

Tối Ưu Hóa Công Tác Xử Lý Nước Thải Tại Khu Công Nghiệp Sử Dụng Thuật Toán Di Truyền

Optimizing Waste Water Treating Activity for Industrial Zone Using Genetic Algorithm

Trần Văn Út^c, ThS. Nguyễn Quốc Lâm¹, Hoàng Nhật Đức*¹

^aKhoa Sau Đại học, Đại học Duy Tân, Việt Nam
The Graduate School, Duy Tan University, Viet Nam

^bKhoa Xây Dựng, Đại Học Duy Tân, Việt Nam
Institute of Research and Development, Duy Tan University, Viet Nam

^cViện Nghiên Cứu Và Phát Triển Công Nghệ Cao, Đại Học Duy Tân, Việt Nam
Institute of Research and Development, Duy Tan University, Viet Nam

(Ngày nhận bài: 22/06/2016, ngày phản biện xong: 17/02/2017, ngày chọn đăng: 01/03/2017)

Tóm tắt

Việc xây dựng hệ thống nước thải trong khu công nghiệp đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn môi trường sống. Bài báo đề xuất một mô hình tối ưu hóa công tác thiết kế hệ thống xử lý nước thải cho một khu công nghiệp với trọng tâm là tối thiểu hóa chiều dài đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến các trạm xử lý nước. Thuật toán di truyền được sử dụng để tìm kiếm giải pháp tối ưu cho bài toán. Với một ví dụ tính toán với 10 nhà máy và 3 trạm xử lý nước trong một khu công nghiệp đã được sử dụng để minh họa cho việc mô hình hóa bài toán và ứng dụng thuật toán di truyền. Kết quả cho thấy thuật toán di truyền tìm ra được một giải pháp tối ưu với chiều dài đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến các trạm xử lý là nhỏ nhất trong điều kiện ràng buộc về nhu cầu xử lý nước của từng nhà máy và công suất của từng trạm xử lý.

Từ khóa: Xử lý nước thải; Thuật toán di truyền; Tối ưu hóa; Mô hình hóa; Khu công nghiệp.

Abstract

The construction of waste water treatment system in industrial zones plays a crucial role in guaranteeing the safety of living environment. This article proposes an optimization model for the design phase of a waste water treatment system in an industrial zone with the focus on minimizing the total pipe length transporting waste water from factories to treatment plants. A case study with 10 factories and 3 treatment plants is used to illustrate the mathematical modeling process and the application of the optimization model with the genetic algorithm. Computational results point out that the genetic algorithm can found an optimal solution which features the minimum pipe length and satisfies all constraints regarding the demand of each factory and the treatment capacity of each plant.

Keywords: Waste Water Treatment; Genetic Algorithm; Optimization; Mathematical Modeling; Industrial Zone.

© 2017 Bản quyền thuộc Đại học Duy Tân

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế kéo theo hàng loạt vấn đề môi trường mà loài người phải gánh chịu. Năm 1992, hội nghị môi trường toàn cầu Rio De Janeiro đã được tổ chức nhằm giải quyết những vấn đề bức xúc về môi trường. Tuy nhiên từ sau hội nghị này, những hậu quả của việc tàn phá môi trường vẫn không được giải quyết mà còn đi theo chiều hướng xấu hơn. Một trong những nguyên nhân gây ra hậu quả này là chất thải của ngành công nghiệp chưa được xử lý triệt để, mặc dù cộng đồng quốc tế đã có những nỗ lực đáng kể. Vấn đề này tại các nước đang phát triển còn ở mức độ trầm trọng hơn, trong đó có Việt Nam.

Hiện nay nền kinh tế của Việt Nam đã gặt hái được nhiều thành tựu đáng khích lệ, tuy nhiên chúng ta đang phải đối mặt với nhiều thách thức về môi trường. Cùng với nền kinh tế phát triển, các khu công nghiệp cũng được hình thành và phát triển. Các nhà máy trong khu công nghiệp thải ra một lượng lớn các loại chất thải đặc biệt là nước thải. Nếu không giải quyết tốt việc xử lý nước thải của các xí nghiệp, nhà máy này sẽ gây ô nhiễm đối với nguồn nước và môi trường xung quanh, làm tổn hại rất lớn đến sức khỏe của người dân. Do đó, nhằm hạn chế các mặt tiêu cực của quá trình phát triển kinh tế đến môi trường, việc thiết kế các dự án xử lý nước thải cho các khu công nghiệp sao cho có tính hiệu quả cao là một nhu cầu thiết thực.

Do đó, các tác giả đề xuất việc ứng dụng ứng dụng của thuật toán di truyền (TTDT) phục vụ cho việc tối ưu hóa công tác xử lý nước thải cho các khu công nghiệp. Thuật toán TTDT là một phương pháp hiệu quả để giải quyết các bài toán tối ưu hóa [1]. Mục tiêu của bài toán là lên kế hoạch xử lý nước thải tại khu công nghiệp sao cho tối thiểu hóa chi phí lắp đặt đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến các trạm xử lý nước, sao cho thỏa mãn nhu cầu xử lý nước của từng nhà máy và phù hợp với công suất xử lý của từng trạm.

Phần tiếp theo của bài báo được tổ chức như sau: Phần 2 nêu khái quát phương pháp nghiên cứu của bài báo; trong đó trình bày mô hình của bài toán tối ưu hóa tập trung vào việc lên kế

hoạch xử lý nước thải tại khu công nghiệp với yêu cầu là tối thiểu hóa chi phí lắp đặt đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến các trạm xử lý nước; đồng thời, giải pháp được đưa ra phải thỏa mãn nhu cầu xử lý nước của từng nhà máy và phù hợp với công suất xử lý của từng trạm. Phần 3 nêu ứng dụng của thuật toán với một ví dụ cụ thể. Kết luận và kiến nghị được nêu trong phần cuối của bài báo.

2. Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Vấn Đề Tối Ưu Hóa Tổng Quát

Một bài toán tối ưu hóa tổng quát có thể được mô hình hóa như sau [2, 3]:

Tìm Min. của hàm $f(x)$ với:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d), d = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

Chịu các ràng buộc:

$$g_q(x_1, x_2, \dots, x_d) \leq 0, d = 1, 2, \dots, D, q = 1, 2, \dots, M$$

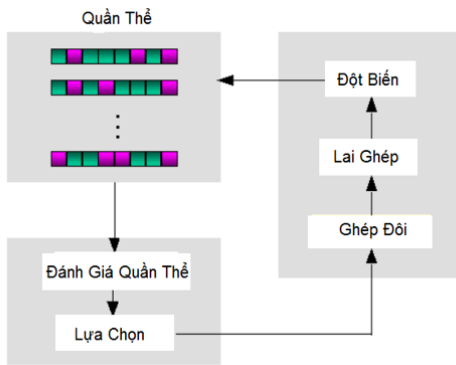
$$h_r(x_1, x_2, \dots, x_d) = 0, d = 1, 2, \dots, D, r = 1, 2, \dots, N$$

$$x_d^L \leq x_d \leq x_d^U$$

Trong đó, $f(x_1, x_2, \dots, x_d)$ là hàm mục tiêu, thường là chi phí của phương án được lựa chọn. x_1, x_2, \dots, x_d là các biến số thiết kế. $g_q(x_1, x_2, \dots, x_d)$ và $h_r(x_1, x_2, \dots, x_d)$ là các ràng buộc mà một phương án lựa chọn cần phải thỏa mãn. x_d^L, x_d^U là các cận trên và cận dưới của biến thiết kế x_d . D là số lượng biến số thiết kế. M và N là số lượng ràng buộc bất đẳng thức và đẳng thức.

2.2. Thuật Toán Di Truyền (TTDT)

Thuật toán di truyền được tiến hành qua 5 bước chính [1]: khởi tạo quần thể, chọn lọc, lai ghép, đột biến, kiểm tra điều kiện dừng. Yêu cầu của bài toán tối ưu hóa là tìm giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu $f(X)$, với X là véc-tơ trong không gian có chiều là D . Sơ đồ khối của thuật toán được biểu diễn trong Hình 1.



Hình 1. Thuật Toán Di Truyền

(1) Khởi tạo quần thể: Thuật toán di truyền bắt đầu bằng việc khởi tạo ngẫu nhiên N véc-tơ $X_{i,g}$ trong không gian D chiều. $X_{i,g}$ đóng vai trò là cá thể thứ i trong quần thể có N cá thể, tại thế hệ thứ g .

(2) Chọn lọc: Tại bước này, giá trị hàm mục tiêu của các cá thể được đánh giá, các cá thể có giá trị của hàm mục tiêu tốt hơn sẽ được ưu tiên lựa chọn cho quá trình lai ghép.

(3) Lai ghép: Mục đích của quá trình lai ghép là làm đa dạng hóa quần thể hiện tại bằng cách trao đổi các thành phần của các cá thể cha và mẹ trong quần thể. Đầu ra của quá trình là các cá thể con.

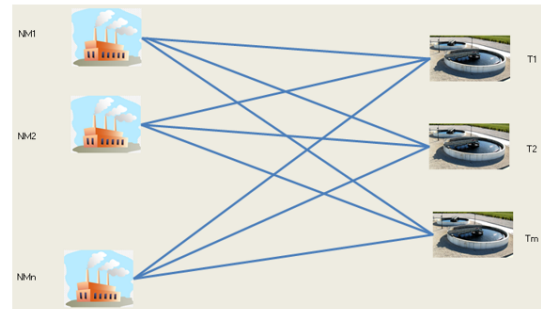
(4) Đột biến: Mục tiêu của quá trình đột biến là tạo ra gen mới trong các cá thể con. Quá trình này được thực hiện với một xác suất đột biến nhỏ (0.001).

(5) Kiểm tra điều kiện dừng: Ở đây, số thế hệ tiến hóa tối đa (G_{max}) được chọn làm điều kiện dừng. Quá trình tối ưu hóa sẽ kết thúc khi số thế hệ hiện thời (g) vượt quá giá trị của G_{max} . Nếu điều kiện dừng chưa thỏa mãn, quá trình tối ưu hóa sẽ tiếp tục diễn ra.

2.3. Mô Hình Hóa Bài Toán Tối Ưu Hóa Kế Hoạch Xử Lý Nước Thải Tại Khu Công Nghiệp

Với mục tiêu của bài toán là lên kế hoạch xử lý nước thải tại khu công nghiệp sao cho tối thiểu hóa chi phí lắp đặt đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến các trạm xử lý nước và với các ràng buộc về nhu cầu xử lý nước của từng nhà máy và công suất xử lý của từng trạm. Vấn đề tối ưu hóa

được thể hiện trong **Hình 2**. Bài toán được thiết lập như sau:



Hình 2. Bài Toán Tối Ưu Hóa Kế Hoạch Xử Lý Nước Thải Tại Khu Công Nghiệp

2.3.1. Biến thiết kế

Các biến thiết kế của bài toán được cho trong ma trận phân bố lượng nước thải từ mỗi nhà máy trong khu công nghiệp đến mỗi trạm xử lý (xem **Hình 3**). Trong **Hình 3**, x_{ij} là ký hiệu của lượng nước thải từ nhà máy j được xử lý bởi trạm i .

| | | Nhà máy | | | |
|------|----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| | | NM ₁ | NM ₂ | ... | NM _n |
| Trạm | T ₁ | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1n} |
| | T ₂ | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2n} |
| | ... | ... | ... | ... | ... |
| | T _m | x_{m1} | x_{m2} | ... | x_{mn} |

Hình 3. Ma Trận Biến Thiết Kế

2.3.2. Các Ràng Buộc

Bài toán gồm các ràng buộc sau:

(1) Các biến thiết kế phải là số thực không âm:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (2)$$

(2) Nhu cầu xử lý nước thải của các nhà máy phải được đảm bảo:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = NC_j \quad (3)$$

Với NC_j là nhu cầu xử lý nước thải của nhà máy j trong 1 đơn vị thời gian (ngày, tuần, ...).

(3) Lượng nước xử lý tại mỗi trạm không được vượt quá công suất của từng trạm:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = CS_i \quad (4)$$

Với CS_i là công suất xử lý nước thải của trạm i trong 1 đơn vị thời gian (Ngày, tuần, ...).

2.3.3. Hàm Mục Tiêu

Để thiết lập hàm mục tiêu của bài toán, ta cần thông số về khoảng cách vận chuyển nước thải từ

mỗi nhà máy đến mỗi trạm xử lý, thông số này được cho trong ma trận khoảng cách (xem **Hình 4**).

| | | | | | |
|----------------|--|------------------|------------------|-----|------------------|
| | | Nhà máy | | | |
| | | NM ₁ | NM ₂ | ... | NM _n |
| T ₁ | | kc ₁₁ | kc ₁₂ | ... | kc _{1n} |
| T ₂ | | kc ₂₁ | kc ₂₂ | ... | kc _{2n} |
| ... | | ... | ... | ... | ... |
| T _m | | kc _{m1} | kc _{m2} | ... | kc _{mn} |

Hình 4. Ma Trận Khoảng Cách

Hàm mục tiêu của bài toán được cho như sau:

$$f = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n kc_{ij} \times u_{ij} \quad (5)$$

Với u_{ij} được tính toán như sau:

$$u_{ij} = 1 \text{ nếu } x_{ij} > 0(6)$$

$$u_{ij} = 0 \text{ nếu } x_{ij} = 0(7)$$

3. Ứng Dụng Thuật Toán Di Truyền Cho Việc Tối Ưu Hóa Công Tác Xử Lý Nước Thải Tại Khu Công Nghiệp

3.1. Ví Dụ Áp Dụng

Để ứng dụng mô hình tối ưu hóa, một ví dụ áp dụng với thông tin được cho như sau: (1) Khu công nghiệp có 3 trạm xử lý nước thải. Công suất của mỗi trạm được cho như sau: Trạm xử lý 1 là 900m³/ngày đêm; Trạm xử lý 2 là 1100m³/ngày đêm; Trạm xử lý 3 là 1000m³/ngày đêm. (2) Trong khu công nghiệp có 10 nhà máy. Nhu cầu xử lý nước thải của các nhà máy được cho trong **Bảng 1**.

Bảng 1. Nhu cầu cần xử lý nước thải của các nhà máy (m³/ngày đêm)

| Nhà máy | NM ₁ | NM ₂ | NM ₃ | NM ₄ | NM ₅ | NM ₆ | NM ₇ | NM ₈ | NM ₉ | NM ₁₀ |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Nhu cầu | 250 | 200 | 240 | 260 | 320 | 440 | 120 | 300 | 280 | 350 |

Ta có ma trận khoảng cách (m) được cho trong **Hình 5**.

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|---------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | Nhà máy | | | | | | | | | |
| | | NM1 | NM2 | NM3 | NM4 | NM5 | NM6 | NM7 | NM8 | NM9 | NM10 |
| T1 | | 800 | 600 | 900 | 500 | 1000 | 1000 | 800 | 1200 | 2200 | 600 |
| T2 | | 600 | 400 | 700 | 400 | 700 | 800 | 1800 | 1900 | 900 | 500 |
| T3 | | 400 | 500 | 600 | 300 | 700 | 600 | 1200 | 500 | 1200 | 400 |

Hình 5. Số Liệu Của Ma Trận Khoảng Cách

Hàm mục tiêu là tối thiểu hóa tổng chiều dài đường ống dẫn nước thải từ các nhà máy đến

trạm xử lý nước thải, được cho như sau trong các **Phương Trình 5, 6, và 7**

Các điều kiện ràng buộc của bài toán được cho như sau:

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 1 = 250:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 250 \quad (8)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 2 = 200:

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 200 \quad (9)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 3 = 240:

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 240 \quad (10)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 4 = 260 :

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} = 260(11)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 5 = 320 :

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} = 320(12)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 6 = 440 :

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} = 440 \quad (13)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 7 = 120 :

$$x_{71} + x_{72} + x_{73} = 120 \quad (14)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 8 = 300 :

$$x_{81} + x_{82} + x_{83} = 300 \quad (15)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 9 = 280 :

$$x_{91} + x_{92} + x_{93} = 280 \quad (16)$$

Tổng lượng nước thải từ nhà máy 10 = 350 :

$$x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} = 350 \quad (17)$$

Công suất của trạm xử lý 1 $\leq 900x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{1,10} \leq 900$ (18)

Công suất của trạm xử lý 2 ≤ 1100

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{2,10} \leq 1100(19)$$

Công suất của trạm xử lý 3 ≤ 1000

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{3,10} \leq 1000 \quad (20)$$

Lượng nước thải là số thực không âm:

$$x_{ij} \geq 0 \text{ với mọi } i \text{ và } j \quad (21)$$

3.2. Mô Phỏng Bài Toán Trên Công Cụ Excel

Bài toán tối ưu hóa được mô phỏng trên công cụ Excel 2013. Công cụ Excel Solver ứng dụng cho các bài toán quy hoạch phi tuyến sử dụng thuật toán di truyền. Thuật toán di truyền có ưu điểm là cho phép tích hợp các ràng buộc phi tuyến cho các biến thiết kế. Phương pháp này cũng có tốc độ tính toán nhanh và cho kết quả tối ưu hóa chính xác. Các ma trận khoảng cách và biến thiết kế của bài toán lập trong Excel được cho trong **Hình 6**.

| | | Nhà máy | | | | | | | | | |
|------|----|---------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | NM1 | NM2 | NM3 | NM4 | NM5 | NM6 | NM7 | NM8 | NM9 | NM10 |
| Trạm | T1 | 800 | 600 | 900 | 500 | 1000 | 1000 | 800 | 1200 | 2200 | 600 |
| | T2 | 600 | 400 | 700 | 400 | 700 | 800 | 1800 | 1900 | 900 | 500 |
| | T3 | 400 | 500 | 600 | 300 | 700 | 600 | 1200 | 500 | 1200 | 400 |

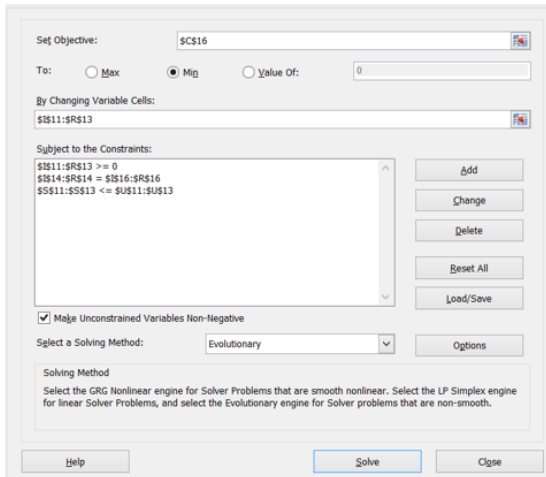
| Nước thải (m ³) | | Nhà máy | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | NM1 | NM2 | NM3 | NM4 | NM5 | NM6 | NM7 | NM8 | NM9 | NM10 |
| Trạm | A | | | | | | | | | | |
| | B | | | | | | | | | | |
| | C | | | | | | | | | | |

Hình 6. Mô Phỏng Bài Toán Trong Excel

giúp tối ưu hóa chiều dài đường ống vận chuyển nước thải, mà cũng có thể giúp ích cho việc xác định công suất thiết kế của trạm xử lý.

| Nước thải (m ³) | | Nhà máy | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | NM1 | NM2 | NM3 | NM4 | NM5 | NM6 | NM7 | NM8 | NM9 | NM10 |
| Trạm | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30.00 | 280.00 | 330.00 |
| | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 270.00 | 440.00 | 120.00 | 270.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 3 | 250.00 | 200.00 | 240.00 | 260.00 | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 250 | 200 | 240 | 260 | 320 | 440 | 120 | 300 | 280 | 330 | |
| | 250 | 200 | 240 | 260 | 320 | 440 | 120 | 300 | 280 | 330 | |

Hình 8. Kết Quả Tính Toán



Hình 7. Hộp Thoại Solver Trong Excel

Hộp thoại của công cụ Solver trong Excel để thực hiện TĐDT được cho trong Hình 7. Trong hộp thoại của Solver, các ô tương ứng với hàm mục tiêu, các biến thiết kế, và các ràng buộc được thiết lập. Cuối cùng, TĐDT được lựa chọn để giải bài toán.

3.3. Kết Quả Tính Toán

Kết quả tính toán của bài toán tối ưu hóa được cho trong Hình 8, với giá trị của hàm mục tiêu là $f = 11000$ mét đường ống dẫn nước thải. Theo kết quả tính toán, để tối thiểu hóa số mét dài đường ống cần xây dựng, kết hoạch phân bổ nước thải từ các nhà máy về mỗi trạm cần được thực hiện như giải pháp thể hiện trong Hình 8. Với phương án này, có thể thấy được rằng tất cả các ràng buộc về nhu cầu xử lý nước của từng nhà máy và công suất của từng trạm cũng được thỏa mãn. Theo như kết quả thu được, trạm xử lý số 1 chưa sử dụng hết công suất (lượng nước thải cần xử lý là $660m^3$ trong khi công suất tối đa là $900m^3$). Như vậy sử dụng thuật toán di truyền không có thể

4. Kết Luận Kiến Nghị

Bài báo đề xuất việc tối ưu hóa công tác xử lý nước thải cho khu công nghiệp. Mục tiêu của bài toán là tối thiểu hóa chiều dài đường ống vận chuyển nước thải, đồng thời thỏa mãn các yêu cầu về lượng nước cần xử lý tại mỗi nhà máy và công suất xử lý tại mỗi trạm. Bài toán được mô hình hóa bằng công thức toán học và trên Excel. Thuật toán di truyền được ứng dụng để tìm ra giải pháp tối ưu. Một ví dụ tính toán với 10 nhà máy và 3 trạm xử lý nước được dùng để kiểm chứng mô hình. Kết quả cho thấy thuật toán di truyền đã tìm ra được giải pháp tốt nhất mà trong đó chiều dài đường ống vận chuyển nước thải là nhỏ nhất. Do đó, công cụ Excel cùng với thuật toán di truyền được đề xuất cho việc giải quyết bài toán tối ưu hóa công tác xử lý nước thải cho khu công nghiệp. Hướng nghiên cứu tiếp sau của bài báo bao gồm khảo sát các thuật toán tối ưu hóa khác để giải quyết vấn đề đang được quan tâm, tìm một ví dụ trong khâu thiết kế một khu công nghiệp cụ thể để ứng dụng mô hình, và ứng dụng thuật toán di truyền để giải quyết các vấn đề khác trong lĩnh vực xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] R.L. Haupt, S.E. Haupt, Practical Genetic Algorithm, John Wiley & Sons, Inc., (2004).
- [2] G.V. Reklaitis, A. Ravindran, K.M. Ragsdell, Engineering Optimization Methods and Applications, Wiley, New York, (1983).
- [3] H.N. Đức, N.Q. Lâm, P.Q. Nhật, Tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án xây dựng sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân, Tạp Chí Khoa học và Công nghệ, Đại Học Duy Tân, (2015).