



## PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ, SỬA CHỮA VÀ NÂNG CẤP HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC

Nguyễn Tuấn Anh<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Ngọc Hương<sup>2</sup>, Chupin Roman Victorovich<sup>3</sup>

**Tóm tắt:** Việc lựa chọn tối ưu các thông số kỹ thuật và thiết kế hệ thống thoát nước được trình bày trên cơ sở thiết lập mô hình dòng chảy và giải quyết trên đó bài toán tối ưu về sự tìm kiếm dòng chảy lớn nhất với giá thành nhỏ nhất. Bài viết này được trình bày trên cơ sở giới hạn khả năng cho phép của các ống nước, được xác định bởi phương trình hàm số tuyến tính theo giá thành đơn vị của dòng chảy. Chúng tôi đề trình một phương pháp xây dựng thuật toán để lựa chọn các thông số kỹ thuật của các đường ống trong xây lắp và sửa chữa, nâng cấp hệ thống thoát nước, cũng như áp dụng phương pháp để xây dựng phần mềm mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống thoát nước.

**Từ khóa:** Hệ thống thoát nước; phương pháp tối ưu; dòng chảy lớn nhất chi phí nhỏ nhất; hàm số tuyến tính của giá thành đơn vị dòng chảy; sửa chữa đường ống.

**Summary:** The optimal choice of specifications and the design of the drainage system is presented basing on flow modeling and solved optimization problems about searching maximum flow with minimum cost. This article is presented basing on allowed limitation of the water pipes which is determined by the equation linear function of the unit cost of the flow. We submitted a algorithm construction method to select technical parameters of the pipes in constructing, repairing and upgrading the drainage system and applying methods for building simulation software and optimizing the water drainage system.

**Keywords:** Water drainage systems; optimal methods; the maximum flow with minimum cost; linear function of unit flow value; water pipes repairing.

Nhận ngày 6/10/2016, chỉnh sửa ngày 27/10/2016, chấp nhận đăng 26/12/2016



### 1. Giới thiệu

Trong việc nghiên cứu và phát triển sơ đồ hệ thống thoát nước của thành phố, nổi bật lên vấn đề lựa chọn các thông số kỹ thuật đường ống, cấu trúc hệ thống để với chi phí giá thành thấp nhất chúng ta có thể xây dựng được hệ thống đảm bảo độ vững chắc, tin cậy, đáp ứng được các tiêu chuẩn trong vận hành kỹ thuật. Vấn đề này được xác định qua sự tối ưu hóa việc thiết kế, sắp xếp các tuyến nước thải, lựa chọn mối liên kết giữa các điểm nước thải mới đến hệ thống nước thải đã có, sửa chữa nâng cấp hệ thống nước thải cũ, mà ở đó có sự tăng lên về nhu cầu thải nước (lưu lượng dòng chảy ở điểm thải của hệ thống tăng lên từ việc phát sinh khu vực xây dựng mới như nhà ở, nhà máy, xí nghiệp...) [7]. Trong bài viết này, chúng tôi trình bày phương pháp giải quyết các vấn đề đó. Phương pháp được xây dựng và phát triển dựa trên nguyên tắc tìm kiếm dòng chảy lớn nhất với chi phí nhỏ nhất [3].

Hiện nay có rất nhiều phương pháp giải quyết vấn đề này. Ví như phương pháp cổ điển, các nhà thiết kế mạng lưới đưa ra 2 đến 4 phương án và chọn phương án có chi phí giá thành rẻ nhất. Chi phí giá thành này gồm chi phí vật liệu, chi phí xây dựng, chi phí nhân công và máy móc. Trong bài viết của chúng tôi, phương pháp được đề cập đưa ra rất nhiều phương án (hàng trăm phương án, các phương án đó là các cách lưu lượng từ 1 điểm thải đi đến tập trung tại điểm thải tổng, trạm xử lý). Qua đó tìm được phương án tối ưu nhất, có chi phí nhỏ nhất. Mặt khác, chi phí giá thành của chúng tôi không chỉ bao gồm giá thành ban đầu (chi phí vật liệu, chi phí xây dựng, chi phí nhân công và máy móc) mà còn có thêm chi phí vận hành bảo dưỡng, vệ sinh đường ống tính theo tuổi thọ của các đường ống 50-70 năm. Chi phí này lớn hơn rất nhiều lần so với chi phí ban đầu. Nghiên cứu này là một phần kết quả trong đề tài luận án tiến sĩ mà tác giả đã thực hiện tại Trường Đại học Kỹ thuật Tổng hợp Irkutsk, Liên bang Nga.

<sup>1</sup> TS, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh.

<sup>2</sup> ThS, Trường Đại học Sao Đỏ, Hải Dương.

<sup>3</sup> TS, Trường Đại học Nghiên cứu Tổng hợp Kỹ thuật Quốc gia Irkutsk - Liên bang Nga.

\*Tác giả chính. E-mail: ntarussia20587@gmail.com.

## 2. Phân tích giải tích và phương pháp nghiên cứu

Bản chất của phương pháp này là xây dựng mạng lưới vận tải, xuất phát từ điểm S (điểm xuất phát của dòng chảy) đến điểm t (điểm tập trung xử lý nước thải hay còn gọi là điểm thải tổng). Tất cả các cạnh của sơ đồ được thể hiện giá trị lớn nhất ( $\bar{e}_{ij}$ ) (giới hạn cho phép tối đa khả năng cho dòng nước thải có thể chảy qua), giá trị nhỏ nhất ( $\underline{e}_{ij}$ ) (giới hạn cho phép tối thiểu khả năng cho dòng nước thải có thể chảy qua, cuốn chất lắng cặn) và giá trị tiền đơn vị của dòng chảy ( $C_{ij}$ ),  $i \in I$ ,  $I$  – tập hợp điểm đầu của sơ đồ,  $j \in J$ ,  $J$  – tập hợp điểm cuối của sơ đồ. Bài toán được công thức hóa dưới dạng sau:

$$\sum C_{ij}x_{ij} \rightarrow \min, \text{ trong đó } \underline{e}_{ij} \leq x_{ij} \leq \bar{e}_{ij}. \quad (1)$$

Bài toán yêu cầu tìm kiếm dòng chảy lớn nhất của mạng lưới ở trạng thái chảy tự do hay có áp suất với chi phí nhỏ nhất trong việc thiết kế hoặc sửa chữa, nâng cấp hệ thống thoát nước. Phương pháp được bắt đầu từ sự lựa chọn tuyến đường đi ngắn nhất từ S đến t, tuyến đó tương ứng với tổng chi phí giá thành đơn vị dòng chảy là bé nhất. Tiếp đó, đơn vị dòng chảy được tăng lên với sự tìm kiếm tất cả các tuyến từ S tới t. Khi tìm được tuyến từ sơ đồ, dòng chảy trên tuyến đó sẽ tăng lên đến giới hạn lớn nhất (giới hạn lưu lượng lớn nhất mà ống nước có thể cho dòng nước thải chảy qua). Nếu không tìm thấy tuyến mới từ S tới t, thuật toán sẽ dừng lại và đưa ra dòng chảy lớn nhất. Lúc này, sơ đồ bị chia làm hai phần riêng biệt, không có sự liên kết nào với nhau. Chúng ta sẽ xem xét ở ví dụ cụ thể phía dưới.

Giới hạn khả năng lớn nhất có thể cho phép dòng nước thải chảy qua đường ống được xác định ở trạng thái làm việc tràn đầy (trạng thái ngập) của đường ống:

$$\bar{e}_{ij} = q_n = \frac{0.314}{n} \cdot d^{2.667} \cdot i^{0.5} \quad (2)$$

Nếu lưu lượng thực tế chảy qua ống nhỏ hơn lưu lượng lớn nhất ( $x_{ij} \leq \bar{e}_{ij}$ ) thì khi đó đường ống đó được xem xét ở chế độ dòng tự chảy. Trong trường hợp ngược lại ( $x_{ij} > \bar{e}_{ij}$ ) sẽ xảy ra trạng thái làm việc có áp suất ở chế độ ống tự chảy, đường ống bị ngập (trường hợp này chúng ta không xem xét ở đây). Với những đường ống mới, giới hạn lưu lượng lớn nhất mà nước thải có thể chảy qua là không giới hạn. Giới hạn lưu lượng nhỏ nhất có thể ( $\underline{e}_{ij}$ ) của đường ống được xác định từ trường hợp vận tốc không lắng cặn. Vận tốc không lắng cặn là vận tốc nhỏ nhất của dòng chảy có thể cuốn theo các chất lắng cặn tồn đọng ở đường ống. Theo tiêu chuẩn xây dựng của LB Nga (СНП 2.04.03-85) [2], vận tốc bé nhất để có thể cuốn trôi những chất lắng cặn trong đường ống được xác định theo công thức:

$$V_{\min} = (0,2613 \times \ln(d) + 1,156).$$

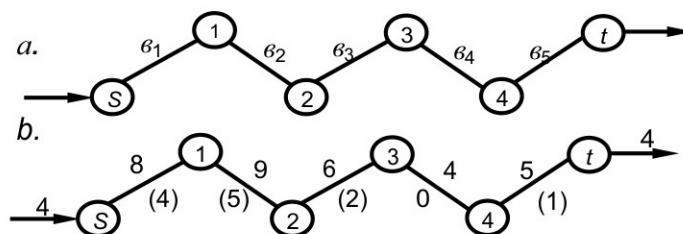
- Dành cho nước thải sinh hoạt, lưu lượng nhỏ nhất được tính theo công thức:

$$\underline{e}_{ij} = V_{\min} \cdot \omega = 0,6 \cdot d^2 \cdot (0,2613 \cdot \ln(d) + 1,156) \quad (3)$$

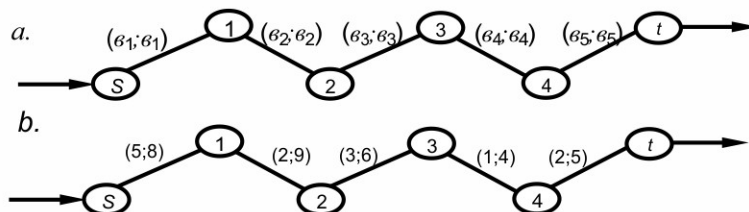
- Dành cho hệ thống thoát nước mưa rào, lưu lượng nhỏ nhất được tính theo công thức:

$$\underline{e}_{ij} = V_{\min} \cdot \omega = 0,471 \cdot d^2 \quad (4)$$

Giả sử cho trước mạng lưới vận tải ở dạng một tuyến, được trình bày như Hình 1. a, b.



Hình 1. Xác định dòng chảy lớn nhất



Hình 2. Xác định dòng chảy lớn nhất với giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất

Lưu lượng lớn nhất có thể chảy qua ở tuyến này được xác định từ tập hợp khả năng cho qua ở mỗi cạnh:

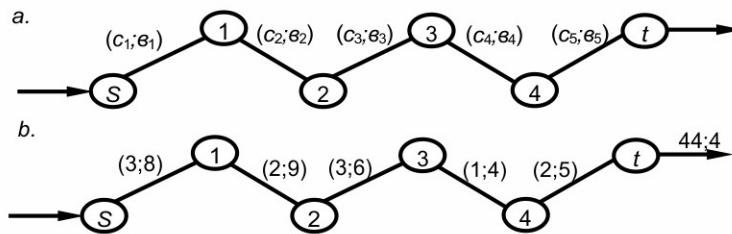
$$\bar{x}^{(t)} = \min\{e_{ij}\} = \{8; 9; 6; 4; 5\} = 4$$

Tương ứng với cạnh 3-4. Lúc này, cạnh 3-4 được tính xem như đã bão hòa. Ở những cạnh còn lại, khả năng cho phép lưu lượng lớn nhất có thể chảy qua sẽ giảm bớt đi và được tính theo công thức:

$$x_{ij}^V = e_{ij} - \bar{x}^{(t)}$$

Trong trường hợp giá trị lưu lượng lớn nhất, bé nhất đều được cho trước thì đầu tiên, chúng ta xác định dòng chảy lớn nhất, sau đó là dòng chảy nhỏ nhất và so sánh giá trị của chúng. Nếu giá trị dòng chảy nhỏ nhất lớn hơn giá trị dòng chảy lớn nhất thì tuyến đường từ S tới t đó không thỏa mãn điều kiện, không đảm bảo dòng có thể chảy qua và chúng ta loại bỏ việc xem xét tuyến này. Từ Hình 2, dễ thấy rằng dòng chảy lớn nhất có giá trị bằng 4 và tương ứng với đoạn 3-4, còn giá trị dòng chảy nhỏ nhất bằng 5, tương ứng với cạnh S-1. Do đó, tuyến này không đảm bảo dòng có thể chảy qua.

Giả sử ta chọn được tuyến có tổng giá thành nhỏ nhất như Hình 3, tuyến được cấu tạo bởi 5 cạnh.



**Hình 3.** Xác định dòng chảy lớn nhất với giá thành nhỏ nhất

Dòng chảy lớn nhất có thể chảy qua ở đây được xác định:  $\bar{x}^{(t)} = \{e_i\} = \{8; 9; 6; 4; 5\} = 4$ . Tổng giá trị đơn vị của dòng chảy:  $\sum C_i \bar{x}^{(t)} = 4 \cdot 3 + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 2 = 44$  (đơn vị)

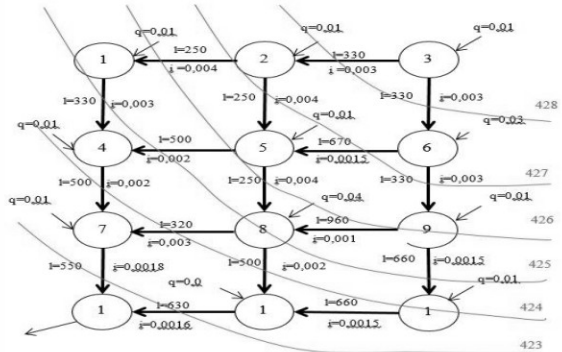
### 3. Ví dụ tính toán

#### 3.1 Ví dụ số 1

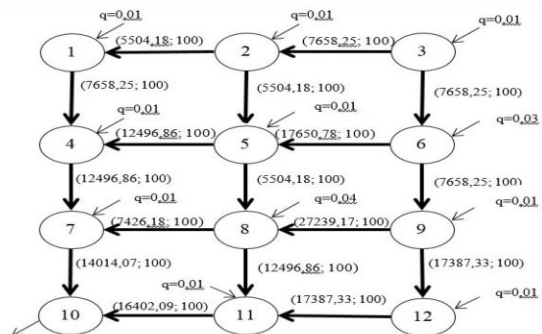
Xét ví dụ cụ thể hơn về việc thiết kế hệ thống thoát nước cho một khu vực dân cư mới như Hình 4.

Xác định giá thành đơn vị của dòng chảy: Giá thành đơn vị của dòng chảy được xác định dựa vào tiêu chuẩn về giá trong xây dựng dành cho hệ thống cấp thoát nước của Liên bang Nga (HLC 81-02-14-2012) [1]. Ở đây, chúng ta xét các đường ống được cấu tạo từ nhựa tổng hợp, được xây lắp ở độ sâu 3m so với mặt đất và bằng phương pháp mở để xây lắp đường ống. Từ đó chúng ta xác định được giá thành đơn vị của dòng chảy theo Bảng 1.

Từ Bảng 1 ta thiết lập sơ đồ mạng lưới bổ sung của hệ thống thoát nước theo như Hình 5. Trên Hình 5, ở trong ngoặc đơn ứng với mỗi cạnh chỉ ra giá trị đơn vị dòng chảy (chỉ số đầu tiên) và khả năng lưu lượng lớn nhất có thể chảy qua (chỉ số thứ 2). Khả năng lưu lượng lớn nhất có thể chảy qua dành cho đường ống mới là không giới hạn. Ở đây ta xét nó bằng 100 m<sup>3</sup>/s (rất lớn so với đơn vị 0,03 m<sup>3</sup>/s).



**Hình 4.** Sơ đồ thiết kế khả năng của hệ thống thoát nước trong đó:  $l$  - chiều dài đường ống,  $m$ ;  $q$  - lưu lượng nước thải từ điểm thải vào hệ thống, m<sup>3</sup>/s;  $i$  - độ nghiêng thủy động học của đường ống; đường cong dài và chỉ số tương ứng ở mỗi đường - đường địa hình và độ cao của mặt đất.



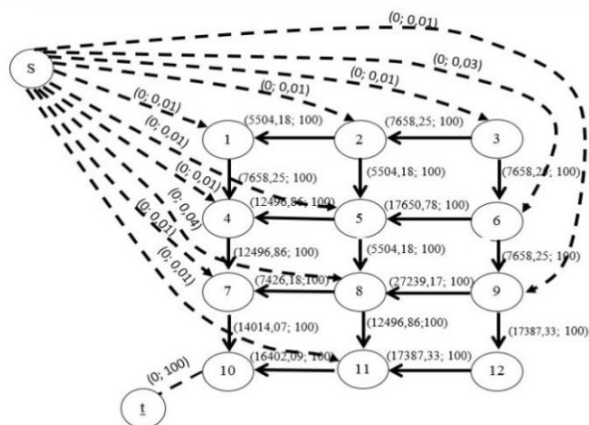
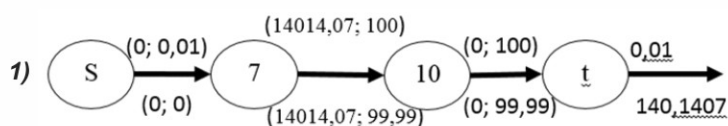
**Hình 5.** Sơ đồ mạng lưới bổ sung của hệ thống cấp thoát nước

**Bảng 1.** Giá thành đơn vị của dòng chảy dành cho các đường ống ở Hình 1

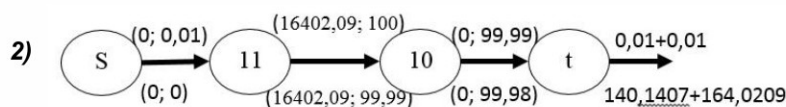
| TT | Tên đường ống | Chiều dài, $l_{i,j}$ (m) | Độ nghiêng, $i$ | Hàm số giá thành đơn vị, $C_{ij}=a \cdot x^u$ | Giá thành đơn vị dòng chảy, nghìn rúp |
|----|---------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1  | 2 - 1         | 250                      | 0,004           | $C_{ij}=7\,934,8 \cdot x^{0,3659}$            | 5 504,18                              |
| 2  | 3 - 2         | 330                      | 0,003           | $C_{ij}=8\,363,7 \cdot x^{0,3659}$            | 7 658,25                              |
| 3  | 5 - 4         | 500                      | 0,002           | $C_{ij}=9\,007,7 \cdot x^{0,3659}$            | 12 496,86                             |
| 4  | 6 - 5         | 670                      | 0,0015          | $C_{ij}=9\,494,5 \cdot x^{0,3659}$            | 17 650,78                             |
| 5  | 8 - 7         | 320                      | 0,003           | $C_{ij}=8\,363,7 \cdot x^{0,3659}$            | 7 426,18                              |
| 6  | 9 - 8         | 960                      | 0,001           | $C_{ij}=10\,226 \cdot x^{0,3659}$             | 27 239,17                             |
| 7  | 11 -          | 630                      | 0,0016          | $C_{ij}=9\,383 \cdot x^{0,3659}$              | 16 402,09                             |
| 8  | 12 - 11       | 660                      | 0,0015          | $C_{ij}=9\,494,5 \cdot x^{0,3659}$            | 17 387,33                             |
| 9  | 1 - 4         | 330                      | 0,003           | $C_{ij}=8\,363,7 \cdot x^{0,3659}$            | 7 658,25                              |
| 10 | 4 - 7         | 500                      | 0,002           | $C_{ij}=9\,007,7 \cdot x^{0,3659}$            | 12 496,86                             |
| 11 | 7 - 10        | 550                      | 0,0018          | $C_{ij}=9\,183 \cdot x^{0,3659}$              | 14 014,07                             |
| 12 | 2 - 5         | 250                      | 0,004           | $C_{ij}=7\,934,8 \cdot x^{0,3659}$            | 5 504,18                              |
| 13 | 5 - 8         | 250                      | 0,004           | $C_{ij}=7\,934,8 \cdot x^{0,3659}$            | 5 504,18                              |
| 14 | 8 - 11        | 500                      | 0,002           | $C_{ij}=9\,007,7 \cdot x^{0,3659}$            | 12 496,86                             |
| 15 | 3 - 6         | 330                      | 0,003           | $C_{ij}=8\,363,7 \cdot x^{0,3659}$            | 7 658,25                              |
| 16 | 6 - 9         | 330                      | 0,003           | $C_{ij}=8\,363,7 \cdot x^{0,3659}$            | 7 658,25                              |
| 17 | 9 - 12        | 660                      | 0,0015          | $C_{ij}=9\,494,5 \cdot x^{0,3659}$            | 17 387,33                             |

Với lưu lượng nước thải vào hệ thống thoát nước từ các điểm thải, chúng ta thiết lập mạng lưới vận chuyển như Hình 6. Đường nét đứt thể hiện lưu lượng nước thải từ điểm thải vào hệ thống, giá trị trong ngoặc đơn biểu thị giá trị đơn vị dòng chảy (chỉ số đầu tiên), bằng 0, và lưu lượng nước thải từ điểm thải (chỉ số thứ 2). Hình 6. Mạng lưới vận tải của hệ thống thoát nước

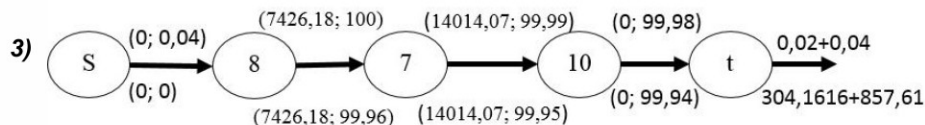
Đầu tiên, chúng ta xác định tuyến đường từ S đến t có tổng giá thành đơn vị dòng chảy là nhỏ nhất. Ta dễ thấy rằng, đó sẽ là các tuyến gần điểm tập hợp nước thải tổng nhất.

**Hình 6.** Mạng lưới vận tải của hệ thống thoát nước

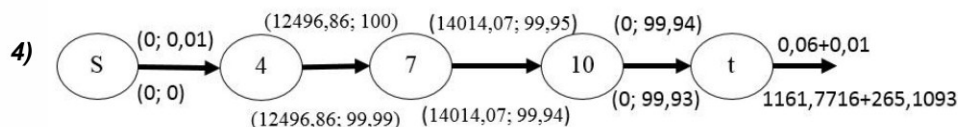
Ở tuyến này, lưu lượng dòng chảy lớn nhất có thể chảy qua là 0,01 và tổng giá trị đơn vị dòng chảy của tuyến là 14 014,07 (nghìn rúp/1m<sup>3</sup>/s). Từ đó ta tính được chi phí lắp đặt là: 0,01\*14014,07=140,1407 nghìn rúp. Chỉ số ở phía dưới của tuyến là giá trị đơn vị dòng chảy và khả năng cho phép tối đa lưu lượng dòng chảy có thể chảy qua ở đoạn ống đó. Đoạn S-7 được tính là đã bão hòa và bị loại bỏ khỏi sơ đồ mạng lưới. Lúc này ta có sơ đồ mới. Từ sơ đồ mới đó ta tiếp tục tìm kiếm tuyến từ S tới t có tổng giá thành đơn vị dòng chảy là bé nhất.



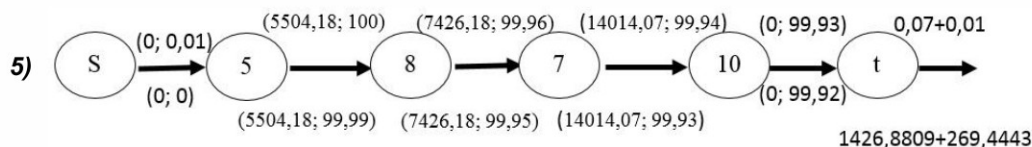
Lược bỏ đoạn S-11.



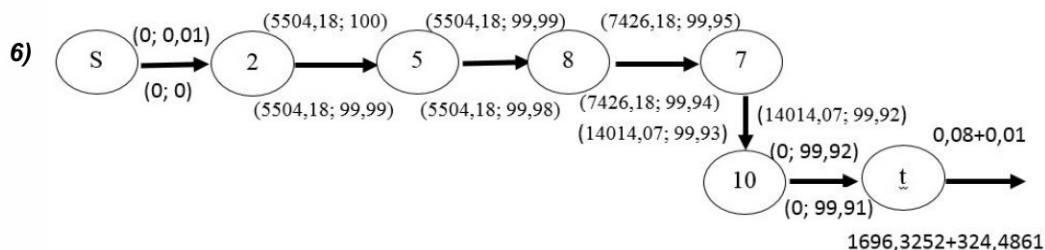
Lược bỏ đoạn S-8 và 8-11.



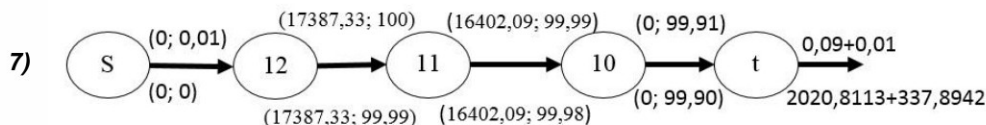
Lược bỏ đoạn S-4.



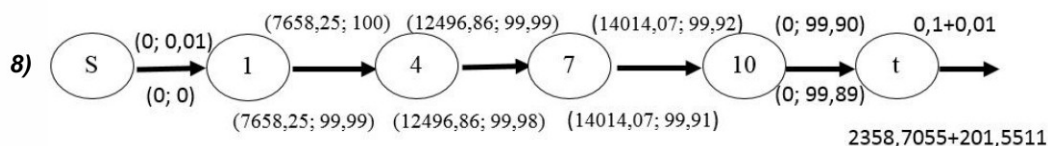
Lược bỏ đoạn S-5 và 4-5.



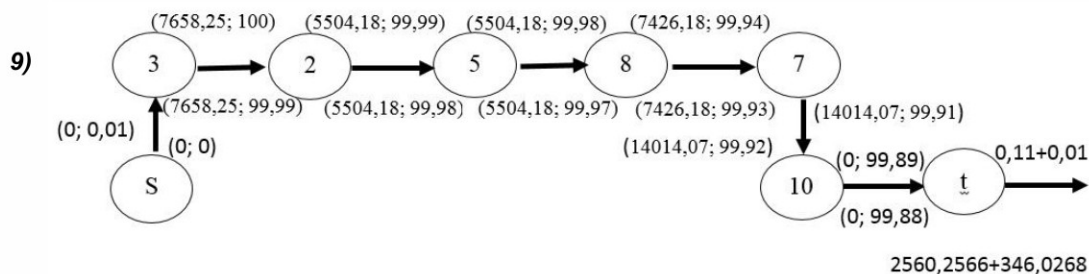
Lược bỏ đoạn S-2.



Lược bỏ đoạn S-12.



Lược bỏ đoạn S-1 và 1-2.



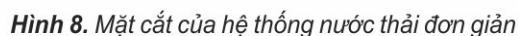
Lược bỏ đoạn S-3.



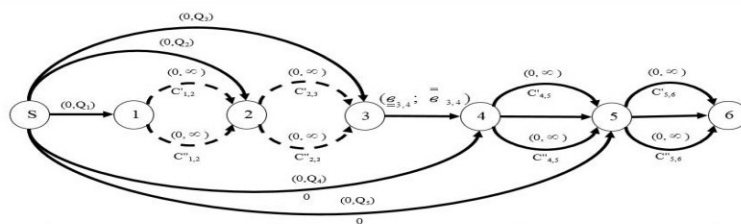
Phương án thiết kế hệ thống thoát nước như Hình 7 là phương án thiết kế tối ưu nhất dựa vào giá thành đơn vị dòng chảy, được tính theo phương pháp dòng chảy lớn nhất với chi phí nhỏ nhất.



Chúng ta cùng xem xét hệ thống thoát nước đơn giản được xây dựng từ 5 điểm thải như Hình 8.

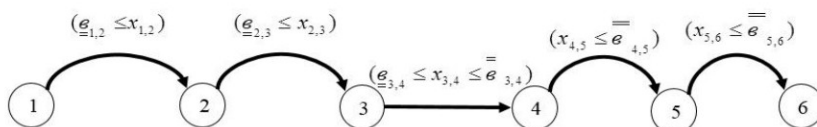


Bằng những cách giải quyết như vậy chúng ta có thể xây dựng mạng lưới sơ đồ vận chuyển được trình bày như Hình 9.



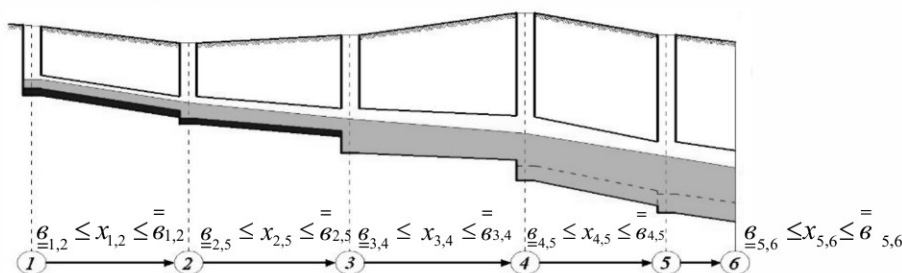
**Hình 9.** Sơ đồ mạng lưới vận chuyển tối ưu hóa sự nâng cấp, sửa chữa hệ thống nước thải

Ở Hình 9, hai cung tròn được thể hiện ở đoạn đường ống đầu tiên: cung phía trên biểu thị việc xây lắp ống mới trong ống cũ, cung phía dưới biểu thị việc xây mới đường ống với đường kính bé hơn. Ở hai đoạn đường ống phía dưới: cung ở trên thể hiện kỹ thuật xây lắp đường ống mới có đường kính lớn hơn vào vị trí đường ống cũ, đường thẳng ở giữa hai cung tròn thể hiện việc lắp đặt song song đường ống mới với đường ống đã có. Phương án giải quyết bài toán tối ưu hóa việc sửa chữa hệ thống thoát nước có thể tương ứng với Hình 10.



**Hình 10.** Sơ đồ tối ưu việc nâng cấp sửa chữa hệ thống thoát nước

Theo Hình 10, phương án tối ưu được giải quyết như sau: ở hai đoạn ống đầu tiên, chúng ta sử dụng phương pháp lắp đặt đường ống mới có đường kính bé hơn vào vị trí đường ống cũ. Còn ở hai đoạn đường ống sau, chúng ta sửa chữa bằng cách xây lắp đường ống mới với đường kính lớn hơn vào vị trí của hai đường ống đó. Cách giải quyết được thể hiện ở Hình 11.



**Hình 11.** Mặt cắt đường ống nước thải sau khi tối ưu việc nâng cấp, sửa chữa

Ở Hình 11, lưu lượng dòng chảy ở mỗi đoạn đường ống tương ứng với chế độ chảy tự do của dòng, vận tốc chảy ở mỗi đoạn ống lớn hơn vận tốc giới hạn để có thể cuốn theo các chất lắng cặn.



#### 4. Kết luận

Ở bài viết này chúng tôi đề xuất xây dựng phương pháp luận, từ đó có thể thiết lập thuật toán dành riêng cho việc nghiên cứu mô phỏng và tối ưu hệ thống thoát nước. Chúng ta có thể áp dụng phương pháp và thuật toán đó để mô phỏng một chương trình phần mềm ứng dụng vào thực tiễn. Cụ thể, chương trình đó sẽ giúp cho các nhà thiết kế, kỹ sư về lĩnh vực xây dựng, các nhà quản lý thành phố có thêm cơ sở để giải quyết bài toán về sự tối ưu việc sửa chữa, nâng cấp hay thiết kế quy hoạch hệ thống thoát nước cho thành phố hoặc các khu vực dân cư mới [0 -6].

#### Tài liệu tham khảo

1. НЦС 81-02-14-2012, *Сети водоснабжения и канализации*.
2. СНиП 2.04.03-85, *Канализация. Наружные сети и сооружения*.
3. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. (1963г), *Потоки в сетях*, М.: Мир. 216 с.
4. Ху Т. (1974г), *Целочисленное программирование и потоки в сетях*, М.: Мир. 520 с.
5. Чупин В.Р., Майзель И.В., Чупин Р.В. (2013г), "Инвестиция в развитие систем водоснабжения и водоотведения", *Известия Вузов: Инвестиции, Строительство, Недвижимость*, №1, С.126-133.
6. Нгуен Т.А. Кандидатская диссертация (2016г), *Разработка методики оптимизации перспективных схем развития систем водоотведения*, 211с.
7. Hoàng Văn Huệ, Trần Đức Hạ (2002), *Thoát nước. Tập 1: Mạng lưới thoát nước*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.