

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ ДЛЯ УСТРОЙСТВ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2015 г. Е.Н. ИВАШОВ, К.Д. ФЕДОТОВ

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
e-mail: eivashov@mail.ru, zenflak@gmail.com

Устройства наноперемещений в общем случае имеют большое количество параметров, которые нельзя подобрать опытным путем вследствие высокой стоимости систем, а также сложностей эксплуатации. Поэтому в проектировании устройств наноперемещений необходимо использовать алгоритмы автоматизированного выполнения проектных работ при их создании.

Значительная часть задач принятия решений имеет множество целевых функций, которые не могут быть оптимизированы одновременно из-за присущей им несогласованности и конфликту между этими целями. Поэтому основной целью такого рода задач становится получение «лучшего компромиссного» решения. Для решения задач многоцелевого принятия решений было предложено большое число методологий.

Для решения задачи многоцелевого принятия решений (МЦПР) был разработан метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением (*method of ordered preference through likeness with ideal decision – TOPSIS*). Компромисс данного метода состоит в том, что выбранное альтернативное решение должно иметь наикратчайшее расстояние до позитивного идеального решения – *PIS*, а также наибольшее расстояние до негативного идеального решения – *NIS*. Математически требуется сформулировать принцип компромисса следующим образом:

$$f_t^* = \max_{x \in X} f_j(x) \forall j \in J = \min_{x \in X} f_i(x) \forall i \in I,$$

$$f_t^* = \min_{x \in X} f_j(x) \forall j \in J = \max_{x \in X} f_i(x) \forall i \in I,$$

Соответственно для *PIS* и *NIS*, где $t = 1, 2, \dots, k$. $f^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*\}$ является вектором решения первого уравнения. Этот вектор состоит из индивидуальных наилучших возможных решений для всех целей и называется *PIS*. Подобно ему, $f = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ является вектором решения и состоит из наихудших возможных решений для всех целей *NIS*. Заметим, что f^* и f всегда находятся в пределах допустимой области значений формулы:

$$\max/\min [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)], x \in X = \{x | g_h(x) \{>, =, <\} 0, h = 1, 2, \dots, r\},$$

$$f_j(x): \text{цель (выгода) для максимизации, } j \in J;$$

$$f_i(x): \text{цель (цена) для минимизации, } i \in I.$$

Она математически описывает задачу МЦПР для n переменных, m условий и k целей.

Для измерения расстояния от *PIS* и *NIS* используется L_p метрика Миньковского. Компонентное расстояние от *PIS* и *NIS* для каждой цели нормализуется из-за исходной несогласованности.

$$d_p^{PIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

$$d_p^{NIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

где w_t ($t = 1, 2, \dots, k$) – относительная важность t -ой цели; $p = 1, 2, \dots, \infty$ – параметр функций расстояния; d_p^{PIS} (уступки) и d_p^{NIS} (поощрения) – расстояния до PIS и NIS . По мере роста параметра p , расстояние d_p уменьшается, $d_1 > d_2 > \dots > d_\infty$. При $p = 1$ для всех индивидуальных отклонений применяется равная важность функции расстояния d_j ; при $p = 2$ наивысшая важность дается пропорционально наибольшему отклонению; при $p = \infty$ наибольшее отклонение полностью доминирует при определении расстояния.

d_1 – расстояние Манхэттена, наидлиннейшее в геометрическом смысле;
 d_2 – расстояние Евклида, наикратчайшее в геометрическом смысле;
 d_∞ – расстояние Чебышева, наикратчайшее в числовом смысле.

Таким образом, вместо k исходных целей остается задача из двух целей: минимизировать расстояние до PIS d_p^{PIS} и максимизировать расстояние от NIS d_p^{NIS} , то есть $\min d_p^{PIS}$ и $\max d_p^{NIS}$, для которых $p = 1, 2, \infty$. Эти цели конфликтуют друг с другом, нельзя одновременно достичь их индивидуального оптимума, цели становятся нечеткими, чтобы смоделировать их, необходимо использовать функции принадлежности из теории нечетких множеств.

Функции принадлежности $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ – невозрастающие или неубывающие монотонные функции между точками экстремума d_p^* и d_p , где:

$$\begin{aligned} (d_p^{PIS})^* &= \min_{x \in X} d_p^{PIS}(x); \text{ решение } - x^{PIS}; \\ (d_p^{NIS})^* &= \max_{x \in X} d_p^{NIS}(x); \text{ решение } - x^{NIS}; \\ d_p^{PIS} &= d_p^{PIS}(x^{NIS}); \quad d_p^{NIS} = d_p^{NIS}(x^{PIS}). \end{aligned}$$

Основываясь на концепции предпочтения, назначается меньшая степень там, где короче расстояние от PIS для $\mu_1(x)$, и большая степень назначается там, где длиннее расстояние до NIS для $\mu_2(x)$. Наглядно получение $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ показано на рис. 1.

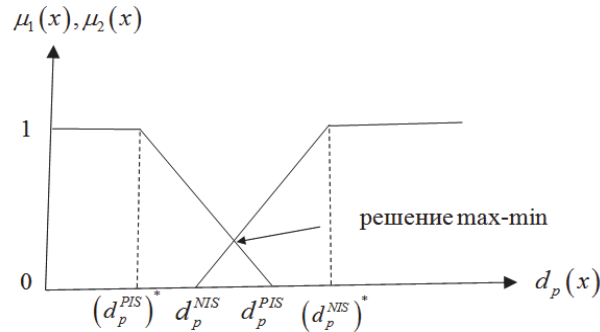


Рис. 1. Нахождение $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$.

PIS является результатом решения задачи:

$$\begin{aligned} &\min d_p^{PIS}; \\ w_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right] &\leq d_\infty^{PIS}, \forall j; \quad w_i \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right] \leq d_\infty^{PIS}, \forall i; x \in X. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\max d_p^{NIS}; \\ w_j \left[\frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right] &\geq d_\infty^{NIS}, \forall j; \quad w_i \left[\frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right] \geq d_\infty^{NIS}, \forall i; x \in X. \end{aligned}$$

NIS находится аналогично.

Предыдущие формулы так же эквивалентны следующей формуле:

$$\min d_p^{NIS};$$

$$w_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right] \leq w_j - d_\infty^{NIS}, \forall j; w_i \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right] \leq w_i - d_\infty^{NIS}, \forall i; x \in X.$$

Если предположить, что $w_1 = w_2 = \dots = w_k = 1/k$, то $d_\infty^{PIS} = 1/k - d_\infty^{NIS}$ и $d_\infty^{NIS} = 1/k - d_\infty^{PIS}$. Тогда можно упростить задачу:

$$\min d_p^{PIS} - 1/k;$$

$$w_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right] \leq d_\infty^{NIS}, \forall j; w_i \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right] \leq d_\infty^{NIS}, \forall i; x \in X.$$

В последнем случае процедура компромисса *TOPSIS* не требуется, то есть при $p = \infty$, достаточно найти лишь одно решение, а не два. Однако, следует иметь в виду, что в случае разных весов целей w_k , решения совпадать не будут.

При $p = 1$, $d_1^{PIS} = 1 - d_1^{NIS}$. Компромиссное решение можно получить, либо минимизируя d_1^{PIS} , либо максимизируя d_1^{NIS} .

При $2 < p < \infty$ $\min d_p^{PIS}$ и $\max d_p^{NIS}$ обычно имеют различные решения.

Алгоритмы автоматизированного выполнения отдельных проектных работ необходимо объединять во взаимосвязанную последовательность, определив при этом информационные и организационные связи этих работ. В качестве одной из возможных схем проектирования электромеханических устройств (ЭМУ) в условиях функционирования САПР предлагается следующая схема, изображенная на рис. 2.

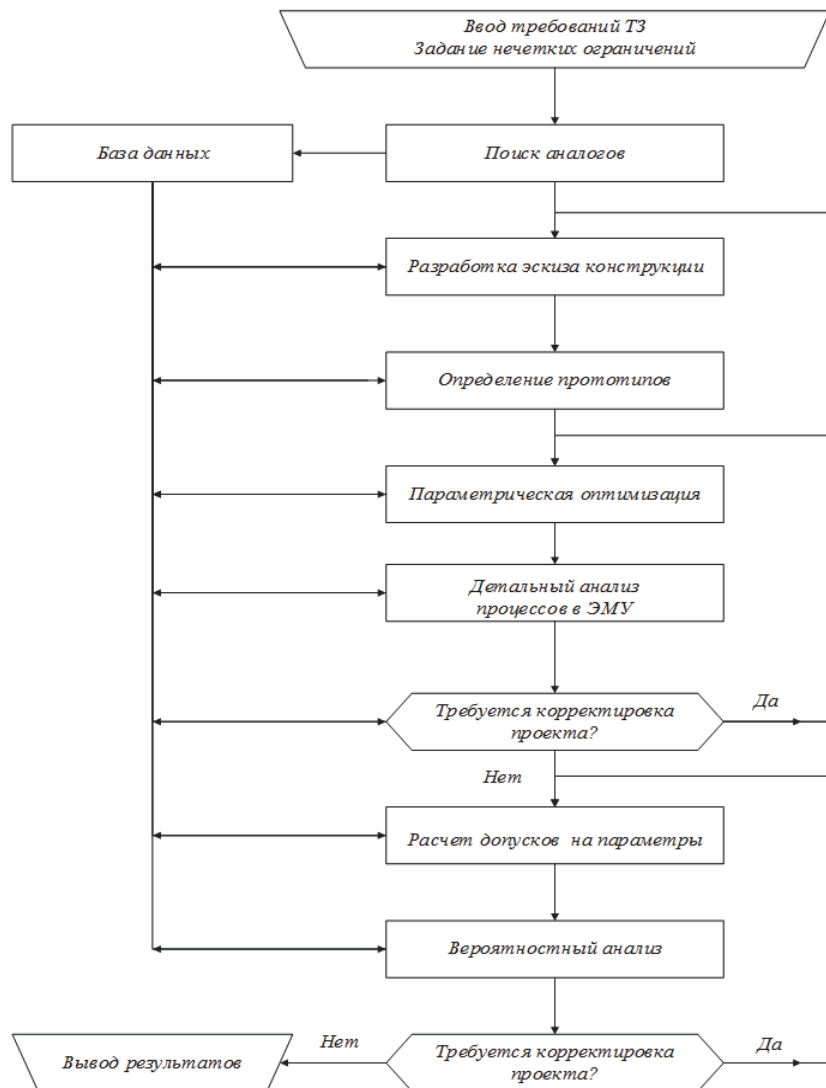


Рис. 2. Схема проектирования электромеханических устройств.

Устройство перемещений для нанотехнологии (рис. 2) содержит пьезопривод 1, установленный на неподвижной платформе 2, с зондовым устройством 3, подложку 4 с подложкодержателем 5, отличающееся тем, что устройство снабжено дополнительными пьезоприводами 6, связанными с основным пьезоприводом 1 посредством кронштейна 7, на свободных торцах 8 дополнительных пьезоприводов закреплено зондовое устройство 3, выполненное в виде зондов 9, внутри кронштейна 7 и под подложкодержателем 5 расположены клеммы 10, 11 устройства дополнительного источника напряжений 12, не связанного с основным источником напряжений 13, причем кронштейн 7 закреплен на I-координатном приводе 14, который связан с неподвижным основанием 15.

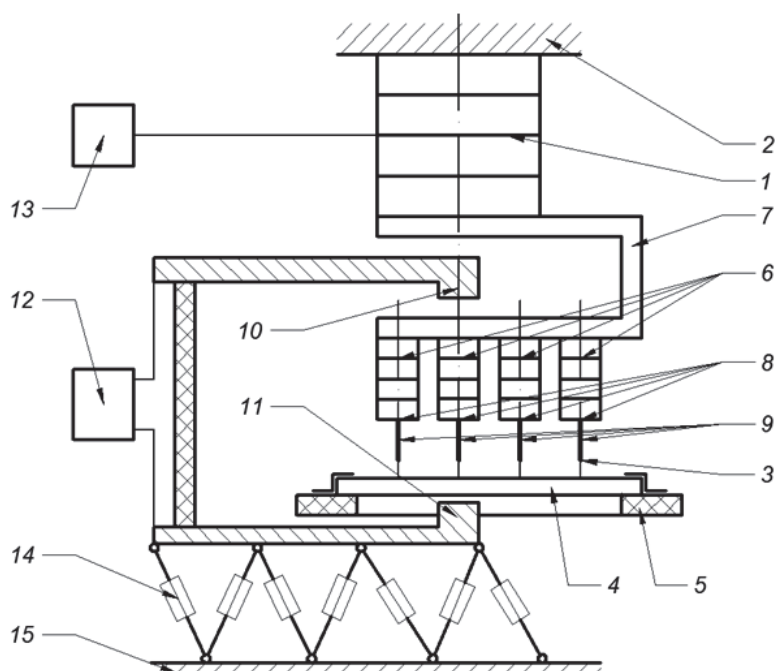


Рис. 3. Устройство перемещений для нанотехнологии.

Устройство перемещений для нанотехнологии работает следующим образом.

При подаче напряжения от основного источника напряжений 13, пьезопривод 1, закрепленный на неподвижной платформе 2, вследствие обратного пьезоэффекта удлиняется, перемещая зондовое устройство 3 к подложке 4, посредством перемещений пары клемм 10, 11 с помощью I-координатного привода 14 при подаче напряжения от дополнительного источника напряжений 12, пьезоприводы 6 деформируются индивидуально, подводя зонды 9, закрепленные на свободных торцах 8 к подложке 4, закрепленной на подложкодержателе 5 и выполняется технологический процесс.

Применение предлагаемого устройства перемещений для нанотехнологии позволяет выполнять технологический процесс в нескольких областях подложки с заданной степенью точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветров В.А., Ивашов Е.Н., Федотов К.Д., Яговцев В.О. Методы оптимизации технических решений пьезоприводов // Вестник машиностроения. 2015. № 3. С. 3-10.
2. Слободин М.Ю., Царев Р.Ю. Компьютерная поддержка многоатрибутивных методов выбора и принятия решений при проектировании корпоративных информационно-управляющих систем. – СПб.: Инфо-да. – 2004. – 223 с.
3. Ивашов Е.Н., Федотов К.Д. Подсистема автоматизированного проектирования элементов пьезоэлектрических устройств // Вестник машиностроения. 2014. № 6. С. 30-36.