



**Косінов В. П., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Трач Ю. П., к.т.н., ст. викл.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Трач Р. В., к.е.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Лаврентьєва Т. М., інженер** (Зірненський спиртовий завод)

## **ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКТИВНОСТІ ВУЗЛІВ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННІ І РЕКОНСТРУКЦІЇ**

При проектуванні водопровідних мереж важливим завданням є встановлення необхідних місць облаштування водопровідних колодязів із розміщеними в них водопровідними вузлами, визначення кількості конструктивних елементів у складі окремих трубопроводів водопровідної мережі. Ця задача є надзвичайно трудомісткою, особливо для діючих мереж та водоводів. Це пояснюється тим, що більшість елементів цих споруд перебувають у землі, а точна інформація про конструктивний склад відсутня, або неповна. Запропоновано застосувати методика для прогнозного розрахунку кількості конструктивних елементів трубопроводної системи водопостачання за непрямыми ознаками. Вдосконалення даної методики було здійснено за рахунок систематизації структурних елементів на прості та складні з визначенням показника конструктивного устрою для кожної з них.

З метою аналізу ролі кожного однотипного конструктивного елемента у складі «лінійної частини» трубопроводної ділянки і «вузлів», введено поняття «коефіцієнта конструктивної ролі». Отримані аналітичні і графічні залежності для прогнозування змінюваності коефіцієнта конструктивної ролі. Для простих (типових) вузлів він не перевищує  $P_{кон.}^{max} = 2,5$ , а його мінімальне значення  $P_{кон.}^{min} = 1,3$ . Максимальне значення коефіцієнту конструктивності водопровідного вузла для складних (нетипових) вузлів не перевищує  $P_{кон.}^{max} = 1,1$ , а мінімальне  $P_{кон.}^{min} = 1,5$ .

Наведено рекомендації щодо оцінки складності улаштування водопровідних вузлів на практиці при проектуванні нових і реконструкції вже діючих водопровідних мереж.

**Ключові слова:** водопровідна мережа, вузол, коефіцієнт конструк-

## **тивної ролі, надійність.**

Водопровідна мережа – це трубопровідна система, основним завданням якої є безперервне і надійне транспортування води до всіх місць її споживання, а також підтримування достатніх напорів для забезпечення всіх категорій споживачів якісною водою при мінімумі витрат коштів на її спорудження та експлуатацію. Виконання вимог надійності і економічності трубопровідних систем водопостачання, до яких насамперед відносять водопровідну мережу, досягається в тому числі застосуванням оптимальної кількості конструктивних елементів в її структурно-конструктивній побудові (вузлів на мережі та лінійної частини) [1].

Визначення кількості складових конструктивних елементів мережі є надзвичайно трудомістким завданням, особливо для діючих мереж та водоводів. Характерним для трубопровідної системи є те, що більша частина її лінійної складової розміщується нижче поверхні землі, безпосередньо в ґрунті, і тому відсутня точна інформація про її конструктивний устрій. Тільки водопровідні вузли, що розміщуються у камерах водопровідних колодязів є вільно доступними для своєчасного огляду і ремонту.

На сьогодні не існує методики встановлення оптимального рівня конструктивної складності як окремих ділянок водопровідної мережі, так і всієї мережі загалом для забезпечення достатнього рівня її надійності і економічності. Тому, метою даного дослідження є удосконалення структурної схеми і конструктивних особливостей водопровідної мережі на основі існуючих і запропонованих методів розрахунку, які враховують мінливість конструктивного устрою окремих її ділянок.

Питання впливу конструктивної будови трубопроводів розглядали у своїх наукових працях Абрамов М.М., Іл'їн Ю.О., Українець М.А. Питанням конструктивного устрою і його впливу на надійність трубопровідних систем водопостачання присвятили свої наукові праці Хоружий П.Д. [2; 3], Ткачук О.О. [2; 3] Косінов В.П. [3-6], Новохатній В.Г., Усенко І.С.

**Методика дослідження.** Для досягнення мети пропонується вдосконалити методику Косінова В.П., Ткачука О.А., Хоружого П.Д. щодо встановлення кількості конструктивних елементів у складі мережі, шляхом оцінювання ступеню оптимальної конструктивності її окремих ділянок, з подальшим прогнозування мінливості її конструктивної надійності. Для цього проводиться систематизація водопрові-



дних вузлів, якими облаштовується ділянка трубопроводу і поділ всіх вузлів на «типові» (прості) і «нетипові» (складні) з визначенням коефіцієнта конструктивності кожного вузла і оцінкою його оптимального рівня.

**Основні результати досліджень.** Проведемо розрахунки конструктивного складу окремих вузлів, які розміщуються у камерах водопровідних колодязів. Так, з метою виключення можливості впливу показників конструктивної надійності водопровідних вузлів на показники конструктивної надійності лінійної частини трубопроводу, слід прийняти, що  $l_{\partial} = l_{\partial}^{\min} = l_{в.к.}$ , ( $l_{в.к.}$  – мінімальна відстань між двома сусідніми водопровідними колодязями, м [4]. За рекомендаціями [5] ця відстань не буде меншою за 10 м. Тобто, при меншій відстані, з метою зменшення витрат коштів, два сусідніх водопровідних вузла доцільно об'єднувати в спільній камері водопровідного колодязя. На ділянці 10 м можливо вкласти дві стандартні труби з довжиною ланки 6 м, між якими буде влаштовано тільки одне стикове з'єднання. В інших випадках (коли довжина розглядаємої ділянки трубопроводу між сусідніми водопровідними колодязями більша, слід окремо визначити число стикових з'єднань труб, що належать таким ділянкам.

Згідно з [4], кількість стикових з'єднань труб «лінійної частини» трубопроводу визначаємо за формулою:

$$N_{ст.} = N_{лан.} - 1, \quad (1)$$

де  $N_{лан.}$  – кількість ланок стандартних труб у складі розглядаємої ділянки мережі, шт. Їх кількість розраховується за формулою:

$$N_{лан.} = \frac{l_{\partial л.}}{l_{лан.}}. \quad (2)$$

Розрахунки кількості конструктивних елементів у складі «водопровідного вузла» можна проводити за двома методиками:

1. За прямим підрахунком (якщо відома конструктивна схема деталювання водопровідного вузла) (Косінова В.П., Ткачука О.А., Хоружого П.Д.);

2. За «непрямим (прогнозним) методом», якщо конструктивна схема деталювання відсутня [4].

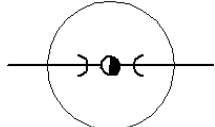
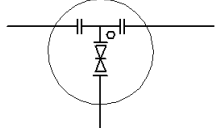
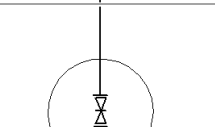
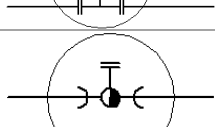
Перша методика, як показує практичне її застосування, є більш громіздкою, а в деяких випадках (при відсутності точної інформації про конструктивне облаштування водопровідного вузла) просто неможливою у реалізації. У разі ж застосування другої методики необхідним є уточнення, а саме підрахунок кількості конструктивних елементів водопровідних вузлів будь-якої конструктивної побудови.

Враховуючи вище сказане, необхідним є її вдосконалення, а саме встановлення ступеню оптимальної конструктивності водопровідної мережі з подальшим прогнозування її конструктивної надійності. При цьому актуальним постає завдання аналізу і прогнозування рівня конструктивності «елементарної ділянки» для її структурних елементів – «водопровідних вузлів», обладнання яких розміщується у камерах водопровідних колодязів.

Для розрахункового дослідження пропонується типові (прості конструктивно) водопровідні вузли поділити на ряд груп (7 типових груп). Деякі з типових груп вузлів, в свою сергу, поділені на підтипи (а, б, в, г). Запропонована систематизація наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Визначення кількості однотипних конструктивних елементів для типових водопровідних вузлів

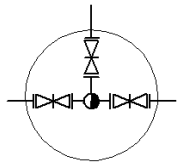
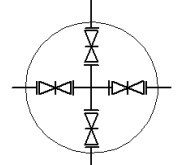
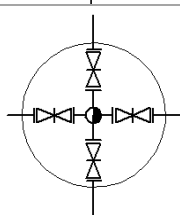
Тип	Ескіз типового вузла	Кількість однотипних конструктивних елементів у складі вузла						Р <sub>кон.</sub>
		Фасонні частини		Трубопровідна арматура		Стикові з'єднання		
		$N_{ф.ч.}$	$n_{вих.}^{ф.ч.*}$	$N_{ар.}$	$n_{вих.}^{ар.*}$	$N_{ст.}^{сум.}$	$\sum N_{ст.}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		1	3	1	1	1	3	2,33
2а		1	3	1	2	1	4	2,25
2б		1	3	1	2	1	4	2,25
2в		1	4	1	1	1	4	2,25
2г		1	4	1	1	1	4	2,25



продовження табл. 1

3а		1	5	1	1	1	5	2,2
3б		1	5	1	1	1	5	2,2
4а		1	4	1	1	2	5	1,7
4б		1	4	1	1			
4в		1	3	2	2	2	5	1,7
4г		1	4	1	1	2	5	1,7
5а		1	4	1	1			
5б		1	4	1	1	3	6	1,5
5в		1	5	1	1			
				2	2			

продовження табл. 1

6a		1	4	1	1	4	7	1,39
				3	2			
6б		1	4	4	2	4	8	1,38
7		1	5	1	1	5	9	1,31
				4	2			

**ПРИМІТКА:** \*Число виходів із конструктивного елемента наведено на одну конструктивну одиницю

Пропонована систематизація побудована на таких умовах:

1. водопровідний вузол кожної типової групи (підтипу) має бути простим у своїй побудові та об'єднувати мінімальне число «однотипних» конструктивних елементів;

2. до основних «однотипних елементів» вузлів слід віднести кількість фасонних частин, трубопровідної арматури і стикових з'єднань цих елементів;

3. слід враховувати число «виходів» (з'єднувальних конструктивних закінчень) кожного конструктивного елемента;

4. необхідно виключати можливість повторного врахування одного і того ж елемента у розрахунках кількісного складу водопровідного вузла за рахунок відсіву конструктивних «елементів-сумісників».

Кількість однотипних конструктивних елементів у складі «нетипових» (складних конструктивно) водопровідних вузлів слід проводити наступним чином:

- прямим підрахунком із складанням окремої таблиці виду 1;
- розділяти «складний» водопровідний вузол на кілька «типових» (простих).

З метою аналізу ролі кожного однотипного конструктивного елемента у складі чи то «лінійної частини» трубопровідної ділянки, чи то «вузла», уведемо поняття «коефіцієнта конструктивної ролі»



для групи таких елементів, який матиме фізичний зміст «коефіцієнта конструктивності» (індексу конструктивності) і буде визначатися для кожного водопровідного вузла та лінійної частини ділянки трубопроводу.

Пропонується визначати його за наступним аналітичним виразом:

Для водопровідного вузла:

$$P_{кон.}^{вуз.} = \frac{1}{N_{ф.ч.}} + \frac{1}{N_{ар.}} + \frac{1}{N_{ст.}} \quad (3)$$

Для лінійної частини:

$$P_{кон.}^{л.ч.} = \frac{1}{N_{лан.}} + \frac{1}{N_{ст.}}, \quad (4)$$

де  $N_{ф.ч.}$ ,  $N_{ар.}$ ,  $N_{ст.}$ ,  $N_{лан.}$  – кількість однотипних конструктивних елементів вузла, а саме фасонних частин, трубопровідної арматури, стикових з'єднань та ланок стандартних труб.

«Коефіцієнт конструктивності» визначає ступінь повторюваності «однотипного елемента» в складі «елементарної» структурної частини, його конструктивну важливість, і у якості коефіцієнта конструктивної готовності може бути прийнятим як додатковий показник надійності. В цілому для певного водопровідного вузла він показує ступінь його конструктивної важливості у складі ділянки трубопроводу і його конструктивну надійність.

Коефіцієнт  $P_{кон.}^{вуз.}$  показує не тільки складність обладнання водопровідного вузла, але впливовість його при розрахунках як кошторисної вартості ділянки, так і показників конструктивної надійності.

Приклад визначення коефіцієнта конструктивної ролі водопровідного вузла наведено у табл. 1 для типових вузлів. На рис. 1 наведені порівняльні графіки залежності коефіцієнта конструктивності  $P_{кон.}^{вуз.}$  водопровідних вузлів як типових (простих), так і нетипових (складних).

Для типових (простих) коефіцієнта конструктивності вузлів можна записати у вигляді:

$$P_{кон.}^{тип.в.} = -0,1931 \cdot n_{т.пр.} + P_{кон.}^{max}, \quad (5)$$

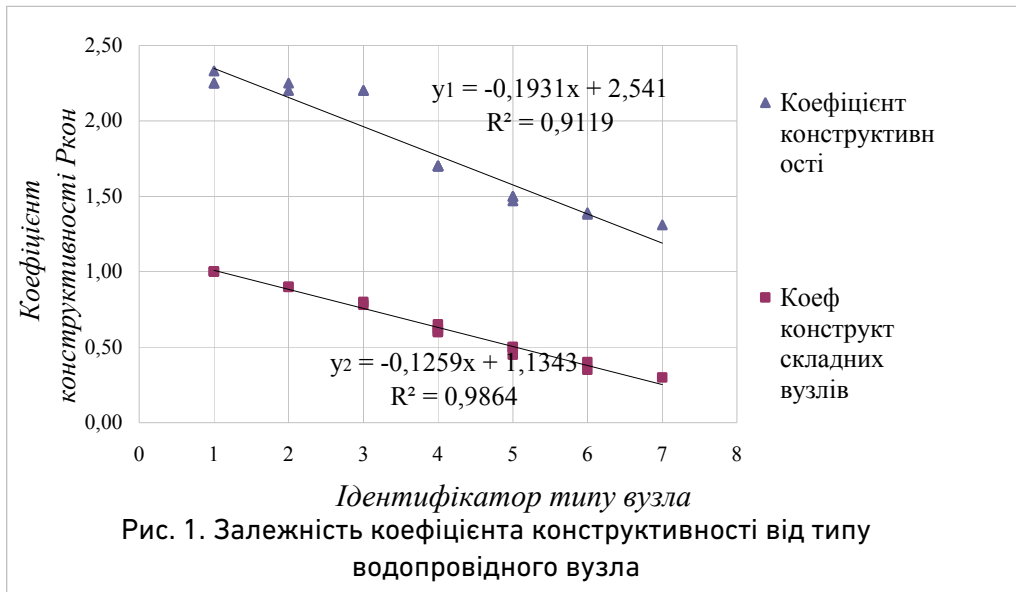
де  $P_{кон.}^{max}$  – максимальне значення коефіцієнта конструктивності для типового (простого вузла). Так, за даними табл. 1 це складає  $P_{кон.}^{max} = 2,54$ .

Для складних (нетипових) вузлів аналітичне рівняння буде та-

КИМ

$$P_{кон.}^{тип.в.} = -0,1259 \cdot n_{т,скл.} + P_{кон.}^{max}, \quad (6)$$

де  $P_{кон.}^{max} = 1,13$  – максимальне значення коефіцієнта конструктивності для нетипового (складного вузла вузла);  $n_{т,пр.}$  – ідентифікатор типу складності типового водопровідного вузла ( $n_t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ).



Аналіз побудованих графіків дає можливість сказати, що максимальне значення коефіцієнту конструктивності водопровідного вузла для простих (типових) вузлів не перевищує  $P_{кон.}^{max} = 2,54$ , а мінімальне  $P_{кон.}^{min} = 1,3$ . Максимальне значення коефіцієнту конструктивності водопровідного вузла для складних (нетипових) вузлів не перевищує  $P_{кон.}^{max} = 1,13$ , а мінімальне  $P_{кон.}^{min} = 1,45$ .

На рис. 2 наведено приклад визначення індексу конструктивності для окремо взятої ділянки водопровідної мережі.



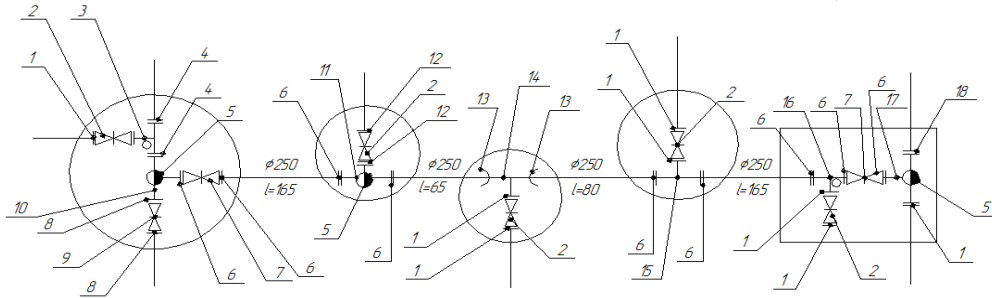


Рис. 2. Приклад деталювання та укладання монтажних схем ділянки водопровідної мережі, обмеженої вузлами ПГ14-ПГ-10: 1, 4, 6, 8, 12, 18 – фланцеві з'єднання; 2, 7, 9 – засувки; 3, 16 – водовипуск; 5 – пожежний гідрант; 10, 11, 17 – трійник із пожежною підставкою; 14, 15 – трійник без пожежної підставки

Таблиця 2

Приклад визначення коефіцієнта конструктивності  $P_{кон}$   
для ділянки мережі (для прикладу рис. 2)

№ вузла	Тип вузла	Діаметри		Фасонні частини	Арматура	Кількість стиків	Імовірність виходу з ладу 1 елемента			
		$D_{маг}$	$D_{під}$				$P_{фас}$	$P_{арм}$	$P_{ст}$	$P_{кон}$
ПГ14	складний	250	300 250	2	4	9	0,5	0,25	0,17	0,92
ПГ13	Типовий (3г)	250	100	1	2	5	1,0	0,5	0,2	1,7
12	Типовий (2а)	300	100	1	1	4	1,0	0,5	0,25	2,25
11	Типовий (2а)	250	-	1	1	4	1,0	1,0	0,25	2,25
ПГ10	складний	250	200 200	2	3	8	0,5	0,33	0,13	0,96
Разом				7	11	30	4,0	2,58	1,0	7,58

**Реалізація отриманих результатів та перспективи подальших досліджень.** Отримана методика розрахунку коефіцієнту конструктивності взята до уваги Зірненським спиртовим заводом для реалізації процесу реконструкції існуючих водопровідних колодязів та загальної системи водопостачання та водовідведення підприємства.

### **Висновки**

1. Розрахунки оптимальної кількості конструктивних елементів у складі трубопровідної системи водопостачання слід проводити після структурного поділу кожного окремого взятого трубопроводу на елементарні структурні частини.
2. Елементарною складовою структурною частиною для аналізу її конструктивності слід вважати лінійну ділянку трубопроводу довжиною 10 м, яка відповідає мінімальній відстані між двома сусідніми водопровідними колодязями.
3. Пропонується всі водопровідні вузли у складі ділянок мережі поділяти на «типові» (прості) та «нетипові» (складні) і розрахунок кількості складових конструктивних елементів визначати окремо з наступним їх підсумуванням.
4. Для встановлення ролі кожного однотипного конструктивного елемента трубопровідної ділянки необхідним є визначення «коефіцієнта конструктивної ролі», який має фізичний зміст «коефіцієнта конструктивності» (індексу конструктивності).
5. Коефіцієнт конструктивності із збільшенням числа вхідних складових елементів у складі водопровідного вузла, або лінійної частини трубопроводу має тенденцію регресійного зменшення та не повинен бути більшим  $P_{кон.}^{max} = 2,54$  і меншим за  $P_{кон.}^{min} = 0,3$ .

**1.** ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мін-во регіон. розвитку, будівн-ва та ЖКГ, 2013. 283 с. (Державні будівельні норми України).

**2.** Хоружий П. Д., Ткачук О. А., Косінов В. П. До питання розрахунку кількості і конструктивних елементів водопровідних мереж та водоводів з метою визначення їх надійності. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Львів. Вип. 20. 1993. С. 90–97. **3.** Косінов В. П. Вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на надійність та економічність спорудження водопровідних мереж і водогонів. *Вісник РДТУ*. Рівне : РДТУ, 2001. Вип. 4 (II). С. 108–115. **4.** Косінов В. П., Орлов В. О. Надійність систем водопостачання та во-



довідведення : навч. посібник. Рівне : НУВГП. 2013. С. 228. **5.** Косінов В. П. Оптимальне конструювання водопровідної мережі населеного пункту для зменшення її кошторисної вартості та підвищення надійності. *Вода і робочі місця* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому дню води : спец. зб. наук. праць НААНІВПМ. Київ : С. 73–74. **6.** Косінов В. П. Оптимізація розміщення точок відбору води із водопровідної мережі населеного пункту для забезпечення надійності пожежога-сіння. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. Київ, 2016. Вип. 27. С. 187–201.

## REFERENCES:

**1.** DBN V.2.5-74:2013. Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia. [Chynnyi vid 2014-01-01]. Kyiv : Min-vo rehion. rozvytku, budivn-va ta ZhKH, 2013. 283 s. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy). **2.** Khoruzhyi P. D., Tkachuk O. A., Kosinov V. P. Do pytannia rozrakhunku kilkosti i konstruktyvnykh elementiv vodoprovodnykh merezh ta vodovodiv z metoiu vyznachennia yikh nadiinosti. *Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo*. Lviv. Vyp. 20. 1993. S. 90–97. **3.** Kosinov V. P. Vplyv konstruktyvnykh ta ekspluatatsiinykh faktoriv na nadiinist ta ekonomichnist sporudzhennia vodoprovodnykh merezh i vodohoniv. *Visnyk RDTU*. Rivne : RDTU, 2001. Vyp. 4 (II). S. 108–115. **4.** Kosinov V. P., Orlov V. O. Nadiinist system vodopostachannia ta vodovidvedennia : navch. posibnyk. Rivne : NUVHP. 2013. S. 228. **5.** Kosinov V. P. Optymalne konstruiuvannia vodoprovodnoi merezhi naselenoho punktu dlia zmeshennia yii koshtorysnoi vartosti ta pidvyshchennia nadiinosti. *Voda i robochi mistsia* : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoї Vsesvitnomu dniu vody : spets. zb. nauk. prats NAANIVPM. Kyiv : S. 73–74. **6.** Kosinov V. P. Optymizatsiia rozmishchennia tochok vidboru vody iz vodoprovodnoi merezhi naselenoho punktu dlia zabezpechennia nadiinosti pozhezhohasinnia. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky*. Kyiv, 2016. Vyp. 27. S. 187–201.

Рецензент: д.т.н., професор Ковальчук В. А. (НУВГП)

---

**Kosinov V. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Trach Yu. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Trach R. V., Candidate of Economics (Ph.D.), Associated Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Lavrientieva T. M., Engineer** (Zirnensky spirit factory)

## **JUSTIFICATION OF OPTIMAL CONSTRUCTIVENESS OF THE KNOTS OF THE WATER SUPPLY NETWORK DURING ITS DESIGN AND RECONSTRUCTION**

**When designing water supply an important process is to establish the necessary water supply point units located in them, to determine the number of structural elements in the individual pipelines of the water supply. This process is extremely labor-consuming, especially for existing networks and conduits. Because of its complexity the conventional optimizations techniques are poorly suited for solving this task.**

**It is suggested to use a method for predictive calculation of the number of structural elements of the pipeline system of water supply on the basis of indirect signs. The improvement of this technique was accomplished by systematizing structural elements on simple and complex ones for determining the index of a constructive arrangement for each of them.**

**In order to analyze the role of each of the same type of constructive element in the "linear part" of the pipeline and "nodes", the concept of "coefficient of constructive role" was introduced. The analytical and graphical dependences were obtained to predict the variability of the constructive role coefficient. For simple (typical) nodes it does not exceed  $P_{кон.}^{max} = 2,5$ , and its minimum value is  $P_{кон.}^{max} = 1,1$ . The maximum value of the coefficient of constructively of the plumbing unit for complex (non-typical) nodes does not exceed  $P_{кон.}^{max} = 1,1$ , and a minimum of  $P_{кон.}^{min} = 1,5$ .**



**Recommendations on the estimation of the complexity of water supply unit arrangement in practice are given in the design of new and reconstruction of existing water supply networks.**

**Keywords:** water supply, knots of the water supply network, coefficient of constructive role, reliability of the water supply.

---

**Косинов В. П., к.т.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Трач Ю. П., к.т.н., ст. препод.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Трач Р.В., к.э.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Лаврентьева Т. М., инженер** (Зирненский спиртовой завод)

## **ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОСТИ УЗЛОВ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ПРИ ЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ**

При проектировании водопроводных сетей важной задачей является установление необходимых мест для оборудования водопроводных колодцев с размещенными в них водопроводными узлами, определение количества конструктивных элементов в составе отдельных трубопроводов водопроводной сети. Эта задача является чрезвычайно трудоемкой, особенно для действующих сетей и водоводов. Это объясняется тем, что большинство элементов этих сооружений находятся в земле, а точная информация о конструктивном составе отсутствует, либо неполная.

Предложено применить методику для прогнозируемого расчета количества конструктивных элементов трубопроводной системы водоснабжения по косвенным признакам. Совершенствование данной методики было осуществлено за счет систематизации структурных элементов на простые и сложные с определением показателя конструктивного оборудования для каждой из них.

С целью анализа роли каждого однотипного конструктивного элемента в составе «линейной части» трубопроводного участка и «узлов», введено понятие «коэффициента конструктивной роли». По-

лучены аналитические и графические зависимости для прогнозирования изменчивости коэффициента конструктивной роли. Для простых (типичных) узлов он не превышает  $P_{кон.}^{max} = 2,5$ , а его минимальное значение  $P_{кон.}^{min} = 1,3$ . Максимальное значение коэффициента конструктивности водопроводного узла для сложных (нетипичных) узлов не превышает  $P_{кон.}^{max} = 1,1$ , а минимальное  $P_{кон.}^{min} = 1,5$ .

Приведены рекомендации по оценке сложности устройства водопроводных узлов на практике при проектировании новых и реконструкции уже действующих водопроводных сетей.

**Ключевые слова:** водопроводная сеть, узел, коэффициент конструктивной роли, надежность.

---