

УДК 519.876.5:[664.72:633.111]

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2022-1-5>

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОТЕПЛОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ

**В. В. ЛЮБИЧ**, доктор сільськогосподарських наук, професор;

**В. В. ЖЕЛІЗНА**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
(Уманський національний університет садівництва)

**Анотація.** Пшениця спельта – перспективна сільськогосподарська культура, що характеризується високими круп'яними та харчовими властивостями, а саме: вмістом білка (до 25%), вітамінів (бета-каротин, вітамін В<sub>1</sub>, вітамін В<sub>2</sub>, вітамін В<sub>5</sub>, вітамін В<sub>6</sub>, вітамін В<sub>9</sub>, вітамін Е, вітамін К, вітамін РР), макроелементів (магній, натрій, калій, фосфор) та мікроелементів (цинк, мідь, марганець, селен), вуглеводів (50–70%) і жирів (1,5–2,5%). Для пшениці спельти вуглеводи є основним компонентом і складають 50–70% зерна, а вміст цукру – 2–3%. Органічні речовини, що містяться в спельті, мають високий рівень розчинності, тому легко і швидко засвоюються організмом людини.

У статті наведено результати математичного моделювання водотеплого оброблення зерна пшениці спельти за допомогою програми Statistika 10 методом багатофакторного експерименту ортогональним композиційним планом другого порядку.

Основними критеріями оцінювання ефективності виробництва крупи з пшениці спельти № 1 були: вихід крупи та мучки кормової, параметрами удосконалення – тривалість луцення, вологість та тривалість відволожування. Встановлено, що для збільшення конкурентоспроможності нового круп'яного продукту доцільно луцити зерно пшениці спельти упродовж 120–140 с, що відповідає індексу луцення 11–13%, зволожувати до вологості 15–16% та відволожувати упродовж 30 хв. Математичний опис відповідних процесів за ортогональним композиційним планом другого порядку та отримані рівняння квадратичної регресії підтверджують правильність вибраних технологічних режимів.

**Ключові слова:** зерно, пшениця спельта, крупа, моделювання, оптимізація, водотеплове оброблення, луцення.

### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Для раціонального використання потенціалу зерна та збільшення конкурентоспроможності готового продукту доцільно збільшувати його асортимент, а також створювати нові види продукції, що максимально задовольняють потреби сучасного споживача за умови зменшення собівартості виробництва. Тому, перед технологіями поставлено чітку задачу оптимізації режимів переробки сільськогосподарської сировини. Одним із важливих продуктів харчування є крупа злакових культур. Серед інших продуктів вона посідає важливе місце у харчуванні населення України. Різні види круп відрізняються за формою, розміром, кольором, структурою та смаковими якостями, які залежать від хімічного складу, засвоєння вуглеводів, білків і жирів, енергетичної цінності, органолептичних показників і особливостей використання [1–3].

Перспективним напрямком підвищення ефективності виробництва круп'яних продуктів є використання зерна високої біологічної цінності, а саме пшениці спельти. Біологічна цінність білка пшениці спельти – 69–74%, тоді як у пшениці м'якої – 60–62% [4]. Пшениця спельта характеризується високим вмістом білка (до 25%), вітамінів (бета-каротин, вітамін В<sub>1</sub>, вітамін В<sub>2</sub>, вітамін В<sub>5</sub>, вітамін В<sub>6</sub>, вітамін В<sub>9</sub>, вітамін Е, вітамін К, вітамін РР), макроелементів (магній, натрій,

калій, фосфор) та мікроелементів (цинк, мідь, марганець, селен), вуглеводів (50–70%) і жирів (1,5–2,5%) [5–10]. Органічні речовини, що містяться в спельті, мають високий рівень розчинності, тому легко і швидко засвоюються організмом людини. В її зерні містяться особливі речовини вуглеводи – мікополісахариди, що здатні зміцнювати імунну систему, знижувати рівень холестерину та регулювати процеси згортання крові [11, 12].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливим етапом виробництва круп є їх водотеплове оброблення (ВТО), оскільки при оптимальному режимі ВТО зерна оболонки легко відділяються від ядра, воно менше дробиться, а тому отримують більше цілої крупи [13, 14]. Процес ВТО полягає в одночасному впливі на зерно води, пари і тепла для спрямованої зміни властивостей оболонок і ядра. Ступінь перетворень структурно-механічних властивостей зерна і зміни його щільності залежить від режимів обробки – тривалості зволоження та відволоження, ступеня зволоження, часу обробки, а також від індивідуальних властивостей зерна – від початкової щільності та міцності його внутрішньої крохмалистої частини, тобто від мікроструктури ендосперму [13].

Застосування ВТО викликано тим, що комплексний вплив на зерно водою з подальшим відволожуванням зерна призводить до зміни його фізико-хімічних властивостей [14]. В результаті ВТО

відбувається зниження щільності зерна, тобто спостерігається розпушення первісної щільної структури ендосперму. Це відбувається в результаті руйнування ендосперму мікротріщинами, що утворюються при проникненні води всередину зернівки, зміни надмолекулярної структури біополімерів зерна і конформації їх макромолекул, а також внаслідок протікання гідролітичних та біохімічних процесів [15, 16].

Вивчаючи зберігання крупи, вчені [17, 18] дійшли висновку, що крупа, отримана після ВТО, стійкіша до прогрівання та має довший термін зберігання. Крім цього, водотеплове оброблення сприяє підвищенню в крупі вмісту водорозчинних речовин, мікро- та макроелементів, що покращує її харчову цінність [17, 19, 20]. У результаті ВТО зерна за оптимальних параметрів у крупі збільшується вміст вітамінів:  $V_1$  – на 32%;  $V_2$  – 44%;  $PP$  – на 31% і мінеральних речовин – на 9,1% [21]. Тому в умовах постійного зростання асортименту круп'яних продуктів дослідження можливості та доцільності їх виробництва з зерна пшениці спельти, визначення кулінарних властивостей є актуальним. Відсутність наукових досліджень переробки зерна пшениці спельти зумовлює необхідність математичного моделювання режимів зволоження та його відволоження перед лушенням як одного з найвитратніших етапів виробництва крупи.

**Формування цілей статті.** Метою роботи є удосконалення режимів водотеплового оброблення зерна пшениці спельти під час виготовлення крупи № 1.

**Матеріали і методи дослідження.** Експериментальну частину роботи проводили у лабораторії «Оцінювання якості зерна і продуктів його перероблення» кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Для досліджень взято зерно сорту Зоря України. Технологічну схему отримання круп'яних продуктів у лабораторних умовах було змодельовано відповідно вимог правил організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. Зволоження здійснювали крапельним методом. Відволоження проводили в термоізованих бункерах. Лушення – на лабораторному лушильнику УШЗ-1, сепарування продуктів лушення – на лабораторному розсіві РЛУ-1. Зважували отримані продукти на електронних терезах з точністю вимірювання до сотих часток. Маса зразка для лушення становила 150 г. Визначення вологості проводили за ДСТУ 29144:2009. Математичну обробку експериментальних даних здійснювали, використовуючи пакет стандартних програм Microsoft Excel 2007 і Statistica 10. Під час аналізу використовували критерії Стьюдента та дисперсійного аналізу АНОВА (для правильно

розподілених даних) і критерії Манна-Уїтні та Краскела-Уоліса (для неправильно розподілених даних).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основними критеріями оцінювання ефективності виробництва крупи з пшениці спельти № 1 були: вихід крупи і мучки кормової. Параметрами удосконалення були тривалість лушення, вологість та тривалість відволоження, рівні та кроки яких вказані в табл. 1.

У загальному вигляді функції представляли так:

$$F = f(X_1, X_2, X_3); \tag{1}$$

$$M = f(X_1, X_2, X_3), \tag{2}$$

де  $F$  – вихід крупи, %;

$M$  – вихід мучки кормової, %;

$X_1$  – вологість, %;

$X_2$  – тривалість відволоження, хв;

$X_3$  – тривалість лушення, с.

Таблиця 1

Рівні та крок варіювання

Показник/параметр	Позначення	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Нульовий рівень	$X_0$	14	75	90
Верхній рівень	$X_+$	16	120	180
Нижній рівень	$X_-$	12	30	20
Інтервал вимірювань	$\lambda$	1	30	20

За результатами експерименту, відповідно до теорії Тейлора, отримали таке рівняння регресії:

$$F, M = V_0 + V_1 X_1 + V_2 X_2 + V_3 X_3 + V_4 X_1^2 + V_5 X_2^2 + V_6 X_3^2 + V_7 X_1 X_2 + V_8 X_1 X_3 + V_9 X_2 X_3, \tag{3}$$

де  $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9$  – коефіцієнти регресії.

Для проведення дослідів склали матрицю планування експерименту з вказаними числами дослідів і межами зміни чинників. Матрицю експерименту в розкодованому вигляді статистично оброблено, проведено перевірку моделей на адекватність, відсутність автокореляції та встановлені суттєві коефіцієнти регресії (табл. 2 і 3).

Таблиця 2

Показники перевірки моделей

Показник	$F$	$M$
R	0,99	0,98
$R^2$	0,98	0,97
R (скорегований)	0,98	0,97
$F(9,78)$	597	348
p	0,00	0,00
DW	1,73	1,60

Таблиця 3

Результати оброблення експериментальних даних під час моделювання виходу крупи

Показник	Значення В	Відхилення В	t (78)	Значення похибки
$B_0$	<i>59,41844</i>	13,29200	4,47024	0,000023
$B_1$	<i>4,67768</i>	1,93265	2,42034	0,017538
$B_2$	<i>0,22131</i>	0,05160	4,28919	0,000045
$B_3$	<i>-0,14093</i>	0,02013	-7,00247	0,000000
$B_4$	<i>-0,14016</i>	0,07037	-1,99172	0,049468
$B_5$	<i>-0,00024</i>	0,00007	-3,41312	0,000968
$B_6$	<i>-0,00005</i>	0,00003	-1,82293	0,071671
$B_7$	<i>0,00407</i>	0,00139	2,92357	0,004388
$B_8$	<i>0,00005</i>	0,00004	1,24290	0,217170
$B_9$	<i>-0,01212</i>	0,00368	-3,29365	0,001420

Примітка. Шриффт курсив – значення істотні.

Таблиця 4

Результати оброблення експериментальних даних під час моделювання виходу мучки кормової

Показник	Значення В	Відхилення В	t (78)	Значення похибки
$B_0$	<i>39,61948</i>	13,27776	2,98390	0,003673
$B_1$	<i>-4,64385</i>	1,93058	-2,40541	0,018224
$B_2$	<i>-0,22856</i>	0,05154	-4,43436	0,000026
$B_3$	<i>0,14196</i>	0,02010	7,06117	0,000000
$B_4$	<i>0,13901</i>	0,07029	1,97756	0,051073
$B_5$	<i>0,00025</i>	0,00007	3,50592	0,000715
$B_6$	<i>0,00005</i>	0,00003	1,74151	0,085049
$B_7$	<i>-0,00411</i>	0,00139	-2,95762	0,003970
$B_8$	<i>-0,00005</i>	0,00004	-1,27243	0,206536
$B_9$	<i>0,01257</i>	0,00368	3,41934	0,000949

Примітка. Шриффт курсив – значення істинні.

Тоді функціональна залежність виходу крупи залежно від тривалості лушення, вологості та тривалості відволожування набувала такого вигляду:

$$F = 59,41844 + 4,67768X_1 + 0,22131X_2 - 0,14093X_3 + 0,14016X_1^2 - 0,00024X_2^2 + 0,00407 X_1X_2 - 0,01212X_1X_3. \quad (4)$$

Як видно із формули 4, найбільше на вихід крупи впливала тривалість лушення зерна.

Встановлено, що для функції М, коефіцієнти регресії  $B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$  і  $B_6$  були істотними (табл. 4).

Функціональна залежність виходу мучки кормової залежно від тривалості лушення, вологості та тривалості відволожування набувала вигляду:

$$M = 39,61948 - 4,64385X_1 - 0,22856X_2 + 0,14196X_3 - 0,00025X_2^2 - 0,00411X_1X_2 - 0,01257X_1X_3. \quad (5)$$

Вплив параметрів лушення та водотеплового оброблення на вихід мучки кормової був подібним до дії цих параметрів на вихід крупи, проте отримані коефіцієнти кореляції були обернено пропорційними.

Із формул 4 і 5 видно, що на всі досліджені критерії ефективності виробництва крупи (вихід крупи, мучки кормової) істотно впливали тривалість лушення та вологість, за виключенням тривалості відволожування. Тому площини відклику цих функцій побудовано з фіксацією відповідного показника на мінімальному рівні (рис. 1).

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у подальшому напрямі.** Враховуючи усі показники, що впливають на вихід крупи та її органолептичну оцінку, можна зробити висновок, що для збільшення конкурентоспроможності нового круп'яного продукту доцільно лушити зерно пшениці спелти впродовж 120–140 с, що відповідає індексу лушення

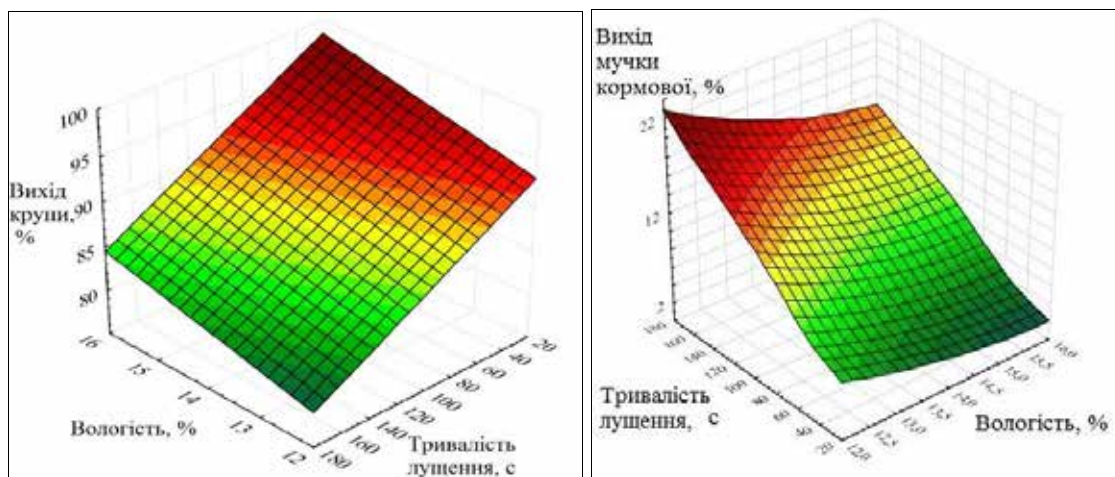


Рис. 1. Вихід крупи та мучки кормової залежно від вологості та тривалості лушення зерна пшениці спелти, %

11–13%, зволожувати до вологості 15–16% та відволожувати упродовж 30 хв. Математичний опис відповідних процесів за ортогональним композиційним планом другого порядку та отримані рівняння квадратичної регресії підтверджують

правильність вибраних технологічних режимів. У подальших дослідженнях доцільно виготовляти продукти і визначати їх якість, визначати елементи технології перероблення зерна, встановити оптимальний термін зберігання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Morris, C. F. Grain Quality Attributes for Cereals Other than Wheat. *Encyclopedia of Food Grains*. 2016. Vol. 3. P. 257–261.
2. Arcila J. A., Rose D. J. Repeated cooking and freezing of whole wheat flour increases resistant starch with beneficial impacts on in vitro fecal fermentation properties. *J. Funct. Foods*. 2015. Vol. 12. P. 230–236.
3. Лисак М. А. Аналіз стану забезпечення продовольчої безпеки України. *Облік і фінанси*. 2013. № 3 (61). С. 136–142.
4. Шевченко О. Плівчасті пшениці як новий ресурс органічної продукції. *Агро перспектива: інформаційно-аналітичний журнал*. 2013. № 6. С. 12–19.
5. Любич В. В. Круп'яні властивості зерна пшениці м'якої озимої залежно від сорту. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2019. № 2. С. 94–101.
6. Горн Е. Лучше чем пшеница, но... *Фермерське господарство*. 2008. № 4 (372). С. 21–22.
7. Колочий В. Т., Власенко В. А., Борсук Г. Ю. та ін. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України : монографія. Київ : Аграр. наука. 2007. 794 с.
8. Andruszczak S., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E. et al. Weed infestation of crops of winter spelt wheat (*Triticum aestivum ssp. spelta* L.) cultivars grown under different conditions of mineral fertilization and chemical plant protection. *Acta Agrobotanica*. Vol. 65 (3). 2012. P. 109–118.
9. Kohajdová Zl., Karovičová J. Effect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Živoť. Nauka. Technologia. Jakość*. 2007. № 4 (53). P. 36–45.
10. Rozenberg R., Ruibal-Mendieta N. L., Petitjean G. et al. Phytosterol analysis and characterization in spelt (*Triticum aestivum ssp. spelta* L.) and wheat (*T. aestivum* L.) lipids by LC/APCI-MS. *J. Cereal Sci.* 2003. № 38. P. 189–197.
11. Schober T. J., Bean S. R., Kuhn M. Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum ssp. spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *J. Cereal Sci.* 2006. № 44. P. 161–173.
12. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Железна В. В. Борошномельні властивості зерна сортів пшениці спельти залежно від умов мінерального живлення. *Вісник Уманського НУС*. Умань. № 1. 2019. С. 129–134.
13. Господаренко, Г. М., Любич, В. В., Полянецька, І. О. Вихід і якість круп'яних продуктів із зерна сортів і ліній пшениць. *Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії*. 2017. (4), С. 11–17.
14. Флис І. М., Макар М. І Вплив режиму волого-теплової обробки гречаного зерна на вихід крупи. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. 2014. Випуск 99 (1). С. 376–383.
15. Liubych V., Zheliezna V. Effect of water-heat treatment on spelt grain flour quality. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2020. 20 (2, 78): 19–25. DOI <https://doi.org/10.15673/gpmf.v20i2.1761>
16. Господаренко Г. М., Любич В. В., Новіков В. В. Железна В. В. Білково-протеїназний комплекс зерна сортів пшениці спельти залежно від удобрення. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Умань. 2018. Випуск 1. С. 8–22. DOI 10.31395/2415-8240-2019-94-1-8-16.
17. Любич, В. В., Полянецька І. О. Якість цілої крупи із зерна спельти залежно від індексу його лушчення та водно-теплової обробки. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. № 2. P. 34–39.
18. Vázquez, J.F., Chacón, E.A., Carrillo, J.M., Benavente, E. Grain mineral density of bread and durum wheat landraces from geo-chemically diverse native soils. *Crop Pasture Sci.* 2018. Vol. 69. P. 335–346.
19. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Умань. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
20. Господаренко Г. М., Полторецький С. П., Любич В. В., Железна В. В. Удосконалення режимів пропарювання за виробництва крупи плющеної із зерна пшениці спельти. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Умань. 2018. Випуск 1. С. 8–22. DOI 10.31395/2415-8240-2018-93-1-8-22
21. Любич В. В. Кондитерські властивості зерна пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2017. Вип. 91. С. 46–54.

### REFERENCES

1. Morris, C.F. (2016). Grain Quality Attributes for Cereals Other than Wheat. *Encyclopedia of Food Grains*, 3, 257–261 [in English].
2. Arcila, J. A., Rose, D. J. (2015). Repeated cooking and freezing of whole wheat flour increases resistant starch with beneficial impacts on in vitro fecal fermentation properties. *J. Funct. Foods*, 12, 230–236 [in English].
3. Lysak, M. A. (2013). Analiz stanu zabezpechennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy [Analysis of the state of food security in Ukraine]. *Oblik i finansy – Accounting and Finance*, 3 (61), 136–142 [in Ukrainian].

4. Shevchenko, O. (2013). Plivchasti pshenytsi yak novyi resurs orhanichnoi produktsii. [Film wheat as a new resource of organic products]. *Ahro perspektyva: informatsiino-analitychnyi zhurnal – Agro perspective: information-analytical magazine*, 6, 12–19 [in Ukrainian].
5. Liubych, V. V. (2019). Krup'iani vlastyvoli zerna pshenytsi m'iakoi ozymoi zalezno vid sortu [Cereal properties of grain of bread wheat depending on the variety]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of Kharkiv State Technical university of Agriculture name Peter Vasilenko*, 2, 71–79. [in Ukrainian].
6. Horn, E. (2008). Luchshe chem pshenytsa, no... [Better than wheat, but...]. *Fermerske hospodarstvo – Farm*, № 4 (372), 21–22 [in Ukrainian].
7. Koliuchyi, V. T., Prickly, V. T., Vlasenko, V. A., et al. (2007). *Seleksiia, nasynnystvo i tekhnolohii vyroshchuvannia zernovykh kolosovykh kultur u Lisostepu Ukrainy [Breeding, seed production and technologies of growing grain crops in the Forest-Steppe of Ukraine]*. Kyiv, Agrarian. Science, 794 [in Ukrainian].
8. Andruszczak, S., Kraska, P., Kwiecińska-Poppe, E. et al. (2012). Weed infestation of crops of winter spelt wheat (*Triticum aestivum ssp. spelta* L.) cultivars grown under different conditions of mineral fertilization and chemical plant protection. *Acta Agrobotanica*, 65 (3), 109–118 [in English].
9. Kohajdová, Z.I., Karovičová, J. (2007). Effect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Žywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4 (53), 36–45 [in English].
10. Rozenberg, R., Ruibal-Mendieta, N. L., Petitjean, G. et al. (2003). Phytosterol analysis and characterisation in spelt (*Triticum aestivum ssp. spelta* L.) and wheat (*T. aestivum* L.) lipids by LC/APCI-MS. *J. Cereal Sci*, 38, 189–197 [in English].
11. Schober, T. J., Bean, S. R., Kuhn, M. (2006). Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum ssp. spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *J. Cereal Sci*, 44, 161–173 [in English].
12. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Polyanetskaya, I. O., Zhelezna, V. V. (2019). Boroshnomelni vlastyvoli zerna sortiv pshenytsi spelty zalezno vid umov mineralnoho zhyvlennia [Flour properties of grain of spelled wheat varieties depending on the conditions of mineral nutrition]. *Visnyk Umanskoho NUS–Bulletin of Uman NUS*, 1, 129–134 [in Ukrainian].
13. Gospodarenko, H. M., Liubych, V. V., & Polyanetska, I. O. (2017). Vykhid i yakist krupianykh produktiv iz zerna sortiv i liniy pshenyts [Yield and quality of cereal products from grain of wheat varieties and lines]. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 11–17. [in Ukrainian].
14. Fleece, I. M., Makar, M. I. (2014). Vplyv rezhymu voloho-teplovei obrobky hrechanoho zerna na vykhid krupy [Influence of the regime of wet-heat treatment of buckwheat grain on the yield of cereals]. *Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia silskoho hospodarstva–Mechanization and electrification of agriculture*, 99 (1), 376–383 [in Ukrainian].
15. Liubych V., Zheliezna V. (2020). Effect of water-heat treatment on spelt grain flour quality. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 2(78), 19–25. [in English].
16. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Novikov, V. V. Zhelezna, V. V. (2018). Bilkovo-proteinaznyi kompleks zerna sortiv pshenytsi spelty zalezno vid udobrennia [Protein-proteinase complex of grain of spelled wheat varieties depending on fertilizer]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS. Uman – Collection of scientific works of Uman NUS*, 1, 8–22. [in Ukrainian].
17. Liubych, V. V., Polyanetska, I. O. (2015). Yakist tsiloi krupy iz zerna spelty zalezno vid indeksu yoho lushchinnia ta vodno-teplovei obrobky [Quality of cereals grain of spelled wheat depending on the index its unhusking and water-heat processing]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva – Bulletin of Uman NUH*, 1, 34–39. [in Ukrainian].
18. Vázquez, J.F., Chacón, E.A., Carrillo, J.M., Benavente, E. (2018). Grain mineral density of bread and durum wheat landraces from geo-chemically diverse native soils. *Crop Pasture Sci.*, 69, 335–346. [in English].
19. Liubich, V.V. (2016). Biolohichna tsinnist bilka pshenytsi spelty zalezno vid pokhodzhennia sortu ta liniy [Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain]. *Zb. nauk. pr. Umanskoho NUS – Bulletin of Uman NUH*, 89, 199–206 [in Ukrainian].
20. Gospodarenko, G. M., Poltoretsky, S. P., Lyubich, V. V., Zhelezna, V. V. (2018). Udoskonalennia rezhymiv propariuvannia za vyrobnytstva krupy pliushchenoi iz zerna pshenytsi spelty [Improvement of steaming regimes for the production of spelled wheat grits]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS. Uman – Collection of scientific works of Uman NUS*, 1, 8–22. [in Ukrainian].
21. Liubich, V.V. (2017). Kondyterski vlastyvoli zerna pshenytsi spelty zalezno vid pokhodzhennia sortu ta liniy [Confectionery properties of spelt wheat grain depending on the origin of the variety and strain]. *Zb. nauk. pr. Umanskoho NUS – Bulletin UNUH*, 91, 46–54 [in Ukrainian].

**V. Liubych**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; **V. Zheliezna**, PhD Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor (Uman National University of Horticulture). **Mathematical modeling of water-heat treatment of spelt wheat grain.**

**Abstract.** Spelt wheat is a promising crop which is characterized by high cereal and nutritional properties, namely: protein content (up to 25%), vitamins (beta-carotene, vitamin B<sub>1</sub>, vitamin B<sub>2</sub>, vitamin B<sub>5</sub>, vitamin B<sub>6</sub>, vitamin B<sub>9</sub>, vitamin E, vitamin K, vitamin PP), macronutrients (magnesium, sodium, potassium, phosphorus) and micronutrients (zinc, copper, manganese, selenium), carbohydrates (50–70%) and fats (1.5–2.5%). For spelt wheat, carbohydrates are the main component and make up 50–70% of grain, and sugar content is 2–3%. The organic substances contained in spelt have a high level of solubility, so they are easily and quickly absorbed by human body.

*The article presents the mathematical modeling results of water-heat treatment of spelt wheat grain using Statistika 10 program by the method of multifactor experiment with an orthogonal composite design of the second order.*

*The main estimation criteria of the efficiency of spelt wheat groats № 1 production were: the yield of groats and fodder meal, improvement parameters – the duration of husking and softening and moisture content. It was found that to increase the competitiveness of a new cereal product, it is advisable to husk spelt wheat grain for 120–140 s which corresponds to the husking index of 11–13%, moisturize to a moisture content of 15–16% and soften for 30 minutes. Mathematical description of the corresponding processes according to the orthogonal composite design of the second order and the obtained quadratic regression equations confirm the correctness of the selected technological modes.*

**Key words:** grain, spelt wheat, groats, modeling, optimization, water-heat treatment, husking.