

УДК 623.06.02

Точность установки деталей на автоматических линиях с приспособлениями- спутниками

Колесников Л. А.^{1,*}

[*kolesnikova1950@list.ru](mailto:kolesnikova1950@list.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе предложен новый метод расчета погрешности базирования путем математического моделирования. Этот метод впервые применен для расчета точности при механической обработке деталей в автоматизированном производстве. Применительно к наиболее распространенной схеме базирования спутников на плоскость и два отверстия предложено использовать для определения погрешности базирования метод заменяющих механизмов, употребляемый при анализе и синтезе плоских механизмов. Применение в качестве заменяющего механизма шарнирного четырехзвенника позволяет определить область возможных положений любой точки платформы спутника с заготовкой как область, ограниченную шатунной кривой. В случае равенства зазоров в узлах обоих фиксаторов область возможных положений точки при плоскопараллельном смещении платформы определяется окружностью, а при угловом смещении – эллипсом. Полученные аналитические зависимости позволяют определять погрешность установки на стадии проектирования при известных зазорах в узлах фиксации, а также выявить зоны целесообразного размещения заготовки на платформе спутника по условиям обеспечения точности координат обрабатываемых осей отверстий. Предложенная методика позволяет вести расчет точности базирования при обработке на станках с круглыми поворотными столами и другом технологическом оборудовании, где применяется рассматриваемая схема базирования.

Ключевые слова: автоматические линии, приспособления-спутники, точность установки деталей для обработки

В парке автоматических линий из агрегатных станков большое место занимают автоматические линии с приспособлениями-спутниками. Для многих деталей массового производства, не имеющих удобных для установки и транспортировки в линии поверхностей, сама возможность обработки на автоматических линиях появляется с применением приспособлений-спутников. Благодаря спутникам открываются более широкие возможности и для создания переналаживаемых автоматических линий. Отсутствие методики проектирования приспособлений-спутников приводит к тому, что конструкции спутников,

применяемые на действующих автоматических линиях, не всегда обеспечивают наилучшие условия достижения точности при обработке.

Обоснованный выбор основных параметров расположения элементов фиксации платформы спутника, размещение заготовки на спутнике в наиболее благоприятных условиях обеспечения требований точности обработки деталей – являются важными задачами технологического проектирования автоматических линий.

Решение этих задач позволит применить научно обоснованный подход к проектированию и эксплуатации автоматических линий со спутниками. Снижение степени влияния погрешности установки спутников с заготовкой в рабочих позициях является большим резервом повышения точности обработки на автоматических линиях.

Целью работы является разработка расчетно-аналитического метода определения точности установки заготовок на автоматических линиях с приспособлениями-спутниками путем математического моделирования с использованием заменяющих механизмов (1).

Анализ процесса установки спутника показал, что фактическое положение его в рабочих позициях определяется не только угловым смещением (рис.1), но и сочетанием угловых и плоскопараллельных смещений платформы на зазорах посадок (рис.2). Для решения точностных задач важно знать область возможных положений определенных точек платформы спутника в зависимости от их координат.

Важно и решение обратной задачи – определений допустимых величин зазоров в сопряжении отверстие-фиксатор, при которых смещение заданной точки платформы не выйдет из поля допуска на ее расположение. Эта задача относится к нахождению наилучшего варианта расположения заданной области относительно базовых элементов спутника.

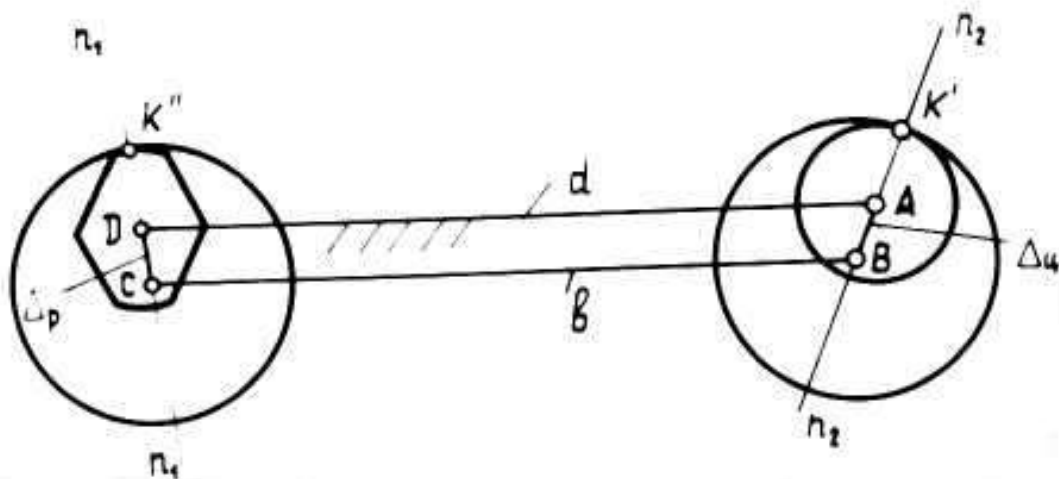


Рис.1 Схема построения заменяющего механизма

ных профилей втулки и фиксатора, то звено CD является заменяющим звеном для высшей кинематической пары в точке К". Общая нормаль n_2n_2 проходит через точку контакта К' и центры кривизны А и В второго сопряжения фиксатор-втулка. Получаем заменяющее звено АВ для высшей кинематической пары в точке К'. Звено AD - расстояние между центрами фиксаторов позиции – представляет собой неподвижное звено. Проведя линию, соединяющую центры С и В базовых втулок спутника, получаем замкнутый контур звеньев механизма. Звено СВ – подвижное и соединено с неподвижным звеном AD звеньями АВ и CD. Таким образом, получаем контур ABCD- шарнирный четырехзвенник, в котором неподвижное звено AD является стойкой, звено СВ – шатуном, звенья АВ и CD- кривошип и коромысло.

Шарнирный четырехзвенник ABCD является искомым заменяющим механизмом, так как имеет то же число степеней свободы, что и основной механизм. В основу описываемого метода построения положена работа (1). Следует отметить, что в заменяющем механизме стойка d и шатун b являются действительными звеньями. Звенья АВ и CD - условные звенья механизма. Звено АВ характеризует погрешность $\Delta_{\text{ц}}$ в зоне цилиндрического фиксатора, определяемую влиянием радиальных зазоров в сопряжениях базовая втулка - цилиндрический фиксатор и толкатель фиксатора - направляющая втулка позиции. Аналогично, звено CD определяет погрешность Δ_p в зоне ромбического фиксатора.

Аналитический метод расчета погрешности установки спутников в рабочих позициях

Определим области возможных положений произвольной точки спутника, обусловленных его смещением в поле зазоров цилиндрического и ромбического фиксаторов (рис.2). Для определения области возможных положений точки М (х, у), имитирующей центр обрабатываемого отверстия, строим заменяющий механизм - шарнирный четырехзвенник ABCD. звеньями четырехзвенника являются: d - межосевое расстояние фиксаторов (стойка); b - межосевое расстояние отверстий во втулках спутника (шатун); $\Delta_{\text{ц}}$, и Δ_p - радиальные зазоры в сопряжениях и цилиндрического и ромбического фиксаторов (коромысло и кривошип). Размеры всех звеньев заменяющего механизма заданы.

Область возможных смещений точки М под влиянием погрешности установки определяется площадью, ограниченной шатунной кривой этой точки. Положение точки относительно линии центров базовых втулок задаем полярными координатами k и ω° .

Указанная шатунная кривая при этом характеризуется алгебраическим уравнением 6-го порядка (1) :

$$\left(X + \frac{VQ+WT}{2k} - d\right)^2 + \left(y + \frac{VT-WQ}{2k}\right)^2 = a^2 \quad (1)$$

где:

$$V = \frac{\pm \sqrt{4k^2 \rho^2 + (\rho^2 + k^2 - c^2)^2}}{\rho^2}$$

$$W = \frac{\rho^2 + k^2 - c^2}{\rho^2}, \rho^2 = x^2 + y^2$$

$$Q = xb \cdot \sin \omega - y(b \cos \omega - k)$$

$$T = yb \cdot \sin \omega + x(b \cos \omega - k)$$

a и c - соответственно величины коромысла и кривошипа заменяющего его механизма.

Определим предельные положения точки M в направлении осей координат: по абсциссе – X_{max} и X_{min} ; по ординате Y_{max} и Y_{min} .

Наибольшее X_{max} и наименьшее X_{min} значения абсциссы точки M возможны при четырех положениях механизма (рис.3).

1. $AB^I C^I D$ – звенья AB^I и $B^I C^I$ вытягиваются в одну прямую
2. $AB^{II} C^{II} D$ – звенья AB^{II} и $B^{II} C^{II}$ накладываются друг на друга.
3. $AB^{III} C^{III} D$ – звенья AB^{III} и $B^{III} C^{III}$ вытягиваются в одну прямую.
4. $AB^{IV} C^{IV} D$ – звенья AB^{IV} и $B^{IV} C^{IV}$ накладываются друг на друга.

Эти положения определяются из геометрических соотношений по схеме

$$X_1 = \Delta p \cdot \cos \beta_1^I + k \cdot \cos (\omega - \alpha_1^I) \quad (2)$$

$$X_2 = \Delta p \cdot \cos \beta_1^{II} + k \cdot \cos (\omega - \alpha_1^{II}) \quad (3)$$

$$X_3 = \Delta p \cdot \cos \beta_1^I + k \cdot \cos (\omega - \alpha_1^I) \quad (4)$$

$$X_4 = \Delta p \cdot \cos \beta_1^{II} + k \cdot \cos (\omega - \alpha_1^{II}) \quad (5)$$

Углы $\beta_1^I, \beta_1^{II}, \alpha_1^I, \alpha_1^{II}$ находим следующим образом.

Из $\Delta DC^I A$ по теореме косинусов:

$$\beta_1^I = \arccos \frac{\Delta p^2 + d^2 - (b + \Delta_{\text{ц}})^2}{2\Delta p d}$$

Аналогично из $\Delta DC^{II} A$ имеем:

$$\beta_1^{II} = \arccos \frac{\Delta p^2 + d^2 - (b - \Delta_{\text{ц}})^2}{2\Delta p d}$$

Для определения α_1^I и α_1^{II} рассмотрим $\Delta DC^{III} A, \Delta DC^I A, \Delta DC^{II} A, \Delta DC^{IV} A$ имеем:

$$\Delta DC^{III} A = \Delta DC^I A; \Delta DC^{IV} A = \Delta DC^{II} A$$

так как стороны и углы их равны между собой, то есть

$$DC^I = DC^{III} = \Delta p; C^I A = C^{III} A = b + \Delta_{\text{ц}}$$

$$DC^{II} = DC^{IV} = \Delta p; C^{II} A = C^{IV} A = b - \Delta_{\text{ц}}$$

Из $\Delta DC^I F^I$

$$C^I F^I = \Delta p \cdot \sin(\beta_1^I)$$

Из $\Delta DC^{II} F^{II}$

$$C^{II} F^{II} = \Delta p \cdot \sin(\beta_1^{II});$$

$$F^I A = d - \Delta p \cdot \cos(\beta_1^I);$$

$$F^{II}A = d - \Delta p \cdot \cos(\beta_1^{II})$$

Из $\Delta C^I F^I A$

$$\alpha_1^I = \arctg \frac{\Delta p \cdot \sin(\beta_1^I)}{d - \Delta p \cdot \cos(\beta_1^I)}$$

Из $\Delta C^{II} F^{II} A$

$$\alpha_1^{II} = \arctg \frac{\Delta p \cdot \sin \beta_1^I}{d - \Delta p \cdot \cos \beta_1^I}$$

Наибольшее Y_{max} и наименьшее Y_{min} значения ординаты точки М возможны при восьми положениях механизма (рис.4). Эти положения соответствуют тому случаю, когда коромысло и кривошип занимают вертикальные положения. Чтобы не усложнять схему, на ней изображены лишь четыре верхних положения заменяющего четырехзвенника, нижние положения симметричны с верхними относительно стойки (оси X). Эти положения определяются из геометрических соотношений по той же схеме.

Для положения точки M^I ордината определяется

$$y_1 = \Delta p \cdot \sin \beta_2^I + k \sin(\omega - \alpha_2^I) \quad (6)$$

Ордината симметричного положения относительно оси

$$y_2 = -\Delta p \cdot \sin \beta_2^I + k \sin(\omega + \alpha_2^I) \quad (7)$$

Аналогично для точек M^{II}, M^{III}, M^{IV} и их симметричных положений имеем:

$$y_3 = \Delta p \cdot \sin \beta_2^{II} + k \sin(\omega - \alpha_2^{II}) \quad (8)$$

$$y_4 = -\Delta p \cdot \sin \beta_2^{II} + k \sin(\omega + \alpha_2^{II}) \quad (9)$$

$$y_5 = \Delta p + k \sin(\omega - \alpha_2^{III}) \quad (10)$$

$$y_6 = -\Delta p + k \sin(\omega + \alpha_2^{III}) \quad (11)$$

$$y_7 = \Delta p + k \sin(\omega - \alpha_2^{IV}) \quad (12)$$

$$y_8 = -\Delta p + k \sin(\omega + \alpha_2^{IV}) \quad (12)$$

Величина значений $\beta_2^I, \beta_2^{II}, \alpha_2^I, \alpha_2^{II}, \alpha_2^{III}, \alpha_2^{IV}$ находятся следующим образом:

Из $\Delta DC^I B^I$

$$\gamma^I = \arccos \frac{\Delta_{\Pi}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta p \sqrt{\Delta_{\Pi}^2 + d^2}}$$

Из $\Delta DB^I A$

$$\delta^I = \arctg \frac{\Delta_{\Pi}}{d}$$

тогда

$$\beta_2^I = \gamma^I + \delta^I = \arccos \frac{\Delta_{\Pi}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta p \sqrt{\Delta_{\Pi}^2 + d^2}} + \arctg \frac{\Delta_{\Pi}}{d}$$

$$\beta_2^{II} = \arccos \frac{\Delta_{ц}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta_p \sqrt{\Delta_{ц}^2 + d^2}} + \arctg \frac{\Delta_{ц}}{d}$$

Из $\Delta F^I C^I B^I$ имеем:

$$\alpha_2^I = \arctg \frac{\Delta p \cdot \sin \beta_2^I - \Delta_{ц}}{d - \Delta p \cdot \cos \beta_2^I}$$

Из $\Delta F^{II} C^{II} B^{II}$ имеем:

$$\alpha_2^{II} = \arctg \frac{\Delta p \cdot \sin \beta_2^{II} + \Delta_{ц}}{d - \Delta p \cdot \cos \beta_2^{II}}$$

Из $\Delta C^{III} F^{III} B^{III}$ имеем:

$$\alpha_2^{III} = \arctg \frac{\Delta p - \Delta_{ц} \cdot \sin \varphi_2^I}{d - \Delta_{ц} \cdot \cos \varphi_2^I}$$

Из $\Delta F^{IV} C^{IV} B^{IV}$ имеем:

$$\alpha_2^{IV} = \arctg \frac{\Delta p + \Delta_{ц} \cdot \sin \varphi_2^{II}}{d - \Delta_{ц} \cdot \cos \varphi_2^{II}}$$

Наибольшее из этих значений углов $\alpha_2^I, \alpha_2^{II}, \alpha_2^{III}, \alpha_2^{IV}$ характеризует предельный поворот платформы спутника относительно номинального положения.

$$\text{Угол } \varphi_2^I = \psi^I + \xi^I$$

Из $\Delta C^{III} A B^{III}$

$$\psi = \arccos \frac{\Delta_{ц}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta_{ц} \sqrt{\Delta_p^2 + d^2}}$$

Из $\Delta D C^{III} A$

$$\xi^I = \arctg \frac{\Delta p}{d}$$

Поэтому

$$\varphi_2^I = \arccos \frac{\Delta_{ц}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta_{ц} \sqrt{\Delta_p^2 + d^2}} + \arctg \frac{\Delta p}{d}$$

Аналогичным образом,

$$\varphi_2^{II} = \arccos \frac{\Delta_{ц}^2 + d^2 + \Delta_p^2 - b^2}{2\Delta_{ц} \sqrt{\Delta_p^2 + d^2}} - \arctg \frac{\Delta p}{d}$$

Полученные формулы (2-4) для координаты X и формулы (6-12) для координаты Y позволяют вести расчет погрешности установки спутника в рабочей позиции для любых точек в самом общем случае, то есть, когда зазоры в области цилиндрического и ромбиче-

Таким образом, рассмотренный случай наиболее полно и во всем многообразии отражает формирование погрешности установки для произвольной точки платформы спутника. В случае равенства погрешностей у цилиндрического и ромбического фиксаторов $\Delta_{\text{ц}} = \Delta_{\text{р}}$ и межцентровых расстояний $b = d$, расчетные формулы значительно упрощаются. В этом случае при рассмотрении плоскопараллельного смещения спутника в поле зрения фиксаторов, заменяющий механизм (шарнирный четырехзвенник) преобразуется в параллелограмм (рис.5). Для параллелограмма уравнение шатунной кривой представляет собой уравнение окружности:

Для частного случая, предельной выборки зазоров у цилиндрического и ромбического фиксаторов в противоположные стороны и равенствах $\Delta_{\text{ц}} = \Delta_p$, $b = d$, заменяющий механизм представляет антипараллелограмм.



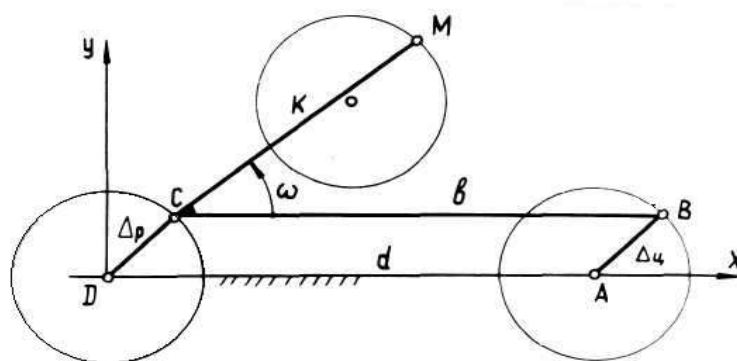


Рис. 5 Схема заменяющего механизма (шарнирного четырехзвенника) – параллелограмм

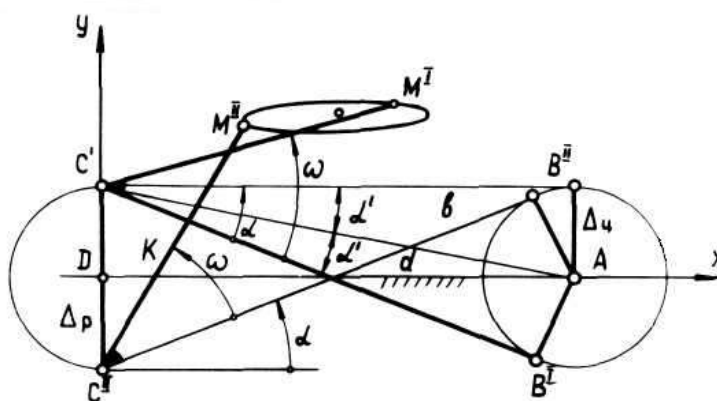


Рис. 6 Схема заменяющего механизма (шарнирного четырехзвенника) – антипараллелограмм

Этот метод необходим также и для решения задачи синтеза плоских механизмов, предусматривающей определение основных параметров Δ_u и Δ_p четырехзвенника по заданным экстремальным точкам $X_{max}, X_{min}, Y_{max}, Y_{min}$ шатунной кривой (см.рис.5, 6), характеризующих предельные отклонения координат рассматриваемой точки. Задача синтеза может быть решена на основе тех же уравнений, решаемых относительно Δ_p и Δ_u .

В процессе эксплуатации автоматической линии точность установки спутников в позициях снижается под влиянием износа и расчетные величины зазоров в узлах фиксации Δ_p и Δ_u возрастают до $\Delta_{p\text{ изн}}$ и $\Delta_{u\text{ изн}}$. Подставляя в формулы величины $\Delta_{p\text{ изн}}$ и $\Delta_{u\text{ изн}}$ можно определить значения величин смещения заданной точки на платформе спутника под влиянием погрешности установки, которые могут быть получены при обработке деталей в конце срока службы элементов фиксации. Для условий эксплуатации может быть решена и задача синтеза, когда определяются значения $\Delta_{p\text{ изн}}$ и $\Delta_{u\text{ изн}}$ при условии сохранения допускаемых $\Delta x, \Delta y$.

Для изучения тенденций изменения величин погрешностей в зависимости от координат K и ϕ выявления на платформе спутника зон, где величина погрешности и направ-

ления той или иной оси координат имеет наименьшее значение, проведен на ЭВМ расчет погрешности $\Delta x = X_{\max} - X_{\min}$ $\Delta y = Y_{\max} - Y_{\min}$ для ряда фиксированных точек платформы спутника, полярные координаты которых изменялись в пределах $K = 50 \div 700$ мм с шагом 50 мм, $\omega^\circ = 0 - 180$ с шагом 18. Расчеты проводились при условиях: межосевое расстояние фиксаторов и отверстий во втулках спутника $b=d=500$ мм, радиальные зазоры в сопряжениях фиксаторов $\Delta_{\text{ш}} = 0,04$ мм, $\Delta_{\text{р}} = 0,06$ мм.

Приняв ось X совпадающей с направлением межосевого расстояния, а начало координат – с центром одного из фиксаторов, получаем для $\omega^\circ = 0 \div 180$ градусов зоны, характеризующиеся различным соотношением величин Δx и Δy . В зоне $\omega^\circ = 0 \div 180$ градусов при радиусе $K < b$ имеем $\Delta y > \Delta x$, а при $K > b$ имеем $\Delta y < \Delta x$. В зоне $\omega^\circ = 108 \div 180$ градусов имеем $\Delta y > \Delta x$ независимо от радиуса K. Поверхности с наиболее точными координатами следует располагать с учетом указанных соотношений.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов. М., Наука, 1967, 351 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. в 2-х т. Том 2 / Под ред. А.М.Дальского, А.Г.Суслова, А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. 5-ое изд.. М.: Машиностроение-1, 2001. 944 С.
3. Справочник технолога по автоматическим линиям / под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
4. Древаль А.Е., Скороходов Е.А., Агеев А.В. и др. Краткий справочник металлиста / под ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скороходова. М.:Машиностроение, 2005. 959 с.
5. Шашурин В. Д., Барзов А. А., Шалаев В. А., Галиновский А. Л. Точность изготовления тонкостенных деталей приборных устройств: учебное пособие / под ред. В.Д. Шашурина. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 39 с.

Accuracy of Setting Work-pieces on Automatic Lines with Pallet-fixtures

L.A. Kolesnikov^{1,*}

[*kolesnikova1950@list.ru](mailto:kolesnikova1950@list.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: automatic lines, adaptation satellites, setting accuracy of details for processing

The accuracy of positioning surfaces to be processed on automatic lines with pallet-fixtures essentially depends on the setting error of the pallet-fixtures with work-pieces in ready-to-work position.

The applied methods for calculating the setting error do not give a complete picture of the possible coordinates of the point when in the pallet is displaced in different directions.

The aim of the work was to determine an accuracy of the setting work-pieces on automatic lines with pallets-fixtures, using a computational and analytical method, to improve a manufacturing precision of parts.

The currently used methods to calculate the setting error do not give a complete picture of the possible coordinates of the point of the pallet displacement in different directions. The paper offers a method of equivalent mechanism to determine all the variety of options for displacements in the horizontal plane with a diverse combination of angular and plane-parallel displacements.

Using a four-bar linkage, as an equivalent mechanism, allows us to define a zone of the possible positions of any point of the work-piece pallet platform, as the zone bounded by the coupler curve. In case the gaps in the nodes of the two fixtures are equal the zone of possible positions of the point in the parallel displacement of the platform is determined by the circumference and at an angular displacement by the ellipse.

The obtained analytical dependences allow us to determine the error at the stage of design with the certain gaps in the fixture nodes.

The above method of calculation makes it possible to define a zone of the appropriate placement of the work-piece on its platform for the specified parameters of the pallet to meet conditions for ensuring the coordinate accuracy of the processed axes of holes.

References

1. Artobolevskii I.I. *Teoriya mekhanizmov* [Theory of mechanisms]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 351 p. (in Russian).

2. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya* [Reference technologist-mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2001, 944 p. (in Russian).
3. *Spravochnik tekhnologa po avtomaticheskim liniyam* [Directory technologist on automatic lines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 320 p. (in Russian).
4. Dreval' A.E., Skorokhodov E.A., Ageev A.V., ed. *Kratkii spravochnik metallista* [Quick reference Metalist]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005, 959 p. (in Russian).
5. Shashurin V. D., Barzov A. A., Shalaev V. A., Galinovskii A. L. *Tochnost' izgotovleniya tonkostennykh detalei pribornykh ustroystv* [Accuracy of manufacturing thin-walled parts devices]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2003, 39 p. (in Russian).