

***А.Л. СТАНОВСКИЙ, П.С. ШВЕЦ,
И.Н. ЩЕДРОВ***, Одесса, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ СЛАБОСВЯЗАННЫХ СИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Показано, що слабкозв'язані системи в машинобудуванні становлять широке коло об'єктів, при проектуванні та управлінні якими виникають специфічні проблеми в розв'язанні завдань оптимізації. Зокрема, для цього незастосовні комплексні генетичні алгоритми, розроблені для оптимізації сильнозв'язаних систем. Запропонований метод оптимізації слабкозв'язаних систем за допомогою генетичних алгоритмів, який дозволяє враховувати фізичну природу зв'язності.

Показано, что слабосвязанные системы в машиностроении составляют широкий круг объектов, при проектировании и управлении которыми возникают специфические проблемы в решении задач оптимизации. В частности, для этого неприменимы комплексные генетические алгоритмы, разработанные для оптимизации сильносвязанных систем. Предложен метод оптимизации слабосвязанных систем с помощью генетических алгоритмов, который позволяет учесть физическую природу связности.

A.L. STANOVSKIY, P.S. SHVEC, I.N. SHVEDROV

OPTIMIZATION OF LOOSELY COUPLED SYSTEMS IN THE AUTOMATED DESIGNING AND MANAGEMENT

It is shown that poorly connected systems in mechanical engineering make a wide range of objects, at designing and control of which specific problems in the decision of optimization tasks arise. In particular, the complex genetic algorithms developed for strongly connected systems optimization are inapplicable for this purpose. The method of poorly connected systems optimization by means of genetic algorithms which allows to consider the physical nature of connectivity is offered.

Под системой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое [1]. Существенное влияние на поведение элементов системы и свойства ее как целого оказывает мера (сила, энергия, информация) их связей. Это позволяет выделить класс *слабосвязанных* систем.

Мир, в котором мы живем, является миром со слабыми причинно-следственными связями [2, 3]. Действительно, реальные системы имеют так называемые «ступенчатые функции» [4], которые при небольших вариациях возмущающих воздействий не дают им распространяться к дру-

гим системам. Более того, именно благодаря слабой связанности мира, можно выделить в нем отдельные системы, а в них подсистемы.

Под слабосвязанной понимают такую систему, в которой взаимодействие элементов достаточно сильно для формирования системных свойств, но недостаточно для изменения качественных свойств отдельных элементов [1].

Для систем, образованных элементами со сложной внутренней структурой, понятие слабосвязанной системы не является однозначным. Взаимодействие элементов системы может вызывать изменение одних характеристик элементов и не оказывать влияния на другие. Вопрос об идеальности или неидеальности системы в данном случае следует решать, исходя из того, являются ли изменяющиеся при взаимодействии характеристики существенными для анализа конкретной системы и конкретного свойства [1].

Рассмотрим конкретный пример. Пусть некоторая производственная система – технологический процесс – состоит из двух подсистем-операций, осуществляемых над предметами труда в камере печи прерывистого действия со встроенным нагревательным элементом (рис. 1 а). Очевидно, что режимы операций могут изменяться независимо, за исключением температуры, всегда общей для отдельных подсистем при такой конструкции печи. Благодаря этому, температура, собственно, и будет сильной связью, накладывающей жесткие ограничения как на объект, так и на его модели.

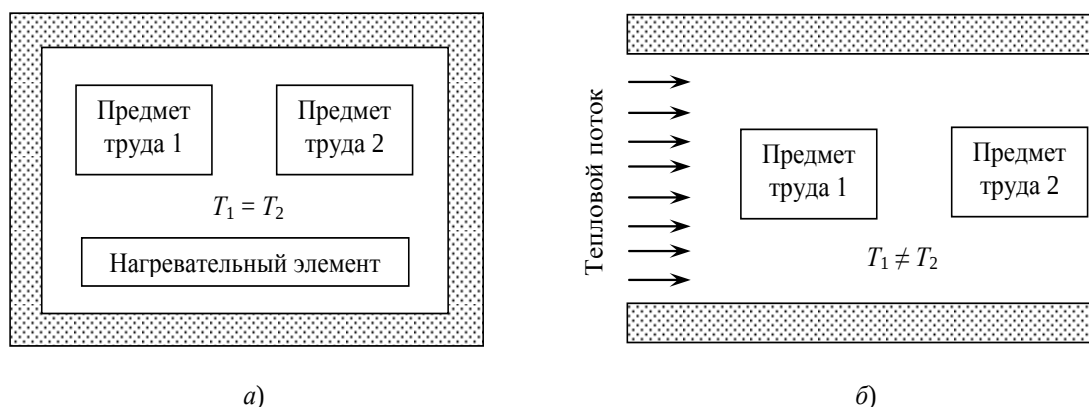


Рисунок 1 – Примеры сильно (а) и слабосвязанных (б) операций в технологическом процессе обработки нагревом

Если же применить печь другой конструкции – проходную с нагревом тепловым потоком от внешнего нагревательного элемента (рис. 1 б), система становится слабосвязанной, т.к. с помощью определенных операций (изменение характеристик теплоносителя, перемещение нагреваемых

предметов труда) разница между температурами может быть не только отличной от нуля, но и изменяться в определенных пределах.

Изменения в связности подсистем в случае механического объекта (конструкции, технологии) полностью определяются его физической природой. Эти связи, как и в любых других многоэлементных системах, могут носить детерминированный, стохастический, а также нечеткий характер, предоставляя исследователю, проектировщику или специалисту по управлению широкие возможности при построении моделей таких объектов.

В частности при оптимизации слабосвязанных технологических процессов в САПР-Т модель, наиболее точно отражающую феноменологию объекта моделирования, можно получить, объединив генетические алгоритмы и понятия нечетких множеств [5, 6].

Рассмотрим отличия в подходах к оптимизации различных по связности систем.

Несвязанные системы. Пусть фенотип некоторой группы элементов (подсистем) предполагаемой системы A_i ($i = 1...N$), описывается двумя аргументами – переменными x_i и y_i при групповых ограничениях $0 \leq x \leq x_{max}$ и $0 \leq y \leq y_{max}$. Состояние каждого элемента на графике аргументов в этом случае представляется точкой с координатами $\{x_i; y_i\}$. На рис. 2 представлены два таких элемента ($N = 2$).

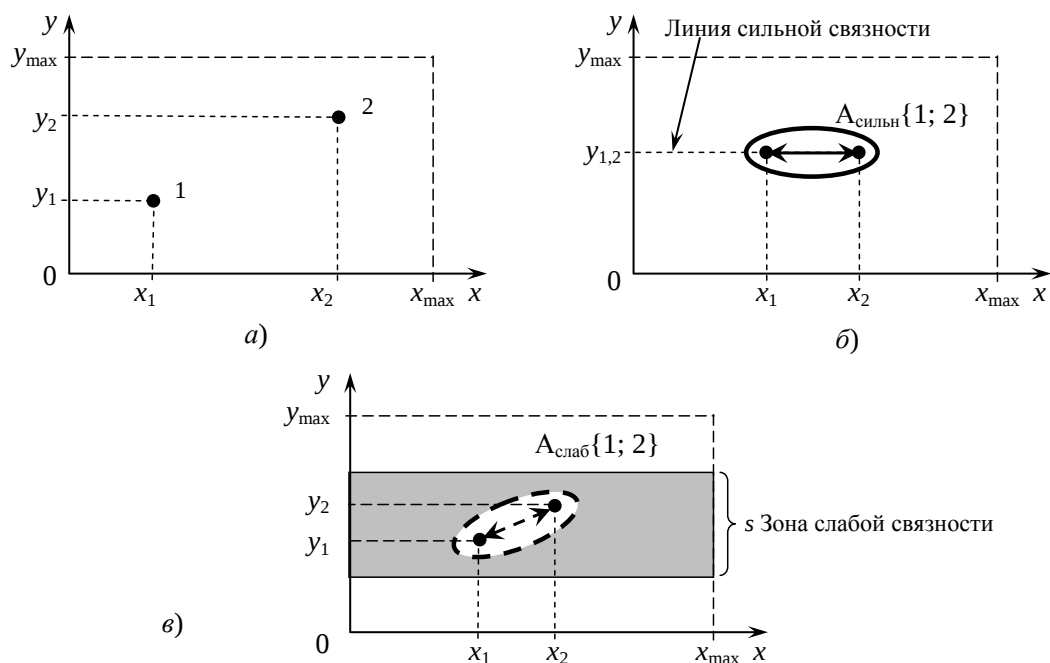


Рисунок 2 – Аргументы несвязанных (а), сильносвязанных (б) и слабосвязанных (в) подсистем

Будем считать, что в процессе оптимизации каждый из них может свободно «перемещаться» в зоне групповых ограничений (рис. 3 а), изменяя вместе с аргументами x и y также целевую функцию

$$z_i = z(x_i, y_i). \quad (1)$$

В этом случае отсутствие любого взаимодействия приводит к тому, что совокупность элементов утрачивает системные свойства: отдельные элементы могут подвергаться оптимизации без какой-либо «оглядки» на другие.

Сильносвязанные системы. В работе [7] описаны объекты, обладающие дополнительным жестким ограничением на изменение фенотипа: одна из переменных (например, y) является обобщенной в том смысле, что всегда имеет место соотношение (рис. 2 б):

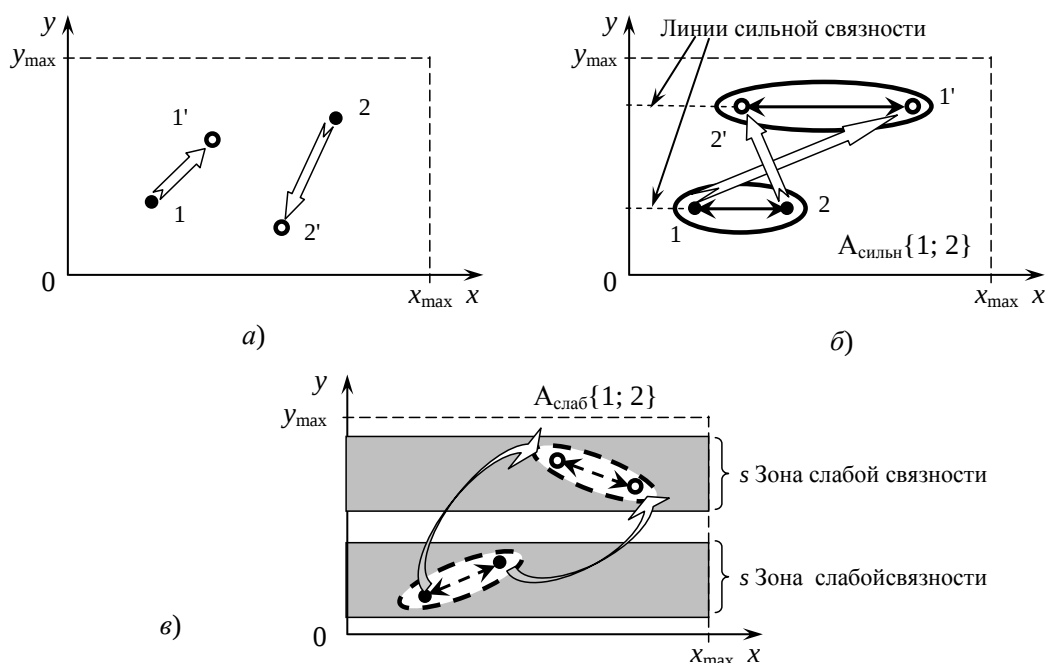


Рисунок 3 – Схемы траекторий возможных перемещений аргументов несвязанных (а), сильносвязанных (б) и слабосвязанных (в) подсистем в процессе оптимизации

$$y_1 = y_2 = \dots = y_N. \quad (2)$$

Заметим, что величины $y_1, y_2, \dots, y_N$ могут изменяться, но только одновременно, так, чтобы не нарушалось соотношение (2) (рис. 3 б).

Слабосвязанные системы. В настоящей работе рассматриваются объекты, у которых свойство (2) менее жесткое: отклонение аргументов $y_1, y_2, \dots, y_N$ друг от друга допускаются, но только в пределах некоторой зоны связности (рис. 2 в) шириной s , причем такие отклонения могут носить детерминированный, стохастический, а также нечеткий характер.

При стохастическом характере распределение вероятности отклонений по сечению зоны связности зависит от свойств объекта и условий его эксплуатации. Пусть $p_{21}(y)$ – вероятность того, что случайная величина $y_2 - y_1$ примет значение y из диапазона $0 \leq y_2 - y_1 \leq s$, где s – ширина зоны связности в единицах, в которых измеряется обобщенный параметр y . При оптимальном проектировании зона связности может перемещаться, изменять свою ширину s , которая также является случайной величиной, но слабо-связанные элементы будут всегда оставаться внутри нее (рис. 3 в).

По сравнению с существующим методом комплексного генетического алгоритма [8] к операторам скрещивания, мутации и инверсии здесь добавляется еще один – оператор поворота, который «разворачивает» обобщенный ген в пределах зоны связности таким образом, чтобы вероятность выбора угла разворота была пропорциональна вероятности распределения случайной величины $p_{21}(y)$. Такая операция служит дополнительным фактором улучшения сходимости алгоритма и, соответственно, эффективности всего метода эволюционной оптимизации.

Ширина зоны связности s может рассматриваться в качестве нечеткой переменной в том смысле, что находящиеся внутри нее элементы находятся в нечеткой связности. Нечеткое отношение определяется [9] как любое нечеткое подмножество упорядоченных кортежей параметров, оценивающих связность, построенных из элементов тех или иных базисных множеств. При этом под кортежем понимается произвольный набор или список упорядоченных элементов. В общем случае нечетким k -арным отношением, заданным на множествах $X_1, X_2, \dots, X_k$, называется некоторое нечеткое подмножество декартового произведения этих множеств. Обозначим произвольное нечеткое отношение через Q :

$$Q = \{ \langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle, \mu_Q(\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle) \}, \quad (3)$$

где $\mu_Q(\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle)$ – функция принадлежности данного нечеткого отношения, которая определяется как отображения

$$\mu_Q : X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_k \rightarrow [0, 1]. \quad (4)$$

Здесь через $\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle$ обозначен кортеж из k элементов, каждый из которых выбирается из своего множества. В нашем примере тип нечетких отношений задается, как бинарное нечеткое отношение между элементами из двух универсальных множеств. При этом форма и вид функции принадлежности нечеткого отношения также зависит от физического содержания элементов и условий их взаимодействия с окружающей средой.

Список использованных источников: 1. Бахрушин В.Е. Слабосвязанные системы в природе и обществе // Складні системи і процеси. – 2003. – № 1. – С. 21 – 25. 2. Сотник С.Л. Проектирование систем искусственного интеллекта. Конспект лекций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/expert/artintell/11/2.html>. 3. Садовой А.В. Алгоритмы обучения нейронных сетей будущего // А.В. Садовой, С.Л. Сотник [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alife-soft.narod.ru/note/algo/algo.html>. 4. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. // М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 398 с. 5. Дорошук А.В. Применение современных методов для оптимизации электронных схем / Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2(8). – С. 28 – 31. 6. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: Универсум-Винница, 1999. – 320 с. 7. Тонконогий В.М. Модернизация метода генетического алгоритма для оптимизации параметров многониточного резбобшлифования / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Монова // Материалы XIX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 17 – 18 марта 2011. – С. 3 – 4. 8. Перпери А.А. К решению задачи многоцелевой оптимизации / А.А. Перпери, В.М. Тонконогий, Д.А. Монова // Материалы XIX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 17 – 18 марта 2011. – С. 5 – 6. 9. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус, 2008. – 352 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bahrushin V.E. Slabosvjazannye sistemy v prirode i obwestve // Skladni sistemi i procesi. – 2003. – № 1. – S. 21 – 25. 2. Sotnik S.L. Proektirovanie sistem iskusstvennogo intellekta. Konspekt lekcij [jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.intuit.ru/department/expert/artintell/11/2.html>. 3. Sadovoj A.V. Algoritmy obuchenija nejronnyh setej buduwego // A.V. Sadovoj, S.L. Sotnik [jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://alife-soft.narod.ru/note/algo/algo.html>. 4. Jeshbi U.R. Konstrukcija mozga. Proishozhdenie adaptivnogo povedenija. // M.: Izdatel'stvo inostrannoј literatury, 1962. – 398 s. 5. Doroshuk A.V. Primenenie sovremennyh metodov dlja optimizacii jelektronnyh shem / Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. – 1999. – Vyp. 2(8). – S. 28 – 31. 6. Rotshtejn A.P. Intellektual'nye tehnologii identifikacii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti. – Vinnica: Universum-Vinnica, 1999. – 320 s. 7. Tonkonogij V.M. Modernizacija metoda geneticheskogo algoritma dlja optimizacii parametrov mnogonitoch-nogo rez'boshlifovanija / V.M. Tonkonogij, A.A. Perperi, D.A. Monova // Materialy XIX seminar-a «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 17 – 18 marta 2011. – S. 3 – 4. 8. Perperi A.A. K resheniju zadachi mnogocелеvoj optimizacii / A.A. Perperi, V.M. Tonkonogij, D.A. Monova // Materialy XIX seminar-a «Modelirovanie v prik-ladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 17 – 18 marta 2011. – S. 5 – 6. 9. Raskin L.G. Nechetkaja matematika. Osnovy teorii. Prilozhenija / L.G. Raskin, O.V. Seraja. – H.: Parus, 2008. – 352 s.