*УДК 629.366:621.81 Л 63*

# ВИЗНАЧЕННЯ СТЕПЕНЕЙ ВІЛЬНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

***Лисогор Василь Микитович*** *д.т.н., професор*
***Горбатюк Руслан Миколайович*** *асистент*
*Вінницький національний аграрний університет*
***Шуллє Юлія Андріївна*** *к.т.н., ст.викладач*
*Вінницький національний технічний університет*
***Чубик Роман Васильович*** *к.т.н. доцент*
*Дрогобицький державний педагогічний університет*
***Lisogor V.***
***Gorbatyuk R.***
*Vinnytsia national agrarian university*
***Shulle Y.***
*Vinnytsya national technical university*
***Chubuk R.***
*Drogobych State Pedagogical University*

***Анотація:*** *в роботі запропоновано та розроблено підходи обґрунтування, визначено степені вільності електромеханічної установки для фінішної вібраційної обробки при ремонті деталей сільськогосподарської техніки. Визначення степенів є визначальною складовою частиною теоретичного базису усієї розробки. Питання степеней вільності зв'язало в єдине ціле матеріали дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізу та планування експерименту.*

*Питання степеней вільності підтверджено у напрямках п'яти позицій: використання нормального розподілення,* $\chi^2$ *– розподілення, розподілення Стьюдента, F-розподілення та інтервальних оцінок. Підтверджені постановки задач на дослідження на великих (n>30) та малих (n<30) вибірок.*

***Ключові слова:*** *віброабразивна обробка, електромеханічна установка, коваріація, дисперсійний, регресійний кореляційний аналізи, планування експерименту, багатофакторний аналіз, степені вільності.*

### *Вступ*

Обґрунтування напрямків досліджень з використанням напрацювань математичної статистики для дослідної установки по віброабразивній обробці деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки в агропромисловому комплексі займають достатньо високе місце. Сьогодні існує жорстка конкуренція на надання науково-технічних послуг у цьому секторі господарювання. Використовуючи свій високий рівень життя закордонні фірми та організації пропонують нашим спеціалістам привабливі умови купівлі інтелектуальної продукції.

Один з перспективних напрямків проведення наукових досліджень є використання напрацювань математичної статистики з розділів дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізу та планування експерименту.

Заслуговує поваги підручник [1], який був написаний для студентів технікумів, де висвітлюються необхідні розділи основ теорії ймовірності, математичної статистики, основ кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізів, планування оптимального експерименту. Матеріал підручника був розроблений для задоволення реальних потреб оборонної промисловості Радянського Союзу.

Відомі підходи і методи, що визначають найважливіші фактори досліджуваного процесу [2]. У зазначеній монографії також розкриті фундаментальні питання визначення поверхонь відгуку, визначення матриць планування експерименту, визначення умов ортогональності, рототабельності, приведені результати досліджень по отриманню рівнянь регресії, визначені ефекти взаємодії різних факторів.

У навчальному посібнику [3] викладені елементи теорії багатофакторного експерименту, які важливі для задоволення наших потреб. На прикладах дослідження конкретних електронних та електромагнітних пристроїв, а також системи масового обслуговування, розглянуті основні етапи організації метрологічного забезпечення, планування та обробки результатів оптимального експерименту. Продемонстровані результати використання емпіричних математичних моделей по визначенню впливу різних факторів на вихідні параметри для розрахунку допусків,точності, параметричної надійності пристроїв та систем автоматики.

У перекладеній з англійської мови монографії [4] представлений метод, що недостатньо повно розроблений у вітчизняних дослідженнях - це використання регресійного аналізу у різного роду електромеханічних системах.

Аналіз, проведений авторами показує, що актуальність пропонованої публікації з обґрунтування напрямку досліджень з визначення степенів вільності електромеханічної установки для фінішної вібраційної обробки при ремонті деталей сільськогосподарської техніки є досить високою.

### *Мета публікації*

Запропонувати та розробити підходи обґрунтування, визначення степенів вільності електромеханічної установки для фінішної вібраційної обробки при ремонті деталей сільськогосподарської техніки. Визначення степенів є визначальною складовою частиною теоретичного базису усієї розробки. Питання ступенів вільності повинно зв'язати в єдине ціле матеріали дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізу та планування експерименту.

Неформалізований алгоритм вирішення задачі.

Етапи дисперсійного аналізу включатимуть: однофакторний, двофакторний аналіз, дисперсійний аналіз з довільною кількістю спостережень в комірці.

Кореляційний аналіз включатиме: функціональні та статистичні зв'язки, визначення форми зв'язку, властивості коефіцієнта кореляції, обчислення оцінок параметрів двомірної моделі, перевірка гіпотези значущості коефіцієнта кореляції, оцінка кореляційного відношення, оцінки параметрів в багатомірному кореляційного аналізу.

Регресійний аналіз включатиме: формування моделей лінійної та нелінійної регресії, оцінок значимості коефіцієнтів регресії, інтервальної оцінки коефіцієнтів регресії, оцінка моделі багатомірного регресійного аналізу.

Планування оптимального експерименту включатиме: повний факторний експеримент, частковий факторний експеримент, проведення та обробка результатів експерименту.

### *Матеріали основного результату*

Основна задача математичної статистики – вивчення розподілень випадкових величин чи їх числових характеристик (параметрів розподілення) на основі експериментальних даних [4]. У нашому випадку –це експериментальні дані з дослідної установки для обробки деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки.

Для визначення властивостей генеральної сукупності (ГС) досліджуємо деяку її частина, яка називається вибіркою. Кількість елементів вибірки назвемо об’ємом вибірки та позначимо ***n.*** Вибірку організуємо так, щоб кожен елемент ГС мав одну і ту ж ймовірність попасти в її склад. В цьому випадку вибірку назвемо репрезативною чи представницькою.

Характеристику ГС визначимо на основі даних вибірки,яка відрізняється від ймовірнісної, буде носити назву вибіркової або статистичної, а метод її отримання – вибірковим методом. Раціональний вибір методу зменшить витрати на дослідження та підвищить його достовірність.

Основні підходи математичної статистики для нас розщеплюються на низку часткових задач: організація репрезативної вибірки; визначення об’єму вибірки, яка дозволить отримати результати з заданою надійністю; точкового та інтервального оцінювання параметрів розподілення; перевірки статистичних гіпотез.

Займемося безпосередньо статистичним оцінюванням параметрів розподілення та степенів вільності електромеханічної дослідної установки для обробки деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки. Нас цікавить признак ГС (безперервна випадкова величина ***Y*** ) описується деякою щільністю ймовірності ***φ*** (***y***, $\mu_y$, $\sigma_y$, …), у якій $\mu_y$, $\sigma_y$ - математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення, які є невідомими параметрами.

Наближене визначення невідомих параметрів, розподілення по даним вибірки назвемо точковим оцінюванням.

Вибіркові (експериментальні) дані ***$Y_1$, $Y_2$, …,$Y_n$*** представляють собою випадкові величини, оскільки у кожній вибірці вони можуть приймати різні невідомі значення. Тому довільна точкова оцінка є випадковою величиною, як і довільна випадкова величина, точкова оцінка характеризується законом або параметрами розподілення. Її властивості (якість) залежать від співвідношень з допомогою яких вона отримується. Прийнятна оцінка параметра розподілення повинна відповідати властивості обґрунтованості, незміщеності та по можливості повинна бути ефективною.

Оцінку $\alpha$ назвемо обґрунтованою (спроможною), якщо при довільному об’ємі вибірки ***n*** її математичне сподівання дорівнює параметру, що оцінюється $\alpha : M[\alpha] = \alpha$, для незміщеної оцінки відсутня систематична похибка, яка залежить від об’єму вибірки m.

Оцінку $\alpha$ назвемо ефективною, якщо серед інших оцінок параметра $\alpha$ вона має найменшу дисперсію: $D[\alpha] = \sigma_\alpha^2 = \min$. Вказані властивості має оцінка математичного сподівання – середнє вибіркове.

$$\bar{y} = \mu_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \qquad (1)$$

Коли випадкова величина ***Y*** підкоряється нормальному закону розподілення з математичним сподіванням $\mu_y$ та середньоквадратичним відхиленням (СКВ).

$$\sigma_y : Y \approx N(\mu_y \sigma_y) \qquad (2)$$

Доведемо одне принципове положення: у випадку ***n*** незалежних, рівноточних та однаково розподілених спостережень $Y_{1/2}$, $Y_2$, …,$Y_n$ дисперсія середнього вибіркового $\bar{Y}$ – величина $\sigma^2_{\bar{y}}$ - зворотно пропорційна об’єм вибірки ***n***.

Вираз (1) для $\bar{y}$ є зваженою сумою незалежних випадкових величин (з вагою $1/n$). Згідно теореми про дисперсію суми випадкових величин

$$D[\bar{Y}] = \sigma^2_{\bar{y}} = \frac{1}{n^2}\left(\sigma^2_{y_1} + \sigma^2_{y_2} + \ldots + \sigma^2_{y_n}\right) \qquad (3)$$

В силу рівно точності спостережень $\sigma^2_{y_1} = \sigma^2_{y_2} = \ldots = \sigma^2_{y_n} = \sigma^2_y$ . Отже, вираз для дисперсії середнього має вид

$$\sigma^2_{\bar{y}} = \frac{1}{n^2} n\sigma^2_y = \sigma^2_y / n \qquad (4)$$

Формула (4) цінна не тільки для нас, вона широко використовується для довільного об’єкта у теорії експерименту. Вона прозоро показує, що чим більше експериментальних даних, тим точніша оцінка, тим менша її дисперсія, вище достовірність, або інформативність.

Використовуючи рівність (4), встановимо зв'язок між СКВ $\sigma_{\bar{y}}$ вибіркового середнього та одного спостереження $\sigma_y$. Витягнувши корінь квадратний з обох частин рівності (4) , отримаємо

$$\sigma_{\bar{y}} = \sigma_{\bar{y}} \big/ \sqrt{n} \qquad (5).$$

З формули (5) видно, що похибка СКВ середнього в $\sqrt{n}$ раз менше похибки СКВ одного спостереження.

Для нашої електромеханічної дослідної установки для обробки деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки зможемо визначити точкові інші оцінки параметрів розподілення. В частковості обґрунтована та незміщена оцінка невідомої дисперсії генеральної сукупності дорівнюватиме

$$S^2_y = \sigma^2_y = \frac{1}{n-1}\sum_{n-1}^{n}\left(Y_i - \bar{y}\right)^2 \qquad (6)$$

Де величину *n-1* назвемо числом степеней вільності (вільності) та означається символом $f_y : n-1 = f_y$. На кінець ми добрались до місця, де розкрився зміст формул, які словесно відображені у заголовку нашої статті. Але зазначене тільки початок, до кінця рухатись потрібно ще довгенько.

Оцінку $S^2_y$ називають вибірковою дисперсією, або середнім квадратом відхилень експериментальних значень $Y_i$ від середнього $\bar{y}$ [4]. У математичній статистиці часто вибіркова дисперсія визначається як відношення деякої суми квадратів відхилень $Q$ до числа степенів вільності (вільності) цієї суми $f_Q$ [4]:

$$S^2 = Q \big/ f_Q \qquad (7)$$

Число степенів вільностей $f_Q$ дорівнює числу незалежних складових у сумі квадратів Q. Наприклад, у формулі (6) є *n* складових $\left(Y_i - \overline{y}\right)^2$, але в силу обчислення середнього накладений один зв'язок виду $\sum_{i=1}^{m}\left(Y_i - \overline{y}\right)^2 = 0$ або $\sum_{i=1}^{n} Y_i = n\overline{y}$. Тому число незалежних складових складає *n-1* та саме ця величина є числом степеней вільності.

Взагалі числом степеней вільності називають різницю між числом складових у сумі квадратів та числом зв'язків, що накладені на ці складові.

Обчислення по формулі (6) трудомісткі та при малих значеннях різниць $\left(Y_i - \overline{y}\right)$ можуть породжувати великі похибки.

Тому замість виразу (6), який відіграє визначення поняття, використаємо тотожній вираз:

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - n\overline{y}^2\right) \tag{8}$$

Арифметичне значення кореня квадратного з оцінки дисперсії формула $S_y = \sqrt{S_y^2}$ є оцінка СКВ, чи стандарту $\sigma_y$.

Таким чином ми отримали основні закономірності використання понять, що пов'язані з числом степенів вільності.

Тепер послідовно розглянемо поведінку низки законів розподілень та прослідкуємо як ці закони пов'язані з числом степенів вільності: нормального розподілення ___ розподілення, розподілення Стьюдента, F-розподілення, інтервальних оцінок, перевірки статистичних гіпотез:

1. Нормальне розподілення. Як відомо [1-3,5] випадкова величина *Y* що підкоряється нормальному закону розподілення описується щільністю ймовірності:

$$\varphi(y) = \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left(y-\mu_y\right)^2}{2\sigma_y^2}\right) \tag{9}$$

Аналізуючи (9), бачимо, що нормальне розподілення визначається двома параметрами – математичним сподіванням $\mu_y$ та середньоквадратичним відхиленням $\sigma$.

Величина $z = \left(y - \mu_y\right)/\sigma_y$ має математичне сподівання $\mu_z = 0$, дисперсію $\sigma_y^2 = 1$, СКВ $\sigma_y = 1$ та носить назву нормованої нормально розподіленої випадкової величини. Її щільність ймовірності

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-z^2/2\right) \tag{10}$$

Та позначається символом $z \approx N(0,1)$. Вид цього розподілення ми навели на рис 1, де по осі $O_z$ відкладені одиничні відрізки $\sigma_2 = 1$. Числа 0,02; 0,14; 0,34 означають наближені ймовірності попадання випадкової величини у відповідні одиничні відрізки. Ймовірність попадання в інтервал (-3,+3) довжиною $6\sigma_z$ дорівнює 0,9973. У більшості практичних задач і такі задачі як у нас можна заокруглити до одиниці. Це рівносильно припущенню що все розподілення заключено в інтервалі (-3,+3).

Ймовірність попадання у відрізок [-a,+a] дорівнює:

$$P(-a \le z \le a) = P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-a}^{a} \exp\left(-z^2/2\right) dz \qquad (11)$$

Рішення ряду задач пов'язано з відшукуванням симетричного відрізку $[-z_\alpha, z_\alpha]$, що відповідає ймовірності $P = 1 - \alpha$.

Величину $z_\alpha$ знайдемо з рівняння

$$P(|z| \le \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-z_\alpha}^{z_\alpha} \exp\left(-z^2/2\right) dz = 1 - \alpha \qquad (12)$$

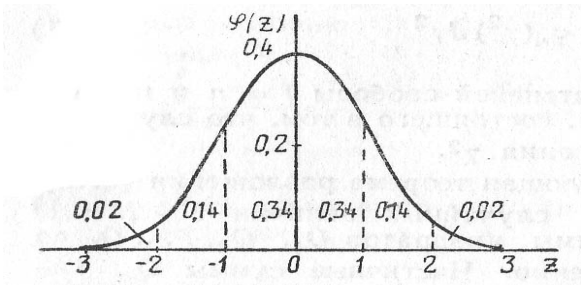


***Рис. 1. Щільність ймовірності нормованої нормально розподіленої випадкової величини*** $Z \approx N(0,1)$

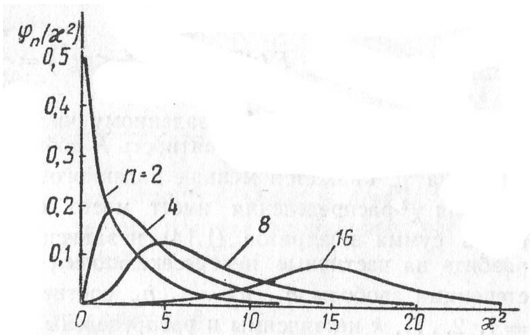


***Рис. 2. Щільність розподілення*** $\chi_n^2$ ***для різних степеней вільності n.***

Для визначення значень $z_\alpha$ що задовольняють вираз (12) використовують додатки [3].

Широке використання нормального розподілення центральної граничної теореми теорії ймовірностей при сумуванні достатньо великої кількості незалежних чи слабо корельованих випадкових величин закон розподілення суми необмежено наближається до нормального незалежно від того, як розподілені окремі складові, якщо серед складових немає домінуючих.

В основі багатьох розподілень лежить нормальний закон. До такого роду відноситься $\chi_i$ – квадрат розподілення, розподілення Стьюдента, ***F***-розподілення.

2. $\chi^2$ -розподілення.

Це розподілення використовується для побудови довірчих інтервалів при інтервальному оцінюванні, перевірки відповідності емпіричного розподілення деякої теоретичної залежності та для визначення інших розподілень.

Нехай існують n незалежних, нормованих, нормально розподілених випадкових величин $z_1$, $z_2$, $z_n$. Тобто $M[z_i]=0$; $\sigma_{zi}^2=1$; $i=1,2,...,n$.

Тоді сума квадратів $\sum_{i=1}^{n} z_i^2$ утворюють нову випадкову величину

$$\chi_n^2 = z_1^2 + z_2^2 + \ldots + z_n^2, \tag{13}$$

яка називається величиною $\boldsymbol{x_i}$ – квадрат з **n** степенями вільності та позначається символом $X_n^2$. Число степеней вільності дорівнює числу незалежних складових у сумі (13). Якщо на складові накладено ***l*** зв'язків, то число степеней вільності буде дорівнювати ***n-l***.

Розподілення $\chi_i$ – квадрат повністю визначається числом степенем вільності та не залежить від інших параметрів. Щільність розподілення для різних ***n*** показана на рис. 2. При ***n=1, n=2*** вона монотонна, а при ***n>2*** – унімодальна та не симетрична. Розподілення є асимптотично нормальним, тобто при $n\to\infty$ $\chi^2$ - розподілення наближається до нормального.

Математичне сподівання та дисперсія виражаються через число степеней вільності [3]:

$$M[\chi^2]=n \tag{14}$$

$$D[\chi^2]=2n \tag{15}$$

Таблиця функції розподілення

$$F(\chi^2)=P(\chi_n^2\le\chi^2)=\int_0^{x^2}\varphi_n(\chi^2)d\chi^2 \tag{16}$$

3. Розподілення Стьюдента.

Для побулови довірчих інтервалів та для перевірки статистичних гіпотез широко використовуються ***t-*** розподілення чи статистика Стьюдента:

$$t=(\bar{y}-\mu_y)/S_{\bar{y}} \tag{17}$$

Тут $\bar{y}=\sum_{i=1}^{n}Y_i/n$ - оцінка математичного сподівання випадкової величини ***Y***, що підкоряється нормальному закону розподілення: $Y\approx N(\mu_y,\sigma_y)$; $S_{\bar{y}}$ - оцінка СКВ $\sigma_{\bar{y}}$,

$$S_{\bar{y}}=\sqrt{S_y^2/n}=\left[\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2\right]^{1/2} \tag{18}$$

Статистика $S_y^2$ (6) після перетворень матиме вид:

$$\frac{S_y^2(n-1)}{\sigma_y^2}=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_i-\bar{Y}}{\sigma_y}\right)^2=\chi_{n-1}^2 \tag{19}$$

привелась до $\chi^2$-розподілення з ***n-1*** степенями вільності. Враховуючи (19) для (17) отримаємо тотожний вираз

$$t=z\Big/\sqrt{\frac{\chi^2 n-1}{n-1}} \tag{20}$$

Розподілення статистики Стьюдента визначимо критичним числом степеней вільності $f_t = n-1$, яке стало симетричним, унімодальним та асимтотично нормальним. При $f_t \geq 30$ воно практично співпадає з нормальним.

Таблиця додатку 1.3.[3] має два входи – число степеней вільності $f_t$ та так званий рівень значимості. На перетині значень $f_t$ та α знаходяться значення $t_{табл}$, які задовольняють умові

$$P = \int_{-t_{табл}}^{t_{табл}} \varphi_f(t)dt = P(|t| \leq t_{табл}) = 1-\alpha \tag{21}$$

4. ***F***-розподілення.

Це розподілення, як і попередні використовується при аналізі вибіркових даних, які отримані з нормальної генеральної сукупності $Y \approx N(\mu_y, \sigma_y)$ , в частковості для перевірки однорідності вибіркових дисперсій.

По визначенню ***F***-статистика

$$F_{f_1,f_2} = \frac{\chi^2_{f1}/f_1}{\chi^2_{f2}/f_2} \tag{22}$$

де $\chi^2_{f1}, \chi^2_{f2}$ - статистики $\chi^2$ з числом степеней вільності $f_1$, $f_2$ відповідно, причому величина в чисельнику (22) повинна бути більшою величини в знаменнику.

Статистику (22) за рахунок тотожніх перетворень легко привести до відношення оцінок дисперсій деякої випадкової величини ***Y***. Нехай на основі двох виборок об'ємом $\boldsymbol{n_1}$, $\boldsymbol{n_2}$ отримані дисперсії $\sigma_y^2$ - статистики $S_1^2, S_1^2$ з числом степеней вільності $f_1 = n_1 - 1, f_1 = n_2 - 1$. Тоді з допомогою співвідношення (18) запишем:

$$f_1 S_1^2/\sigma_y^2 = \chi^2_{f_1}; f_2 S_2^2/\sigma_y^2 = \chi^2_{f_2} \tag{23}$$

або

$$S_1^2/\sigma_y^2 = \chi^2_{f_1}/f_1; S_2^2/\sigma_y^2 = \chi^2_{f_2}/f_2 \tag{24}$$

З формул (22),(24) матимемо

$$F_{f_1,f_2} = S_1^2/S_2^2 \tag{25}$$

Передбачаєм, що $S_1^2 > S_2^2$. ***F***-розподілення визначаємо двома параметрами – числами степеней вільності більшої дисперсії чисельника $\boldsymbol{f_1}$ до меншої дисперсії знаменника $\boldsymbol{f_2}$ .

Числового прикладу наводити не будемо. Матеріал має прозорий алгоритм.

Мета у загальному плані з розподіленням досягнута.

5. Інтервальні оцінки.

Точкові оцінки, які ми розглянули раніше не мали інформації про відхилення оцінки від оцінюваного параметра, тобто про точність та надійність. Тому до точкових оцінок добавляється довірчий інтервал, який з заданою достатньо великою ймовірністю $P_{дов} = 1-\alpha$ накриває (включає в себе) істинне значення оцінюваного параметру. Розглянемо побудову довірчого інтервалу для генерального середнього $M[Y]$, оцінка якого проводиться на основі малої вибірки об'ємом n нашої електромеханічної дослідної установки.

Для цієї нашої дослідної установки дослідимо два випадки:

- Об'єм вибірки достатньо великий $(n \geq 30)$ і можна сприймати, що вибіркова дисперсія $S_y^2$ яка визначається по формулі (8) дорівнює генеральній дисперсії $\sigma_y^2$: $S_y^2 = \sigma_y^2$.
- Об'єм вибірки малий $(n \leq 30)$, де неможна приймати, що $S_y^2 = \sigma_y^2$.

В обох випадках оцінку середнього визначимо по формулі (1). Побудуємо довірчий інтервал для більш загального та більш точного другого випадку на основі ***t***-статистики (17) по довірчій ймовірності $P_{lдов} = 1 - \alpha$. Тут $\alpha$ - мала ймовірність, що носить назву рівня значимості, де $\alpha = 0{,}01 - 0{,}1$.

Спочатку по ймовірності $P_{lдов} = 1 - \alpha$ та відомому числу степеней вільності $f_t = n - 1$ на основі розподілення Стьюдента відшукуєм симетричний відносно нуля відрізок $2t_{табл}$, що задовольняє рівнянню.

$$P\left(-t_{табл} \leq t \leq t_{табл}\right) = P\left(|t| \leq t_{табл}\right) = P_{дов} \tag{26}$$

Значення $t_{табл}$ беремо з додатку 1.3. [3].

З допомогою нерівності $|t| \leq t_{табл}$ та виразу (17) знаходимо

$$\left|\frac{\overline{Y} - \mu_y}{S_{\overline{Y}}}\right| \leq t_{табл} \tag{27}$$

Де $S_{\bar{y}} = \sqrt{S_y^2 / n} = S_y / \sqrt{n}$ -оцінка СКВ $\sigma_y$.Використовуючи (27) та рівняння (26) отримаєм :

$$\overline{Y} - t_{табл} S_y / \sqrt{n} \leq \mu_y \leq \overline{Y} + t_{табл} S_y / \sqrt{n} \tag{28}$$

Заключаєм, що інтервал $\overline{Y} \pm t_{табл} S_y / \sqrt{n}$ з ймовірністю $P_{дов}$ накриває оцінюваний параметр $\mu$. довжина довірчого інтервалу дорівнюватиме

$$P_{дов} = 2t_{табл} S_y / \sqrt{n} \tag{29}$$

Зростає зі збільшенням довірчої ймовірності $P_{дов}$ та зменшується зі збільшенням об'єму вибірки, так як $S_{\bar{y}} = S_y / \sqrt{n}$ зменшується в $\sqrt{n}$ раз.

Таким чином для підвищення надійності точкової оцінки при незмінній похибці необхідно збільшити об'єм вибірки n.

### *Висновок*

Запропоновані та розроблені підходи обґрунтування, визначення степеней вільності дослідної установки для фінішної обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки. Визначення степеней вільності є визначальною складовою частиною теоретичного базису усієї розробки. Питання степеней вільності підтверджено у напрямках п'яти позицій: використання нормального розподілення, $\chi^2 -$ розподілення, розподілення Стьюдента, *F*-розподілення та інтервальних оцінок. Підтверджені постановки задач на дослідження на великих (n>30) та малих (n<30) вибірок.

### *Список літератури*

1. *Математическая статистика: Учебник. / В.М.Иванова, В.Н.Калинина, Л.А.Нешумова.- М.:Высшая школа, 1981,- 368с.*

2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при порске оптимальних условий./ Ю.П.Адлер,Е.В. Маркова, Ю.В.Грановский.-М.:Наука, 1976,-279с.

3. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента./А.Е.Егоров, Г.Н.Азаров, А.В.Коваль.-Харьков.: Государственный университет, объединение «Вища школа», 1986,-239с.

4. Ли Т.Г. Управление процесами с помощью вычислительных машин. Моделирование и оптимизация./Т.Г. Ли, Г.Э.Адамс, У.М.Гейнз. Пер. с англ.-М.:Советское радио, 1972,-312с.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей./ Е.С. Вентцель.-М.: Наука, 1969,-576с.

## References

1. Matematicheskaya statistika: Uchebnik . / V.M.Ivanova , V.N.Kalinina , L.A.Neshumova . - M. : Vysshaya shkola , 1981, - 368s .

2. Adler YU.P. Planirovaniye eksperimenta pri porske optimal'nykh usloviy . / YU.P.Adler , Ye.V. Markova , YU.V.Granovskiy. -M . : Nauka , 1976, - 279s .

3. Yegorov A.Ye. Issledovaniye ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta . / A.Ye.Yegorov , G.N.Azarov , A.V.Koval'. - Khar'kov. : Gosudarstvennyy universitet , ob"yedineniye «Vysshaya shkola » , 1986, - 239s .

4. Li T.G. Upravleniye protsessami s pomoshch'yu vychislitel'nykh mashin. Modelirovaniye i optimizatsiya . / T.G. . Li , G.E.Adams , U.M.Geynz . Per. s angl.-M. : Sovetskoye radio , 1972, - 312s .

5. Venttsel' Ye.S. Teoriya veroyatnostey. / Ye.S. Venttsel'. -M . : Nauka , 1969, - 576s .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

***Аннотация:*** *в работе предложены и разработаны подходы обоснование, определены степени свободы электромеханической установки для финишной вибрационной обработки при ремонте деталей сельскохозяйственной техники. Определение степеней является определяющей составной частью теоретического базиса всей разработки. Вопрос степеней свободы связало в единое целое материалы дисперсионного, корреляционного, регрессионного анализа и планирования эксперимента.*

*Вопрос степеней свободы подтверждено в направлениях пяти позиций: использование нормального распределения, - распределение, распределение Стьюдента, F - распределения и интервальных оценок. Подтвержденные постановки задач исследования на больших ( $n > 30$) и малых ( $n < 30$ ) выборках .*

***Ключевые слова:*** *виброабразивная обработка, электромеханическая установка, ковариация; дисперсионный, регрессионный корреляционный анализы, планирования эксперимента, многофакторный анализ, степени свободы.*

## DEFINITION DEGREES OF FREEDOM ELECTROMECHANICAL INSTALLATIONS FOR VIBROABRASIVE PROCESSING PARTS IN THE REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY

***Summary:*** *proposed and developed approaches rationale defined degree of freedom electromechanical installations for finishing vibratory finishing the repair parts for agricultural machinery. Definition of powers is a crucial component of the theoretical basis of all development. Question degrees of freedom linked into a coherent whole material dispersion , correlation , regression analysis and experimental design .*

*Question degrees of freedom in the areas confirmed five positions : the use of a normal distribution - distribution , Student's t distribution , F- distribution and interval estimates. Confirmed setting tasks for research on large ($n> 30$) and small ($n < 30$) samples.*

***Keywords:*** *vibroabrasive treatment, electromechanics setting, covariance, dispersible, regressive cross-correlation analyses, planning of experiment, multivariable analysis, degrees of freedom.*