

©Купріянов О.В.

## **РОЗРАХУНОК РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА РАМИ ЗАДНЬОЇ ТРАКТОРА Т-151К З ГАРАНТОВАНИМ ЗНАЧЕННЯМ ПРИДАТНОСТІ ЗАМИКАЛЬНОЇ ЛАНКИ**

### **1. Постановка проблеми**

У машинобудуванні традиційно використовується допусковий контроль розмірів ланок розмірного ланцюга. Мається на увазі, що розміри замикальної і складової ланок розмірного ланцюга, що перебувають у певних межах, званих допуском, вважаються придатними, а за цими межами – негідними. Існуючі методи розрахунку розмірних ланцюгів - максимум-мінімум і ймовірнісний – побудовані на принципі допускового контролю. При методі максимум-мінімум допуск замикальної ланки підсумовує допуски складових ланок, при ймовірнісному він трохи більше, з урахуванням того, що випадки одночасного потрапляння в комплект деталей з усіма однобічними граничними значеннями розмірів малоімовірні, і ними можна зневажити.

При допусковому контролі всі складальні одиниці, розмір замикальної ланки яких перебуває в межах допуску, вважаються однаково придатними і їх якість не розрізняється. Це погано з двох причин. По-перше, це не відповідає умовам експлуатації, при яких існує деяке найкраще значення розміру замикальної ланки, що будемо називати оптимальним розміром. По-друге, це не стимулює виробника виготовляти з'єднання з можливо більш вузьким діапазоном значень замикальної ланки. В існуючій системі єдиний шлях поліпшення якості - це зменшити допуск замикальної ланки розмірного ланцюга, що автоматично веде до зменшення допусків на складові ланки. Такий кардинальний крок не завжди виправданий, оскільки систематичні й випадкові похибки виготовлення не дозволяють безмежно зменшувати допуски.

Теоретичні засади нового підходу, що дозволяє поділяти деталі і складальні одиниці на сорти за критерієм наближення до оптимального розміру, найбільш повно викладені в [1].

## **2. Мета досліджень**

Метою дослідження було перевірити на виробничому прикладі підход і формули, що дозволяють аналітично будувати функції спаду придатності розмірів.

## **3. Основний зміст і результати роботи**

### **3.1. Функція спаду придатності розмірів**

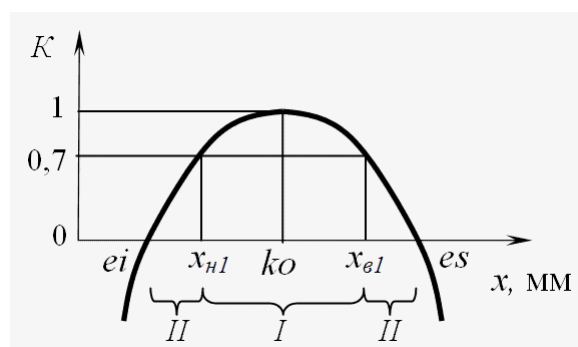
Пропонується система контролю, у якій розміри мають не дискретне: 0 або 1, а безперервне значення показника придатності, що збільшується в міру наближення до оптимального розміру. При цьому, залежно від діапазону значень розміру замикальної ланки, зібрані з'єднання й вироби в цілому можуть бути розділені на сорти, що мають різне значення якості й різне значення продажної ціни. Оплата праці робітників може бути також диференційована, залежно від частки виробів кожного сорту. Це дозволить стимулювати виробника безперервно поліпшувати якість, а також розширити збут продукції за рахунок диференційованого підходу до покупців з різними фінансовими можливостями.

З погляду експлуатаційних характеристик виробу від функції зміни придатності з відхиленням дійсного розміру ланки від оптимального значення може бути різним. Для кількісної оцінки ціни відхилення дійсного розміру від оптимального пропонується використати функцію спаду придатності розмірів  $K(x)$ , вимоги до якої:

1. Дорівнює 1 у значенні оптимального розміру.
2. Дорівнює 0 у двох гранично припустимих значеннях розміру, меншого  $e_i$  і більшого  $e_s$  відповідно (це можуть бути границі стандартного поля допуску).

3. У межах припустимих значень змінюється в діапазоні  $[0, 1]$ .
4. Негативна за межами припустимих значень.

Використання параболи як функція спаду придатності дає криву (рис. 1), по зовнішньому вигляду схожу на нормовану криву вартості одержання деталей з певним діапазоном розмірів. По горизонтальній осі відкладені розміри  $x$  у мм, по вертикальній осі безрозмірні значення придатності розмірів  $K(x)$ . Через математичну простоту, парабола як функція придатності знайде широке застосування. Парабола симетрична, тому недоліком використання її як функція придатності є неможливість зміщати значення оптимального розміру щодо центра припустимих розмірів, тобто завжди  $ko = (ei + es) / 2$ .



**Рис. 1** – Функція спаду придатності – парабола і поділення деталі на два сорти

Значення придатності дійсного розміру, через симетричність рішення для лівої і правої половин, можна записати одним рівнянням:

$$K(x) = 1 - \left( \frac{2x - es - ei}{es - ei} \right)^2. \quad (1)$$

Значення двох розмірів, що відповідають заданій придатності  $K$ , визначається за формулою:

$$x(K) = ko \pm \frac{es - ei}{2} \sqrt{1 - K}. \quad (2)$$

Задаючись діапазоном значень придатності, можна визначати відповідний йому діапазон дійсних розмірів. Таким чином, можна ділити деталі на сорти.

Збираючи виріб з деталей певного сорту, можна говорити, що зібраний виріб відповідає певному сорту.

Як приклад на рис. 1 показаний поділ розмірів деталі на два сорти. До сорту I зі значенням придатності  $K > 0,7$  відносяться деталі з розмірами від  $x_{н1}$  до  $x_{в1}$ . До сорту II зі значенням гідності  $0 < K < 0,7$  відносяться деталі з іншими розмірами в межах допуску  $[ei, es]$ . При збільшенні обраного граничного значення гідності  $K$  діапазон розмірів сорту I  $[x_{н1}, x_{в1}]$  звужується, відповідно збільшуючи діапазони розмірів деталей сорту II. Розміри можна ділити й на більшу кількість сортів, але занадто велика їхня кількість недоцільна. Для практичних випадків використовуються 2-3 сорти.

### 3.2. Описання складальної одиниці й існуючого процесу складання

Рама трактора Т-151К являє собою комплексну конструкцію. Задня її частина складається з таких основних деталей (рис. 2): 1 – труба, 2 – два півкільця, 3 – збірна опора шарніра задня, 4 – кільце проставне, 5 і 7 – втулки горизонтального шарніра, 6 – корпус шарніра. Втулки горизонтального шарніра встановлені в корпус шарніра по посадці з натягом, інші сполучення - із зазором. Під час їзди трактора корпус шарніра з кільцями робить обертальний й частково поступальний рух щодо труби, опора шарніра задня - обертальний.

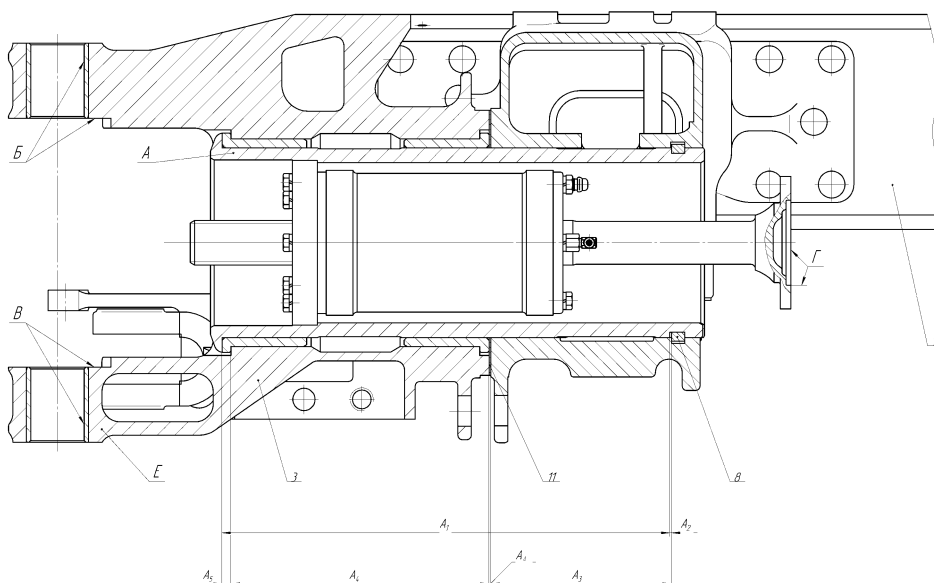
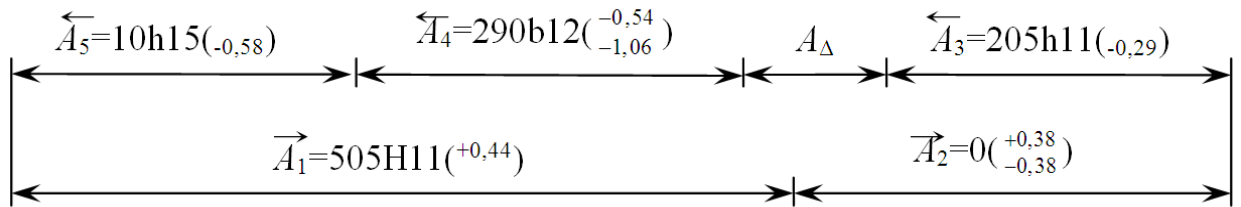


Рис. 2 – Розмірний ланцюг та рама трактора

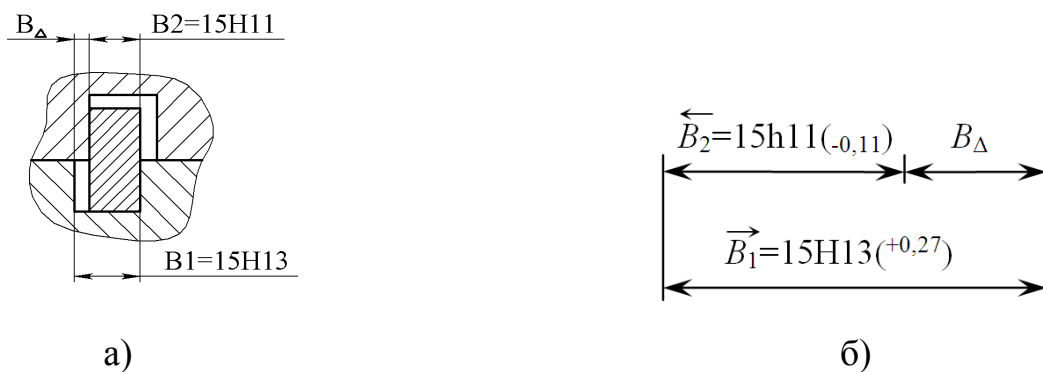


**Рис.** Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует. – Розмірний ланцюг  $A$  рами трактора

Розмірний ланцюг  $A$  рами трактора в осьовому спрямуванні зображений разом з рамою на рис. 2 і окремо на рис 3. Ланки  $A_1$  і  $A_2$  збільшують замикальну ланку,  $A_3$ ,  $A_4$  і  $A_5$  – зменшують.

Замикальною ланкою  $A_\Delta$  є проміжок між опорою шарніра задньою й корпусом шарніра. Цей проміжок дає осьовий люфт між передньою й задньою частинами рами.

Півкільця, опора шарніра задня й труба утворюють розмірний ланцюг  $B$  (рис. 4а, 4б) з підсумковим проміжком  $B_\Delta$ . Допуск проміжку, розрахований способом максимум-мінімум, дорівнює  $B_\Delta = 0^{+0,38}$ . Цей проміжок може створюватися при переміщенні опори шарніра як в одну, так і в іншу сторону. Тому він входить у загальний розмірний ланцюг  $A$  подвоєною величиною,  $A_2 = 2B_\Delta = 0_{\left(\begin{smallmatrix} +0,38 \\ -0,38 \end{smallmatrix}\right)}$ .



**Рис. 4** – Розмірний ланцюг  $B$  для півкільця

### 3.3. Традиційний розрахунок розмірного ланцюга

Рішення зворотного (перевірочного) завдання способом максимум-мінімум для розмірного ланцюга  $A$  зведемо в таблицю 1. Відхилення для ланок,

що збільшують, запишемо зі своїми знаками, для тих що зменшують – у протилежні графи із протилежними знаками (колонки 4 і 5). Граничні відхилення замикальної ланки визначаються підсумовуванням граничних відхилень складових ланок зі своїми знаками. При традиційному розрахунку методом максимум-мінімум замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{matrix} \leftarrow 2,75 \\ \rightarrow 0,16 \end{matrix}$ .

**Таблиця 1** – Розрахунок розмірного ланцюга  $A$  способом максимум-мінімум

№ ланки	Характеристика ланки	Номинальний розмір $A$ , мм	Граничні відхилення, мм		Координата середини поля допуску $\Delta_o$ , мм	Допуск $T$ , мм
			верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм		
1	2	3	4	5	6	7
1	Що збільшує	505	0,44	0	0,22	0,44
2	Що збільшує	0	0,38	-0,38	0	0,76
3	Що зменшує	205	0,29	0	0,145	0,29
4	Що зменшує	290	1,06	0,54	0,8	0,52
5	Що зменшує	10	0,58	0	0,29	0,58
$\Delta$	Замикальне	0	2,75	0,16	1,455	2,59

Рішення зворотного (перевірочного) завдання ймовірнісним способом для розмірного ланцюга  $A$  зведемо в таблицю 2. При традиційному розрахунку ймовірнісним способом замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{matrix} \leftarrow 2,06 \\ \rightarrow 0,85 \end{matrix}$ .

Оскільки при розрахунку ймовірнісним способом не змінювали допуски складових ланок, то допуск замикальної ланки виявився наполовину меншим, ніж отриманий способом максимум-мінімум. При цьому для деякої кількості (0,27%) вузлів замикальна ланка буде мати розміри за межами цього допуску.

### 3.4. Розрахунок розмірного ланцюга з гарантованим значенням придатності

Виконаємо розрахунок розмірного ланцюга з гарантованим значенням придатності складових і замикальної ланки. Розрахунок проведемо способом максимум-мінімум і ймовірнісним.

**Таблиця 2** – Розрахунок розмірного ланцюга А імовірнісним способом

№ ланки	Характеристика ланки	Номинальний розмір $A$ , мм	Граничні відхилення, мм		Координата середини поля допуску $\Delta_{про}$ , мм	Допуск $T$ , мм	Квадрат допуску $T^2$ , мм <sup>2</sup>
			верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Що збільшує	505	0,44	0	0,22	0,44	0,1936
2	Що збільшує	0	0,38	-0,38	0	0,76	0,5776
3	Що зменшує	205	0,29	0	0,145	0,29	0,0841
4	Що зменшує	290	1,06	0,54	0,8	0,52	0,2704
5	Що зменшує	10	0,58	0	0,29	0,58	0,3364
$\Delta$	Замикаюче	0	2,06	0,85	1,455	1,209	1,4621

Прийmemo функцією придатності параболу (1), значення якої дорівнюють нулю в точках граничних відхилень ланок. Парабола симетрична, тому значення оптимального розміру симетрично щодо центра припустимих розмірів, і збігається із серединою поля допуску (колонка 5 таблиць 3 – 6).

Поділимо деталі на три сорти виходячи із близькості до оптимального розміру. Для деталей I сорту задамося значенням придатності  $K > 0,8$ ; другого сорту  $K > 0,5$ . Деталі, що не потрапили в I і II сорт, відповідають III сорту.

Розрахунок розмірного ланцюга  $A$  с гарантованим значенням придатності  $K = 0,8$  способом максимум-мінімум зведемо в таблицю 3. Отримані за формулою (2) граничні значення розмірів для деталей I сорту наведені в колонках 6 і 7. Оскільки значення розмірів виходять некруглими, що незручно для проведення вимірів в умовах виробництва, то вони округлялися в найближчу сторону до значення, кратного 0,01 мм. У колонці 8 наведені значення допуску для деталей I сорту.

Граничні відхилення замикальної ланки при розрахунку способом максимум-мінімум визначаються підсумовуванням граничних відхилень

складових ланок зі своїми знаками. При використанні деталей I сорту й розрахунку методом максимум-мінімум замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{matrix} 2,03 \\ 0,88 \end{matrix}$ .

**Таблиця 3** – Розрахунок розмірного ланцюга A з гарантованим значенням придатності  $K = 0,8$  способом максимум-мінімум

№ ланки	Номинальний розмір A, мм	Граничні відхилення ланок, мм		Значення оптимального розміру $k_0$ , мм	Граничні відхилення при $K=0,8$ ; I сорт, мм		Допуск $T^I$ , I сорт, мм
		верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм		верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	505	0,44	0	0,22	0,32	0,12	0,20
2	0	0,38	-0,38	0	0,17	-0,17	0,34
3	205	0,29	0	0,145	0,21	0,08	0,13
4	290	1,06	0,54	0,8	0,92	0,68	0,23
5	10	0,58	0	0,29	0,42	0,16	0,26
$\Delta$	0	2,75	0,16	1,455	2,03	0,88	1,16

Розрахунок розмірного ланцюга A з гарантованим значенням придатності  $K = 0,5$  способом максимум-мінімум зведемо в таблицю 4. При використанні деталей II сорту й розрахунку методом максимум-мінімум замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{matrix} 2,37 \\ 0,54 \end{matrix}$ .

**Таблиця 4** – Розрахунок розмірного ланцюга A з гарантованим значенням придатності  $K = 0,5$  способом максимум-мінімум

№ ланки	Номинальний розмір A, мм	Граничні відхилення ланок, мм		Значення оптимального розміру $k_0$ , мм	Граничні відхилення при $K=0,5$ ; II сорт, мм		Допуск $T^{II}$ , II сорт, мм
		верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм		верхнє, $e_s^{II}$ , мм	нижнє, $e_i^{II}$ , мм	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	505	0,44	0	0,22	0,38	0,06	0,31
2	0	0,38	-0,38	0	0,27	-0,27	0,54
3	205	0,29	0	0,145	0,25	0,04	0,21
4	290	1,06	0,54	0,8	0,98	0,62	0,37
5	10	0,58	0	0,29	0,50	0,08	0,41
$\Delta$	0	2,75	0,16	1,455	2,37	0,54	1,83



Розрахунок зворотного (перевірочного) завдання ймовірнісним способом розмірного ланцюга  $A$  з гарантованим значенням придатності  $K = 0,8$  зведемо в таблицю 5. При ймовірнісному способі розрахунку з гарантованим значенням придатності  $K=0,8$  замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{pmatrix} 1,725 \\ 1,185 \end{pmatrix}$ .

**Таблиця 5** – Розрахунок розмірного ланцюга  $A$  з гарантованим значенням придатності  $K = 0,8$  імовірнісним способом

№ ланки	Номінальний розмір $A$ , мм	Граничні відхилення ланок, мм		Значення оптимального розміру $k_0$ , мм	Граничні відхилення при $K=0,8$ ; I сорт, мм		Допуск $T^I$ , I сорт, мм	Квадрат допуску, $\text{мм}^2$
		верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм		верхнє, $e_s$ , мм	нижнє, $e_i$ , мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	505	0,44	0	0,22	0,32	0,12	0,20	0,03872
2	0	0,38	-0,38	0	0,17	-0,17	0,34	0,11552
3	205	0,29	0	0,145	0,21	0,08	0,13	0,01682
4	290	1,06	0,54	0,8	0,92	0,68	0,23	0,05408
5	10	0,58	0	0,29	0,42	0,16	0,26	0,06728
$\Delta$	0	2,75	0,16	1,455	1,725	1,185	0,54	0,29242

Розрахунок зворотного (перевірочного) завдання ймовірнісним способом розмірного ланцюга  $A$  з гарантованим значенням придатності  $K = 0,5$  зведемо в таблицю 6. При ймовірнісному способі розрахунку з гарантованим значенням придатності  $K = 0,5$  замикальна ланка  $A_{\Delta} = 0 \begin{pmatrix} 1,883 \\ 1,027 \end{pmatrix}$ .

Для наочності й зручності порівняння, результати розрахунку розмірного ланцюга з гарантованим значенням придатності способом максимум-мінімум зведені в таблицю 7, імовірнісним способом – у таблицю 8.

Допуск замикального розміру при способі максимум-мінімум для деталей I сорту  $T_{\Delta}^I = 1,15$  мм, II сорту  $T_{\Delta}^{II} = 1,83$  мм, III сорту  $T_{\Delta}^{III} = 2,59$  мм. III сорт відповідає граничним розмірам при традиційному розрахунку.

Допуск замикального розміру при ймовірнісному способі розрахунку для деталей I сорту  $T_{\Delta}^I = 0,54$  мм, II сорту  $T_{\Delta}^{II} = 0,86$  мм, III сорту  $T_{\Delta}^{III} = 1,21$  мм. III сорт відповідає граничним розмірам при традиційному розрахунку.

**Таблиця 6** – Розрахунок розмірного ланцюга А з гарантованим значенням придатності  $K = 0,5$  ймовірнісним способом

№ ланки	Номінальний розмір $A$ , мм	Граничні відхилення ланок, мм		Значення оптимального розміру $k_0$ , мм	Граничні відхилення при $K=0,5$ ; II сорт, мм		Допуск $T_{II}^{II}$ , II сорт, мм	Квадрат допуску, мм <sup>2</sup>
		верхнє, $es$ , мм	нижнє, $ei$ , мм		верхнє, $es^{II}$ , мм	нижнє, $ei^{II}$ , мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	505	0,44	0	0,22	0,38	0,06	0,31	0,0968
2	0	0,38	-0,38	0	0,27	-0,27	0,54	0,2888
3	205	0,29	0	0,145	0,25	0,04	0,21	0,04205
4	290	1,06	0,54	0,8	0,98	0,62	0,37	0,1352
5	10	0,58	0	0,29	0,50	0,08	0,41	0,1682
$\Delta$	0	2,75	0,16	1,455	1,883	1,027	0,86	0,73105

**Таблиця 7** – Результати розрахунку розмірного ланцюга А з гарантованим значенням придатності способом максимум-мінімум

№ ланки	Номінальний розмір $A$ , мм	Граничні відхилення при $K=0,8$ ; I сорт, мм		Граничні відхилення при $K=0,5$ ; II сорт, мм		Граничні відхилення ланок, III сорт, мм	
		верхнє, $es^I$ , мм	нижнє, $ei^I$ , мм	верхнє, $es^{II}$ , мм	нижнє, $ei^{II}$ , мм	верхнє, $es$ , мм	нижнє, $ei$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	505	0,32	0,12	0,38	0,06	0,44	0
2	0	0,17	-0,17	0,27	-0,27	0,38	-0,38
3	205	0,21	0,08	0,25	0,04	0,29	0
4	290	0,92	0,68	0,98	0,62	1,06	0,54
5	10	0,42	0,16	0,50	0,08	0,58	0
$\Delta$	0	2,03	0,88	2,37	0,54	2,75	0,16

При складанні рами трактора, при величині проміжку понад 2 мм встановлюється кільце проставне товщиною 2 мм, для чого здійснюється часткове розбирання. Таким чином, у заводських умовах використовується складання з компенсатором, що є нетехнологічним.

Складання виробу з деталей I сорту дозволяє підвищити точність замикальної ланки настільки, що проміжку понад 2 мм у розглянутому розмірному ланцюзі бути не повинно. Відповідно підвищується точність складання й не застосовується деталь-компенсатор.

**Таблиця 8** – Результати розрахунку розмірного ланцюга А з гарантованим значенням придатності ймовірнісним способом

№ ланки	Номінальний розмір А, мм	Граничні відхилення при $K=0,8$ ; I сорт, мм		Граничні відхилення при $K=0,5$ ; II сорт, мм		Граничні відхилення ланок, III сорт, мм	
		верхнє, $es^I$ , мм	нижнє, $ei^I$ , мм	верхнє, $es^{II}$ , мм	нижнє, $ei^{II}$ , мм	верхнє, $es$ , мм	нижнє, $ei$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	505	0,32	0,12	0,38	0,06	0,44	0
2	0	0,17	-0,17	0,27	-0,27	0,38	-0,38
3	205	0,21	0,08	0,25	0,04	0,29	0
4	290	0,92	0,68	0,98	0,62	1,06	0,54
5	10	0,42	0,16	0,50	0,08	0,58	0
$\Delta$	0	1,725	1,185	1,883	1,027	2,06	0,85

### Висновки

1. Рама трактора Т-151К становить комплексну конструкцію, в якій передбачені рухи оберту задньої і передньої половин навколо вісі. Внаслідок похибок ланок, що входять у розмірний ланцюг, утворюється зазор між опорою шарніра задньою і корпусом шарніра. При традиційному розрахунку методом максимум-мінімум його величина дорівнює  $A_{\Delta} = 0 \begin{pmatrix} +2,75 \\ +0,16 \end{pmatrix}$ .

2. При значній величині проміжку у процесі експлуатації корпус шарніра разом із втулками схильний до вісьових переміщень, що спричиняють удари торців деталей. Тому при величині проміжку більш 2 мм встановлюється додаткове кільце, для чого виконується часткове розбирання вузла.

3. Застосування функції спаду придатності у виді параболи дозволило поділити деталі на сорти. При цьому для першого сорту величина проміжку

дорівнює  $A_{\Delta} = 0 \begin{pmatrix} +2,03 \\ +0,88 \end{pmatrix}$ ), що практично унеможлиблює великі величини проміжків.

4. Розрахунки розмірної ланки ймовірностним способом показали, що при розрахунку з гарантованим значенням придатності допуск проміжку зменшується з 1,21 мм до 0,54 мм для першого сорту.

5. Розрахунок розмірного ланцюга рами трактора Т-150К на практиці довів можливість проводити розрахунки розмірних ланцюгів з гарантованим значенням придатності як способом максимум-мінімум, так і ймовірностним.

### **Список використаних джерел:**

1. Куприянов А. В. Функция убыли годности размеров / А. В. Куприянов, Н. Ю. Ламнауэр // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнар. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 41. – С. 176–182.

*Купріянов О.В.* «Розрахунок розмірного ланцюга рами задньої трактора Т-151К з гарантованим значенням гідності замикаючої ланки».

У роботі досліджений новий для машинобудування підхід підвищення точності замикаючої ланки розмірного ланцюга, заснований на поділі деталей на сорти за критерієм близькості розмірів до оптимального. Підхід перевірений при розрахунку розмірного ланцюга рами задньої трактора Т-151К способами максимум-мінімум і імовірнісним, наведені результати розрахунку в порівнянні до традиційної методики.

**Ключові слова:** технологія, якість, контроль, розмірний ланцюг, сортування деталей на сорти, функція спаду придатності розмірів.

*Куприянов А.В.* «Расчет размерной цепи рамы задней трактора Т-151К с гарантированным значением годности замыкающего звена».

В работе исследован новый для машиностроения подход повышения точности замыкающего звена размерной цепи, основанный на делении деталей

на сорта по критерию близости размеров к оптимальному. Подход проверен при расчете размерной цепи рамы задней трактора Т-151К способами максимум-минимум и вероятностным, приведены результаты расчета в сравнении с традиционной методикой.

**Ключевые слова:** технология, качество, контроль, размерная цепь, сортировка деталей на сорта, функция убыли годности размеров.

**Kupriyanov A.V.** «Calculation of size chain of backside cradle of the tractor T-151K with the assured value of conformance of locking link».

In work explored new for mechanical engineering approach of increase of precision of size chain locking link, based on the dividing of details on sorts on the criteria of closeness of sizes to optimum one. Approach is use-proven at the calculation of size chain of backside cradle of the tractor T-151K using maximum-minimum and probabilistic methods, results of calculation in comparison to the traditional method is shown.

**Key words:** technology, quality, control, dimension chain, grading parts into sorts, function of usability of dimensions.

Стаття надійшла до редакції 19 квітня 2012 р.