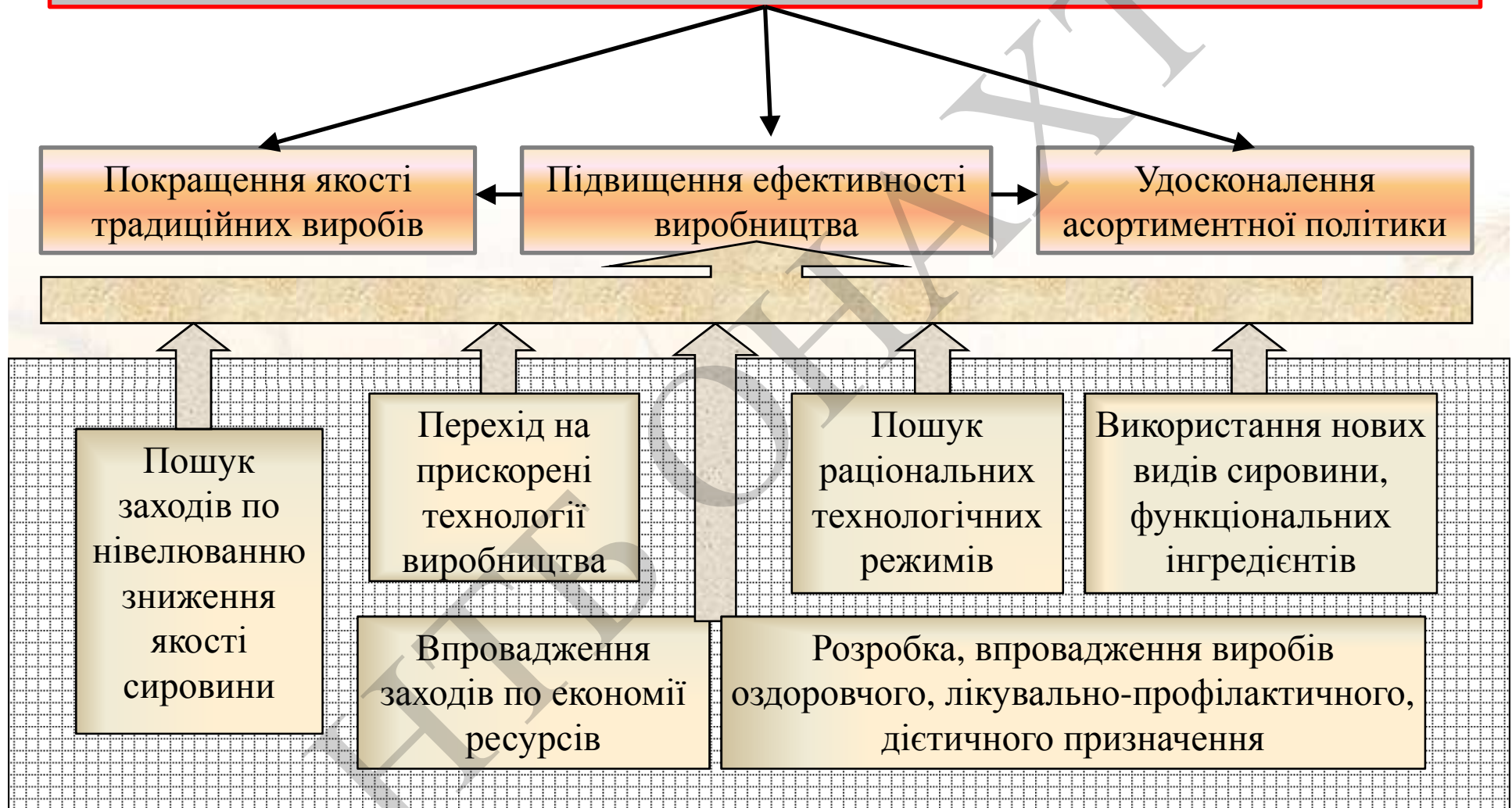
Проблеми, протипоказання та  
обмеження споживання виробів з  
пшеничного борошна

- ✓ незбалансований хімічний склад, вміст неповноцінних білків
- ✓ проблеми засвоюваності основних поживних та біологічно активних сполук
- ✓ вміст глютену, що для певних груп є алергеном, може викликати автоімунні захворювання;
- ✓ високі енергетична цінність та глікемічний індекс
- ✓ недостатній рівень використання цінних властивостей зерна





# ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ І БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ



# ВИРОБНИЦТВО БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОГО, ПРОФІЛАКТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Біологічні цінність**  
Підвищення вмісту білків, збалансованості амінокислот

**Біологічна ефективність**  
Підвищення вмісту поліненасичених жирних кислот

**Коректування вуглеводного складу,**  
глікемічного індексу, вмісту харчових волокон

**Вітамінна цінність**  
підвищення вмісту та засвоюваності вітамінів, дефіцитних та відсутніх в продукції

**Вміст макро-мікроелементів та БАР**  
підвищення вмісту та засвоюваності мінеральних речовин, дефіцитних та відсутніх в продукції

Крупи зернових, бобових, гречки, платівці

Зерно бобових подрібнене, борошно соєве, горохове, нуту, квасолі

Картопляні, овочеві, фруктові порошки

Зерно злакових подрібнене, борошно цілнозмелене, продукти переробки з пшениці, жита, кукурудзи, вівса, ячменю, полби

Насіння олійних культур (соняшника, льону, кунжуту), продуктів їх переробки

Пряно-ароматичні та лікарські рослини

Технологічні властивості: вплив на хід процесу приготування, якість напівфабрикатів та готових виробів

# ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОГО, ПРОФІЛАКТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ





## РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОГО, ПРОФІЛАКТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Підходи при розробці технології для збереження та посилення в ході приготування харчової цінності, біодоступності, фізіологічних властивостей сировини і продукції:

традиційної: борошна, дріжджів, молочних продуктів, зерна пшениці

нетрадиційної сировини рослинного, тваринного походження продуктів бджільництва тощо

вітамінних, вітамінно-мінеральних комплексів, БАД

- ✓ інноваційні технології хліба на основі борошна високого виходу “Здоров’я” (хліб “Польовий”, “Богатирський”) із застосуванням СПК, соєвого борошна та пластівців вівсяних;
- ✓ обґрунтування сучасних вимог до якості дріжджів, вибір перспективних;
- ✓ дослідження властивостей пшеничних заквасок

- ✓ інноваційні технології застосування спельтового борошна та композитних сумішей на його основі з гречаними та вівсяними пластівцями (хліб “Шумерський”);
- ✓ технології виробів з овочевими порошками “Хлібці гарбузові” та “Хлібці осінні” з соєво-морквяним порошком ;
- ✓ вироби з радіопротекторними властивостями з пектиновими порошками та зостерою

- ✓ інноваційні технології бубличних виробів, збагачених β-каротином (сушки “Золотисті”, “Білкові”, “Малютка вітамінна” з використанням соєвого борошна)



# ПІНОПОДІБНІ БОРОШНЯНІ КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБИ ОЗДОРОВЧОГО СПРЯМУВАННЯ

## Бісквітні напівфабрикати, білково-збивне печиво

### Технологічні властивості

- корегування технологічних властивостей пшеничного борошна;
- регулювання водопоглинальної здатності;
- підвищення стабільності тіста, збільшення об'єму і виходу виробів;
- уповільнення процесу черствіння

- підвищення піноутворюючої здатності і піностійкості;
- скорочення процесу піноутворення;
- уповільнення процесу черствіння

### Продукти переробки зернових

Борошняні суміші зі злакових, круп'яних, бобових, олійних дрібнонасіневих культур

Продукти переробки амаранту

Соеві і модифіковані продукти на їх основі

### Фізіологічний ефект

детоксикаційні, антиоксидантні, імуномодельючі, дієтичні властивості; високі біологічна цінність та ефективність (поліпшення амінокислотного та жирнокислотного профілю)

підтримання імунної функції; антиканцерогенні властивості

гіпохолестеринемічний; протекторні властивості (детоксикація); покращення травлення; нормалізація мікрофлори кишечника; підвищення імунітету, адаптогенні функції організму; очищення від шлаків і токсинів

# БОРОШНЯНІ КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБИ ОЗДОРОВЧОГО СПРЯМУВАННЯ

Печиво цукрове, зтяжне, здобне  
Пряники, галети

## Технологічний ефект

- підвищення емульгуючої здатності, стабільності емульсій;
- регулювання водопоглинальної здатності;
- скорочення тривалості замісу тіста;
- регулювання та стабілізація структурно-механічних характеристик напівфабрикатів;
- зниження адгезійних властивостей тіста;
- урізноманітнення та поліпшення смаку та аромату виробів;
- уповільнення процесу черствіння

## Продукти переробки зернових

Композиційні борошняні суміші

Соеві продукти

Борошно льону

Оцукренні зернові продукти

Модифіковані зернові крохмалі

## Фізіологічний ефект

- профілактичний, антисклеротичний, зниження інтенсивності процесів перекисного окиснення ліпідів
- гіпохолестеринемічний; антиоксидантний; адаптогенний; запобігання гіпоглікемії; кардіотропна дія
- гіпохолестеринемічний; адаптогенний; протекторні властивості (детоксикація); зниження вмісту транс-ізомерів і тваринних жирів; регуляція діяльності шлунково-кишкового тракту
- зниження глікемічного індексу; протекторні властивості (детоксикація); покращення травлення; нормалізація мікрофлори кишечника; підвищення імунітету



## БЕЗГЛЮТЕНОВІ БОРОШНЯНІ ВИРОБИ

### Безглютенові хлібні вироби

Хліб безглютеновий з  
рисовим борошном  
(30%)

Хліб безбілковий з  
крохмалю

Хліб безглютеновий з  
кукурудзяним борошном  
(25 %)

Хліб безглютеновий з  
гречаним борошном  
(15 %)

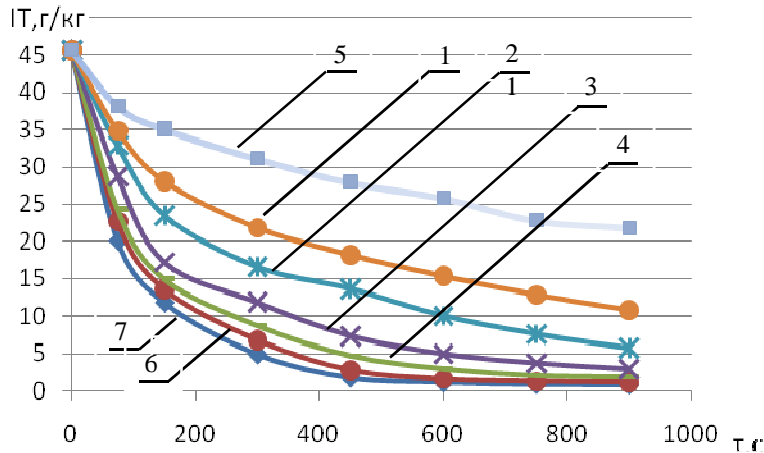
### Безглютенові борошняні кондитерські вироби

Бісквітний  
напівфабрикат основний  
“УСМІШКА” (на  
просяному,  
кукурудзяному та  
рисовому борошні )

Бісквітний  
напівфабрикат основний  
“КОРИСНИЙ”,  
масляний “ГРЕЧАНИЙ”  
(на гречаному борошні  
термічно не  
обробленому)



## КІНЕТИКА ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ІНГІБІТОРІВ ТРИПСИНУ ПІД ЧАС ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА СОЇ



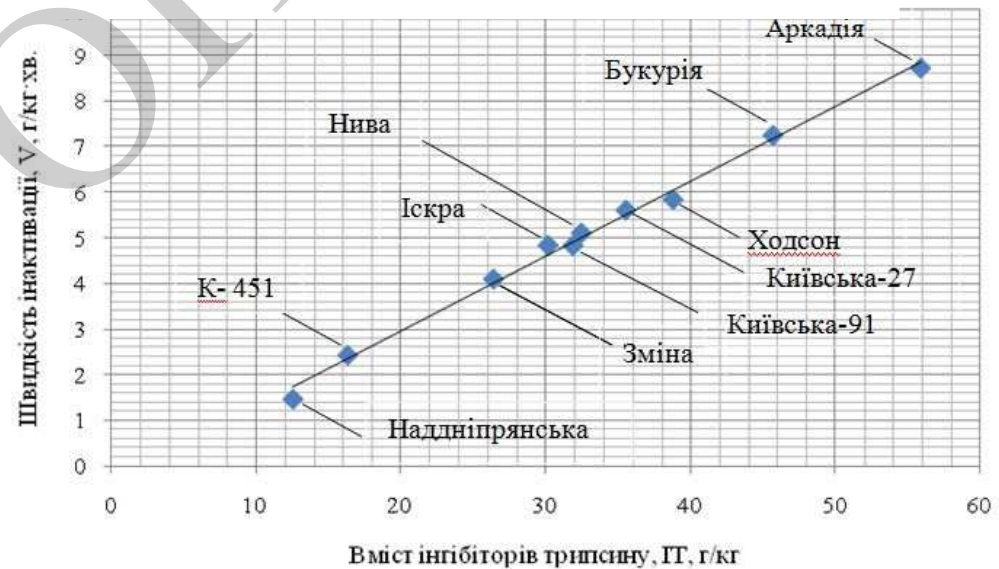
1– $P=0,11$  МПа; 2– $P=0,14$  МПа; 3– $P=0,17$  МПа; 4,5,6– $P=0,20$  МПа (масова доля води 11,8%, 6,4% і 17,6% відповідно); 7– $P=0,23$  МПа

Залежність сумарного вмісту інгібіторів трипсину в зерні сої від режимів волого-теплової обробки

*Швидкість руйнування інгібіторів трипсину:*

$$v_{IT} = [IT_o - IT(\tau_i)]' = IT_o \cdot Kt \cdot e^{-Kt\tau}.$$

$IT_i = IT_o \cdot e^{-Kt\tau}$ ,  
де  $IT_o$  – початковий вміст інгібіторів трипсину, г/кг;  
 $Kt$  – коефіцієнт термостабільності інгібіторів трипсину;  
 $\tau$  – тривалість термічної обробки, с.



Залежність швидкості інактивації інгібіторів трипсину від їх сумарного початкового вмісту в зерні сої різних сортів

## СХЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ І ЗБАГАЧЕННЯ ЗЕРНА ВИСОКОЦІННИМИ ПОБІЧНИМИ ПРОДУКТАМИ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

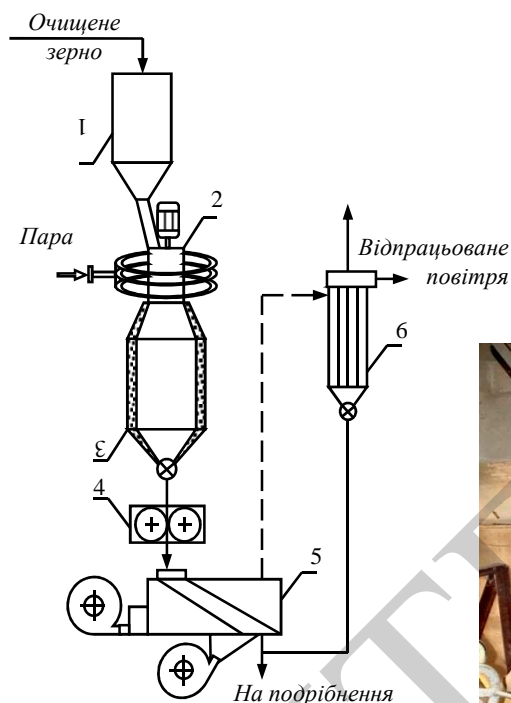


Схема технологічної лінії волого-теплової обробки зерна: 1-бункер; 2-пропарювач безперервної дії; 3- термоізований бункер для кондиціонування; 4- площильна установка; 5- охолоджуюча установка; 7- фільтр-циклон.



Пропарювач (А.С.№ 1412715), встановлений на Новоукраїнському комбінаті хлібопродуктів.

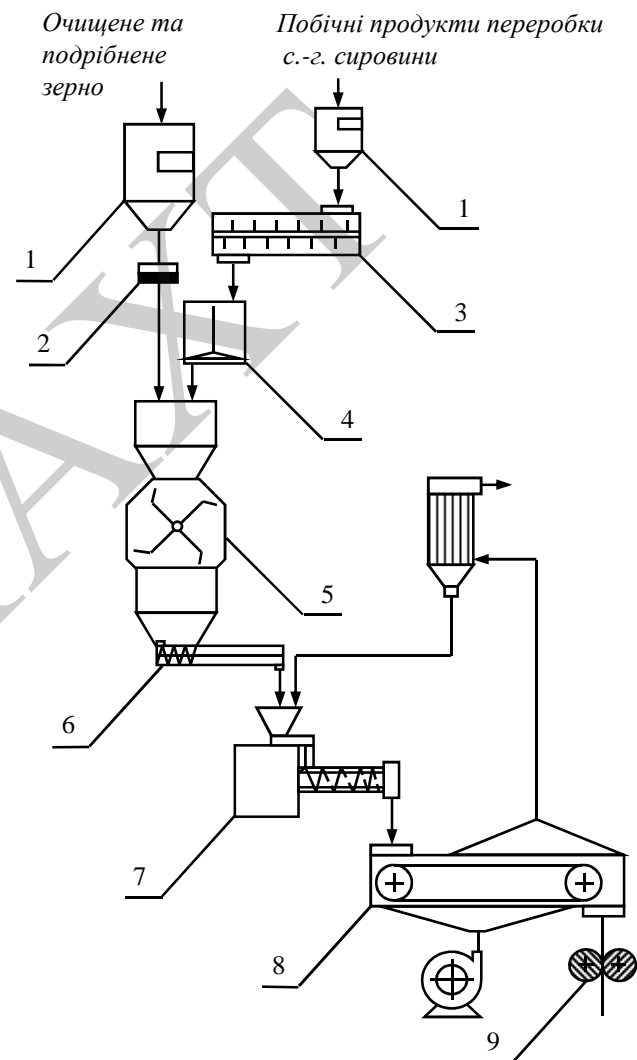
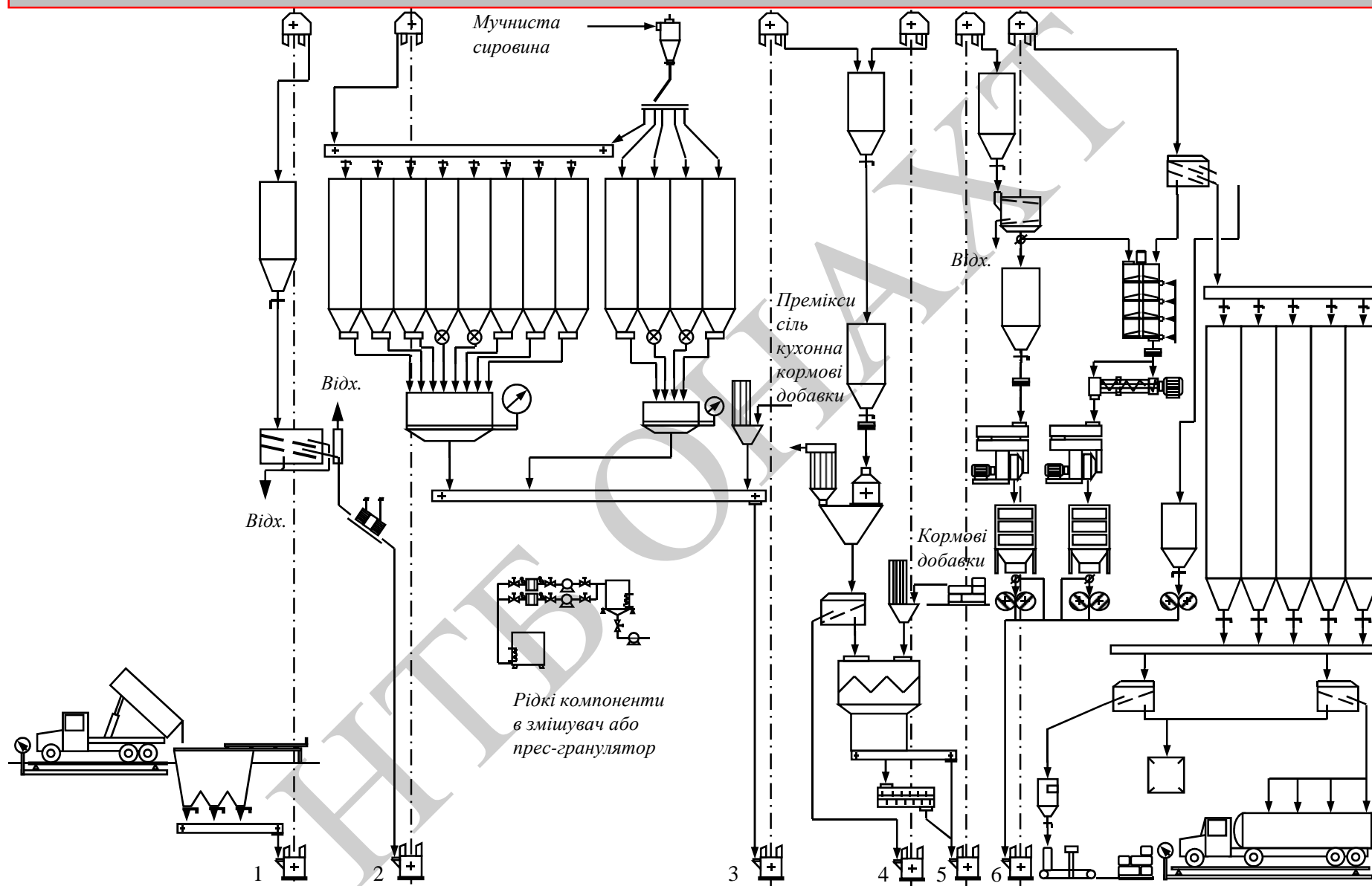


Схема технологічного процесу збагачення зерна високоцінними побічними продуктами переробки с.-г. сировини: 1- ваговий дозатор; 2- магнітний сепаратор; 3- горизонтальний ножовий подрібнювач; 4- вертикальний ножовий подрібнювач; 5- лопасний змішувач; 6- шнековий живильник; 7- зерновий екструдер; 8- горизонтальний охолоджувач; 9- вальцовий станок.

## ПРИНЦИПОВА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ V ПОКОЛІННЯ



Запроваджена при реконструкції та будівництві комбікормових заводів у складі ПАТ "Миронівський завод по виготовленню круп і комбікормів, ЗАТ "АгроТрейдЮг" та ін.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

### *Проблеми:*

- Значні втрати енергетичних ресурсів, сировини, готової продукції;
- Недостатня надійність транспортно-технологічних систем;
- Забруднення довкілля;
- Пожежо-вибухонебезпека.

### *Нові напрямки удосконалення:*

- Синтез компактних технологій циклічної та рециркуляційної обробки зерна;
- Суміщення технологічних процесів на базі нових фізичних ефектів;
- Автоматизований контроль та управління;
- Перехід на адаптивний спосіб знепилення виробництв.



# ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Визначення транспортно-технологічного комплексу (ТТК) формалізовано рівнянням:

$$S_n^{def} = \{S_e, S_e = D(MF), S_e = D(MR), S_e = D(MC)\}$$

де  $S_n$  - ТТК,  $S_e$  - мережа засобів дії на матеріалоповітряні потоки;  $|$  - символ логічного зв'язку, який визначає зміст системи, MF - множина функцій засобів дії на зернові потоки і зв'язки між ними; MR - множина відношень засобів дії на матеріалоповітряні потоки на мережі  $S_e$ ; MC - множина мети функціонування засобів дії на матеріалоповітряні потоки мережі  $S_e$ ; D - область визначення множини, що вказана в дужках.

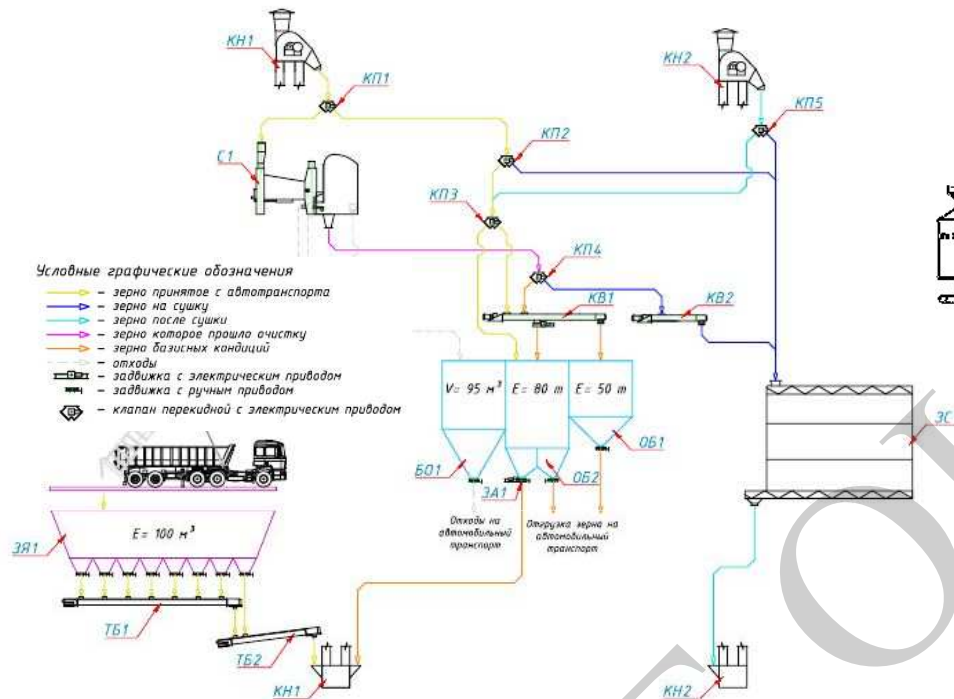
Моделі ТТК дозволяють:

- визначити кінетику процесу переробки зерна та одержати залежність показників складу і якості зернопродуктів від коефіцієнта рециркуляції та характеру їх обробки в основних функціональних елементах транспортно-технологічних ліній;
- формалізувати процедуру визначення показника ефективності реалізації операцій періодично-потокового функціонування;
- обґрунтувати залежність продуктивності ТТК в цілому від продуктивності ТТЛ, яка в конкретних умовах визначається режимом та ефективністю роботи функціональних елементів, властивостями сировини та вимогами до готової продукції;
- установити параметри робочих органів функціональних елементів для класифікації зерна, сепарації продуктів обробки, круповідділення та сортування готової продукції при умові задовільнення вимог до конструктивно функціональних рішень та уніфікації суміжного обладнання в основних ТТЛ збереження та зернопереробки.

Наукові основи аналізу існуючих технологій, синтезу компактних технологічних процесів та оптимізації режимів виконання обробних операцій забезпечують об'єктивний підхід до проблеми розробки нових технологій, врахування конкретних вимог споживачів та адаптованості їх конкретним умовам виробництва, обґрунтоване скорочення технологічних ліній та формалізацію процедури пошуку оптимальних продуктивностей функціональних елементів агрегатних установок, мінімізації витрат енергії, збільшення виходів готової продукції необхідної якості.

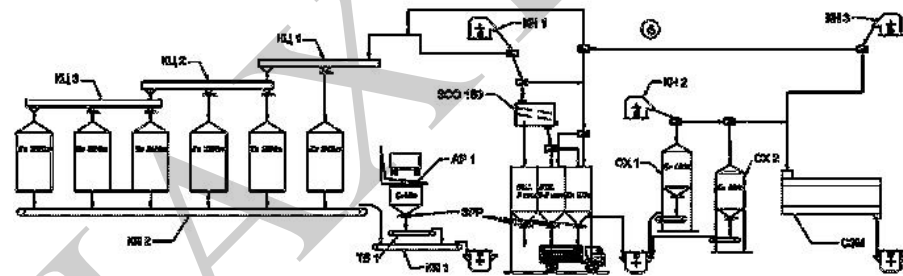
Створена методологія обґрунтування параметрів функціональних елементів ТТК дала можливість одержати математичні моделі циклічної та рециркуляційної технології переробки зерна.

# МОДУЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА



Технологічні операції та технічні характеристики різних типів міні-елеваторних комплексів «Зернова Хата»

Найменування операцій	«Південна»	«Північна»	«Стандарт»
Прийом зерна, т/год.	50	50	100
Очищення зерна, т/год.	50	50	100
Сушіння зерна, т/год.	20	25	40
Відвантаження зерна, т/год.	100	100	100
Зберігання, т	—	—	6000
Оперативні бункери вологого зерна, т	—	—	1 x 350



Зведені технічні характеристики комплексів для зберігання зерна «Зернова Хата», впроваджених на 15-ти підприємствах галузі

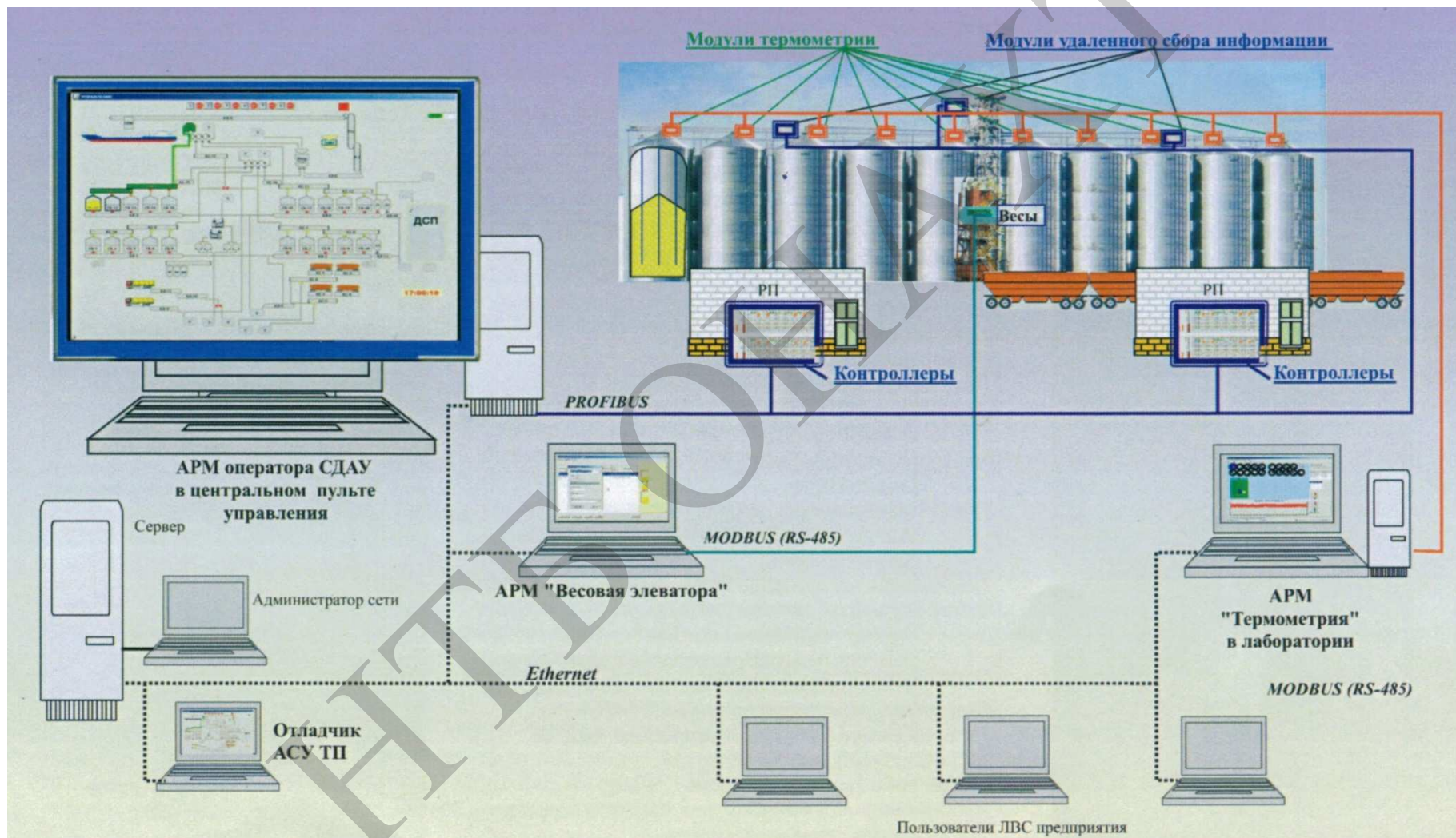
Комплекс «Зернова Хата»	Валовий збір зерна, т	Земельний фонд, га	Зберігання, т	Орієнтовний строк окупності
<b>1. Південна</b> Призначений для посушливих південних регіонів України.	10 000	3 000	Доведення до базисних кондицій	до 2 років
<b>2. Північна</b> Призначений для північних регіонів України.	10 000	3 000	Доведення до базисних кондицій	до 2 років
<b>3. Стандарт</b> Лінійний елеватор на території до 940 м²	25 000	7 500	6000	3,2 року

# МОДУЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА



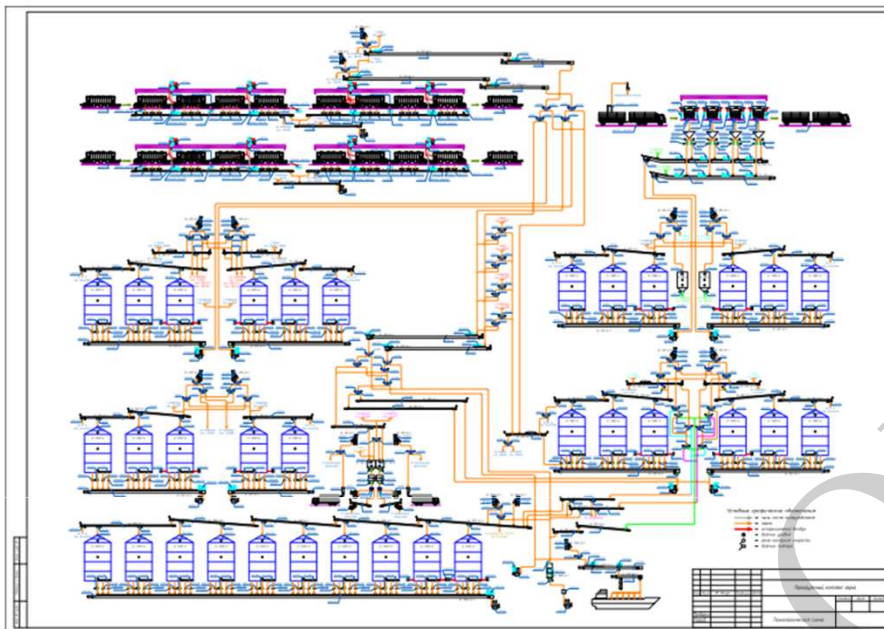


# АСУТП ЛІНІЙНОГО ЕЛЕВАТОРА МІСТКІСТЮ ДО 100 ТИС. ТОНН





# ПОРТОВІ ЗЕРНОВІ ТЕРМІНАЛИ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ



Переваги терміналів нового покоління порівняно з існуючими

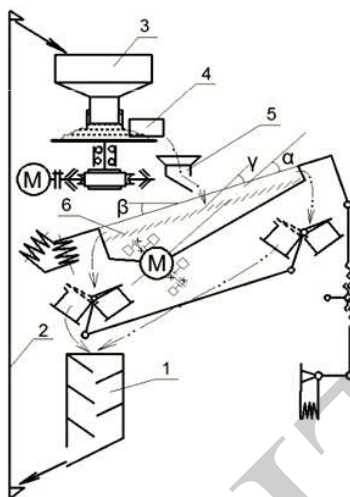
Показники	Термінали нового покоління
Збільшення коефіцієнта обороту місткості зерна за сезон	на 32%
Зменшення термінів будівництва	на 15-20%
Зниження травмування і псування зерна	на 13,6%
Можливість «оздоровлення» зерна за рахунок комбінування систем аерації та внутрішнього переміщення зерна	передбачена
Підсумкове зниження вартості будівництва елеватора	до 17%
Енергоємність елеватора знижена	до 20%
Збільшення рівня виробничо-експлуатаційної надійності	на 8,3%
Безпека виробництва підвищена за рахунок впровадження SMART-систем аспірації нового покоління	на 21,3%

# ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ СЕПАРУВАННЯ ВАЖКОРОЗДІЛЬНИХ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Розподіл частинок, їх концентрація:

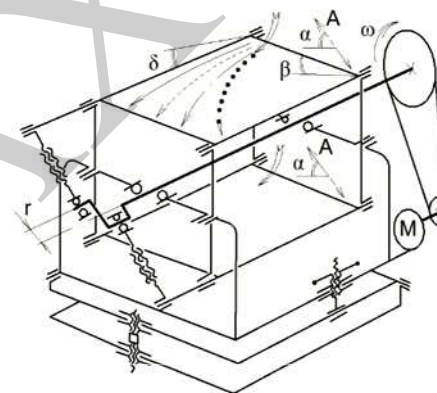
$$P(x, z) = P_{сум} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{u^3 e^{-\frac{z}{b}} \left( \sin \frac{u}{m} - \frac{b}{u} \cos \frac{u}{m} \right)}{b^3 \left( 1 - e^{-\frac{2z}{b}} \right) \left( \frac{u^2}{b^2} - \frac{1}{m^2} \right)} \times \int_0^x P(0, z) e^{-\frac{u}{2b} z} \left( \sin \frac{u}{m} - \frac{b}{u} \cos \frac{u}{m} \right) \frac{dz}{P_{сум}} e^{-\left( \frac{1}{2} \frac{b^2}{z^2} - \frac{c^2}{2} \right) z}$$

Принципова схема комплексу



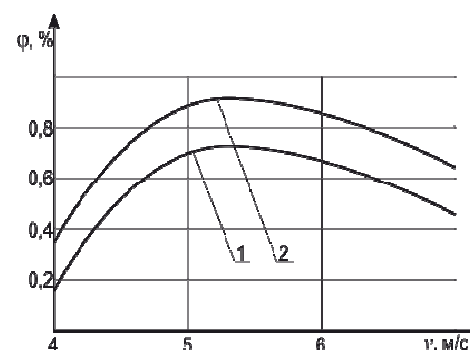
- 1 - повітряний сепаратор; 2 - норія; 3 - оперативний бункер;  
4 - дозатор; 5 - живильник; 6 - робочий стіл круповідділювача;  
М - вібратор; α - кут нахилу напрямку коливань до робочої  
поверхні столу; β - кут нахилу робочого столу до горизонту;  
γ - кут нахилу луски до робочої поверхні робочого столу

Кінематична схема універсального круповідділювача



- A – амплітуда коливань; R – радіус кривошипів привідного валу;  
М – привідний електродвигун; α – кут нахилу напрямку коливань;  
β – кут нахилу столу до горизонту у поперечному напрямку; Δ – кут  
нахилу столу до горизонту у подовжньому напрямку

Залежність вилучення домішок



- 1 – кут атаки 50°;  
2 – кут атаки 90°

# ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ

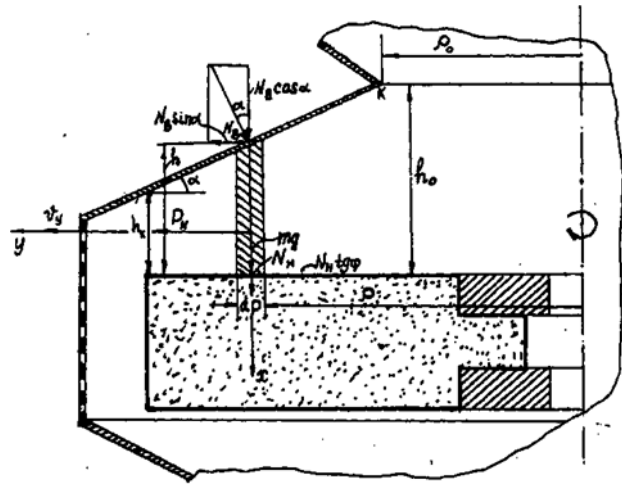
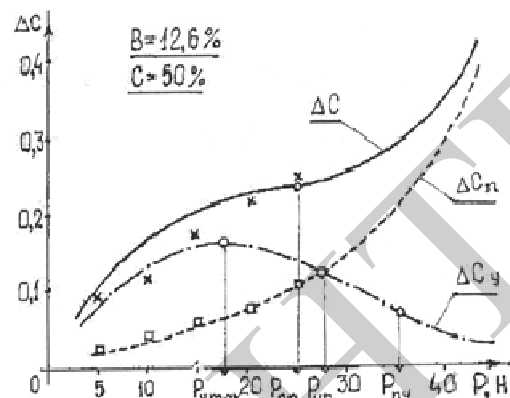
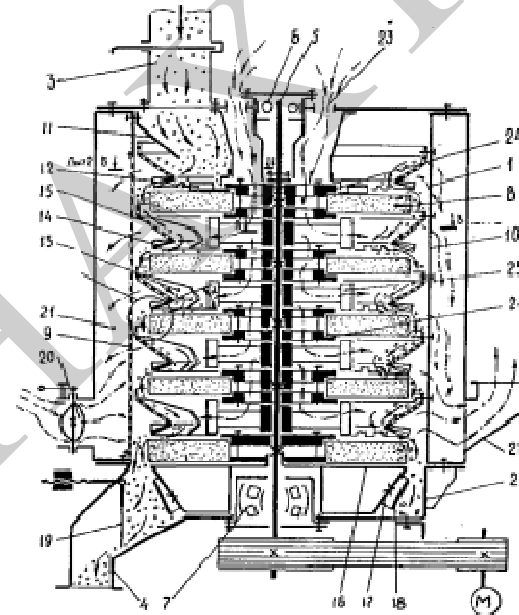


Схема розрахунку елементів робочої зони луцильної машини



Залежності відносних значень повних ( $\Delta C$ ), пружних ( $\Delta C_y$ ) та пластичних ( $\Delta C_n$ ) деформацій зерна пшениці від зусиль стиснення ( $P$ ) при сталій його вологості ( $B$ ) та склоподібності ( $C$ )



Принципова схема комбінованої абразивно-дискової машини

Застосування розробленого луцильного комплексу дозволяє знизити питомі енерговитрати на 13 - 14 % при одночасному підвищенні ефективності луцення на 7-8 %.

# АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ВЕНТИЛЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ЄМНОСТЕЙ



## Алгоритм розрахунку вентиляційних установок металевих силосів

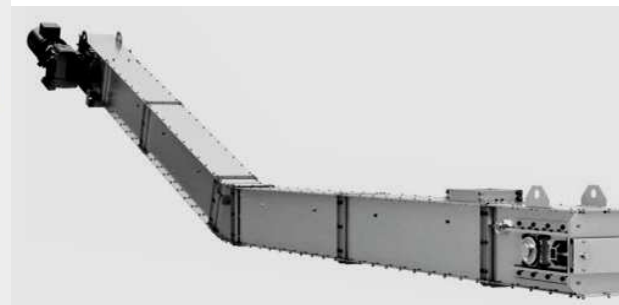
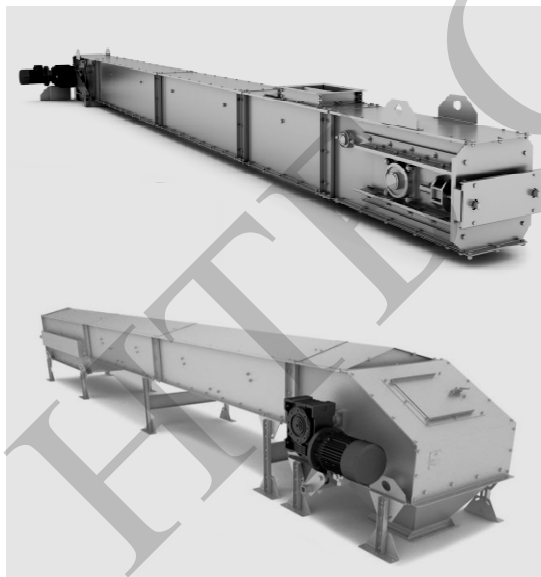
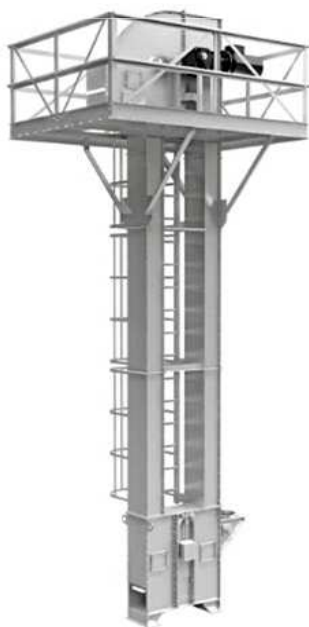
Розроблена методика визначає раціональні: швидкість, витрата повітряного середовища, швидкість охолодження зерна для заданої різниці температур вентиляційного повітря, вентильованого зерна, їх початкової вологості, фізико-механічних властивостей, висоти ступеня завантаження силосних ємностей. Застосована на 6-ти зернових комплексах



# ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ТРАНСПОРТНЕ ОБЛАДНАННЯ

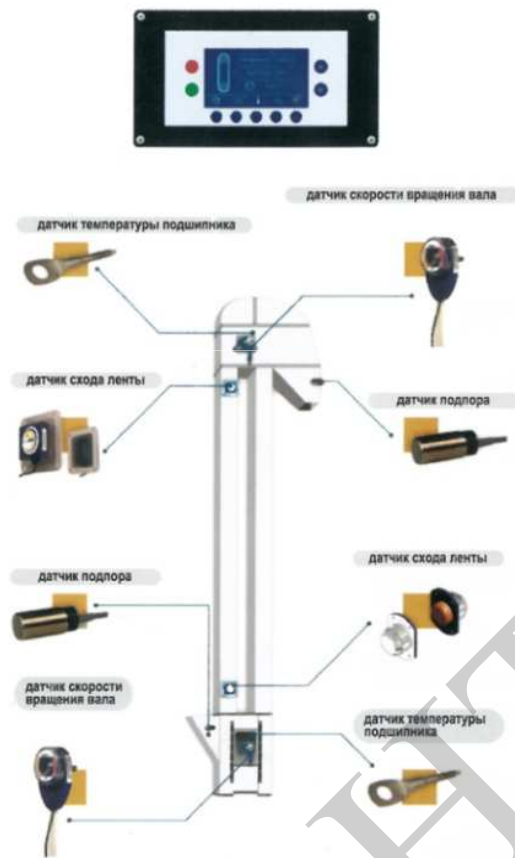
Порівняльні результати транспортно-технологічних ліній вітчизняних заводів-виготовлювачів та конвеєрів нового покоління 300-2000 тонн на підприємствах Glenkore International, Topfer, Bunge, Lui Dreifus та ін.

Показники	Конвеєр вітчизняного виробника	Конвеєр ОНАПТ
1. Сумарний коефіцієнт приросту бою, %	2,5	1,5
2. Фактичні затрати на переміщення 1-єї тонни продукту при довжині конвеєра 25 м та продуктивності 100 т/год, КВт/тонну	0,1	0,093
3. Кількість аварійних зупинок за 6 місяців експлуатації	6	1
4. Щорічні затрати на обслуговування (враховуючи прибирання виробничих приміщень та мілкі ремонти), грн/погонний метр конвеєра	155	60
5. Затрати на установку і монтаж 1-го погонного метра конвеєра	1 000	630
6. Напрацювання до капітального ремонту, м/год	8 120	15 552



Нове покоління норій, стрічкових конвеєрів та потокових бункерних ваг високої продуктивності

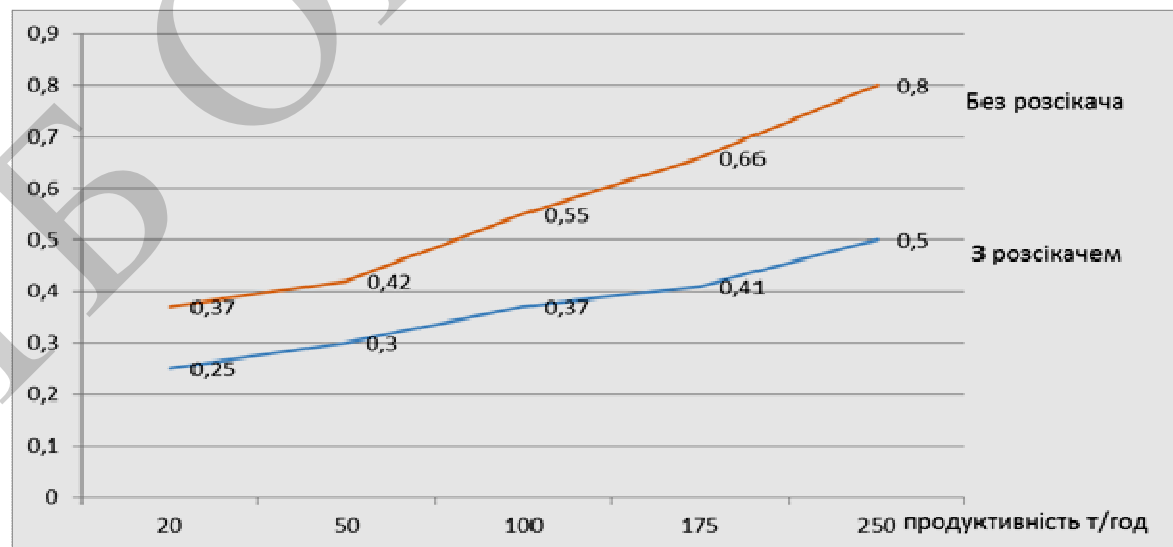
# СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ SMART-ELEVATOR



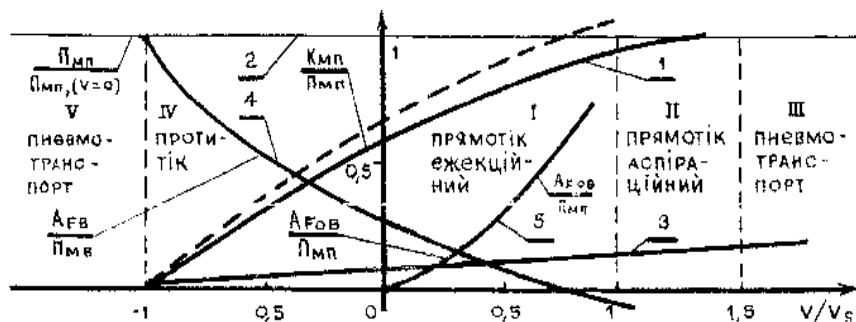
Система управління Smart-elevator

Результати застосування системи самодіагностики Smart-elevator

Показники	Норія в комплекті з системою управління	Існуючі конструкції
Кількість позапланових зупинок на додаткове обслуговування	1	10
Кількість аварійних зупинок	0	3
Питомі енергозатрати на переміщення тони продукту, кВт/т	0,12	0,165
Затрати на екстрені ремонтні роботи, грн/20 000 тонн	0	4500
Затрати викликані позаплановими простоями обладнання	0	12 000



# НОВЕ ПОКОЛІННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ



Діаграма стану МПП

1 – співвідношення кінетичної та потенційної енергій МПП  $K_{мп}/\Pi_{мп}$ ;  
2 – питома потенційна енергія  $\Pi_{мп}/\Pi_{мп, V=0}$ ; 3 – співвідношення  $A_{FOM}/\Pi_{мп}$ ; 4 – співвідношення  $A_{FB}/\Pi_{мп}$ ; 5 – співвідношення  $A_{FOM}/\Pi_{мп}$ ,  
( $A_{FOM}$ ,  $A_{FB}$ ,  $A_{FOM}$  – відповідно робота сил опору МП, міжкомпонентної взаємодії, опору ППП)

Схема проектування СЗ

Проектування систем знеплення									
Проектування засобів дії на джерела пилоутворення			Проектування засобів ліквідації ежекційних ППП			Проектування аспіраційних мереж			
Усунення об'ємної взаємодії МПП	Дроселювання	Шлюзування	Байпасування	Виводу ППП за межі ТТЛ	Технологічних процесів	Елеваторів	Комбі-кормових заводів	Млинів	Круп'яних заводів

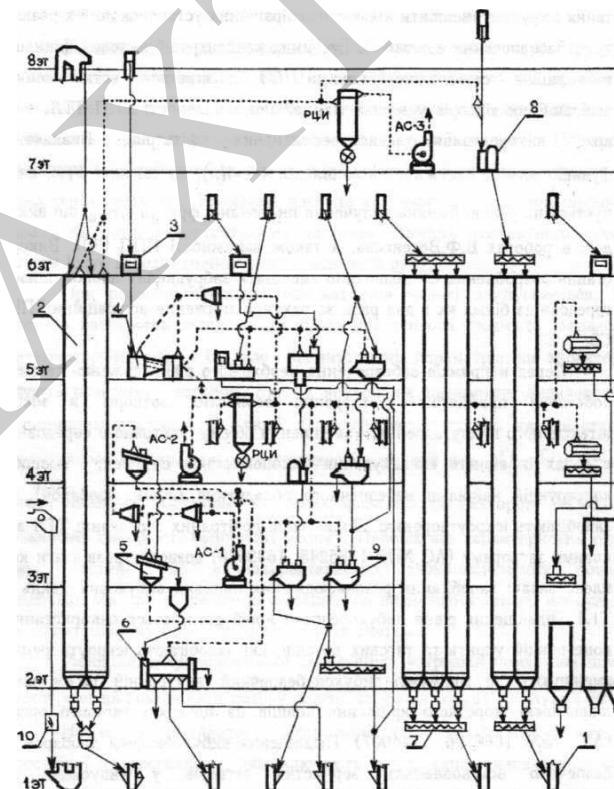


Схема знеплення зерноочищувального відділення млина  
 $G = 250$  т/доб

1 - норія; 2 - місткість; 3 - магнітна колонка; 4 - сепаратор АІ-БІС-12; 5 - каменевідділювач;  
6 - концентратор; 7 - шнек; 8 - дуаспіратор; 9 - трієр;  
10 - пристрій дроселювання;  
АС-1, АС-2, АС-3- аспіраційні установки

# НОВЕ ПОКОЛІННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Параметричний ряд фільтрів нового покоління

Параметри		Фільтри								
		FG/FV	FP	FU	FW	FB	FK	FC	C1	B4/C4
Продуктивність, м³/г	min	800	500	400	5000	500	4000	1000	1000	1060
	max	3 200	4 000	3 200	10 000	3 000	100 000	50 000	180 00	10 140
Температура потоку, °C		-30 +60	-30 +60	-30 +60	-30 +60	-30 +60	-30 +60	-30 +60	-30 +200	-30 +200
Спосіб регенерації		продувка							-	-
Фільтрувальні елементи		рукава							-	-
Можливість установки вентилятора		+	+	+	+	-	-	-	-	-
Тип фільтра	локальний									
	централіз.	-	-	-	-	-	+	+	+	+

Порівняльна характеристика використання аспіраційних установок 4-го покоління

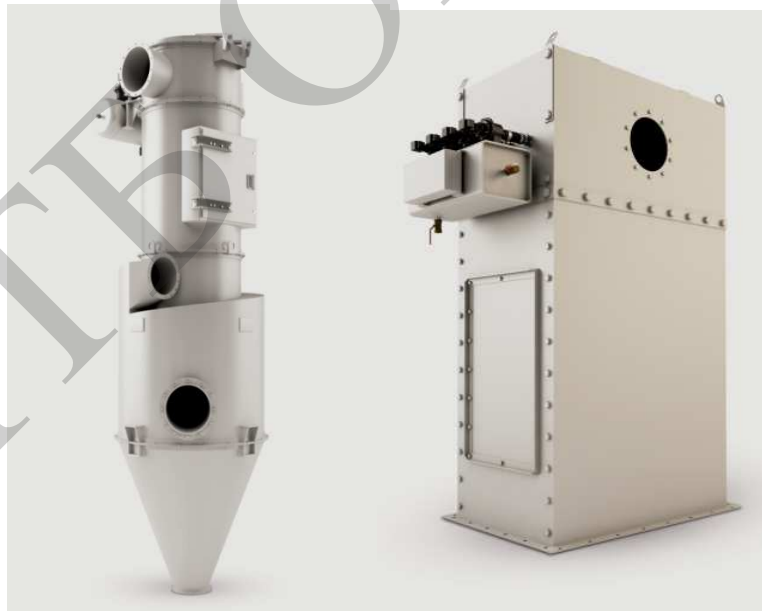
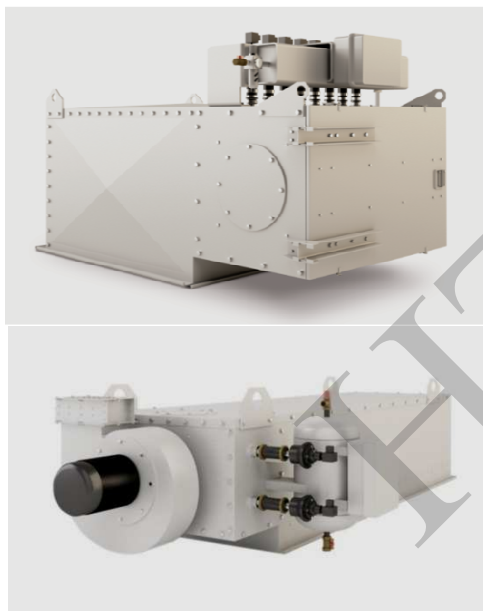
Характеристика аспіраційних мереж	Кількість аспіраційних мереж, шт.		Встановлена потужність електродвигунів, кВт				Споживання електроенергії, тис. кВт/рік		Об'єми аспірованого повітря, тис. м³/год		Викид забруднюючих речовин в атмосферу, кг/добу	
	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління
Виробнича ділянка			Всього	Однієї установк и	Всього	Однієї установк и						
Робоча вежа	2	2	22	11*	12	1,5	87,12	11,88	12 000	1 500	74,9	1,5
ВСЬОГО	2	2	22	11	12	1,5	87,12	11,88	12 000	1 500	74,9	1,5
Відсоток зменшення					45,5	86		86,4		87,5		98



**Порівняльна характеристика використання аспіраційних установок 4-го покоління,  
встановлених на 55-ти підприємствах**

Характеристика аспіраційних мереж	Кількість аспіраційних мереж, шт.		Встановлена потужність електродвигунів, кВт				Споживання електроенергії, тис. кВт/рік		Об'єми аспірованого повітря, тис. м³/год		Викид забруднюючих речовин в атмосферу, кг/добу	
Виробнича ділянка	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект		Фільтри нового покоління		Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління	Типовий проект	Фільтри нового покоління
			Всього	Однієї установки	Всього	Однієї установки						
Робоча вежа	2	2	22	11*	12	1,5	87,12	11,88	12 000	1 500	74,9	1,5
ВСЬОГО	2	2	22	11	12	1,5	87,12	11,88	12 000	1 500	74,9	1,5
Відсоток зменшення					45,5	86		86,4		87,5		98

**Загальний вигляд фільтрів нового покоління**



# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ СУШІННЯ ЗЕРНА

## ПРОБЛЕМИ:

- ◆ Низьке значення енергетичного ККД (40%).
- ◆ Не гарантована екологічна безпека зернопродукту.
- ◆ Нерівномірне підведення енергії до шару зерна.

**Науково-технічне протиріччя:** для підвищення коефіцієнтів тепло- та масовіддачі збільшують розходи циркулюючого теплоносія, але при цьому зростають втрати енергії. Саме з теплоносієм втрачається 25% енергії. Резерви в традиційних схемах конвективних сушарок практично вичерпано.

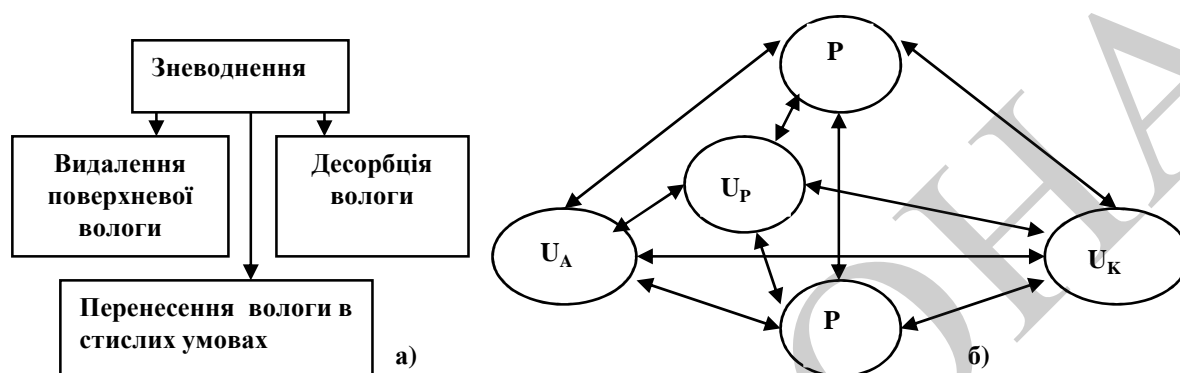
## Нові підходи удосконалення зерносушильних технологій

- утилізація теплоти теплоносія;
- перевід частини теплоносія на рециркуляцію:
- перехід на адресний підвід енергії до поверхні зерна рекуперативним способом;
- перехід на адресний підвід енергії до вологи в зерні – об'ємним без градієнтним способом.

Практична реалізація запропонованих технічних рішень базувалась на комплексних теоретичних та експериментальних дослідженнях

# РОЗВИТОК МОДЕЛІ СУШІННЯ ЗЕРНА

**Гіпотеза.** Неузгодженість фундаментальної моделі О.В.Ликова із загальноприйнятими декількома формами зв'язку вологи П.А.Рєбіндера можна спростити введенням до моделі сушіння додаткових диференціальних рівнянь щодо розподілу в об'єму та часі окремо поверхневої, капілярної та адсорбційно-зв'язаної вологи.



Видалення вологи різних форм зв'язку – це різні процеси зі своїми коефіцієнтами переносу, зі своїм потенціалом, рушійною силою (таб.). Корекція рушійної сили за допомогою показника активності води  $a$ , відома у світовій практиці.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U_P}{\partial \tau} &= K_{11} \nabla^2 U_P + K_{12} \nabla^2 U_K + K_{13} \nabla^2 U_A + K_{14} \nabla^2 t + K_{15} \nabla^2 P \\ \frac{\partial U_K}{\partial \tau} &= K_{21} \nabla^2 U_P + K_{22} \nabla^2 U_K + K_{23} \nabla^2 U_A + K_{24} \nabla^2 t + K_{25} \nabla^2 P \\ \frac{\partial U_A}{\partial \tau} &= K_{31} \nabla^2 U_P + K_{32} \nabla^2 U_K + K_{33} \nabla^2 U_A + K_{34} \nabla^2 t + K_{35} \nabla^2 P \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} &= K_{41} \nabla^2 U_P + K_{42} \nabla^2 U_K + K_{43} \nabla^2 U_A + K_{44} \nabla^2 t + K_{45} \nabla^2 P \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} &= K_{51} \nabla^2 U_P + K_{52} \nabla^2 U_K + K_{53} \nabla^2 U_A + K_{54} \nabla^2 t + K_{55} \nabla^2 P \end{aligned} \right\}$$

Процес	Механізм процесу	Рушійна сила процесу	Кінетичний коефіцієнт
1. Видалення вологи з поверхні ( $U_P$ )	Конвективна дифузія	$a_K P_{II} - P_V$	$\beta_K$
2. Видалення вологи всередині капілярів, пор ( $U_K$ )	Конвективна дифузія в стиснених умовах	$a_C P_{II} - P_V$	$\beta_C$
3. Десорбція вологи ( $U_A$ )	Конвективна дифузія	$a_D P_{II} - P_V$	$\beta_D$

Так з'являється можливість оперувати полями складових концентрацій, ставити та вирішувати завдання впливу на них.

# ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСЕННЯ АЕРОЗОЛЬНИХ ПОТОКІВ В РЕКУПЕРАТОРАХ ІЗ ТС

**Гіпотеза.** Впровадження у конструкцію теплоутилізатора сушарки ТС дозволить: організувати протитечний рух газів та повітря, поперечне омивання трубного пучка; ефективне оребрення поверхні як зі сторони теплоносія, так і зі сторони повітря, що визначить високі теплотехнічні та експлуатаційні показники.

Якщо направити в апараті із ТС потік повітря знизу в гору, то при узгодженні компоновки ТС з режимними параметрами потоків можна очікувати взаємодію осажденного на ТС шару пилу із конденсатом, що випадає на верхніх рядах ТС. Зволоження пилу приведе до поступового зростання сил адгезії, потім їх зменшення та переходу шару пилу у стан текучості, а це забезпечить роботу утилізатора у режимі «самоочищення поверхні».

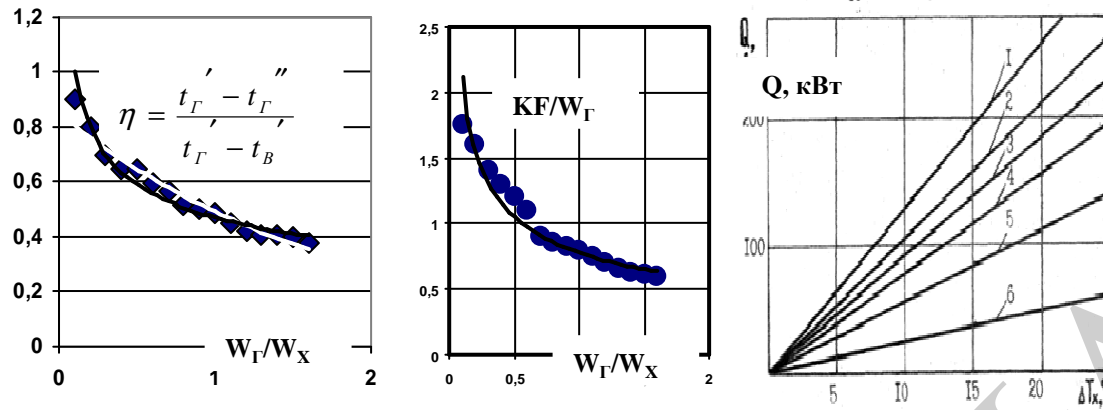
В умовах приграничного шару визначається закономірність росту товщини шару забруднень:  $\delta = 0,63 \times 10^{-2} [1 - \exp(-75 \times 10^{-4} \tau)]$ . Модель взаємодії шару пилу із конденсатом - трьохзонна. В першій зоні (консолідації) розширюється площа плям контакту з поверхнею ТС, зростають сили адгезії. На межі з другою зоною досягаються максимальні значення адгезійних сил. Друга зона (релаксації) переходить у третю – текучості. На основі експериментального моделювання отримано модель в узагальнених змінних:  $\Omega = A (We)^n (P) m$ ;  $\Omega = \rho g R n / \sigma$ ;  $P = Pa R m / \sigma$ . Товщина плівки на поверхні в 3 зоні визначається комбінованою дією сил інерції потоку, адгезії ( $Pa$ ) та поверхневого натягу ( $\sigma$ ). Товщина плівки розраховується як різниця радіусів плівки ( $Rn$ ) та ТС ( $Rm$ ). Визначальним є число Вебера ( $We$ ) і комплекс  $P$ . Враховувались коефіцієнти масовіддачі  $\beta$  та дифузії  $D$ . Обробка експериментальних даних проведена в формі:

$$Sh = 1054 \quad Pe^{-0,53} \left( \frac{C_T}{C_0} \right)^{5,53} \left( \frac{X_T}{X_0} \right)^{0,85} \left( \frac{F_T}{F_0} \right)$$

Модель процесу взаємодії розчину, що стікає краплями з ТС, із аерозольним потоком розглядала швидкість  $w$ , в'язкість  $\mu$ , густину  $\rho$ , діаметр частинок пилу  $dЧ$  та їх концентрація  $СТ$ , параметри капель конденсату (їх діаметр  $dK$ , густина  $\rho K$  і концентрація  $XK$  коефіцієнти масовіддачі  $\beta$  та дифузії  $D$ ).



# ОПТИМІЗАЦІЯ РЕКУПЕРАТОРІВ НА ТС

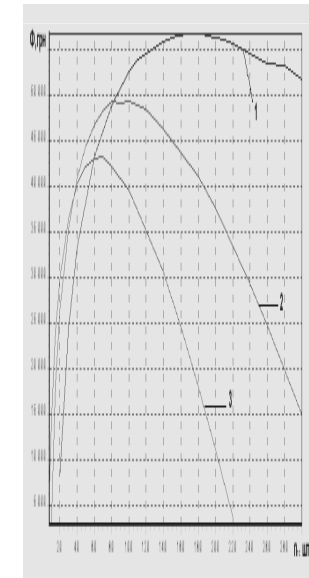
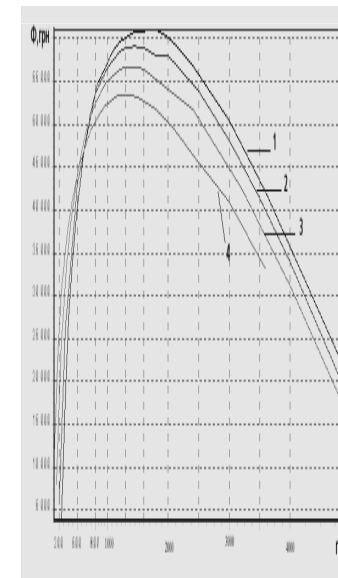


Результати стендових випробувань калорифера ТГ-2-200. Апарат підключався до стандартного теплогенератора зерносушильної установки ДСП-32от. залежностей ККД і числа одиниць переносу від співвідношення повних теплоємностей гарячого і холодного потоків. Навантажувальні характеристики відповідають умовам утилізації теплоти відпрацьованого сушильного агенту рециркуляційної зерносушарки.

Наведені графіки можна використовувати для експрес-оцінювання ефективності підігрівачів повітря на ТС (теплових генераторів та утилізаторів).

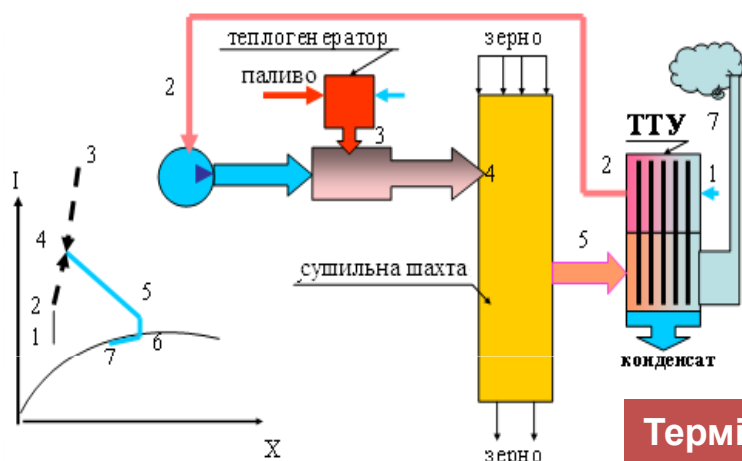
Проведено комп'ютерний експеримент, в результаті якого встановлено вплив числа ТС ( $n$ ), числа рядів ТС ( $Z$ ), висоти зони випаровування (НЛ), поздовжнього ( $S1$ ) і поперечного ( $S2$ ) кроків між ТС на значення функціоналу  $\Phi$ . Більш стабільні значення функціоналу для висоти ТС 2м. Суттєвий вплив на значення функціоналу чинить компонування ТС.

Найбільшим числом  $\Phi$  відповідають мінімально можливі значення відстаней між ТС ( $S0$ ). Причому найбільш критичними є поперечні зазори (рис.8.20,б). Це пояснюється тим, що саме ( $S2$ ) формує гідродинамічну картину обтікання потоком ТТ. Зменшення ( $S2$ ) призводить до зменшення площі живого перерізу і до збільшення швидкості руху потоку. Тому при конструюванні підігрівача повітря крок ( $S2$ ) приймався мінімальним, він регламентувався конструкцією трубної дошки. При збільшенні поздовжнього кроку ( $S2$ ) структура течії повітря в між трубному просторі змінюється, проте, ступінь такого впливу значно менше, ніж зниження швидкості потоку викликане зменшенням ( $S1$ ). Менш значимим виявився вплив на функціонал значення числа рядів.



Розроблено типорозмірний ряд термосифонних підігрівачів повітря. Апарати можуть використовуватись як в якості теплових утилізаторів, так і в схемах теплогенератора.

# ЕФЕКТИВНІСТЬ СУШАРКИ З ТЕРМОСИФОНАМИ



Апарат ТГ-2-200

**Термічний опір термосифона  
0,02 К/Вт**

Тип сушарки	Потужність, кВт	Економія палива, %	Термін окупності ТУ, років
ДСП-16	245	17	0,9
ДСП-32	420	14	0,7
СЗШ-18	160	10,3	1
ЛСО 11	500	13	0,75
М819	135	7,5	1



Апарат зібрано із автономних модулів – термосифонів, що гарантує високу теплову та гідродинамічну надійність апарату. Вихід із ладу декількох модулів дозволяє продовжувати експлуатацію утилізатора. Ресурс ТС не меншій 60 тисяч годин. його габаритні розміри: 1650x2000x600. Теплова потужність визначається режимом роботи і має діапазон 0,1...0,5 МВт. Модуль ТГ-2-200 на зерносушарці ДСП-32 дає економію палива до 10т за місяць.

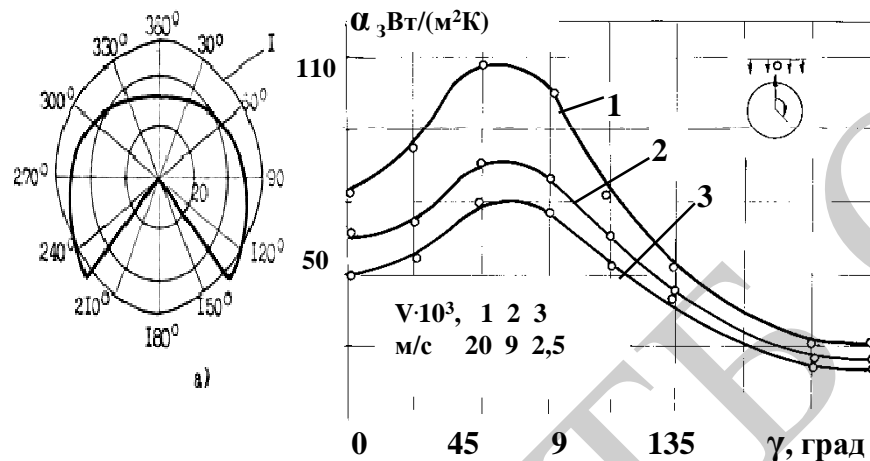
Є проект переводу зерносушарки ДСП-32 на енергоефективний та екологічний спосіб сушіння при використанні теплогенератора та теплоутилізатора на термосифонах. Для калориферів 1 зони обрано апарат ТГ-2-300, другої – ТГ-2-200. Для утилізаторів 1 зони обрано апарат ТГ-2-300, другої – ТГ-2-200. Термін окупності модернізації зерносушарки ДСП-32 в межах 1 року.

# СУШАРКИ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ

Гіпотеза. Розділення теплоносія на два потоки, один із яких постійно циркулює по контуру: "тепловий генератор – зона нагріву сушарки - тепловий генератор" і за допомогою конденсаторів ТС здійснює нагрівання зерна перед сушінням після чого в калорифері із ТС гріє повітря до температури сушильного агента й повертається до теплогенератору, а другий потік – гаряче повітря із калориферу продувається скрізь зерновий потік, зволожується та викидається у довкілля, дозволить до 40% теплоносія пустити на рециркуляцію, що суттєво зменшить втрати енергії з відпрацьованим теплоносієм. Конструкція зони нагрівання зерна на базі ТС забезпечить екологічну безпеку зерна, організацію рівномірного підведення енергії до зерна та ефективне його перемішування.

В рамках репрезентативної комірки на онові двокомпонентної моделі на конденсаторах ТС для зерна запишемо:

$$G_3 c_{p3} \frac{dt_3}{dz} - \alpha_{BC} (t_B - t_C) F_y \varepsilon_V = \frac{N_o}{V_y} F_y F_e (t_i - t_C) \frac{1}{\frac{1}{\alpha_C} + \frac{1}{\alpha_E}}$$

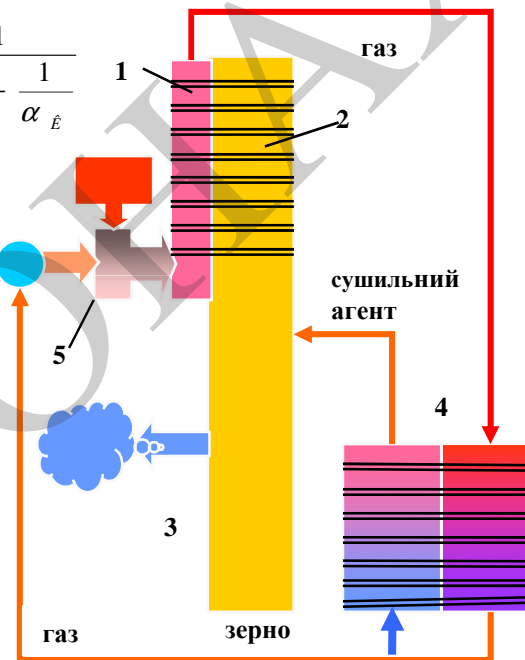


На рисунках лінією I позначені епюри швидкостей, розраховані для випадку обтікання цих циліндрів суцільним невід'язким середовищем.

$$Nu = 1,13 Pe^{0,11} (D/d_3)^{0,93} (S_1 S_2 / D^2)^{-0,18}$$

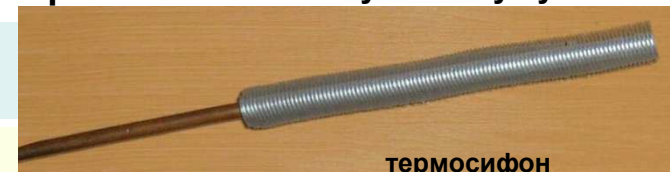
розрахунок тепловіддачі пучка термосифонів до зернового потоку

Рівняння справедливе в діапазоні:  $180 \leq Pe \leq 104$ ;  $1,4 \leq (S_1/D) \leq 3,5$ ;  $1 \leq (S_2/D) \leq 2,8$ .



Блочна зерносушарка.

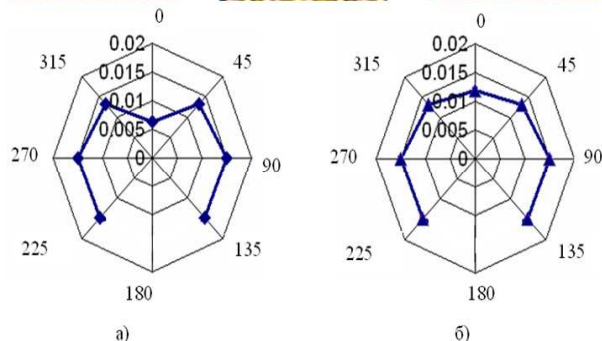
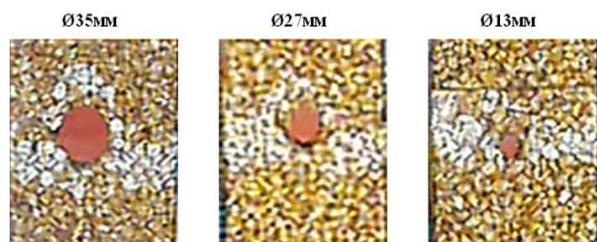
Топкові гази надходять у газохід 1 з випарники ТС, конденсаційні ділянки яких розташовані в шаровому підігрівачу зерна 2. У калорифері з ТС 4, нагрівається повітря до температури сушильного агента, який подається у сушильну шахту 3. В блочній сушарці 42% теплоносія не викидаються в довкілля, а рециркулює, що скорочує втрати енергії з відпрацьованим теплоносієм. До зерна енергія підводиться через ТС. Це забезпечує екологічну безпеку сушіння.



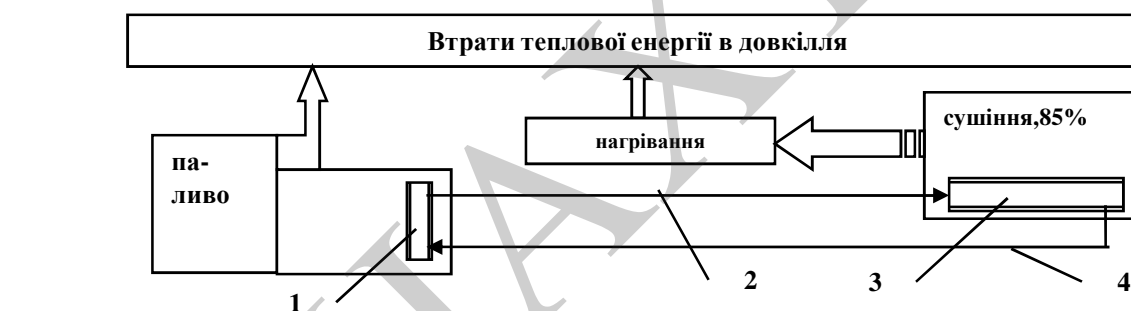
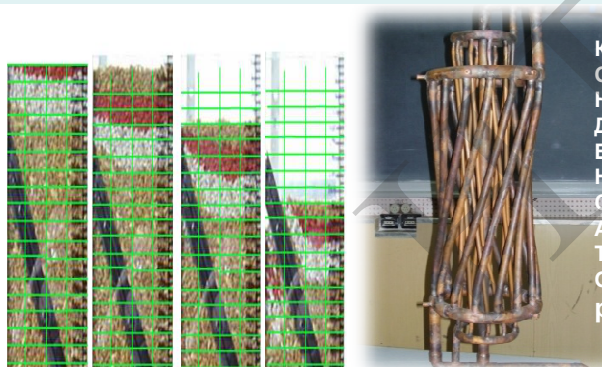
Зрівняно із базовою схемою ККД блочної зерносушарки збільшується на 20 – 22%.

# РЕКУПЕРАТИВНА ЗЕРНОСУШАРКА

**Гіпотеза.** Якщо зняти з повітря задачу теплоносія, а залишити за ним функцію тільки дифузійного середовища, організувати адресний підвід енергії до потоку зерна системою ТС, випарники яких гріються топковими газами (чи любым іншим джерелом енергії), то можна повністю забезпечити попередній нагрів зерна енергією викидів із зони сушіння, скоротити час та енергетичні витрати і гарантувати отримання безпечного продукту.

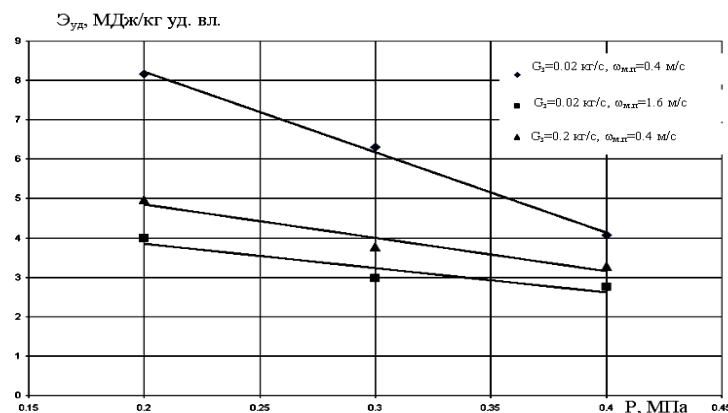


Поля швидкостей при обтіканні поверхні ТС кукурудзою



Енергія палива трансформується в енергію продуктів згорання, які в випарнику 1 трансформуються в енергію водяної пари. Остання по паропроводу 2 подається в конденсатор 3, який виконано у вигляді пучка труб. Зерно рухається вздовж труб, в яких пара конденсується, а конденсат по трубопроводу 4 повертається до випарника 1. Енергія випару із зерна використовується для підігріву зерна перед сушінням.

Нагрівання зернового потоку проходить в умовах парціальної конденсації водяної пари із теплоносія в об'ємі труби. Це дає суттєві переваги. По-перше, маємо змогу повернути в зерновий потік для його нагрівання майже 75% енергії, що була витрачена на випарювання вологи. По-друге, на порядки зростає інтенсивність переносу теплоти в трубі від теплоносія до холодного зерна.



Використання білого та червоного шарів дозволило отримати картини об'ємного перемішування зерна, встановити доцільні значення куту нахилу та діаметру ТС.

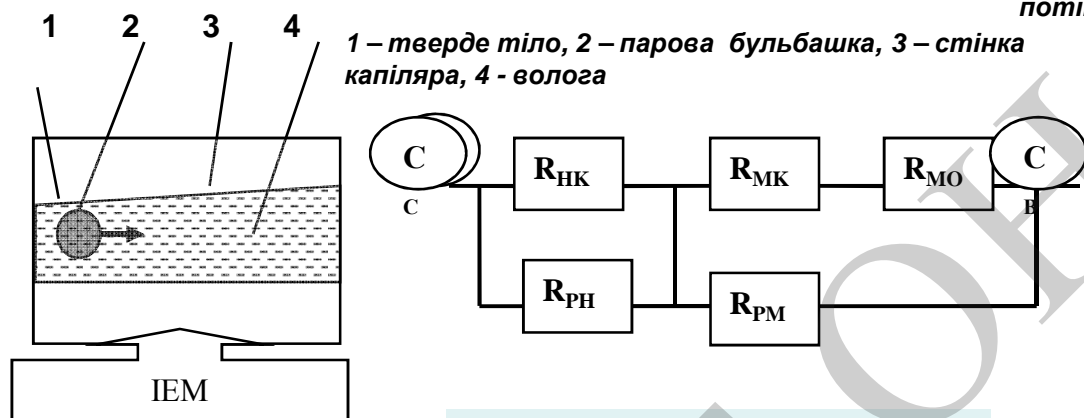
ККД рекуперативної зерносушарки сягає 80-85%. Гарантується екологічна безпека сушіння



# СУШАРКИ ТРЕТЬОГО ПОКОЛІННЯ

Гіпотеза. Застосування при зневодненні зерна адресного підведення енергії безпосередньо до вологи в капілярній структурі зернини дозволить ініціювати потужний, специфічний гідродинамічний потік, який виникає при взаємодії електромагнітного поля з полярними молекулами вологи в капілярах. Це приведе до видалення вологи не у паровій фазі, а туманом, суттєвого підвищення інтенсивності масообміну за рахунок різкого зниження внутрішнього дифузійного опору, зменшення енергетичних витрат та часу процесу зневоднення.

При постановці задачі вважалось, що результуюче значення концентрації води в повітрі визначаються за принципом суперпозиції цих двох процесів. Розглянуто: модель масоперенесення з пористого тіла сферичної форми та модель дифузії з точкового джерела в потік. Крайова задача зведена до моделі в узагальнених змінних.



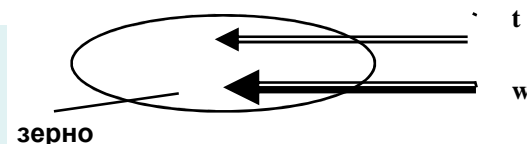
Послідовний ланцюг дифузійних опорів складається з суми:  $\Sigma R = R_{НК} + R_{МК} + R_{МО}$ . Процес конвективної масовіддачі від поверхні продукту має найменший дифузійний опір ( $R_{МО}$ ). Волога переміщується мікрокапілярами до поверхні продукту, долаючи дифузійний опір ( $R_{МК}$ ). Це конвективна дифузія в стиснених умовах (потік  $j_1$ ). Дифузійний опір нанокapілярів позначено ( $R_{НК}$ ). Це найбільший дифузійний опір, оскільки стисненість дифузійних процесів в нанокapілярах максимальна.

$$Bu = N (r w d^2 \rho)^{-1}$$

У співвідношенні ( $r$  – теплота фазового переходу, а  $\rho$  – густина води).

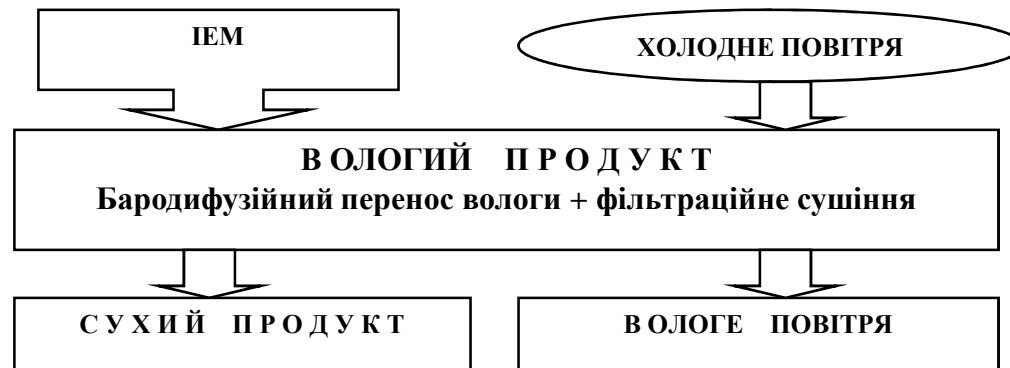
При дії імпульсного електромагнітного поля (ІЕМ) ініціюється потік вологи з капілярів ( $j_2$ ). По суті, це бародифузія, яка визначається зростаючим в капілярах тиском  $P_k$ . Окремі капіляри, де досягнуто умов для генерації парової фази, починають періодично викидати в повітря рідину з капілярів. Методом “аналізу розмірностей” визначено структуру рівняння в безрозмірних змінних. Запропоновано нове число енергетичної дії для врахування дії ІЕМ. Фізичний зміст числа Бурдо ( $Bu$ ) полягає в тому, що встановлюється співвідношення між енергією випромінювання і тією енергією, яка необхідна для перетворення в пар всієї води, яка знаходиться в продукті. Чим ближче число  $Bu$  до 1, тим більше утворюється парової фази, тим більше градієнт тисків, тим інтенсивніші викиди вологої насиченої пари з глибини капілярів. Збільшується турбулізація пограничного шару, проте збільшується нагрівання твердої фази і витрати енергії.

Теорія базується на специфічному градієнті температур ( $t$ ) і вологовмістів ( $w$ ) при комбінованому ІЕМ-сушінні. По суті, це бародифузія, яка визначається зростаючим в капілярах тиском  $P_k$ . Окремі капіляри, де досягнуто умов для генерації парової фази, починають періодично викидати в повітря рідину з капілярів.



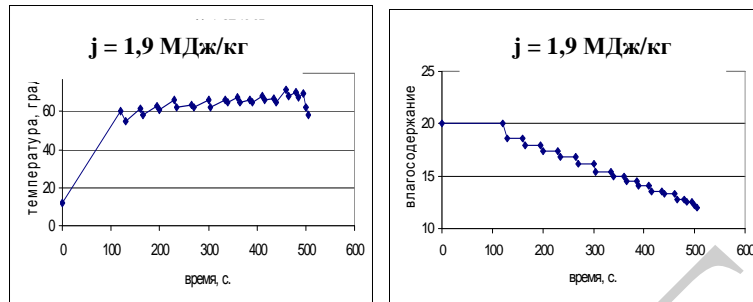
Число  $Bu$  характеризує мікро- і нанокінетику масоперенесення бародифузією.

# БАРОДИФУЗІЯ



За такою схемою видалення вологи буде відбуватися методами фільтарційного сушіння, а підведення енергії – хвильовими технологіями. Такий комбінований спосіб має ряд суттєвих переваг. По-перше, в традиційних підходах градієнт вологовмістів скерований у глибину продукту, а температури – до поверхні. При ІЕМ градієнт температури скерований всередину продукту. Саме цей факт дозволяє ініціювати бародифузійний потік вологи до поверхні. По-друге, на нагрівання сухої частини продукту витрачається менша кількість енергії. А це – передумови енергетичної ефективності ІЕМ способу сушіння. Суха частина продукту для більшості рослинної сировини є радіо проникною.

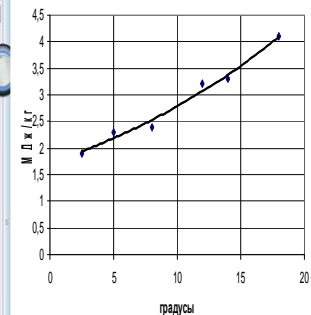
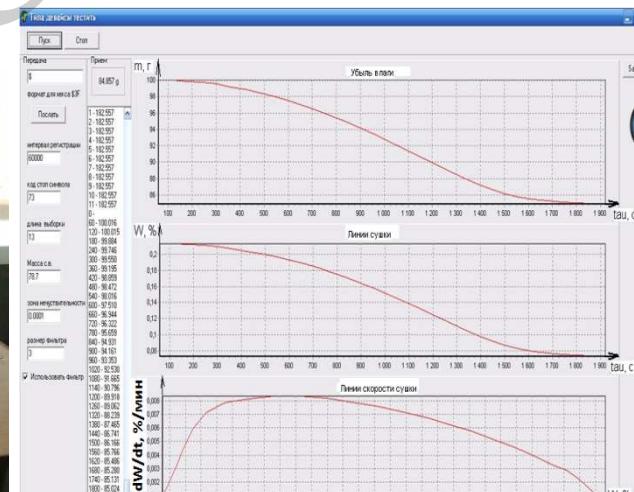
ТЕХНОЛОГІЯ КОМБІНОВАНОГО ІЕМ-СУШІННЯ ОСВОЄНА В ОНАХТ. ДІЮ БАРОДИФУЗІЇ ПІДТВЕРДЖЕНО ЕКСПЕРИМЕНТОМ



Механізм ІЕМ сушіння полягає в тому, що електромагнітне випромінення певної довжини хвилі активно поглинається водою в продукті, тому продукт безпосередньо від цього проміння не нагрівається. Сумарний потік ( $j$ ) визначається коефіцієнтом масопередачі ( $K$ ) традиційної схеми і коефіцієнтом масовіддачі ( $\beta P$ ) бародифузійного потоку:

$$j_1 = j_2 + j_3 = K (C_P - C_V) + \beta P (P_K - P_V)$$


Стенд для дослідження ІЕМ- сушіння

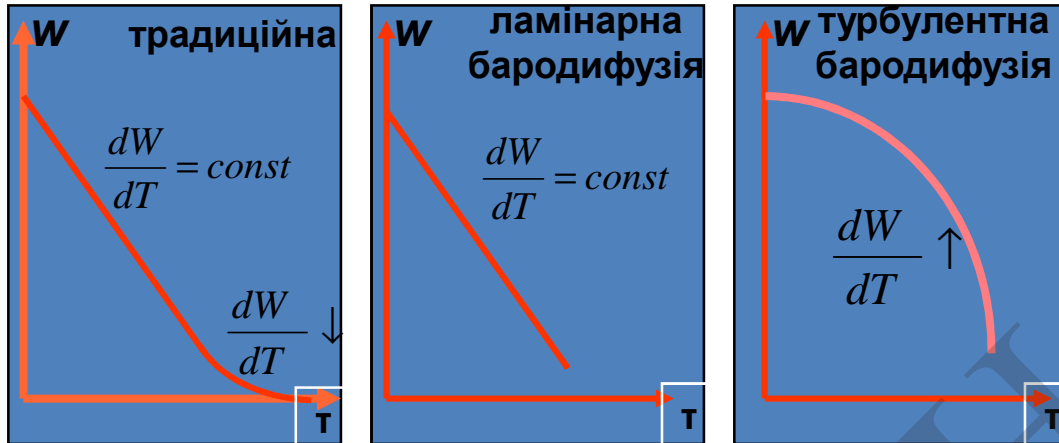


Вплив охолодження продукту на питомі витрати енергії

значення питомих витрат енергії доказують дію бародифузії.

# СТРІЧКОВА МІКРОХВИЛЬОВА СУШАРКА

## Лінії сушіння



В процесі формування бародифузійного потоку діаметр капіляру буде дещо збільшуватись і його гідравлічний опір буде зменшуватись. Почергово так мають працювати капілярні канали зернини.

Структура рівняння в безрозмірних змінних в загальному вигляді в умовах потоку дифузійного середовища записується так:

$$Sh = A (Re)^n (Sc)^m (Bu)^k (Pe)^p$$

Мінімізація енергоспоживання пов'язана з реалізацією наступних принципів:

- за рахунок об'ємного підведення енергії доставити вологу на поверхню продукту практично без зміни загального вологовмісту при мінімальному нагріванні продукту;
- в режимі фільтраційного зневоднення провести механічне відведення вологи з поверхні при мінімальному зниженні температури поверхні продукту;
- в режимі ІЧ-сушіння відведення поверхневої вологи.



В стрічковій мікрохвильовій установці в широкому діапазоні регулюються: швидкість стрічкового приводу, продуктивність завантаження. Потужність випромінювачів має ступеневе регулювання в діапазоні 30 – 100% потужності магнетрону. Стендові випробування установки визначили її високі технічні характеристики. Установка має послідовні зони мікрохвильової та інфрачервоної дії на продукт. Регулювання потужності – імпульсна модуляція.


Бародифузія знижує витрати енергії в 40...50 разів ( $j = 0,1...0,2 \text{ МДж/кг}$ )

## ВИСНОВКИ

1. Розв'язано питання щодо узгодження фундаментальної теорії А.В.Ликова по моделі сушіння із теорією зв'язку вологи в продукті П.А.Рєбіндера. Доведено, що зневоднення – це декілька самостійних процесів із своїми рушійними силами та кінетичними коефіцієнтами перенесення.
2. Обґрунтовано механізми адресної доставки енергії безпосередньо до вологи у об'ємі зернівки, визначено границі існування ламінарної та турбулентної бародифузії.
3. Створено теорію тепломасопереносу паропилегазового потоку в рекуперативному апараті, на основі якої запропоновано оригінальну технологію та апарат для утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія сушарок. В основі теорії – гіпотези граничного масоперенесення при формуванні шару пилу на поверхнях та режиму «самоочищення» поверхонь теплообміну. Основними елементами утилізатора є двофазні термосифони.
4. Проведено процедуру комплексної оптимізації режимів теплової обробки зерна при виробництві комбікормів, що дозволило підвищити ефективність використання його енергетичного та поживного потенціалу, удосконалити рецептуру і склад комбікормів.
5. Визначено механізми регулювання функціонально-технологічних властивостей сировини та реологічних властивостей багатокомпонентних харчових полідисперсних дисперсних систем і борошна підвищеної поживної цінності.
6. Обґрунтовано основи теорії ефективного використання технологічно сумісних композицій з нетрадиційної та основної сировини в технології виробництва хлібопродуктів та борошняних кондитерських виробів з різними структурно-реологічними характеристиками для коректування їх функціональних і споживчих властивостей.
7. Створено основи теорії змін білків і вуглеводів у процесі високотемпературної екструзії. Досліджено і науково обґрунтовано основні параметри екструзії різних зернових і бобових культур (температура екструдкування, масова частка вологи, гранулометричний склад, сортність тощо). Досліджено відмінності процесу високотемпературної екструзії в різних екструдерах на мікроскопічному рівні.



8. Отримано відомості про механізм утворення та стан ежективних матеріалоповітряних потоків гравітаційного, механічного транспорту та основних видів технологічного обладнання зернових виробництв. Створено наукові основи управління пилоповітряними середовищами важкороздільних сумішей, що дозволяє отримувати керовані параметри стану джерел пиловиділення.
9. Розроблено теорію і методи розрахунку систем екологічної безпеки виробництв, що здійснюють переробку сипких матеріалів зернопереробних, гірничодобувних, будівельних виробництв.
10. Вивчено взаємодію важкороздільних сипких середовищ, пульсуючого «псевдозріженого» стану з анізотропними фрикційними робочими поверхнями, досліджено структуру зазначених середовищ, обґрунтовано механізм управління рухом важкороздільних фракцій зернових середовищ за балансування імпульсів аеро- і вібродії, що інтенсифікують збагачення дрібнодисперсних сумішей.
11. Встановлено кількісні закономірності кінетики тепловологообмінних процесів сушіння, зміни властивостей і основних показників якості зерна різних культур та призначення при їх сушінні. Системи математичних моделей, алгоритмів та комп'ютерних програм та оптимізовані способи і режими теплового сушіння зерна, які гарантують нормативну якість зерна, підвищує екологічність і безпечність сушильного обладнання.
12. Удосконалено технологічні процеси післязбиральної обробки та зберігання дрібнонасінневих культур (сориз, ріпак, гірчиця, льон, сорго, амарант та ін.), які забезпечують екологічно чисті способи їх зберігання та дозволяють створити відповідне енерго- і ресурсозберігаюче устаткування.
13. Створено наукові основи структуроутворення тістових мас в ході технологічного процесу виробництва борошняних, кондитерських та хлібобулочних виробів.
14. Розроблено механіко-технологічні основи транспортно-технологічних комплексів високої продуктивності та високоефективних сепараторів лушильних машин, механічного та гравітаційного транспорту, які базуються на моделюванні статички компактних технологічних процесів та кінетики циклічної і рециркуляційної переробки зерна. На основі ґрунтовних теоретичних засад, експериментальної перевірки і промислової апробації створені нові технології знепилення та цілий машин і апаратів, значна частина яких набула серійного впровадження.
15. Результати досліджень впроваджені на підприємствах ПАТ «Миронівський хлібопродукт», ПрАТ «Укрелеваторпром», філії «Державної продовольчої зернової корпорації України» Новоукраїнський комбінат хлібопродуктів, ЗАТ «АгроТрейдЮг». Прогнозований економічний ефект від заощадження матеріально-енергетичних ресурсів становить біля 4,5 млрд. грн., підтверджений реальний економічний ефект склав понад 3,7 млрд. грн.



**У всіх до хліба – інтерес!  
Бо хліб – це сила, наша доля  
І міць держави теж від поля...**

***М. Немеса***