

УДК 621.83 + 519.85

*А. В. КОТОВ<sup>1,2</sup>, Д. Г. КРОЛЬ<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ОАО «Сейсмотехника», Гомель, Беларусь*

*<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДЕФОРМИРУЕМОГО МНОГОГРАННИКА К ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО КИНЕМАТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЛОСКОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА**

Представлена математическая постановка и результаты решения задачи оптимизационного кинематического синтеза плоского рычажного механизма, воспроизводящего заданную траекторию точки движения выходного звена, с помощью метода деформируемого многогранника. Дана качественная оценка эффективности использования данного метода при проведении многопараметрического оптимизационного кинематического синтеза механизмов с учетом и без учета возможности наложения дополнительных ограничений.

**Ключевые слова:** лямбда-механизм, оптимизационный синтез, деформируемый многогранник, симплекс, алгоритм, ограничения.

**Введение.** В современном машиностроении широкое применение нашли четырехзвенные рычажные механизмы благодаря своему уникальному сочетанию конструктивных и функциональных преимуществ. Данные механизмы при минимальном количестве звеньев позволяют реализовать сложные траектории движения рабочих органов машин за счет рационального выбора их геометрических параметров [1]. Однако в связи с возросшими требованиями к эффективности, точности и надежности рычажных механизмов традиционные методы проектирования, основанные на опыте и интуиции, уже с трудом позволяют достичь необходимых кинематических параметров. Поэтому оптимизационный кинематический синтез рычажных механизмов становится ключевым фактором, обеспечивающим конкурентоспособность разрабатываемой техники.

В учебной практике в основном уделяется внимание геометрическим методам синтеза рычажных механизмов, которые отличаются наглядностью, относительной простотой, но уступают в точности решения поставленной задачи [2]. В последнее время в связи с широким внедрением математических пакетов и языков программирования произошел заметный скачок в применении численных алгоритмов оптимизации для кинематического синтеза рычажных механизмов [3 - 7]. В результате геометрические методы синтеза постепенно уходят на второй план, уступая место более точным и эффективным машинным алгоритмам.

На сегодняшний день не существует универсального численного алгоритма, способного эффективно решать весь спектр оптимизационных задач [8]. Применение популярных градиентных алгоритмов к задачам оптимизационного кинематического синтеза рычажных механизмов требует больших затрат вычислительных ресурсов и не всегда является эффективным. В то же время, потенциал безградиентных алгоритмов для решения данного класса задач освещен в научной литературе недостаточно полно, что с учетом их высокой адаптации для программной реализации [9], требует проведения дополнительных исследований.

**Цель исследования.** Оценить возможность применения алгоритма многопараметрической безградиентной оптимизации на основе метода деформируемого многогранника для решения задачи оптимизационного кинематического синтеза плоского рычажного механизма. Дать качественную оценку использования данного метода при его реализации в математическом пакете PTC.MathCAD.

**Методы исследований.** Аналитическое описание кинематики рассматриваемого плоского рычажного механизма основано на векторном методе преобразования координат в неизменном базисе. При проведении оптимизационного кинематического синтеза механизма использовались численные методы оптимизации и математического программирования.

**Постановка и решение задачи кинематического анализа.** Среди четырехзвенных рычажных механизмов, особое место занимает так называемый лямбда-механизм (лямбдообразный механизм или механизм Чебышева), кинематическая схема которого приведена на рисунке 1. При определенном сочетании длин звеньев, лямбда-механизм преобразует вращательное движение ведущего звена в приближенное прямолинейное движение одной из своих точек на некотором ограниченном участке траектории ее движения [10]. Несмотря на то, что на сегодняшний день наблюдается тенденция к постепенному вытеснению лямбда-механизмов более точными механическими системами, данные механизмы все еще активно используются в машиностроении [11, 12], а оценка эффективности работы многих оптимизационных алгоритмов проверяется именно на данном механизме [13, 14].

Пусть для рассматриваемого лямбда-механизма (см. рисунок 1), имеющего произвольные геометрические параметры, требуется обеспечить максимально прямолинейный участок траектории шатунной кривой  $t. M$ . Данная траектория должна быть расположена на некотором заданном расстоянии по вертикали  $Y_M$ , и проходить через три точки каждая из которых соответствует определенному углу  $\varphi$  поворота ведущего звена. Примем, что две крайние точки для  $\varphi=90^\circ$  и  $-90^\circ$  расположены на расстоянии  $\pm X_M$  по горизонтали относительно начала принятой системы координат, а ордината средней точки для  $\varphi=0^\circ$  совпадает с началом системы координат (см. рисунок 1).

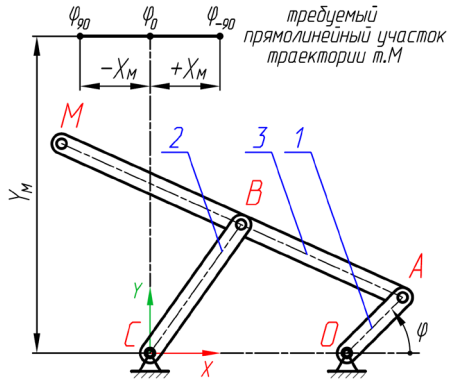


Рисунок 1 – Кинематическая схема лямбда-механизма:  
 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – коромысло

В качестве оптимизируемых параметров будут выступать длины звеньев рычажного механизма, а также координата т. *O* по оси *X*, которые представим в виде следующего вектора оптимизируемых параметров:

$$\bar{p} = (p_0 \ p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4)^T \equiv (O_X \ L_{OA} \ L_{BC} \ L_{AB} \ L_{BM})^T. \quad (1)$$

Прежде чем приступить к решению задачи оптимизационного кинематического синтеза рассматриваемого механизма, необходимо описать кинематику движения всех его характерных точек с учетом вектора оптимизируемых параметров (1) и угла  $\varphi$  поворота ведущего звена к горизонтальной оси *X* принятой системы координат (обобщенной координаты). В основу аналитического описания кинематики лямбда-механизма положен векторный метод преобразования координат в неизменном базисе, представленный в работах [15 - 17]. Используя приведенные в данных работах аналитические зависимости, опишем кинематику рассматриваемого рычажного механизма:

$$\bar{C} = (0 \ 0 \ 0)^T; \ \bar{O}(\bar{p}) = (p_0 \ 0 \ 0)^T; \quad (2)$$

$$\overline{OA}(\varphi, \bar{p}) = \text{Turn}_{XY}(\bar{e}_X, \varphi, p_1). \quad (3)$$

Выражением (3) получен вектор звена *OA* путем поворота единичного вектора оси *X* на угол  $\varphi$  против хода часовой стрелки (перед углом стоит знак «+») с изменением его длины на оптимизируемую длину  $p_1 \equiv L_{OA}$ .

$$\overline{A}(\varphi, \bar{p}) = \bar{O}(\bar{p}) + \overline{OA}(\varphi, \bar{p}); \ \overline{CA}(\varphi, \bar{p}) = \overline{A}(\varphi, \bar{p}) - \bar{C}; \quad (4)$$

$$\alpha_{BCA}(\varphi, \bar{p}) = T \cos(|\overline{CA}(\varphi, \bar{p})|, p_2, p_3). \quad (5)$$

Выражением (5) получен угол  $\alpha_{BCA}$  с вершиной в т. *C* по теореме косинусов с использованием двух оптимизируемых длин звеньев  $p_2 \equiv L_{BC}$  и  $p_3 \equiv L_{AB}$ , а также модуля вектора звена *CA*, определяющего длину между точками *C* и *A*.

$$\overline{CB}(\varphi, \bar{p}) = \text{Turn}_{XY}(\overline{CA}(\varphi, \bar{p}), \alpha_{BCA}(\varphi, \bar{p}), p_2); \quad (6)$$

$$\overline{B}(\varphi, \overline{p}) = \overline{C} + \overline{CB}(\varphi, \overline{p}); \quad \overline{AB}(\varphi, \overline{p}) = \overline{B}(\varphi, \overline{p}) - \overline{A}(\varphi, \overline{p}); \quad (7)$$

$$\overline{BM}(\varphi, \overline{p}) = \text{Turn}XY(\overline{AB}(\varphi, \overline{p}), 0, p_4). \quad (8)$$

Выражением (8) получен вектор звена  $BM$ , являющийся коллинеарным к исходному поворачиваемому вектору звена  $AB$  (поворот исходного вектора осуществлен на нулевой угол).

$$\overline{M}(\varphi, \overline{p}) = \overline{B}(\varphi, \overline{p}) + \overline{BM}(\varphi, \overline{p}). \quad (9)$$

Приведенные выражения (2) - (9) являются функциями, зависящими не только от обобщенной координаты – угла  $\varphi$  поворота ведущего звена, но и от вектора (1) оптимизируемых параметров.

**Постановка и решение задачи оптимизационного синтеза.** В большинстве случаев аналитическое решение задачи оптимизационного кинематического синтеза рычажного механизма позволяет приближенно реализовать требуемую траекторию движения интересующей точки механизма. Однако за счет разработки и внедрения в современных математических пакетах и языках программирования высокоэффективных алгоритмов оптимизации стало возможным существенно повысить точность решения такой задачи.

Задача любого оптимизационного синтеза заключается в минимизации некоторой целевой функции. Как правило, при формировании такой целевой функции используется метод наименьших квадратов невязок некоторого расчетного параметра от его оптимального (допускаемого) значения [5, 6]. Для рассматриваемого механизма в качестве такой невязки будет выступать отклонение расчетной траектории шатунной кривой радиус-вектора  $t$ .  $M$  от заданной оптимальной траектории радиус-вектора  $t$ .  $M^*$ , а сама сформированная целевая функция может быть представлена в следующем виде:

$$f(\overline{p}) = \sum_{i=1}^n |\overline{M}(\varphi_i, \overline{p}) - \overline{M}_i^*|^2 \rightarrow \min, \quad (10)$$

где  $n$  – число заданных точек прямолинейного участка траектории  $t$ .  $M$ .

Для проведения оптимизационного кинематического синтеза рассматриваемого лямбда-механизма путем минимизации сформированной целевой функции (10), был применен метод деформируемого многогранника известный также как метод Нелдера–Мида [18]. Указанный метод работает с симплексом – геометрической фигурой, каждая вершина которой соответствует некоторому вектору набора оптимизируемых параметров.

Для программной реализации оптимизационного алгоритма деформируемого многогранника использовались известные блок-схемы [8, 18, 19], примеры адаптации алгоритма в различных математических пакетах и языках программирования [19 - 22], а также работы [23 - 25]. В результате для математического пакета PTC.MathCAD была осуществлена программная реализация полностью работоспособного оптимизационного алгоритма методом деформируемого многогранника [26].

Особенностью данного алгоритма стало: использование легко читаемого программного кода, за счет применения осмысленных буквенных обозначений для вершин симплекса (вместо  $i$ -ых индексов); автоматизированное формирование вершин исходного регулярного симплекса, интегрированное в тело алгоритма; ряд второстепенных программных улучшений, направленных на повышение эффективности работы алгоритма. Также стоит отметить, что из-за обнаруженного разночтения в опубликованных блок-схемах алгоритма, в качестве исходной была принята оригинальная схема [18].

Работоспособность оптимизационного алгоритма деформированного многогранника для математического пакета PTC.MathCAD проводилась на известных тестовых функциях [27]. Как показали результаты исследования, метод деформируемого многогранника обладает достаточной высокой точностью решения, а также скоростью сходимости за счет отсутствия операций с производными. В результате данный метод потенциально может позволить использовать большое число оптимизируемых параметров, а также применять более сложные критерии оптимизации, что особенно важно при проведении оптимизационного кинематического синтеза многозвенных рычажных механизмов.

**Результаты и обсуждение.** Из аналитической геометрии известно, что если в пространстве необходимо построить регулярный симплекс, одна из вершин которого находится в точке исходного вектора оптимизируемых параметров, то координаты оставшихся вершин такого симплекса удобно задавать с помощью  $N \times (N+1)$  матрицы [8, 9]. Для принятого вектора оптимизируемых параметров (1), состоящего из пяти элементов, данная матрица будет иметь вид:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & d_1 & d_2 & d_2 & d_2 & d_2 \\ 0 & d_2 & d_1 & d_2 & d_2 & d_2 \\ 0 & d_2 & d_2 & d_1 & d_2 & d_2 \\ 0 & d_2 & d_2 & d_2 & d_1 & d_2 \\ 0 & d_2 & d_2 & d_2 & d_2 & d_1 \end{bmatrix} + p_{in}; \quad \begin{aligned} d_1 &= \frac{a}{N \cdot \sqrt{2}} \cdot (\sqrt{N+1} + N - 1); \\ d_2 &= \frac{a}{N \cdot \sqrt{2}} \cdot (\sqrt{N+1} - 1), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $a$  – расстояние между двумя вершинами симплекса;  $N$  – число вершин симплекса;  $p_{in}$  – исходный вектор оптимизируемых параметров, используемый в качестве начального приближения в оптимизационном алгоритме.

После того как сформирована матрица вершин исходного регулярного симплекса, можно применить предложенный математический алгоритм оптимизации методом деформируемого многогранника [26], для которого входными параметрами будут выступать матрица вершин регулярного симплекса (11) и целевая функция (10), а выходным параметром – вектор найденных оптимизированных параметров:

$$\bar{p}_{nm} = NM(f(\bar{p}), X).$$

На рисунке 2 приведена визуализация в математическом пакете PTC.MathCAD кинематической схемы рассматриваемого рычажного механизма до и после проведения оптимизационного кинематического синтеза методом деформируемого многогранника, а в таблице приведены числовые значения для вектора исходных и оптимизированных параметров.

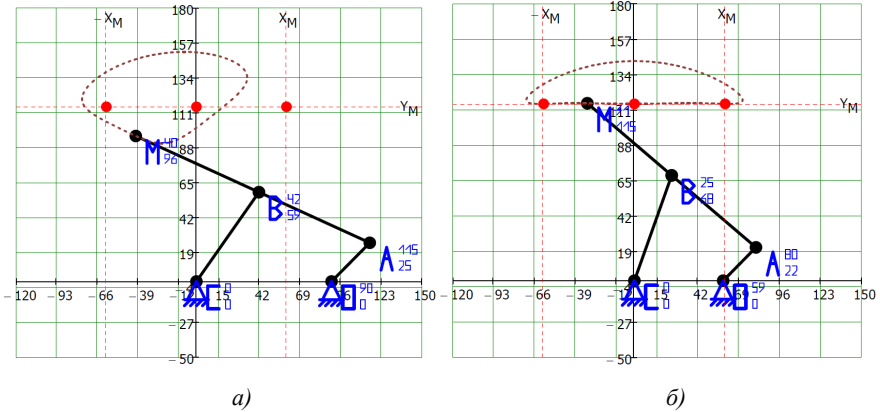


Рисунок 2 – Визуализация в математическом пакете PTC.MathCAD кинематической схемы механизма до (а) и после (б) проведения оптимизационного синтеза

Таблица – Результаты оптимизационного синтеза

В миллиметрах

Вектор	Оптимизируемые параметры					
	$O_X$	$L_{OA}$	$L_{BC}$	$L_{AB}$	$L_{BM}$	$f$
$\bar{p}_{in}$	90,0	36,0	72,0	81,0	90,0	–
$\bar{p}_{nm}$	58,6	30,6	72,7	72,7	72,8	0,002
$\bar{p}_{mcd}$	60,3	31,5	73,7	74,1	72,5	0,446

Примечание: прямолинейный участок траектории задан  $Y_M=115$  мм и  $X_M=\pm 60$  мм.

Как видно из полученных результатов расчета (см. рисунок 2, б) прямолинейный участок траектории шатунной кривой т. М полностью удовлетворяет всем предъявленным требованиям (проходит через все заданные точки). При этом значения трех оптимизируемых параметров (длин звеньев  $L_{BC}$ ,  $L_{AB}$ ,  $L_{BM}$ ) получены практически равными друг другу, что соответствует известным аналитическим выражениям [1, 10].

Стоит отметить, что на сегодняшний день все современные оптимизационные алгоритмы должны иметь возможность решать задачи с учетом функ-

циональных ограничений. Решение таких задач имеет большое практическое значение для машиностроения т.к. в процессе кинематического синтеза на все оптимизируемые параметры рычажных механизмов могут накладываться определенные функциональные ограничения (например, ограничения на длины звеньев). Как показали результаты исследования, оптимизационный алгоритм деформируемого многогранника возможно адаптировать к решению задач условной оптимизации с ограничениями в виде равенств и (или) неравенств без существенного снижения точности и скорости решения, воспользовавшись для этого методом штрафных или барьерных функций [8].

Для решения задачи оптимизационного кинематического синтеза рычажного механизма с учетом ограничений, все наложенные ограничения в виде равенств или неравенств должны быть приведены к следующему виду:

$$h_i(\bar{p}) = 0; \quad g_i(\bar{p}) < 0.$$

Тогда, воспользовавшись методом штрафных функций, суммарные функции штрафов можно представить как [8, 20]:

$$h_{\Sigma}(\bar{p}) = C_h \cdot \sum_i |h_i(\bar{p})|^2; \quad g_{\Sigma}(\bar{p}) = C_g \cdot \sum_i \max(0, g_i(\bar{p}))^2, \quad (12)$$

где  $C_h$  и  $C_g$  – коэффициенты штрафов для равенств и неравенств.

После чего, сформированную общую функцию штрафов (12) необходимо добавить к целевой функции (10) и заново решить оптимизационную задачу методом деформируемого многогранника:

$$\bar{p}_{nm}^* = NM(f(\bar{p}) + h_{\Sigma}(\bar{p}) + g_{\Sigma}(\bar{p}), X).$$

**Проверка адекватности.** Для проверки достоверности найденного глобального минимума целевой функции применялись два наиболее распространенных подхода. Первый подход заключался в сравнение с результатами расчета, полученными с помощью других уже проверенных оптимизационных алгоритмов, а второй – в сравнении с результатами расчета, полученными для разных начальных значений исходного вектора оптимизируемых параметров.

Проверка оптимизационного алгоритма с помощью первого подхода проводилась при помощи встроенного в математический пакет PTC.MathCAD функции численной минимизации [20, 22], результаты расчета которой сведены в таблицу:

$$\bar{p}_{mcd} = minimize(f(\bar{p}), \bar{p}).$$

Проверка с помощью второго подхода проводилась путем изменения значений для вектора оптимизируемых параметров в пределах  $\pm 30\%$  от их исходных величин, с последующим отслеживаем поиска оптимального решения алгоритмом. Все полученные результаты проверки подтвердили достаточно устойчивую сходимостью оптимизационного алгоритма к одному и тому же глобальному минимуму целевой функции.

**Заключение.** В работе представлен алгоритм и результаты оптимизационного кинематического синтеза рычажного механизма методом деформируемого многогранника. Данный метод показал высокую скорость поиска оптимального решения, эффективное применение с большим числом оптимизируемых параметров, а также возможность постановки задачи с учетом или без учета дополнительных ограничений. Известная чувствительность метода деформируемого многогранника к начальным условиям проявляется на сильно овражных функциях, что необходимо учитывать при применении данного оптимизационного алгоритма к той или иной поставленной задаче.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Артоболевский, И. И.** Механизмы в современной технике: справ. пособие: в 7 т. / И. И. Артоболевский – 2-е изд. перераб. – М. : Наука, 1979. – Т. 1 : Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы. – 496 с.

2 **Артоболевский, И. И.** Синтез плоских механизмов: учеб. для втузов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.

3 **Yao, X.** Optimal synthesis of four-bar linkages for path generation using the individual repairing method / X. Yao, X. Wang, W. Sun et. al. // Mechanical Sciences. – 2022. – Vol. 13, no. 1. – P. 79–87.

4 **Garcia-Marina, V.** Optimum dimensional synthesis of planar mechanisms with geometric constraints / V. Garcia-Marina, I. Fernandez de Bustos, G. Urkullu et al. // Meccanica. – 2020. – Vol. 55. – P. 2135-2158.

5 **Халтурин, М. А.** Синтез прямолинейно-направляющего механизма для отрезки заготовок эскимо / М. А. Халтурин // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 1(3). – С. 27-34.

6 **Бейсенов, Н. К.** Оптимизационно-метрический синтез шарнирного четырехзвенника / Н. К. Бейсенов // Технические науки - от теории к практике. – 2016. – № 55. – С. 65-77.

7 **Гебель, Е. С.** Оптимизационный кинематический синтез четырехзвенного рычажного механизма по двум заданным положениям / Е. С. Гебель, Е. А. Чигринова // Омский научный вестник. – 2020. – № 3(171). – С. 21-25.

8 **Химмельблау, Д.** Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау; пер. с англ. И. Н. Быховской и Б. Т. Вавилова ; под ред. М. Л. Быховского. – М. : Мир, 1975. – 534 с.

9 **Аттетков, А. В.** Методы оптимизации: учеб. для вузов / А. В. Аттетков, С. В. Галкин, В. С. Зарубин; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – 2-е изд., стереотип. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.

10 **Баранов, Г. Г.** Курс теории механизмов и машин / Г. Г. Баранов. – М. : Машиностроение, 1975. – 494 с.

11 **Будзило, Е. Е.** Использование нового бульдозерного оборудования с механизмом Чебышева при производстве строительных работ / Е. Е. Будзило, Е. В. Гречишкина, М. Ю. Псюк // Научно-технические технологии и оборудование в промышленности и строительстве. – 2023. – № 2(76). – С. 106-113.

12 **Manickavelan, K.** Design, Fabrication and Analysis of Four Bar Walking Machine Based on Chebyshev's Parallel Motion Mechanism / K. Manickavelan, B. Singh, N.

Sellappan // European International Journal of Science and Technology. – 2014. – Vol. 3, no. 8. – P. 65–73.

13 **Mehdigholi, H.** Optimization of Watt's Six-Bar Linkage to Generate Straight and Parallel Leg Motion / H. Mehdigholi, S. Akbarnejad // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2012. – Vol. 9, no. 22. – P. 1–6.

14 **Поляков, Б. Н.** Оптимизация кинематических параметров рычажных четырехзвенных механизмов / Б. Н. Поляков // Прикладная информатика. – 2010. – № 3(27). – С. 108–112.

15 **Бобыренко, С. Н.** Моделирование процесса работы механизма подпрессовки питающего аппарата кормоуборочного комбайна / С. Н. Бобыренко, А. В. Котов // Вестник Белорусско-Российского университета – Могилев, 2011. №1 (30). – С. 18–26.

16 **Котов, А. В.** Оптимизация параметров предохранительного элемента пальчикового механизма шнека жатки зерноуборочного комбайна / А. В. Котов // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90. – №1. – С. 13–24.

17 **Котов, А. В.** Анализ уравновешенности кривошипно-ползунного механизма привода режущего аппарата методом векторов главных точек / А. В. Котов // Тракторы и сельхозмашины. – 2024. – Т. 91. – №2. – С. 167–180.

18 **Nelder, J. A.** A simplex method for function minimization / J. A. Nelder, R. Mead // Computer journal. – 1965. – Vol. 7. – P. 308–313.

19 **Банди, Б.** Методы оптимизации: вводный курс / Б. Банди; пер. с англ. О. В. Шихеевой; под ред. В. А. Вольнского. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.

20 **Гальченко, В. Я.** MathCAD: математические методы и инструментальные средства оптимизации / В. Я. Гальченко, Р. В. Трембовецкая. – Черкассы: ЧП Гордиенко Е. И., 2018. – 516 с.

21 **Мэтьюз, Джон Г.** Численные методы. Использование MATLAB / Джон Г. Мэтьюз, Куртис, Д. Финк – 3-е издание. : пер. с англ. – М. : Вильямс, 2001. – 720 с.

22 **Дмитриева, Т. Л.** Реализация условной задачи нелинейного математического программирования с использованием метода деформируемого многогранника в программе MathCAD / Т. Л. Дмитриева, В. Т. Нгуен // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4(44). – С. 73–79.

23 **Lagarias, J. C.** Convergence of the restricted Nelder-Mead algorithm in two dimensions / J. C. Lagarias, V. Poonen, M. H. Wright // SIAM Journal on Optimization. – 2012. – Vol. 22, no. 2. – P. 501–532.

24 **Суфиянов, В. Г.** Метод Нелдера-Мида решения задачи оптимизации геометрической формы ствола автоматической пушки для улучшения колебательных характеристик / В. Г. Суфиянов, Д. А. Клюкин, И. Г. Русак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, №4(114). – С. 121–131.

25 **Петрушин, А. Д.** Оптимизация активной части вентильно-индукторного электродвигателя / А. Д. Петрушин, А. В. Кашуба // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1(61). – С. 61–65.

26 Алгоритм деформируемого многогранника [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://drive.google.com/file/d/172ozZXeprDCfWc3eA4\\_xJd\\_zgVEIpyv](https://drive.google.com/file/d/172ozZXeprDCfWc3eA4_xJd_zgVEIpyv). – Дата доступа: 01.11.2025.

27 **Тимофеева, О. П.** Исследование популяционных алгоритмов в решении задач непрерывной оптимизации / О. П. Тимофеева, С. А. Неимуцев, Л. И. Неимуцева // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2018. – № 4(123). – С. 48–55.

*A. V. KOTOV<sup>1,2</sup>, D. G. KROL<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>JSC Seismotekhnika, Gomel, Belarus*

*<sup>2</sup>Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF APPLYING THE DEFORMABLE POLYHEDRON METHOD TO THE PROBLEM OF OPTIMIZATION KINEMATIC SYNTHESIS OF A FLAT LEVER MECHANISM**

The paper presents a mathematical formulation and solution results for the problem of optimization kinematic synthesis of a flat lever mechanism, reproducing a given trajectory of the output link's motion point, using the deformable polyhedron method. A qualitative assessment of the effectiveness of this method in performing multiparameter optimization kinematic synthesis of mechanisms, with and without the possibility of imposing additional constraints, is provided.

**Keywords:** lambda mechanism, optimization synthesis, deformable polyhedron, simplex, algorithm, constraints.