



УДК 004.891.2:621.9

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУБТРАКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ С НАНОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ

DECISION MAKING FOR SELECTING OF EQUIPMENT STRUCTURE-LAYOUT SCHEME FOR SUBTRACTIVE MACHINING WITH NANOMETER PRECISION

В.В. Ломакин, А.Н. Афонин, Р.Г. Асадуллаев, М.В. Лифиренко
V.V. Lomakin, A.N. Afonin, R.G. Asadullaev, M.V. Lifirenko

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, afonin@bsu.edu.ru, asadullaev@bsu.edu.ru

Аннотация. Исследованы варианты структурно-компоновочных схем оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. Проведена систематизация вариантов перемещений элементов станка в трехмерном пространстве с возможностью вращения рабочего элемента. Посредством опроса экспертов получены альтернативы, систематизированы в форме кластеров критерии и определена рациональная схема компоновки станка.

Resume. The variants of structural and layout diagrams of equipment for subtractive processing heterogeneous multilayer structures with nanometer precision positioning of the actuators were studied. The systematization of options for the machine moving elements in three-dimensional space with the possibility of the operating element rotation was performed. The alternatives were identified and the criteria clusters for rational machine pattern layout determining were systematized by the survey of experts.

Ключевые слова: субтрактивная обработка, многослойные гетерогенные структуры, метод анализа иерархий, система поддержки принятия решений, экспертное оценивание.

Keywords: subtractive machining, heterogeneous multilayer structure, analytic hierarchy process, decision support system, expert evaluation.

В настоящее время в приборо- и машиностроении возрастает доля деталей, имеющих микро- и наноразмерные поверхности различной формы с жесткими допусками [1]. Данные детали часто имеют сложную многослойную гетерогенную структуру, например, на основе стеклотекстолитов, содержащих слои наполнителя из стеклоткани на основе корунда, связующие полимерные материалы, металлические пленки. К подобным деталям относят также изделия из наноламинатов.

Для обработки деталей микроэлектроники и микромеханики в настоящее время применяется многоосевое технологическое оборудование, имеющее погрешность обработки порядка 1 мкм. Дальнейшее повышение точности оборудования ограничивается недостаточной точностью позиционирования исполнительных механизмов, упругими и термическими деформациями, а также внешними вибрациями, передаваемыми фундаментом. Существующие зарубежные аналоги промышленного оборудования для сверхточной субтрактивной обработки (станки компаний «Posalux» (Швейцария), «Mare» (Дания), «Hitachi» (Япония), «Excellon» (США) и др.) имеют точность позиционирования порядка 10 мкм. Однако недостатками данного оборудования является то, что высокая точность обработки достигается только при перемещении по одной координате.

Из сказанного вытекает необходимость разработки оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. При этом требуется обеспечение повышения не менее чем в 10 раз точности позиционирования (обеспечения погрешности позиционирования до 10 нм) исполнительных механизмов технологического оборудования для формирования прецизионных углублений по сравнению с лучшими зарубежными аналогами за счет реализации замкнутых контуров обратной связи, с учетом влияния внешних возмущающих факторов.

Для повышения точности обработки необходимо обеспечить наличие сверхточного привода стола. Данный привод должен обеспечивать нанометровую точность заданной пространственной траектории движения по трем осям координат за счет компенсации погрешностей перемещения основного привода координатного стола. Подобная точность может быть обеспечена применением привода на основе магнитоуправляемых эластомеров или пьезокерамики. Дополнительный точный позиционирующий и виброизолирующий привод стола на основе магнитоуправляемого эластомера или пьезокерамики способен обладать нанометровой точностью и плавностью



хода, малыми силами трения, хорошими демпфирующими свойствами и отсутствием люфтов [2, 3, 4].

Подсистема обработки станка, реализующая за счет согласованных относительных движений инструмента и заготовки, осуществляет главную функцию станка - размерную обработку заготовок. Номенклатура движений в подсистеме обработки и их параметры – траектория, скорость и т.д. определяются технологическим процессом обработки. Для реализации этих движений в станке предусмотрены специальные функциональные элементы - исполнительные звенья (шпиндели, столы и др.), детали несущей системы станка (включая подвижные стыки), элементы передачи движения и двигатели.

Компоновка станка представляет собой совокупность исполнительных звеньев и деталей несущей системы, которая характеризуется их количеством, типом, пространственным расположением и пропорциями [5, 6, 7]. Таким образом, при проектировании станка необходимо определиться с его компоновкой, которая будет обеспечивать точность и необходимый функционал работы станка. При этом необходимо провести процедуру выбора наилучшей компоновки станка для решения задач субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. Для этого определим возможные варианты компоновки станка.

Компоновка станка, как правило, состоит из одного стационарного (постоянно неподвижного) и нескольких подвижных элементов, разделенных стыками. Совокупность элемента компоновки и соответствующего ему подвижного стыка называется подвижным блоком. Ряд подвижных блоков от исполнительного звена до стационарного элемента компоновки образует ветвь компоновок. Ветви составляют компоновку станка. Она представляет собой конструкционную структуру, строение станка, но без детализации отдельных его элементов.

Получить деталь заданной формы можно, используя различные виды инструмента и способы обработки. От этого зависит состав исполнительных движений в станке и его кинематическая структура. Различным кинематическим структурам, как правило, соответствуют различные компоновки.

Изменяя структуру компоновки и пространственное расположение элементов, участвующих в формообразовании, можно получить несколько различных компоновок станка одного и того же назначения.

В состав компоновочных факторов входят:

- структура компоновки как совокупность определенным образом связанных элементов (стационарных и подвижных, совершающих координатные движения);
- пространственное расположение элементов компоновки (в частности основных плоскостей стыков);
- габариты элементов компоновки (главным образом их размерные пропорции), от которых зависит соотношение жесткостей элементов компоновки по разным координатным осям;
- вылеты - координатные расстояния между центрами жесткости стыков и точками приложения нагрузки (силы резания, веса элементов), сильно влияющих на перенос силовых воздействий и перемещений;
- факторы категории сопряжений - типы подвижных стыков, отличающиеся соотношением длин подвижной и неподвижной частей.

Компоновочные факторы не зависят от конструкции узлов станка. Все они имеют количественное выражение и в значительной степени влияют на основные показатели качества станка.

Из изложенного следует, что задачами проектирования компоновки станков является определение компоновочных факторов, которые при заданном наборе координатных движений исполнительных звеньев обеспечивают потенциальную возможность получения оптимальных (или близких к ним) значений основных показателей качества станка.

В процессе размерной обработки заготовок траектории движений формообразования обуславливают точность станка. Заданные траектории формообразующих движений и их расположение в пространстве обеспечиваются исполнительными звеньями и несущей системой станка, которые представляют собой элементы компоновки.

Рабочий элемент станка может быть выполнен в виде шпинделя для обработки резанием, в форме лазерного элемента и т.д. Вариант лазерного исполнения рабочего элемента станка субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов не приемлем в связи со сложностью обеспечения заданного качества изготавливаемых деталей. Это связано с особенностями управления лазерным элементом, точность которого может зависеть, например, от типа материала исходной заготовки. Следо-



вательно, отсутствует необходимость ввода дополнительных обозначений типа рабочего элемента, так как остается единственный вариант его реализации в форме шпинделя.

Выбор компоновки станка для субтрактивной обработки с нанометровой точностью является сложной задачей. Крайне трудно осуществить выбор рациональной компоновки, т.к. у каждого варианта есть свои достоинства и недостатки. В исследовании нами предлагается использование методов принятия решений, предполагающих использование методов экспертного оценивания, в силу того, что решаемая нами задача является слабо структурируемой и многокритериальной. Критерии для выбора наилучшего решения, как правило, имеют отношение к разным областям знаний и необходимо привлечение к опросу соответствующих экспертов.

Определим множество возможных движений элементов трехпозиционного станка относительно общепринятой трехмерной системы координат:

X - движение шпинделя вдоль оси X ;

Y - движение шпинделя вдоль оси Y ;

Z - движение шпинделя вдоль оси Z .

При этом необходимо учесть, что шпиндель станка может производить вращательное движение, обозначенное через C . Таким образом, мы имеем множество вариантов движения шпинделя $M_{\text{ДШ}} = \{X, Y, Z, C\}$.

Известно, что станок для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов будет состоять из двух основных элементов (станина и непосредственно рабочий элемент, осуществляющий обработку). Следовательно, движение может осуществлять либо станина станка, либо рабочий элемент.

Необходимо ввести дополнительные обозначения вариантов движения различных элементов станка. Для обозначения движения рабочего элемента воспользуемся обозначениями движения, введенными ранее. Движение станины обозначим следующим образом:

\bar{X} - движение станины вдоль оси X ;

\bar{Y} - движение станины вдоль оси Y ;

\bar{Z} - движение станины вдоль оси Z ;

\bar{C} - вращательное движение станины.

Таким образом, мы получаем множество вариантов движения станины $M_{\text{ДС}} = \{\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}\}$.

Исходя из множеств $M_{\text{ДШ}}$ и $M_{\text{ДС}}$, выразим множество возможных перемещений элементов станка $M_{\text{ПЭС}}$, на основании которых формируются варианты компоновки станка:

$$M_{\text{ПЭС}} = M_{\text{ДШ}} \cup M_{\text{ДС}} = \{X, Y, Z, C, \bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}\}$$

С целью выбора варианта схемы компоновки станка для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов необходимо рассчитать теоретически возможные варианты базовой компоновки станка. Далее проводится оптимизация количества вариантов схем компоновки до приемлемого числа, которое будет оцениваться экспертами посредством системы поддержки принятия решений.

Рассчитаем число размещений без повторов $A_{|M_{\text{ПЭС}}|}^4$. При этом количество возможных вариантов движений, соответствующим различным элементам станка равно $|M_{\text{ПЭС}}| = 8$. Число позиций, которые мы выбираем, принимаем равным 4 (число введенных координат).

$$A_8^4 = \frac{8!}{(8-4)!} = 1680$$

Полученное число вариантов представляет собой общее число возможных вариантов перемещений. При этом возможны варианты, когда вдоль одной и той же оси может перемещаться и шпиндель, и станина. В подобной ситуации учтены варианты компоновки, в которых не применяется перемещение вдоль одной или двух координат.

Анализ предметной области и вариантов построения станка субтрактивной обработки с нанометровой точностью позволил определить достаточно большое число способов построения, но с учетом тематики исследования можно сузить область поиска наилучшей компоновки.



При выборе варианта компоновки станка необходимо учесть тот факт, что каждый вариант движения может выполняться только одним элементом станка (станина либо шпиндель).

Так как в нашем случае речь идет о станке, в котором могут быть подвижны только 2 элемента, воспользуемся иным способом выявления возможных вариантов перемещений. Введем следующие обозначения:

1 – движение вдоль выбранной оси осуществляет шпиндель;

0 – движение вдоль выбранной оси осуществляет станина.

После исключения нереализуемых технически и заведомо проигрышных схем исполнения сформируем таблицу вариантов компоновки станка в зависимости координат перемещения (таблица).

Таблица
Table

Возможные варианты схем компоновки станка
Possible options for machine layout schemes

№ варианта	Координата перемещения				Описание варианта компоновки в принятых обозначениях
	Ось X	Ось Y	Ось Z	Вращение C	
1	0	0	0	0	$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}$
2	0	0	0	1	$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, C$
3	0	0	1	0	$\bar{X}, \bar{Y}, Z, \bar{C}$
4	0	0	1	1	\bar{X}, \bar{Y}, Z, C
5	0	1	0	0	$\bar{X}, Y, \bar{Z}, \bar{C}$
6	0	1	0	1	\bar{X}, Y, \bar{Z}, C
7	0	1	1	0	\bar{X}, Y, Z, \bar{C}
8	0	1	1	1	\bar{X}, Y, Z, C
9	1	0	0	0	$X, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}$
10	1	0	0	1	X, \bar{Y}, \bar{Z}, C
11	1	0	1	0	X, \bar{Y}, Z, \bar{C}
12	1	0	1	1	X, \bar{Y}, Z, C
13	1	1	0	0	X, Y, \bar{Z}, \bar{C}
14	1	1	0	1	X, Y, \bar{Z}, C
15	1	1	1	0	X, Y, Z, \bar{C}
16	1	1	1	1	X, Y, Z, C

Использование системы поддержки принятия решений для выбора наилучшего варианта компоновки приведет к формированию матрицы парных сравнений размерности 16x16. Заполнение матрицы данного размера может привести к осложнению работы с ней экспертов в связи с трудоемкостью процесса заполнения матрицы. Следовательно, не смотря на то, что число возможных вариантов компоновки схем исполнения станка сократилось в 10 раз, необходимо провести дополнительное экспертное оценивание с целью сокращения вариантов схем исполнения станка. На основании таблицы 1, после дополнительного экспертного оценивания определены наиболее рациональные варианты компоновки станка:

1. $XYZC$
2. $XY\bar{Z}C$
3. $X\bar{Y}ZC$
4. $X\bar{Y}\bar{Z}C$
5. $\bar{X}YZC$



6. $\overline{XY}ZC$
7. $\overline{XY}Z\overline{C}$
8. $\overline{XY}ZC$

В частности, альтернатива $\overline{XY}ZC$ означает следующую схему компоновки: перемещение шпинделя по координатам X, Y, станины по координате Z, и C -вращение шпинделя. Как видно, все компоновки позволяют проводить размерную субтрактивную обработку, что является существенной особенностью рассматриваемого типа станков.

После проведения исследования были предложены критерии для определения наилучшей с точки зрения эксперта компоновки. В качестве метода принятия решения был выбран метод анализа иерархий (МАИ) в форме Саати [8], дающий возможность провести ранжирование критериев и определить их важность для конкретного эксперта.

При использовании МАИ строится иерархия принятия решения, где выделяются цель, критерии и альтернативы [9, 10]. Иерархия с предложенными нами критериями при выборе компоновки станка субтрактивной обработки с нанометровой точностью представлена на рисунке 1.

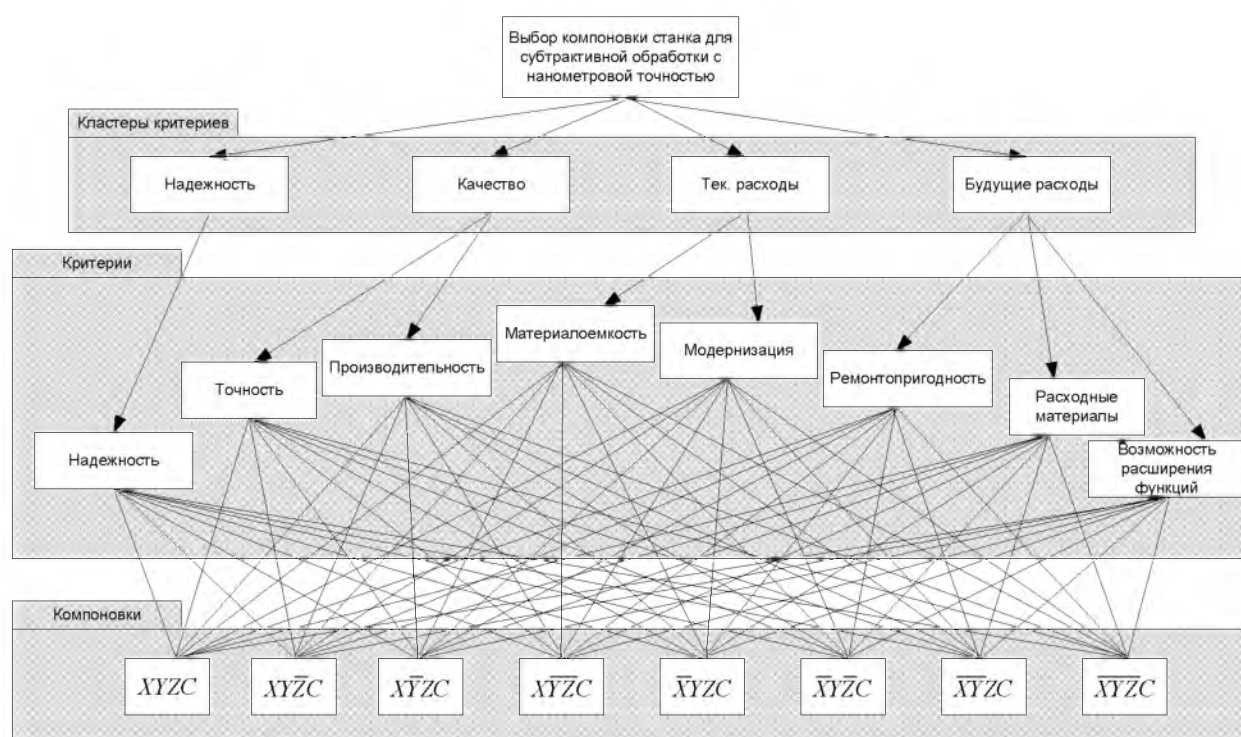


Рис. 1. Иерархия выбора компоновки станка для субтрактивной обработки
Fig. 1. Hierarchy for the subtractive processing machine layout selecting

Все критерии были разбиты на 4 кластера: надежность, качество, текущие расходы и будущие расходы. В кластере надежность присутствует только один критерий надежность, и при оценке экспертом альтернатив здесь производится их качественное сравнение. При этом эксперт учитывает показатели надежности, составляющие представления о данном параметре, исходя из личного опыта.

Кластер «Качество» состоит из таких критериев как точность обработки и производительность станка. Данные показатели являются основными характеристиками станка.

Кластер «Текущие расходы» состоит из критериев материалоемкость и затрат на модернизацию. Материалоемкость показывает затраты на материалы при создании станка, а затраты на модернизацию показывают сколько ресурсов необходимо привлечь, чтобы осуществить модернизацию существующего оборудования.

Кластер «Будущие расходы» состоит из 3 критериев и касается затрат, возникающих при эксплуатации станка. В него входят: ремонтпригодность, затраты на материалы, возможность расширения функционала станка.

Для формирования и обработки результатов экспертного оценивания была использована система поддержки принятия решений «Решение» [11,12], в которой создана разработанная иерархия (рисунок 2) для проведения экспертных опросов.

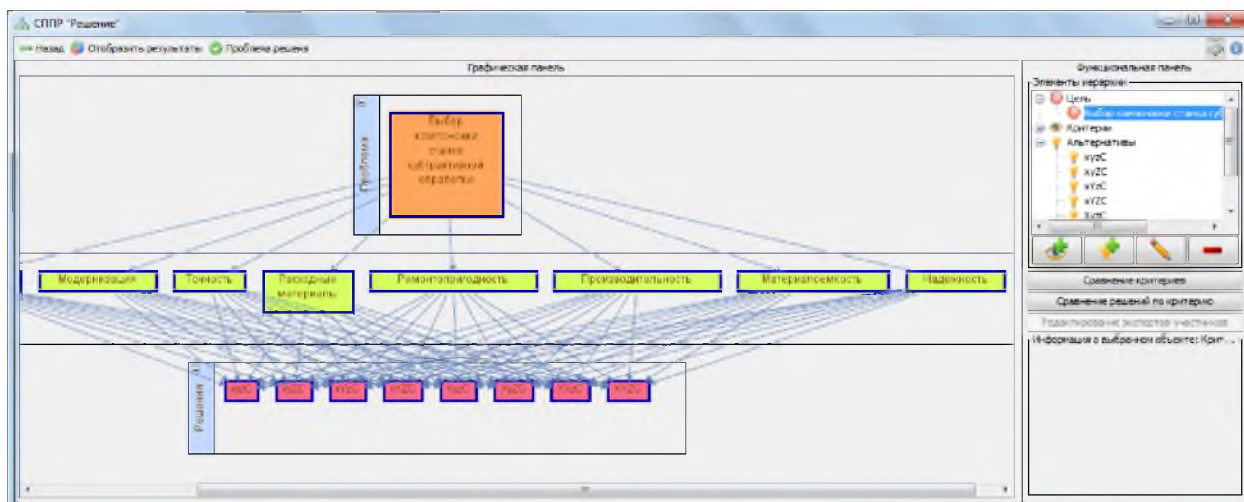


Рис. 2. Главное окно с разработанной иерархией для выбора компоновки станка субтрактивной обработки

Fig. 2. The main window representing the developed hierarchy for subtractive processing machine layout selecting

Экспертами определены весомости критериев (рисунок 3).

Сравнение критериев									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	Приоритеты
1. Масштабируемость	1	1/2	1/9	1/2	1/2	1/3	1	1/5	0,036
2. Модернизация	2	1	1/8	1/2	1/2	1/2	2	1/4	0,052
3. Точность	9	8	1	5	5	7	9	3	0,428
4. Расходные материалы	2	2	1/5	1	1	1/2	2	1/3	0,074
5. Ремонтопригодность	2	2	1/5	1	1	1/2	2	1/3	0,074
6. Производительность	3	2	1/7	2	2	1	3	1/2	0,107
7. Материалоемкость	1	1/2	1/9	1/2	1/2	1/3	1	1/5	0,036
8. Надежность	5	4	1/3	3	3	2	5	1	0,194

СЗ: 8,220 ИС: 0,031 ОС: 0,022 F: 0,024

* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.
* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 3. Парное сравнение критериев

Fig. 3. Pairwise comparison of criteria

Как видно, наиболее важными критериями являются точность, надежность и производительность, т.к. эксперта в меньшей степени интересуют затраты на станок, важнее для него получение точно обработанные детали с наибольшей производительностью. Далее произведены парные сравнения альтернатив по предложенным критериям и определена наилучшая схема компоновки (рисунок 4).

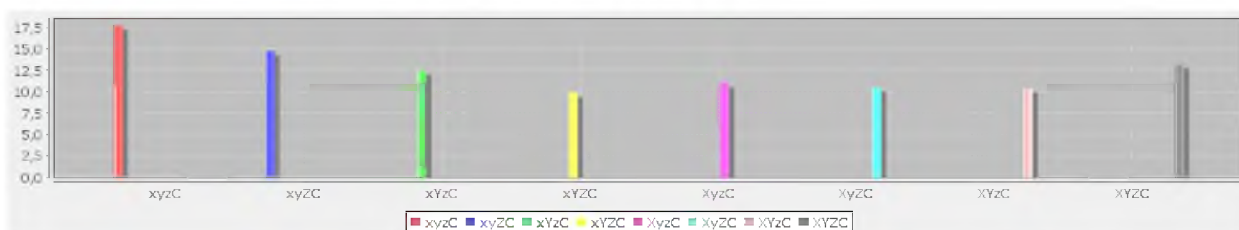


Рис. 4. Выбор рациональной схемы компоновки станка для субтрактивной обработки
 Fig. 4. The rational scheme selection for the subtractive processing machine layout

Таким образом, проведен выбор структурно-компоновочной схемы оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов, в результате которого получены следующие результаты:

- систематизированы варианты перемещений элементов станка в трехмерном пространстве с возможностью вращения рабочего элемента;
- выявлены возможные варианты схем компоновки станка;
- определены наиболее приоритетные альтернативы компоновочных схем станка на основании возможных вариантов схем компоновки;
- систематизированы в форме кластеров критерии для определения наилучшей с точки зрения эксперта компоновки;
- построена иерархия принятия решений на основании МАИ, дающая возможность выбрать рациональную компоновочную схему;
- по результатам экспертного оценивания выявлено, что наиболее рациональной структурно-компоновочной схемой станка для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов является схема с формулой XYZC.

Список литературы References

1. Бардин, В.А. Актюаторы нано- и микроперемещений для систем управления, контроля и безопасности [Текст] / В. А. Васильев, В. А. Бардин // Современная техника и технологии. – 2014. – № 2.
 Bardin, V.A. Aktjatory nano- i mikroperemeshhenij dlja sistem upravlenija, kontrolja i bezopasnosti [Tekst] / V. A. Vasil'ev, V. A. Bardin // Sovremennaja tehnika i tehnologii. – 2014. – № 2.
2. Ивашов, Е.Н. Трехкоординатный пьезопривод для сканирующей туннельной микроскопии [Текст] / Е.Н. Ивашов, К.Д. Федотов // Информационные материалы в науке и производстве (ИТНП-2013): Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 5–6 июня 2013 г. Самар. гос. техн. ун-т.– Самара, 2013. – С.3–6.
 Ivashov, E.N. Trehkoordinatnyj p'ezoprivod dlja skanirujushhej tunnel'noj mikroskopii [Tekst] / E.N. Ivashov, K.D. Fedotov // Informacionnye materialy v nauke i proizvodstve (ITNP-2013): Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii. 5–6 ijunya 2013 g. Samar. gos. tehn. un-t.– Samara, 2013.–S.3–6.
3. Бобцов, А.А. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений [Текст] / А.А. Бобцов [и др.]; под. ред. А.А.Бобцова. – Санкт Петербург: ИТМО, 2011. – 131 с.
 Bobcov, A.A. Ispolnitel'nye ustrojstva i sistemy dlja mikroperemeshhenij [Tekst] / A.A. Bobcov [i dr.]; pod. red. A. A. Bobcova. – Sankt Peterburg: ITMO, 2011. – 131 s.
4. Панич, А.Е. Пьезокерамические актюаторы [Текст] / А. Е. Панич.- Ростов на Дону: РГУ, 2008. – 159 с.
 Panich, A.E. P'ezokeramicheskie aktjatory [Tekst] / A. E. Panich.- Rostov na Donu: RGU, 2008. – 159 s.
5. Бушуев, В.В. Металлорежущие станки. Том 1. [Текст] / В.В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.
 Bushuev, V.V. Metallorzhushhie stanki. Tom 1. [Tekst] / V.V. Bushuev i dr. – M.: Mashinostroenie, 2011. – 608 s.
6. Мазеин, П.Г. Станки с компьютерным управлением: учебное пособие [Текст] / П.Г. Мазеин, С.С. Панов, С.В. Шереметьев и др. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – Ч.2. – 88 с.
 Mazein, P.G. Stanki s komp'juternym upravleniem: uchebnoe posobie [Tekst] / P.G. Mazein, S.S. Panov, S.V. Sheremet'ev i dr. – Cheljabinsk: JuUrGU, 2006. – Ch.2. – 88 s.
7. Афонин, А.Н. Автоматизация диагностирования и прогнозирования состояния металлорежущих станков на промышленных предприятиях [Текст] / О.В. Аникеева, А.Н. Афонин, А.Г. Ивахненко // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1 (40). Ч. 1. – С. 103-107.
 Afonin, A.N. Avtomatizacija diagnostirovaniija i prognozirovaniija sostojaniija metallorzhushhih stankov na promyshlennyh predpriyatijah [Tekst] / O.V. Anikeeva, A.N. Afonin, A.G. Ivahnenko // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 1 (40). Ch. 1. – S. 103-107.
8. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993.– 278 с.



Saati, T. Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij [Tekst] / T. Saati. – Moskva: Radio i svjaz', 1993.– 278 s.

9. Ломакин, В.В. Комплекс критериев и алгоритмическое обеспечение процесса принятия решений при создании систем управления наружным освещением [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко, Р.Г. Асадуллаев // Фундаментальные исследования: научный журнал. – Москва: Российская академия естествознания - 2014. - №11(11). – С. 2370-2374

Lomakin, V.V. Kompleks kriteriev i algoritmicheskoe obespechenie processa prinjatija reshenij pri sozdanii sistem upravlenija naruzhnym osveshheniem [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko, R.G. Asadullaev // Fundamental'nye issledovanija: nauchnyj zhurnal. – Moskva: Rossijskaja akademija estestvoznaniya - 2014. - №11(11). – S. 2370-2374

10. Ломакин, В.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Фундаментальные исследования. – 2013. –№11.– С.1798-1803.

Lomakin, V.V. Algoritm povyshenija stepeni soglasovannosti matricy parnyh sravnenij pri provedenii jekspertnyh oprosov [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko // Fundamental'nye issledovanija. –2013. –№11.– S.1798-1803.

11. Лифиренко, М.В. Система поддержки принятия управленческих решений на основе усовершенствованного аналитико-иерархического процесса / М.В. Лифиренко, В.В. Ломакин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616249 от 02.07.2013г.

Lifirenko, M.V. Sistema podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij na osnove usovershenstvovannogo analitiko-ierarhicheskogo processa / M.V. Lifirenko, V.V. Lomakin // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM №2013616249 ot 02.07.2013g.

12. Ломакин, В.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Научные ведомости Белгородского государственного университета: научный журнал. – Белгород: Издательский дом «Белгород». - 2014. - №1(172) выпуск 29/1. – С. 114–120.

Lomakin, V.V. Sistema podderzhki prinjatija reshenij s avtomatizirovannymi sredstvami korrekcirovki suzhenij jekspertov [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta: nauchnyj zhurnal. – Belgorod: Izdatel'skij dom «Belgorod». - 2014. - №1(172) vypusk 29/1. – S. 114–120.