

УДК 621.941

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-23-03

Гальчук Т.Н.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ТОЧНОСТІ БАЗУВАННЯ БАГАТОСТУПІНЧАТИХ ВАЛІВ

*Проведено аналіз конструкцій верстатних пристроїв для встановлення валів на жорстких опорних призмах, в універсальних машинних лецатах та у збірно-розбірному пристрої. Встановлено, що коефіцієнт часової гнучкості, який характеризується часом переналагодження пристрою, величиною партії запуску деталей та часом обробки деталі має найвищі показники часової гнучкості для компонування збірно-розбірного пристрою. Встановлено, що доцільно використовувати такий пристрій для партії запуску заготовок більше 3 штук, якщо основний час обробки 1 хвилина. Проведені аналітичні дослідження точності базування багатоступінчатих валів у призмах для двох варіантів опорних шийок: базові поверхні мають однаковий квалітет точності, базові поверхні мають різні квалітети точності. Дослідження показали, що величина похибки базування для опорних шийок по першому варіанту збільшується зі збільшенням діаметру базових поверхонь заготовок та зменшенням кута призми  $\alpha$ . По-другому варіанту - величина похибки базування збільшується в разі збільшення точності обробки шийки та зменшенні величини кута призми  $\alpha$ . Отримані результати вказують на доцільність використання конструкції базуючої призми з кутом  $\alpha=120^\circ$  для встановлення валів по опорних шийках  $\varnothing 50\dots 80$  мм.*

**Ключові слова:** похибка базування, призма, вал, обробка, часова гнучкість, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасних технологій обробки валів обумовлює необхідність подальшого вдосконалення конструкцій верстатних пристроїв з метою скорочення витрат часу, пов'язаних з їх переналагодженням під час переходу до обробки деталей іншого типорозміру. Використовувані для виготовлення валів конструкції верстатних пристроїв повинні враховувати конструктивно-технологічні характеристики їх функціональних елементів, а також умови виробництва [1]. Конструкції функціональних елементів пристроїв для універсальних верстатів повинні мати високий ступінь гнучкості та рівень уніфікації, невеликий період часу для переналагодження та, основне, забезпечувати задану точність обробки деталей [2]. Тому робота спрямована на вирішення проблеми вибору оптимального варіанту компонування пристрою для встановлення валів на фрезерних і свердлильних верстатах за критеріями: похибка установки валу, часова гнучкість пристрою, матеріалоемність та вартість, що дають можливість оцінити функціональні властивості пристрою.

**Основне завдання та одержані результати роботи.** Мета роботи – оптимізація конструкції технологічного оснащення на основі проведення аналітичних досліджень точності базування багатоступінчатих валів у призмах.

На основі проведеного аналізу верстатних пристроїв встановлено, що з технічної точки зору базування ступінчастого вала найбільш доцільне за зовнішніми циліндричними поверхнями в разі встановлення в універсальному, механізованому або автоматизованому верстатному пристрої. Така схема базування є найбільш поширеною для валів під час їх обробки на свердлильних і фрезерних верстатах. Для реалізації такої схеми базування використовують жорсткі опорні призма. Аналіз технічних характеристик комплексу призм показав, що відстань між віссю встановлюваної заготовки і основою призми для різних типорозмірів відрізняється. Крім того, якщо у призму одного типорозміру встановити заготовки з різними базовими діаметрами то відстань між їх осями буде  $\Delta$  [2]. Це означає, що в разі встановлення на одній базовій плиті 2-х призм для базування ступінчастого вала, спостерігається непаралельність осі валу відносно площини базової плити. Тому з метою забезпечення співвісності шийок ступінчастого вала під час базування у призмах використовують комплекти підкладок. Сумарна висота підкладок, встановлених під одну з призм, компенсує необхідну величину  $\Delta$ . Комплект прокладок складається з 80 шт., розміри яких від 1,00 до 4,95 мм з кроком 0,05 мм. До комплексу підкладок входить 7 типорозмірів: 5 мм, 7,5 мм, 10 мм, 12,5 мм, 15 мм, 17,5 мм та 20 мм [3].

При встановленні ступінчастого вала у пристрій на жорсткі опорні призми його базують за зовнішніми циліндричними поверхнями і торцю. Якщо обробляються деталі з іншими діаметрами базових поверхонь то необхідно замінити жорсткі опорні призми і підібрати відповідні набори прокладок та підкладок, що вимагає додаткових витрат підготовчо-заключного часу. Якщо заготовку вала встановлюють в універсальних машинних лещатах то закріплення заготовки здійснюється рухомою губкою зі змінною наладкою за допомогою гвинта. Таким чином забезпечується необхідна жорсткість заготовки під час різання. Затискання і розтискання заготовки виконує робітник. Під час встановлення заготовки у збірно-розбірному пристрої регулювання напівпризм здійснюється гвинтом з лівою і правою різьбами, що дозволяє одночасно регулювати обидві напівпризми на необхідний базовий діаметр заготовки, таким чином забезпечуючи суміщення осей призми та заготовки. У разі переходу до обробки деталей іншого типорозміру необхідно виконати перекомпонування пристрою, яке здійснюється робітником. Перевагою даного пристрою у порівнянні з універсальними машинними лещатами є можливість обробки кількох поверхонь без переустановлення заготовки, а також використання механізованого приводу для закріплення оброблюваних заготовок.

Для розглянутих компонентів верстатних пристосувань проведено порівняльний аналіз за коефіцієнтом часової гнучкості, що визначається такими показниками: час переналагодження пристрою, величина партії запуску деталей та час обробки деталі.

Час переналагодження пристрою для установки деталей іншого типорозміру впливає на підготовчо-заключну складову норми часу, що пов'язана з переналагодженням установочних та затискних елементів та на допоміжну складову норми часу, що залежить від витрат часу на встановлення-зняття та затискання-розтискання деталей у пристрої. Величина партії запуску деталей, що підлягають обробці у заданому компонентуванні пристрою під час розрахунку змінюється у діапазоні 1–10 шт., а обробка однієї деталі здійснюється за 0,5–5 хв. Встановлено, що компонентування з елементів системи збірно-розбірному пристрої має найвищі показники часової гнучкості порівняно з іншими компонентуваннями пристрою. На рис. 1 наведено залежність коефіцієнта часової гнучкості від величини партії запуску деталей для компонентувань пристрою за умови, що час обробки заготовки становить 1 хвилину. Для компонентувань пристрою, призначеного для обробки заготовок з партією запуску 5 штук, залежність коефіцієнта часової гнучкості від часу обробки деталей має характер, показаний на рис. 2.

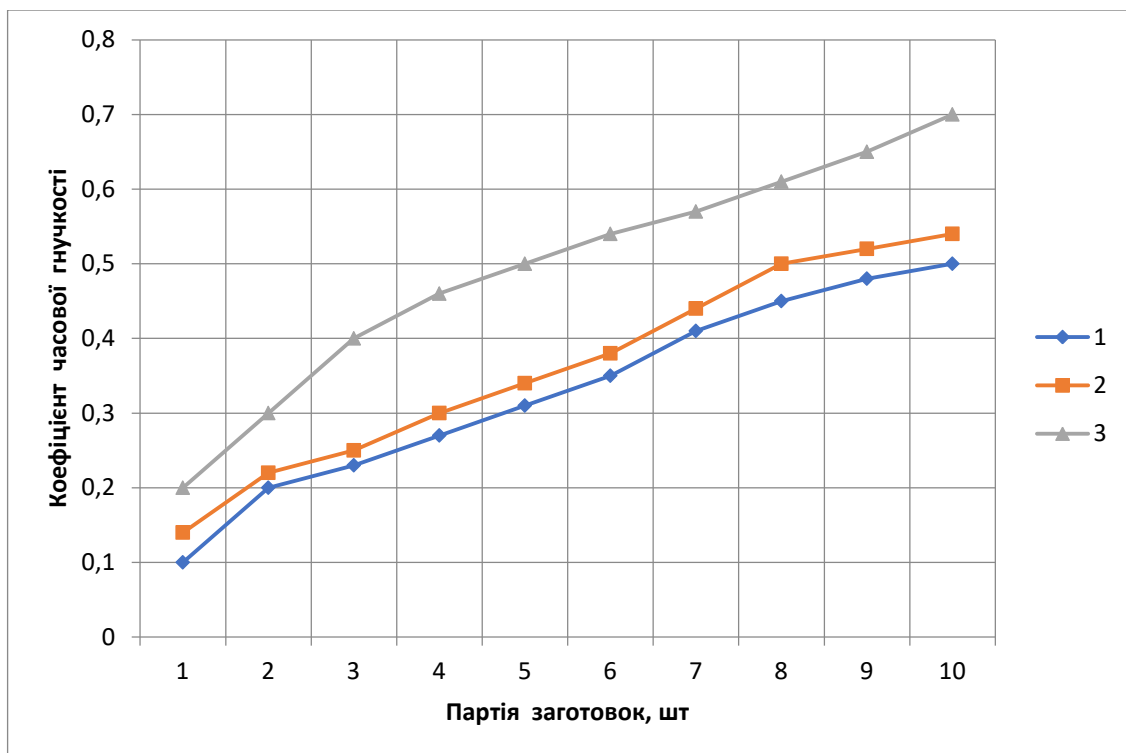


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта часової гнучкості від величини партії запуску деталей у компонентуваннях пристрою: 1 – з комплекту жорстких опорних призм; 2 – машинні лещата; 3 – з комплекту універсально збірно-розбірних пристосувань

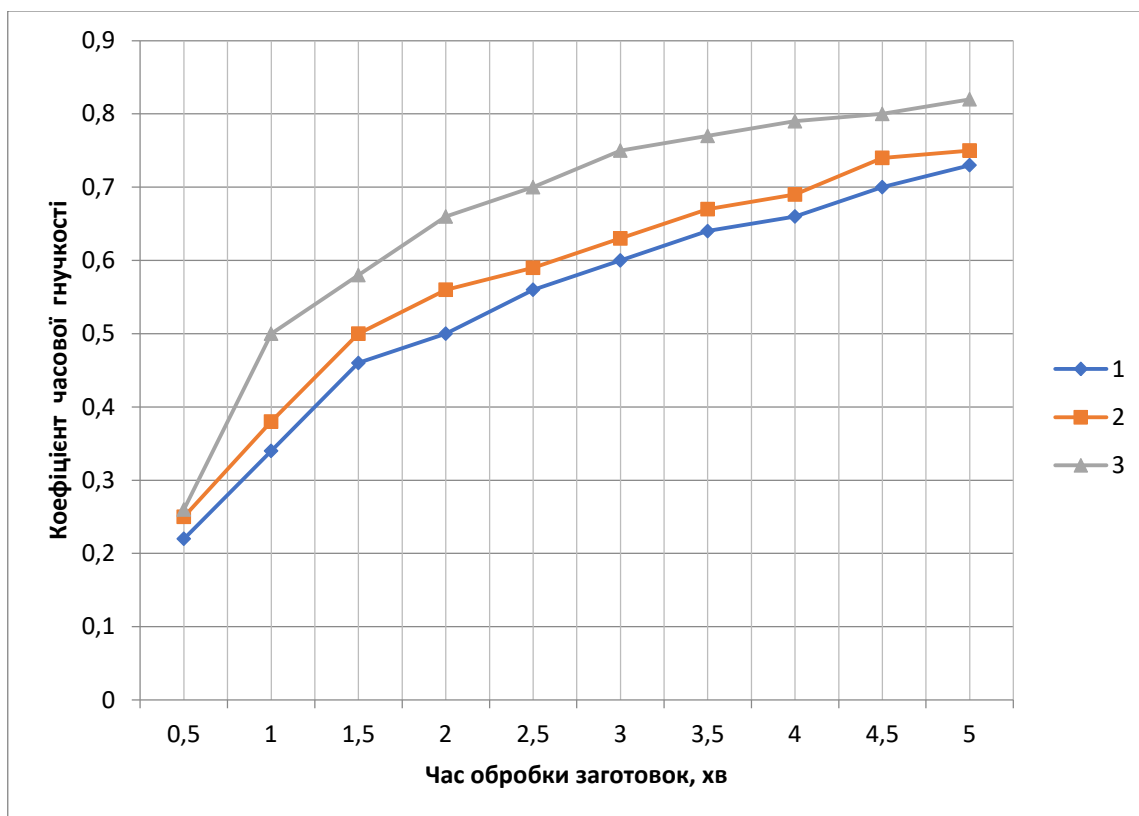


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта часової гнучкості від часу обробки заготовки у компонованнях пристрою: 1 – з комплекту жорстких опорних призм; 2 – машинні лещата; 3 – з комплекту універсально збірно-розбірних пристосувань

Таким чином, запропоноване компоновання пристрою з елементів системи універсально збірно-розбірних пристосувань характеризується високим коефіцієнтом часової гнучкості порівняно з іншими компонованнями. Доцільно використовувати розроблене компоновання пристрою для обробки заготовок з партією запуску більше 3 штук. Також, як показує графік запропоноване компоновання пристрою вигідно використовувати за умови обробки заготовок партією запуску 2...3 штуки, якщо час обробки заготовки перевищуватиме 1 хвилину, а також можливо і для 1 штуки, якщо час обробки заготовки перевищуватиме 2 хвилини.

Базування заготовки у пристроях є одним із найважливіших етапів операції, що істотно впливає на точність обробки. Для реалізації схеми базування деталей типу тіл обертання у пристроях на фрезерних та свердлильних верстатах застосовуються конструкції призм з кутами  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  та  $120^\circ$ . Перевагою призм перед іншими елементами для встановлення є те, що вісь валу збігається з площиною симетрії призми.

Найчастіше у верстатних пристроях використовуються призми з кутом  $\alpha = 90^\circ$ . Такі призми мають переваги по забезпеченню кращого стійкого встановлення у порівнянні із призмою з кутом  $\alpha=90^\circ$ . Також у них можна встановити заготовки із більшим діапазон діаметрів ніж у призми з кутом  $\alpha = 60^\circ$ . Оскільки діаметр валу має певний допуск на розмір то під час встановлення у призму його вісь симетрії може займати різні положення у площині симетрії призми [4]. Це спричиняє появу похибки базування. Похибка базування визначається за алгоритмом, наведеним [5]. Особливістю базування валів у призмах є те, що вимірювальні бази для розмірів, не збігаються з технологічною базою, що є причиною виникнення похибки базування. В роботі розглядалася одна із найпоширеніших схем базування валів у призмах, що застосовується під час обробки пазів та отворів на фрезерних і свердлильних верстатах (рис. 3).

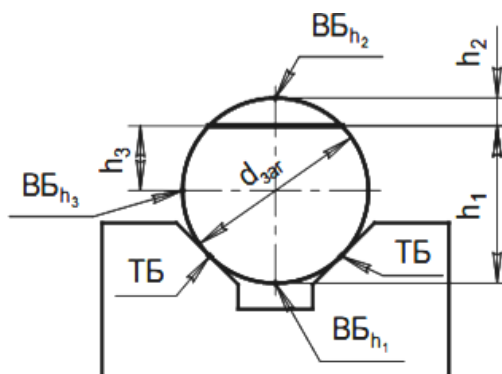
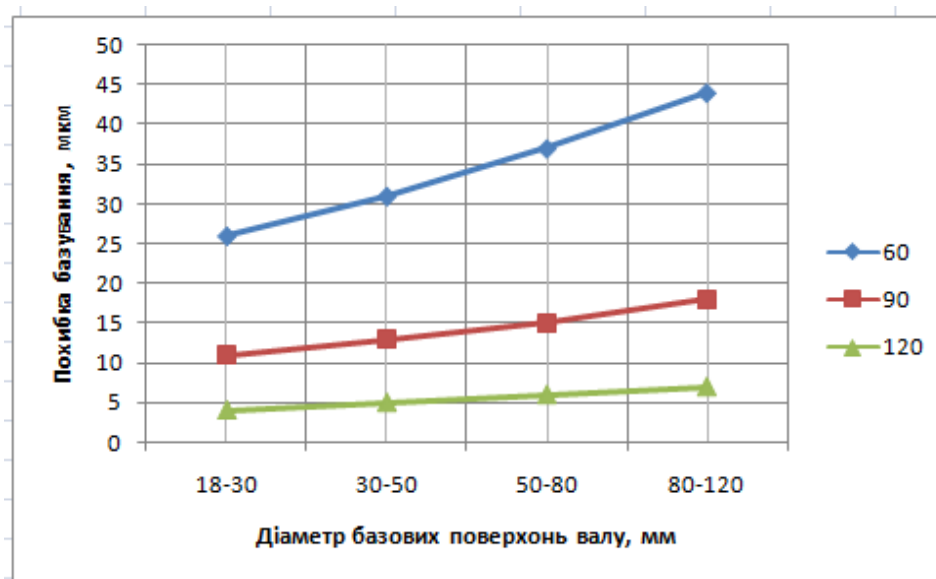


Рисунок 3 – Схема базування валу в призмі

За схемою (рис. 3) технологічна база відповідає точкам дотику заготовки з призмою (точки ТБ), а вимірювальні бази для розмірів  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  знаходяться у точках  $ВБ_{h_1}$ ,  $ВБ_{h_2}$ ,  $ВБ_{h_3}$  відповідно. Величина похибки базування валу  $\epsilon_6$  для різних варіантів призначення розмірів відрізняється за величиною і залежить від допуску на базовий діаметр заготовки  $T_d$  та кута призми  $\alpha$  [6]. У машинобудуванні найбільш поширені ступінчасті вали у діапазоні діаметрів 30...80 мм, які становлять понад 85% від загальної кількості типорозмірів валів [2]. Тому проводилося дослідження значення похибок базування валу  $\varnothing 18...120$  мм у призмах з кутами  $\alpha = 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ$  для розмірів  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ . Воно показало, що найменша похибка базування спостерігається під час дотримання розміру  $h_1$ , найбільша – для розміру  $h_2$ . В результаті проведених розрахунків комп'ютерної обробки даних [7] встановлено, що найменша похибка базування спостерігається для розміру  $h_1=52,04$  мм під час встановлення заготовок з діаметрами опорних шийок  $\varnothing 55$  мм у призмах із кутом  $\alpha = 120^\circ$  (рис. 4).

Рисунок 4 – Залежності похибок базування валу від кута призми  $\alpha$  та діаметру базових поверхонь заготовок

В наслідок встановлення у призму заготовок однакового діаметру з базовими поверхнями, виконаними за різними квалітетами точності, спостерігається збільшення величини похибки базування у разі збільшення квалітету та зменшенні величини кута призми  $\alpha$  (рис. 5).

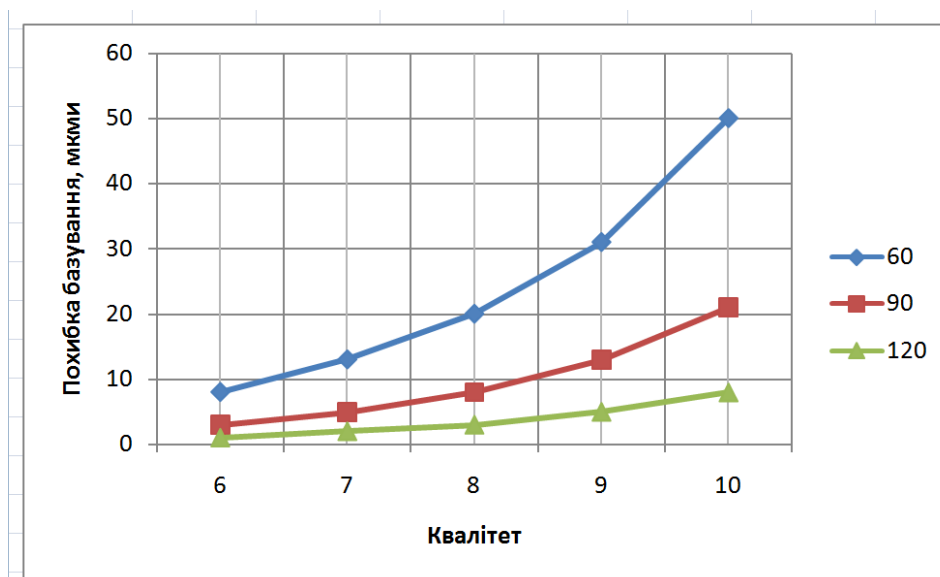


Рисунок 5 – Залежності похибок базування валу від кута призми  $\alpha$  та квалітету базових поверхонь заготовок

**Висновки.** У роботі запропоновано оптимальне компоновання збірно-розбірного пристрою для встановлення валів за коефіцієнтом часової гнучкості. Показано, що доцільно використовувати такий пристрій для партії запуску заготовок більше 3 штук, якщо основний час обробки становить 1 хвилину. Проведені аналітичні дослідження точності базування багатоступінчатих валів у призмах показали - величина похибки базування для опорних шийок, з базовими поверхнями однакового квалітету точності, збільшується зі збільшенням діаметру базових поверхонь заготовок та зменшенням кута призми  $\alpha$ . Якщо базові поверхні мають різні квалітети точності то величина похибки базування збільшується при збільшенні точності обробки шийки та зменшенні величини кута призми  $\alpha$ . Встановлено, що доцільно використовувати конструкції призми з кутом  $\alpha=120^{\circ}$  для встановлення валів по опорних шийках  $\varnothing 50\dots 80$  мм, що повністю задовольняє виробничі умови. Також для обробки таких валів доцільно використовувати фрезерувальні верстати з шириною робочих столів  $250\dots 400$  мм.

#### Інформаційні джерела

1. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П. Особливості визначення похибки установа як складової припуску для механічної обробки. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 2. С. 107-112. DOI: [10.31649/1997-9266-2021-155-2-107-113](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-107-113)
2. Карпуть В.Є., Котляр О.В., Іванов В.О. Оптимізація механічної обробки тіл обертання: монографія. Харків: НТМТ, 2012. 296 с.
3. Пристосування верстатні. Призми опорні. Конструкція: ДСТУ 12195:2008. URL: <http://csm.kiev.ua/>
4. Карпуть В.Є., Іванов В.А. Точність базування валів у призмах. Вісник машинобудування. 2012. №2. С. 40-45.
5. Гальчук Т.Н., Мозоль Б.О. Дослідження точності базування валів у призмах. Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів: збірник наукових праць VI міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2020, м. Луцьк, 2-4 червня 2020 року Луцьк, 2020. С.142-144. URL: <http://t-komplex.net.ua/ua/authors/>
6. Siva Kumar K., Paulraj G. Geometric error control of workpiece during drilling through optimisation of fixture parameter using a genetic algorithm. *International Journal of Production Research*. 2012. Vol. 50, no. 12. P. 3450-3469. DOI:10.1080/00207543.2011.588616
7. Гальчук Т.Н. Комп'ютерна обробка статичних даних контролю точності виробів машинобудування. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2017. №26. С. 42-47.

**Halchuk T.**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

### **OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF THE DEVICE FOR ACHIEVING ACCURACY OF BASEING OF MULTI-STAGE SHAFTS**

*An analysis of the designs of machine tools for installing shafts on rigid support prisms, in universal machine vices, and in assembly and disassembly devices was carried out. It has been established that the time flexibility factor, which is characterized by the time of device readjustment, the size of the starting batch of parts, and the time of processing the part, has the highest indicators of time flexibility for the layout of the assembly and disassembly device. It has been established that it is advisable to use such a device for starting batches of more than 3 pieces, if the main processing time is 1 minute. Analytical studies of the accuracy of positioning of multi-stage shafts in prisms for two variants of support necks were carried out: the base surfaces have the same accuracy quality; the base surfaces have different accuracy qualities. Studies have shown that the value of the error of basing for support necks according to the first option increases with an increase in the diameter of the base surfaces of the workpieces and a decrease in the angle of the prism  $\alpha$ . According to the second option, the value of the basing error increases with increasing the accuracy of processing the neck and reducing the value of the prism angle  $\alpha$ . The obtained results indicate the feasibility of using the design of the basing prism with an angle  $\alpha=120^\circ$  for installing shafts on support necks  $\varnothing 50...80$  mm.*

**Key words:** base error, prisms, shaft, processing, hourly flexibility, optimization.