УДК 004.94:519.62-1

О. С. Савельева, *д.т.н., доцент,*
П. С. Швец,
Ан. А. Становский
Одесский национальный политехнический университет
пр-т Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина
okssave@ukr.net

ПАРЕТО-ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ СО СЛАБОСВЯЗАННЫМИ АРГУМЕНТАМИ

Показано, что расчеты параметров сложных систем для целей проектирования, изготовления и управления нуждаются в современных методах решения задач многоцелевой оптимизации. Выделен новый класс таких задач, в которых оптимизирующие аргументы для частных целевых функций слабо связаны, то есть могут незначительно отличаться, что создает дополнительные возможности повышения эффективности сложных систем. Представлено решение на примере двухкритериальной задачи расширенной Парето-оптимизации. Выполнены производственные испытания системы проектирования слабосвязанных электротехнических систем с положительным техническим эффектом.

Ключевые слова: *сложные системы, Парето-оптимизация, слабосвязанные аргументы.*

Современные системы жизнедеятельности человека становятся все более сложными, к ним на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации предъявляются не уступающие в сложности технико-экономические требования, которые характеризуются некоторой совокупностью взаимозависимых показателей качества. Зачастую показатели качества являются антагонистами в борьбе за ресурсы, что резко усложняет и без того непростые проблемы поиска оптимальных конструкторских и технологических решений. В этих условиях расширение возможностей известных математических методов оптимизации, основывающееся на тех или иных свойствах систем, является задачей перспективной и актуальной.

Сложную систему можно представить упорядоченным набором элементов, свойств и их соотношений. Их конкретное задание определяет структуру, параметры и эффективность системы [1, 2], а поиск оптимальных решений при проектировании систем, а также принятие оптимальных управленческих решений при их эксплуатации с учетом совокупности показателей качества [3, 4] является весьма сложной и актуальной задачей. С учетом специфики той или иной системы для принятия оптимальных решений почти всегда возникает необходимость применения методов многокритериальной оптимизации [5, 6].

Целью работы является повышение эффективности автоматизированного проектирования и управления сложными системами со слабосвязанными элементами путем разработки и внедрения усовершенствованного метода многоцелевой оптимизации, базирующегося на методе расширенной Парето-оптимизации.

Как известно, задача оптимизации состоит в выборе из множества возможных решений $\mathbf{X}$ таких решений $\mathbf{x}^*$, которые являлись бы в определенном смысле лучшими. Выбор этих решений производит некоторое лицо, принимающее решение (ЛПР), преследующее определенные цели [7]. Каждое возможное решение из $\mathbf{x}^*$ характеризуется определенной степенью достижения цели $\mathbf{\Phi}^*$, при этом считается, что у ЛПР имеется свое представление о достоинствах и недостатках решений, на основании которого одно решение $\mathbf{\Phi}$ предпочитается другому. Из-за противоречивости требований к решениям из $\mathbf{\Phi}$, как правило, не удается в формализованном виде задать скалярную целевую функцию и соответствующий скалярный критерий оптимальности сложной системы.

В задачах САПР часто возникает задача обеспечить оптимальность объекта проектирования одновременно по нескольким функциям оптимальности (целевым функциям) $\phi_k(\mathbf{X}), k \quad [1, s]$. Обычно эти функции противоречивы, и оптимизация по каждой из них приводит к различным оптимальным значениям вектора варьируемых аргументов $\mathbf{X}^*$. Поэтому выделяется отдельный класс задач многокритериальной оптимизации функций [8].

Будем называть каждую из скалярных функций оптимальности $\phi_k(\mathbf{X}), k \in [1, s]$ *частной* функцией оптимальности. Совокупность частных функций оптимальности $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}) = (\phi_1(\mathbf{X}), \phi_2(\mathbf{X}), \ldots, \phi_s(\mathbf{X}))$ будем называть *векторной* функцией оптимальности. Положим, что поставлена задача минимизации каждой из частных функций оптимальности $\phi_1(\mathbf{X}), \phi_2(\mathbf{X}), \ldots, \phi_s(\mathbf{X})$ в одной и той же области допустимых значений аргументов $D_X \in R^n$, определяемой при постановке задачи оптимизации.

Решение задачи многокритериальной оптимизации в общем случае не является оптимальным ни для одной из частных функций, а оказывается некоторым компромиссом для вектора $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X})$ в целом [9, 10].

Запишем задачу многокритериальной оптимизации в виде:

$$\min_{X \in D_x} \Phi(X) = \Phi(x^*). \quad (1)$$

Прежде чем применить тот или иной метод решения задачи (1), обычно производят нормализацию частных функций, приводя их к одному масштабу. Чаще всего при этом используют относительные отклонения частных функций от их минимальных значений:

$$\overline{\phi}_k(\mathbf{X}) = \frac{\phi_k(\mathbf{X}) - \phi_k^*}{\phi_k^{**} - \phi_k^*}, k \in [1, s], \quad (2)$$

где $\phi_k^* = \min\limits_{\mathbf{X} \in D_X} \phi_k(\mathbf{X}), \quad \phi_k^{**} = \max\limits_{\mathbf{X} \in D_X} \phi_k(\mathbf{X})$.

Сохраним за нормализованными частными функциями оптимальности обозначения $\phi_k(\mathbf{X}), k \in [1, s]$.

Рассмотрим понятие пространства функций $\{\mathbf{\Phi}\}$ [11]. Пространство функций имеет размерность s (по числу частных функций) и образуется s ортогональными осями координат, вдоль которых откладываются значения частных функций оптимальности $\phi_k(\mathbf{X}), k \quad [1, s]$.

Векторная функция оптимальности $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X})$ выполняет отображение множества допустимых значений аргументов $D_X \in \{\mathbf{X}\}$ в некоторую область функций $D_\Phi \in \{\mathbf{\Phi}\}$, где $\{\mathbf{X}\}$ – пространство варьируемых аргументов (рис. 1).

В уравнениях (1) и (2) оптимизирующие аргументы $\mathbf{X}$ едины для всех частных функций оптимальности. Однако для определенного класса объектов – слабосвязанных систем – выполнение этого строгого ограничения не обязательно [12]. Это существенно меняет подходы к оптимизации, например, многоцелевой Парето-оптимизации. Действительно, в классической теории оптимизации все варьируемые аргументы по умолчанию считаются сильносвязанными (строго общими для всех целевых функций), поэтому на множестве D_X допустимых значений векторных аргументов $\mathbf{X}$ каждый такой вектор представляет собой точку в n-мерном пространстве (например точка $\mathbf{X}^0$ на рис. 1 *а*).

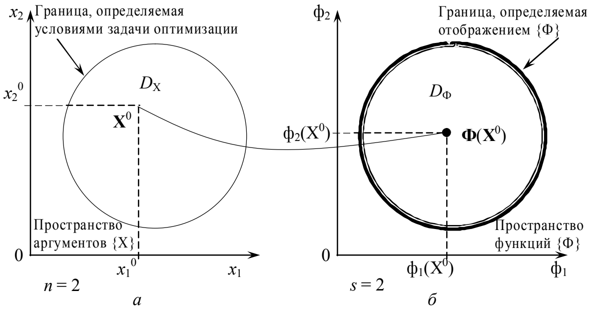
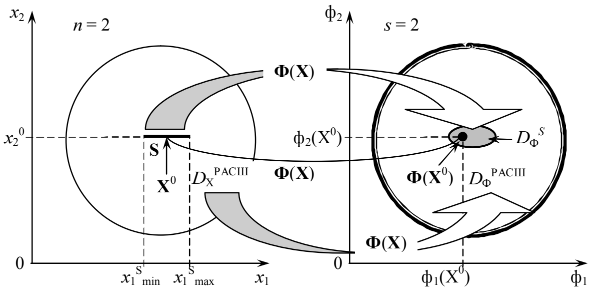


Рис. 1. К отображению векторной функцией оптимальности Φ(X) множества допустимых условием задачи значений D_X *n*-мерного пространства варьируемых аргументов {X}:
(*а*) в область D_Φ *s*-мерного пространства целевых функций {Φ}; (*б*) случай $n = 2$, $s = 2$

Введем на множестве аргументов D_X отношение предпочтения $\succ$. Будем считать, что вектор аргументов $\mathbf{X}^1 \in D_X$ предпочтительнее вектора аргументов $\mathbf{X}^2 \in D_X$, и $\mathbf{X}^1 \succ \mathbf{X}^2$, если среди равенств и неравенств $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^1) \geq \mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^2)$ имеется хотя бы одно строгое неравенство. Введем на множестве D_Φ отношение доминирования: будем считать, что векторная функция оптимальности $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^1) \in D_\Phi$ доминирует над векторной функцией оптимальности $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^2) \in D_\Phi$, т.е. $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^1) \geq \mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^2)$, если $\mathbf{X}^1 \succ \mathbf{X}^2$. Выделим из множества целевых функций $D_\mathbf{\Phi}$ подмножество точек $D_\Phi^* \in D_\Phi$, для которых нет точек, доминирующих над ними. Множество аргументов $D_X^* \in D_X$, соответствующее множеству функций D_Φ^*, называется множеством Парето [13, 14]. Поскольку множество D_Φ является выпуклым, то множество D_Φ^* – есть часть границы множества D_Φ. Среди точек $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^1) \in D^*_\Phi$ и $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^2) \in D^*_\Phi$ нет более предпочтительных, поскольку $\mathbf{\Phi}^1(\mathbf{X}^1) > \mathbf{\Phi}^1(\mathbf{X}^2)$, но и $\mathbf{\Phi}^2(\mathbf{X}^1) > \mathbf{\Phi}^2(\mathbf{X}^2)$. Таким образом, если $\mathbf{X} \in D^*_\Phi$, то $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}) \in D^*_\Phi$. Другими словами, множество Парето определяют как множество, в котором значение любого из частных критериев оптимальности можно улучшить только за счет ухудшения других частных критериев – любое из решений, принадлежащее множеству Парето, не может быть улучшено одновременно по всем частным критериям [8].

Пусть теперь аргументы, входящие в множество $D_X \in R^n$, слабо связаны и представляют собой некоторое «расширенное множество» «не совсем совпадающих» аргументов $D_X^{РАСШ} \in R^n$ [15]. Построим (рис. 2 *а*) на его левой части множество, состоящее из двух аргументов: x_1 и x_2, причем первый из них является слабосвязанным. Это значит, что он может принимать разные значения в пределах множества точек **S**, расположенного на отрезке прямой между $x_{1\min}^s$ и $x_{1\max}^s$, параллельной оси $0x_1$. С помощью векторной целевой функции **Ф**(**X**), входящей в задание на проектирование, точка $\mathbf{X}^0$ из множества слабосвязанных аргументов **S** отображается на точку из множества значений целевых функций $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^0)$; множество точек слабосвязанного аргумента **S** отображается на множество значений целевых функций $\mathbf{\Phi}(\mathbf{X}^0)$ (рис. 2 *б*). Расширенное множество $D_X^{РАСШ} \in R^n$ допустимых условием задачи значений *n*-мерного пространства варьируемых слабосвязанных аргументов {**S**} отображается на расширенное множество $D_\Phi^{РАСШ} \in R^s$ *s*-мерных пространств целевых функций {**Ф**(**S**)}.



а *б*

Рис. 2. Схема отображения с помощью векторной целевой функции Ф(X): точки X^0 из множества слабосвязанных аргументов S на точку из множества значений целевых функций $\Phi(X^0)$; множества точек слабосвязанного аргумента S на множество значений целевых функций $\Phi(X^0)$; расширенного множества $D_X^{РАСШ} \in R^n$ допустимых условием задачи значений *n*-мерного пространства варьируемых слабосвязанных аргументов {S} (*а*) на расширенное множество $D_\Phi^{РАСШ} \in R^s$ *s*-мерных пространств целевых функций {Ф(S)} (*б*)

Роль множества D_X^{*PPAC} при решении задач многокритериальной расширенной Парето-оптимизации определяется следующей теоремой, которая является дальнейшим развитием теоремы, приведенной в [8]. Она гласит о том, что, если для некоторых весовых множителей $\lambda_k, k \in [1, s]$ и вектора $\mathbf{X}^* \in D_X$ имеет место равенство:

$$\sum_{k=1}^{s} \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}^*) = \min_{\mathbf{X} \in D_X} \sum_{k=1}^{s} \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}), \qquad (3)$$

то вектор **X*** оптимален по Парето, т.е. $\mathbf{X}^* \in D_X$.

Распространим эту теорему на соответствующие расширенные множества. Для связанных аргументов эту связь можно представить как фиксированное значение x_1 одного аргумента и некоторый диапазон $x_{2\min} - x_{2\max}$ существования второго [16, 17]. Если выполняется последнее условие $x_{2\min} \le x_2 \le x_{2\max}$, то аргумент x_2 всегда можно зафиксировать на одном значении (сделать константой) без нарушения условий связности, переходя при этом к обычной задаче многоцелевой оптимизации (1). Далее применим доказательство «от противного». Пусть вектор **X*** не оптимален по Парето. Тогда существует такой вектор оптимизирующих аргументов $\mathbf{X} \in D_X$, что

$$\phi_k(\mathbf{X}) \le \phi_k(\mathbf{X}^*), \quad k \in [1, s], \qquad (4)$$

причем хотя бы одно из неравенств строгое. Умножая каждое из неравенств (4) на $\lambda_k, k \in [1, s]$ и складывая, получим

$$\sum_{k=1}^{s} \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}) < \sum_{k=1}^{s} \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}^*), \qquad (5)$$

что противоречит условию теоремы.

Таким образом, ситуация, когда достигнута эффективность по Парето – это ситуация, когда все выгоды от изменений аргументов исчерпаны [18, 19]. Тем не менее, поскольку слабосвязанные системы оптимизируются практически по разным (хотя и близким) оптимизирующим векторам аргументов (5), появляется дополнительная парадоксальная возможность выполнить виртуальную многокритериальную расширенную Парето-оптимиза-цию, т.е оптимизацию «глубже, чем по Парето».

Диапазон значений оптимальных по Парето решений в области допустимых значений дает полезную информацию об исследуемой задаче, если целевые функции ограничены областью определения. Верхние границы оптимального по Парето множества представлены в «идеальном целевом векторе» $\mathbf{z} \in R^k$. Его компоненты z_i получают путем максимизации каждой целевой функции в пределах области определения.

Рассмотрим для простоты двухкритериальную задачу оптимизации двух функций одного (одномерного) аргумента (рис. 3).

Здесь приведены для одномерного аргумента три случая оптимизации, в зависимости от связности этого единственного параметра для разных целевых функций. Если аргументы у функций не связаны (зеленые точки на рис. 3), то это дает независимые оптимумы для обеих функций и, одновременно, верхние (при максимизации) оценки возможных оптимумов при независимой оптимизации. Если аргументы сильносвязанные, то многоцелевая задача оптимизации решается «по Парето» (синяя точка на рис. 3). Одновременно это дает нижнюю оценку возможных оптимумов при сильносвязанных аргументах. Возможность выполнить многокритериальную расширенную Парето-оптимизацию глубже, чем по Парето иллюстрируют красные точки на рис. 3. Как видим, расширенный Парето-оптимум располагается ниже верхней и выше нижней оценок для крайних случаев оптимизации.

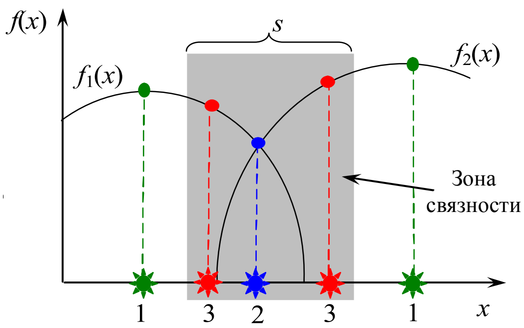


Рис. 3. Схема двухкритериальной расширенной Парето-оптимизации (одномерный аргумент):
1 – несвязанные аргументы, независимые оптимумы; 2 – сильносвязанные аргументы, Парето-оптимум; 3 – слабосвязанные аргументы, расширенный Парето-оптимум

Схема двухкритериальной задачи расширенной Парето-оптимизации приведена на рис. 4.

Как видно из рисунка, двухкритериальный Парето-оптимум для целевых функций f_1(x) и f_2(x) может быть улучшен, конечно, в переносном смысле, т.к. фактически один из компонентов x_2 оптимизирующего вектора x фактически «раздваивается» на неравные друг другу x_{21} и x_{22}.

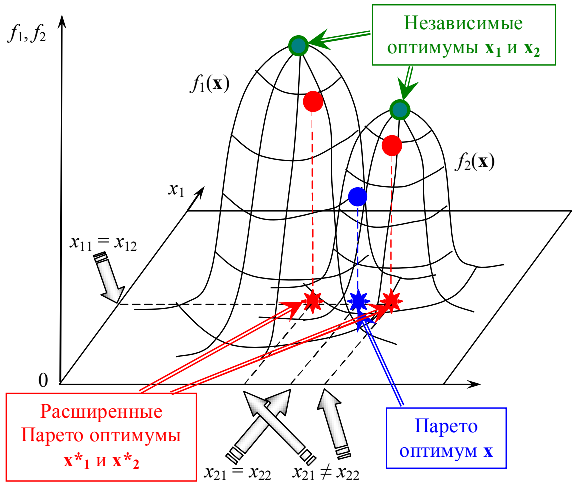


Рис. 4. Схема двухкритериальной расширенной Парето-оптимизации (двухмерный аргумент)

Решение задач такого типа было осуществлено с помощью эволюционного метода генетической оптимизации, адаптированного к слабосвязанным системам [16, 17, 20].

Выводы. Анализом отображения расширенного множества аргументов на расширенное множество функций во время Парето-оптимизации обоснованы методы свертки целевых функций при многоцелевой оптимизации со слабосвязанными аргументами. Показано, что, поскольку слабосвязанные системы оптимизируются практически по разным (хотя и близким) оптимизирующим векторам, появляется дополнительная парадоксальная возможность выполнить многокритериальную расширенную Парето-оптимизацию «глубже, чем по Парето».

Предложенные методы универсальной эволюционной оптимизации и модели, созданные для реализации этих методов, были использованы при построении системы автоматизированного проектирования электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами «EVOSOFT» [21]. В качестве объекта автоматизированного проектирования использовали трансформатор модели ТМ 25/10/0,4. Практические испытания указанной САПР-К подтвердили ее технико-экономическую эффективность в сравнении с существующими системами. Использование САПР-К «EVOSOFT» позволило уменьшить массу трансформатора на 15 %, сохранив при этом неизменным ожидаемый срок его службы, и снизить срок проектирования, в среднем, на 28,6 %.

Список литературы

1. Вишневский В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных систем / В. М. Вишневский. – М. : Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Бондаренко М. Ф. Дискретная математика / Бондаренко М. Ф., Белоус Н. В., Руткас А. Г. – Харьков : Компания СМИТ, 2002 – 476 с.
3. Гуткин Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л. С. Гуткин. – М. : Сов. радио, 1975. – 358 с.
4. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты / Б. А. Березовский, Ю. М. Барышников, В. И. Борзенко, Л. М. Кепнер. – М. : Наука, 1986. – 128 с.
5. Безрук В. М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку / В. М. Безрук. – Харків : ХНУРЕ, 2002. – 164 с.
6. Обезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / Обезгельдыев А. О., Петров Э. Г., Петров К. Э. – К. : Наукова думка, 2002. – 165 с.
7. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 416 с.
8. Постановка задачи многокритериальной оптимизации. Множество Парето [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/ch1101.mod#T108541479.
9. Курейчик В. М. Поисковая адаптация: теория и практика / Курейчик В. М., Лебедев Б. К., Лебедев О. К. – М : Физматлит, 2006. – 272 с.
10. Ногин Д. Д. Основы теории оптимизации / Ногин Д. Д., Протодьяконов И. О., Евлампиев И. И.. – М. : Высшая школа, 1986. – 379 с.
11. Дубов Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. Н. – М. : Наука, 1986. – 221 с.
12. Становский А. Л. Оптимизация слабосвязанных производственных систем / А. Л. Становский, П. С. Швец, Д. А. Монова // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : материалы междунар. науч.-техн. конф., (г. Севастополь, 3–7 сентября 2012 г.). – С. 121–123.
13. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М. : Наука, 1982. – 256 с.
14. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде / В. Д. Ногин. – СПб. : Физматлит, 2002. – 176 с.
15. Становский А. Л. Оптимизация слабосвязанных систем в автоматизированном проектировании и управлении / А. Л. Становский, П. С. Швец, И. Н. Щедров // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 6. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – С. 129–134.
16. Становский А. Л. Эволюционная оптимизация электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами / А. Л. Становский, П. С. Швец, А. В. Торопенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2013. – № 4/3 (64). – С. 36–40.
17. Становский А. Л. Эволюционная оптимизация слабосвязанных технических систем в САПР / А. Л. Становский, П. С. Швец, Д. А. Желдубовский // Праці Одеського політехнічного університету: наук. та наук.-вироб. зб. – 2011. – Вип. 2 (36). – С. 234–238.
18. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М : Радио и связь, 1981. – 560 с.
19. Петросян Л. А. Теория игр / Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. – СПб : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
20. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. – М : Горячая линия-Телеком, 2008. – 452 с.
21. Становский А. Л. САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами / А. Л. Становский, П. С. Швец, А. В. Торопенко // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. –Вип. 8. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – С. 133–143.

References

1. Vishnevskiy, V. M. (2003). Theoretical bases of computer systems designing. Moscow: Tehnosfera, 512 p. [in Russian].
2. Bondarenko, M. F., Belous, N. V. and Rutkas, A.G. (2002). Discrete mathematics. Harkov: Kompaniya SMIT, 476 p. [in Russian].
3. Gutkin, L. S. (1975). Optimization of electronic devices on set of quality indicators. Moscow: Sovetskoe radio, 358 p. [in Russian].
4. Berezovskiy, B. A., Baryishnikov, Yu. M., Borzenko, V. I. and Kepner, L. M. (1986). Multiobjective optimization. Mathematical aspects. Moscow: Nauka, 128 p. [in Russian].
5. Bezruk V. M. (2002). Vector optimization and statistical modeling in computer aided design

of communication systems. Kharkiv: HNURE, 164 p. [in Ukrainian].
6. Obezgeldyiev, A. O., Petrov, E. G. and Petrov, K. E. (2002). Synthesis and identification of models of multivariate estimation and optimization. Kiev: Naukova dumka, 165 p. [in Russian].
7. Chernorutskiy, I. G. (2002) Decision-making methods. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 416 p. [in Russian].
8. The statement of multicriteria optimization problem. Pareto set. [Internet]. Available from: http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/ch1101.mod#T108541479.
9. Kureychik, V. M., Lebedev, B. K. and Lebedev, O. K. (2006). Search adaptation: theory and practice. Moscow: Fizmatlit, 272 p. [in Russian].
10. Nogin, D. D., Protodyakonov, I. O. and Evlampiev, I. I. (1986). Basics of optimization theory. Moscow: Vysshaya shkola, 379 p. [in Russian].
11. Dubov, Yu. A., Travkin, S. I. and Yakimets, V. N. (1986). Multicriteria models for the formation and choices systems. Moscow: Nauka, 221 p. [in Russian].
12. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S. and Monova, D. A. (2012) Optimization of loosely production systems. In: *Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya*: Internat. scientific and technical conf., pp. 121–123 [in Russian].
13. Podinovskiy, V. V. and Nogin, V. D. (1982). Pareto-optimal solutions of multiobjective problems. Moscow: Nauka, 256 p. [in Russian].
14. Nogin, V. D. (2002). Decision-making in multicriteria environment. Moscow: Fizmatlit, 176 p. [in Russian].
15. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S. and Schedrov, I. N. (2011) Optimization of loosely coupled systems in computer-aided design and management. In: *Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni*: collection of scientific papers. Kharkiv, (6), pp. 129–134 [in Russian].
16. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S. and Toropenko, A. V. (2013) Evolutionary optimization of electrical equipment with loosely coupled elements. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. Informatsionnyie tehnologii.* Kharkov, 4/3 (64), pp. 36–40 [in Russian].
17. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S. and Zheldubovskiy, D. A. (2011) Evolutionary optimization of technical systems loosely in CAD. *Pratsi Odeskogo politehnichnogo univer-sitetu:* collection of scientific production papers. Odesa, Vol. 2 (36), pp. 234–238 [in Russian].
18. Kini, R. L. and Rayfa, H. (1981). Decision-making in many criteria: preference and substitution. Moscow: Radio i svyaz, 560 p. [in Russian].
19. Petrosyan, L. A., Zenkevich, N. A. and Shevkoplyas, E. V. (2012). Game theory St. Petersburg: BHV-Peterburg, 432 p. [in Russian].
20. Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M. and Rutkovskiy, L. (2008). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 452 p. [in Russian].
21. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S. and Toropenko, A. V. (2013) CAD electrical equipment with loosely coupled elements. *Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni,* (8). Kharkiv, pp. 133–143 [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 31.07.2014.

O. S. Savelyeva, *D.Sc. associate professor,*
P. S. Shvets,
An. A. Stanovskiy
Odessa National Polytechnic University,
Shevchenko ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine
okssave@ukr.net

PARETO OPTIMIZATION OF MULTIPURPOSE FUNCTIONS WITH LOOSELY-COUPLED ARGUMENTS

It is shown that calculations of complex systems parameters for the purposes of designing, manufacturing and management need modern methods of solving problems of multiple objective optimization. New class of such problems, in which optimizing arguments for private objective functions are poorly connected, that is may be slightly different, is selected, which creates additional possibilities for increasing of complex systems effectiveness. For weakly bound systems an additional paradoxical possibility to fulfill multiobjective extended Pareto-optimization appears. The range of values of Pareto optimal solutions in the field of permissible values provides useful information about the investigated problem, if objective functions are bounded by definitional domain. A solution on the example of two-criteria problem of extended Pareto optimization is given. Manufacturing testing of the system of engineering of weakly associated electrical systems with a positive technological effect is made.

Keywords: *complex systems, Pareto-optimization, loosely-coupled arguments.*