

УДК: 631.36

## СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДОЗАТОРА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Е.Б. Алієв, Р.О. Бакарджієв

*Інститут олійних культур НААН,  
Таврійський агротехнологічний університет*

**На основі статистичної обробки експериментальних даних та теорії помилок розроблена методика оцінювання результатів досліджень якісних показників роботи дозаторів із застосуванням статистичних функцій пакета аналізу MS Excel, що позбавляє необхідності користуватися довідковими таблицями.**

**Ключові слова:** дозатор, статистична обробка, теорія помилок, методика оцінювання.

**Вступ.** Дозатори безперервної дії широко використовуються як в стаціонарних лініях, так і в мобільних машинах. Причому, якщо в стаціонарних машинах вони частіше виконуються як складові живильників–дозаторів, наприклад, при дозуванні подачі зв'язуючого матеріалу, яким може бути лушпинна фракція, отримувана після фракціонування макухи олійних культур [1].

В залежності від способу дозування дозатори поділяються на вагові і об'ємні. Об'ємні дозатори більш прості конструктивно, проте мають меншу точність дозування. Якщо похибка дозування для вагових дозаторів становить 1–3 %, то для об'ємних — 10-15 % і навіть більше.

Для оцінки якості роботи дозаторів визначають:

- межі видачі матеріалу, тобто продуктивності процесу дозування;
- точність дозування;
- нерівномірність видачі.

Якщо із визначенням першого показника, який визначає кількісну характеристику роботи, практично проблем немає, то при оцінці двох останніми, які характеризують якісні показники, виникає ряд питань.

Досить часто, наприклад, дослідники завершують роботу лише визначенням коефіцієнта варіації, навіть не оцінюючи і не аналізуючи його, до речі, оцінювання і аналіз відсутні також у нормативних документах [2]. Інші [3] наводять помилкову формулу, плутаючи похибку вимірювання з похибкою середнього.

Нашою метою було на основі елементів теорії статистичної обробки експериментальних даних розробити методику оцінювання результатів експериментальних досліджень якісних показників роботи дозаторів безперервної дії.

**Матеріал та методи дослідження.** Математичний апарат, який покладено в запропонованій статистичній оцінці показників роботи дозатора безперервної дії оснований на методах математичної статистики планування експериментів [2, 4, 6].

**Результати досліджень та їхнє обговорення.** Одним з визначаючих показників оцінки якісних параметрів роботи дозатора є кількість взяття проб при одному повторенні. Для різних машин і матеріалів рекомендується різна кількість взяття проб — від 15 до 30 і навіть до 50-60 [2].

На наш погляд, кількість проб повинна бути 30, саме з цього числа у статистиці вибірка перестає бути малою і набуває ознак великої, що дає змогу використовувати для оцінок характеристики нормального розподілу вибірки. Стосовно повторності, то вона повинно бути трикратною, як в основному прийнято в технічних науках, з довірчим рівнем значущості 0,05 [4].

За отриманими результатами замірів знаходяться вибіркоче середнє арифметичне)  $\bar{x}$ , вибіркова дисперсія  $s^2$  і вибірковий середній квадратичний відхил  $s$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{і} \quad s = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – значення  $i$ -ї проби при обсязі  $n$ .

Середнє арифметичне має дисперсію в  $n$  разів менше за дисперсію вибіркової сукупності, тому у якості його точкової оцінки використовується середньоквадратичний відхил вибіркового середнього (квадратична похибка репрезентативності вибіркового середнього, тобто результату вимірів)  $s_{\bar{x}}$ .

За теорією помилок, розробленою Гаусом, мірою випадкової похибки окремого вимірювання є середня квадратична похибка  $\Delta_{(x_{\bar{x}})}$ , яка представляє собою середньоквадратичний відхил вибіркових середніх  $s_{\bar{x}}$

$$\Delta_{(x_{\bar{x}})} = s_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Але це не свідчить, що істинне значення вимірюваної величини обов'язково буде знаходитися в інтервалі від  $\bar{x} - s_{\bar{x}}$  до  $\bar{x} + s_{\bar{x}}$ . Виявляється, що навіть при дуже великому числі вимірювань ймовірність того, що справжнє значення потрапить у цей інтервал, не перевищує 0,7. Тому випадкову похибку  $\Delta_{(x_{ep})}$

$$\Delta_{(x_{ep})} = t_{\alpha(v)} \cdot s_{\bar{x}}. \quad (3)$$

Довірчий інтервал результатів вимірювання визначає проміжок між довірчими межами, у яких із заданою ймовірністю міститься розрахункове значення оцінюваного параметра генеральної сукупності, наприклад, для середнього арифметичного  $\bar{x}$  крайні точки відповідно становлять  $\bar{x} - t_{\alpha(v)} \cdot s_{\bar{x}}$  і  $\bar{x} + t_{\alpha(v)} \cdot s_{\bar{x}}$ .

Таким чином, для характеристики величини випадкової похибки в принципі необхідно задати два числа: саму похибку  $\Delta_{(x)}$  і довірчу ймовірність  $P$ , що дозволяє оцінити ступінь надійності отриманого результату.

Виходячи з виразу (3), відносна похибка у відсотках становитиме

$$\delta_{(x_{ep})} = 100 \cdot \frac{\Delta_{(x_{ep})}}{\bar{x}}. \quad (4)$$

Коефіцієнт варіації  $V$  наводиться відсотково і є відносним показником мінливості, який додатково використовується для характеристики розкиду даних. За ним оцінюється однорідність чи неоднорідність сукупності [5]

$$V = 100 \cdot \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

Для сільського господарства прийнята градація величини коефіцієнта варіації: мінливість вважають незначною при його величині менше 10 %, невеликою - при 10-20 %, середньою - при варіюванні у межах 20-40 %, великою - від 40 до 60 % і дуже великою - при перевищенні 60 %.

Похибка коефіцієнта варіації розраховується за формулою [5]

$$s_v = \frac{V}{\sqrt{2(n-1)}} \sqrt{1 + 2 \left( \frac{V}{100} \right)^2} \quad (6)$$

Далі слід упевнитися у статистичній відповідності отриманих результатів. Для цього перевіряється відхилення експериментального середнього  $\bar{x}$  від фіксованого числа  $x_0$ , заданого технічними вимогами [6].

У цьому разі розрахункова формула критерію Стьюдента представляється виразом

$$t_\phi = \frac{|\bar{x} - x_0|}{s} \sqrt{n} \quad (7)$$

У цьому разі перевірка проводиться зіставленням обчисленого значення  $t_\phi$  із табличним  $t_{\alpha(v)_T}$ . За умови  $t_\phi \geq t_{\alpha(v)_T}$  нульова гіпотеза про належність обох вибірок до однієї генеральної відкидається.

Також за критерієм Фішера слід визначити статистичну рівність (однорідність) дисперсій  $s_0^2$  заданих параметрів і  $s^2$  отриманих значень

$$F = s^2 / s_0^2 \quad (8)$$

Критерій Фішера розраховується за умови  $s^2 > s_0^2$  і при ступенях вільності вибірок  $v = n - 1$ . Дисперсії приймаються рівними, якщо  $F$  менше ніж  $F_T$  ( $F < F_T$ ).

Експериментальні результати задовольняють умови технічних вимог, якщо їхні довірчі межі перекривають допустимі межі варіювання, задані технічними умовам, тобто

$$\Phi \left( \frac{\Delta_{(x_{cp})} + \bar{x} - x_0}{s} \right) - \Phi \left( \frac{\Delta_{(x_{cp})} - \bar{x} + x_0}{s} \right) \geq 2\Phi \left( \frac{t_{\varepsilon(v)}}{\sqrt{n}} \right) \quad (9)$$

де  $\Phi(x)$  – функції Лапласа.

При цьому повинні виконуватися умови, зазначені у виразах (7) і (8).

Для прикладу розглянуто розрахунок показників з використанням статистичних функцій пакета аналізу MS Excel дозування зв'язуючого матеріалу при виготовленні паливних брикетів з соломи (таблиця).

Тут порівнюються дві вибірки: перша з параметрами, які б мала вибірка, що відповідає технічним умовам і вибірка, отримана при проведенні випробувань дозатора.

У пакеті аналізу MS Excel арифметичне середнє визначається за допомогою статистичної функції СРЗНАЧ (число1; [число2];...); для знаходження обсягу  $n$  вибірки використовується статистична функція СЧЁТ(значення1, [значення2], ...); вибіркова дисперсія  $s^2$  визначається функцією

ДИСП.В (число1; [число2];...) і вибірковий середній квадратичний відхил  $s$  функцією СТАНДОТКЛОН.В (число1; [число2];...).

Величина відхилю  $t_{\alpha(v)} \cdot s_{\bar{x}}$  знаходиться для вибірки з використанням розподілу Стюдента ДОВЕРИТ.СТЬЮДЕНТ (альфа; стандартное\_откл;размер). Для визначення параметрів інтегральної функції нормального розподілу замість функції Лапласа (9) використана статистична функція НОРМ.РАСП (x,среднее,стандартное\_откл,ИСТИНА).

Обернені функції критеріїв Стюдента і Фішера визначаються відповідно СТЬЮДЕНТ.ОБР.2Х (вероятность;степени\_свободы) і F.ОБР.ПХ (вероятность;степени\_свободы1;степени\_свободы2).

Використання статистичних функцій пакета позбавляє необхідності користуватися довідковими таблицями і дещо автоматизує розрахунки при зміні аргументів функцій.

Таблиця

**Результати випробувань дозатора зв'язуючого матеріалу при брикетуванні**

№	А	В	С	Д
1	Показник	№ п.п.	За техумовами	При випробуваннях
2		1		5.1
3	D32=CP3НАЧ(D2:D31)	2		5.9
4	C34=C35^2 D34=ДИСП.В(D2:D31)	3		6.1
5	C35=(C39*C33^0.5)/C37	4		6.5
6	D35=СТАНДОТКЛОН.В(D2:D31)	5		6.8
7	C37=СТЬЮДЕНТ.ОБР.2Х(C36;C33-1) D38=100*D39/D32			11.9
8	C39=C38*C32/100 D39=ДОВЕРИТ.СТЬЮДЕНТ(C36; D35;C33)			12.4
9	C40=C32+C39 D40=D32+D39	8		13.0
10	C41=C32-C39 D41=D32-D39	9		13.8
11	C42=НОРМ.РАСП(C40;C32;C35;ИСТИНА)	10		14.2
12	D42=НОРМ.РАСП(C40;D32;D35;ИСТИНА)	11		14.9
13	C43=НОРМ.РАСП(C41;C32;C35;ИСТИНА)	12		15.3
14	D43=НОРМ.РАСП(C41;D32;D35;ИСТИНА)	13		15.9
15	C44=C42-C43 D44=D42-D43	14		16.1
16	C45=100*C35/C32 D45=100*D35/D32	15		16.7
17	C46=C45*((1+2*(C45/100)^2)/(2*(C33-1))^0.5)	16		16.8
18	D46=D45*((1+2*(D45/100)^2)/(2*(C33-1))^0.5)	17		16.3
19	C47=((C32-D32)*C33^0.5)/C35	18		16.1
20	C48=C34/D34	19		15.8
21	C49=F.ОБР.ПХ(C36;C33-1;C33-1)	20		15.0
22		21		14.8
23		22		13.9
24		23		13.4
25		24		13.0
26		25		12.2
27		26		7.5
28		27		6.7
29		28		6.2
30		29		6.0
31		30		5.2
32	Середнє значення $\bar{X}$ , кг		11.00	11.78
33	Кількість проб $n$ , шт.			30
34	Вибіркова дисперсія $s^2$		19.53	17.88
35	Середній квадратичний відхил $s$ , кг		4.42	4.23
36	Рівень значущості $\alpha$			0.05
37	Критичний критерій Стюдента $t_{\tau}$			2.0452
38	Відносна похибка (точність) дозування $\delta_{\text{ср}}$ , %		15.0	13.4
39	Довірчий інтервал (похибка середнього) $\Delta_{\text{ср}}$ , кг		1.65	1.58
40	Верхня межа довірчого інтервалу $b$ , кг		12.65	13.36
41	Нижня межа довірчого інтервалу $a$ , кг		9.35	10.20
42	Інтегральна функція для верхньої межі $F(b)$		0.6456	0.5812
43	Інтегральна функція для нижньої межі $F(a)$		0.3544	0.2825
44	Імовірність знаходження в довірчому інтервалі $P(ab)$		0.2912	0.2987
45	Коефіцієнт варіації $V$ , %		40.17	35.89
46	Похибка коефіцієнту варіації $s_v$ , %		6.98	5.93
47	Критерій Стюдента для різниці $t_{\phi}$			0.9710
48	Розрахунковий критерієм Фішера $F_{\phi}$			1.0918
49	Критичний критерій Фішера $F_{\tau}$			1.8608

Представимо елементи запису результатів аналізу отриманих даних, виходячи з останніх вимог до подання величин, отриманих статистичними методами, з наведенням похибок, рівнів значущості чи імовірності та об'ємів вибірок.

а. З даних, наведених у таблиці, бачимо, що за результатами досліджень імовірність знаходження в даних в довірчому інтервалі вище, ніж за вимогами технічних умов, тобто 29,9 % порівняно з 29,1 %.

б. Середнє значення при довірчому рівні значущості 0,05 і 30-ти пробах для технічних умов становить  $(11,00 \pm 1,65)$  кг, за результатами випробувань —  $(11,78 \pm 1,68)$  кг.

в. Коефіцієнт варіації при тому ж довірчому рівні значущості і кількості випробувань у обох випадках середній: для технічних умов дорівнює  $40,2 \pm 7,0$  % і за результатами випробувань —  $35,9 \pm 6,0$  %.

г. Перевірка за критерієм Стьюдента і Фішера показує, що в обох випадках розрахункові значення менше критичних (табличних). Для критерію Стьюдента маємо  $0,971 < 2,045$  і для критерію Фішера -  $1,092 < 1,861$ , що свідчить про статистичну рівність між параметрами вибірок — вони обидві належать до однієї генеральної сукупності.

д. Загалом в довірчому рівні значущості 0,05 випробування підтвердило параметри дозування, викладені в технічних умовах.

#### **Висновки**

1. Кількість проб при дослідженні параметрів дозування повинна становити 30, саме з цього числа у статистиці вибірка перестає бути малою, що дає змогу використовувати для оцінок характеристики нормального розподілу вибірки.

2. При статистичній обробці отриманих результатів перевірки дозування слід використовувати також елементи теорії помилок, що дає змогу подавати результати відповідно до вимог.

3. Незважаючи на збільшення математичного апарата використання для статистичних функцій пакета аналізу MS Excel позбавляє необхідності користуватися довідковими таблицями, спрощує і дещо автоматизує розрахунки при зміні аргументів функцій.

#### **Література**

1. Гриценко В.Т. Ефективність технологи переробки макухи з нешеретованого насіння олійних культур / В.Т. Гриценко, Р.О. Бакарджиев: матеріали XXII Міжнародної науково-технічної конференції “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” та IX Всеукраїнської конференції семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії // Національний науковий центр “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”. - Глеваха, 2014. – С. 184–185.

2. ОСТ 70.19.2–80 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний. Отраслевой стандарт. [дата введения 01.08.1984] / Государственный комитет СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства. – М., 1984. – 114 с.

3. Фуфачев В.С. Повышение эффективности функционирования комбикормового агрегата путем совершенствования технологического процесса

и рабочих органов дозатора: дисс...канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Фуфачев Вадим Сергеевич. - Киров, 2009. – 188 с.

4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

5. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биолог. спец. вузов / Г.Ф. Лакин [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

6. Аністратенко В.О. Математичне планування експериментів в АПК: навчальний посібник / Володимир Олексійович Аністратенко, Володимир Гаврилович Федоров. – К.: Вища школа, 1993. – 375 с.

## **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДОЗАТОРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

**Е.Б. Алиев, Р.А. Бакарджиев**

На основе статистической обработки экспериментальных данных и теории ошибок разработана методика оценки результатов исследований качественных показателей работы дозаторов с применением статистических функций пакета анализа MS Excel, что избавляет от необходимости использовать справочные таблицы.

**Ключевые слова:** дозатор, статистическая обработка, теория ошибок, методика оценки.

## **STATISTICAL ASSESSMENT OF PERFORMANCE IN CONTINUOUS BATCHER**

**E.B. Aliev, R.A. Bakardzhiev**

On the basis of statistical processing of the experimental data and the theory of error estimation methodology research results of qualitative indicators of the dispensers with the use of statistical analysis functions package MS Excel, which eliminates the need to use the reference tables.

**Keywords:** dispenser, statistical processing, the theory of error estimation procedure.

*Рецензент: В.В. Лиходід, канд. технічних наук, співробітник Запорізького науково-дослідного центру з механізації тваринництва.*