



УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ



## APPLICATION OF APPROXIMATE MINIMUM DETERMINATION FOR SOLUTION OF PROBLEM OF OPTIMIZATION OF SPECIAL ELECTRIC DRIVES

### Попова Ольга Борисовна

кандидат технических наук, доцент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
popova\_ob@mail.ru

### Афанасьев Виктор Леонидович

аспирант,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
buguvix@mail.ru

### Карандей Юрий Юрьевич

ПАО «РОССТЕТИ»

**Аннотация.** В статье рассмотрены задачи применения приближенного определения минимума. Исследование этих задач при помощи геометрического программирования показывает, какие преимущества дает использование двойственной программы для решения задачи оптимизации. Это свойство используется для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов.

**Ключевые слова:** специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, геометрическое программирование, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

### Popova Olga Borisovna

Candidate of technical sciences,  
Associate Professor,  
Kuban state technological university  
popova\_ob@mail.ru

### Afanasiev Viktor Leonidovich

Graduate student,  
Kuban state technological university  
buguvix@mail.ru

### Karandey Yury Yuryevich

PJSC ROSSETI

**Annotation.** The article discusses the tasks of applying the approximate definition of the minimum. Research these problems using geometric programming shows the benefits of using a dual program to solve the optimization problem. This property is used to solve the problem of optimization of special electric drives.

**Keywords:** special electric drive, controlled asynchronous cascade electric drive, optimization methods, geometric programming, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Большое количество времени и ресурсов тратится на решение задач создания новых типов устройств и механизмов. Ускорить решение данного класса задач позволит разработка новых подходов к системе структурирования [1] и поиска данных [2, 3], использование новых подходов к оптимизации конструкций [4, 5] и процессов [6, 7]. Совместное применение таких подходов дает возможность довольно точно определять как статические [8, 9], так и динамические [10, 11] параметры системы. Такое решение даст возможность исследовать электромагнитные и конструктивных характеристики [12, 13] специальных электрических приводов. Рассмотрим задачи применения приближенного определения минимума.

При рассмотрении задачи 1 условия ортогональности и нормализации приводят к четырем линейным уравнениям с четырьмя неизвестными и единственным решением. Таким образом, минимальная суммарная величина определяется сразу. Задача становится более сложной, если число линейных уравнений меньше, чем число неизвестных. Такой случай имеет место в следующем примере.

Задача 2. Эта задача такая же, как и задача 1, за исключением того, что условия требуют, чтобы  $t_3 = 1$ . Мы видим, что теперь суммарная величина равна:

$$g = \frac{40}{t_1 t_2} + 40t_2 + 20t_1 + 10t_1 t_2. \quad (1)$$

Двойственная функция опять совпадает и условия ортогональности совпадают с (1), но уравнение для  $D_3$  отсутствует. Теперь задача заключается в максимизации двойственной функции, подчиненной ограничениям, налагаемым тремя линейными уравнениями, которые определяются условиями ортогональности и нормализации.



Приближенное решение задачи 2 можно получить. Во-первых, заметим, что из того, что веса удовлетворяют условиям ортогональности и нормализации задачи 1, следует, что они удовлетворяют также менее ограничительным условиям задачи 2. С другой стороны, двойственные функции для задачи 1 и задачи 2 совпадают. Следовательно, минимальная искомая величина не может быть меньше определенного значения.

Чтобы получить верхнюю границу искомой величины, подставим в прямую функцию  $g$  пробные значения переменных. Положим  $t_1 = 1$  и  $t_2 = 1$ . Тогда следует, что минимальная величина не может превосходить другого близкого значения. Теперь мы имеем верхнюю и нижнюю оценки минимальной стоимости. Если мы примем  $M$  равным среднему, то ошибка не может превосходить 5 %.

Исследование этих двух задач при помощи геометрического программирования показывает, какие преимущества дает использование двойственной программы. Действительно, задача 1 при этом решается сразу. Задача 2 оказалась более трудной, но приближенное решение было получено довольно просто. Такое решение позволяет использовать его для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов [14]. Проверка точности полученного решения может быть проверена с помощью системы контрольных примеров [15, 16].

## Литература

1. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8\_67.
2. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // *Mediterranean journal of social sciences*, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.
3. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // *British Journal of Applied Science & Technology*. – 2016. – Vol. 17. – Т. 2. – P. 9–19. – Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.
4. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.
5. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.
6. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *Advances in Engineering Research conference proceedings*. – 2018. – Vol. 157. – P. 242–247. – Doi: 10.2991/aime-18.2018.47.
7. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 327, 052002, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.
8. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.
9. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.
10. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 327, 052003, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.
11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition*. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, Т. 5, 052009, 2018. Doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.
12. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019)* 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.
13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)* 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.
14. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
15. Попов Б.К. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.
16. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.



## References

1. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8\_67.
2. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.
3. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in scientific research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // *British Journal of Applied Science & Technology*. – 2016. – Vol. 17. – Т. 2. – P. 9–19. – Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.
4. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model for the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. – 2017. – № 10 (134). – P. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.
5. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Kvochkin, V.L. Afanas'ev, V.N. Kishko // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.
6. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *Advances in Engineering Research conference proceedings*. – 2018. – Vol. 157. – P. 242–247. – Doi: 10.2991/aime-18.2018.47.
7. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 327, 052002, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.
8. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university*. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.
9. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69-74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.
10. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 327, 052003, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.
11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition*. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. Doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.
12. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019)* 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.
13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)* 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.
14. Afanasiev V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // *Patent for useful model RU 191959 U1*, 28.08.2019, application № 2019111630 of 16.04.2019.
15. Popov B.K. Program for the calculation of the rotor magnetic system by the magnetic circuit method / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // *Program registration certificate for computer RU № 2008614047*, registered 30.06.2008.
16. Popov B.K. Program for the stator and rotor current calculation in a cascade electric drive / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // *Program registration certificate for Computer RU № 2008614048*, registered 30.06.2008.