

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

Ю.І.Зарубіна, В.Б.Михалків

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42166,
e-mail: tzn g@n u n g . e d u . u a

Розглядається зміна показників надійності під час оптимізації геометричних параметрів проектування і експлуатації систем газопостачання населених пунктів з поліетиленових трубопроводів. Отримані результати обґрунтовано і підтверджено на основі розрахованих техніко-економічних показників. Розроблені рекомендації дають змогу забезпечити безперебійність газопостачання великих споживачів газу в даному районі і значно здешевити проект загалом.

Ключові слова: газопостачання, низький тиск, коефіцієнти надійності, газова мережа, граф переходів.

Рассматривается изменение показателей надежности при оптимизации геометрических параметров проектирования и эксплуатации систем газоснабжения населенных пунктов из полиэтиленовых трубопроводов. Полученные результаты также обоснованы и подтверждены результатами рассчитанных технико-экономических показателей. Разработанные рекомендации позволяют обеспечить бесперебойность газоснабжения больших потребителей газа в данном районе и значительно удешевить проект в целом.

Ключевые слова: газоснабжение, низкое давление, коэффициент надежности, газовая сеть, граф переходов.

Described change of coefficients fail-safety during optimization of geometrical characteristics of construction and production activity of collections of gas-supplying of settlements from the polyethylene ductings. The got data are also grounded and confirmed data of the designed tehniko-economicheskin coefficients. The designed recommendations allow to provide continuity of service of large gas consumers in this district and considerably reduce in a price a device on the whole.

Keywords: gas-supplying, low pressure, reliability factor, gaseous gridiron, columns of changes.

Останнім часом в Україні відбувається інтенсивний розвиток систем газопостачання населених пунктів із зміною геометрії системи та реконструкцією початкових елементів. Тому постає питання виконати ці завдання таким чином, щоб забезпечити максимальну надійність газопостачання на етапі реконструкції та розвитку.

В роботах, опублікованих раніше [1-5], розглядалась надійність систем віддаленого транспортування газу та їх елементів. Надійність газових мереж населених пунктів у вітчизняній літературі не висвітлювалась, тому постала проблема виявлення раціональних параметрів системи газопостачання, яка б мала максимальну надійність за мінімальних затрат на спорудження, реконструкцію та експлуатацію.

Надійність – це комплексна властивість об'єкта, яка залежить від призначення об'єкта, умов його застосування і характеристики [1].

Врахування надійності в завданнях планування експлуатації і проектування газопровідних систем вимагає: обґрунтування вибору головних проектних рішень (діаметр, технологічні схеми ділянок); оцінки можливих втрат пропускної здатності і продуктивності внаслідок відмов устаткування; обґрунтування ефективності заходів щодо підвищення надійності, в тому числі розміщення і рівень резервних потужностей, вимог до надійності устаткування і систем обслуговування.

Основною метою проведених проектних розрахунків є оцінка впливу надійних характеристик устаткування і параметрів системи обслуговування на показники виробничої потуж-

ності газотранспортних підприємств і, найголовніше, на пропускну здатність газопроводів.

Газопровід є складною технічною системою з відновлюваними і резервованими елементами, яку можна представити у вигляді ланцюга послідовно сполучених ланок – лінійних ділянок або груп з декількох суміжних ділянок.

Розподіл ланки на елементи є умовним і визначається метою розрахунку та наявною інформацією про надійність устаткування. Звичай елементами лінійних ділянок вважають секції трубопроводів, розділені перемичками або кранами.

Під надійністю елемента розуміється його здатність виконувати завдання, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом певного періоду часу. Відмовою елемента вважається порушення його працездатності. У разі відмови елемент виключається з робочого процесу і поступає в систему обслуговування для відновного ремонту. Відмови допоміжного устаткування, що призводять до виключення елемента з робочого процесу, ототожнюються з відмовами елементів.

У кожен момент часу елемент може перебувати в одному з трьох станів: робочому (навантаженому), аварійному (вимушеному) або, для проведення профілактичного ремонту (ППР), ненавантаженому резерві. Вважається, що відмова може виникнути лише в тому випадку, коли елемент перебуває в робочому стані. Відновленням називають процес виявлення і усунення відмов елементів з метою відновлення їх працездатності.

Передбачається, що при профілактичному і аварійному ремонтах відновлюються технічні характеристики елемента, передбачені нормативною технічною документацією.

Для розрахунку надійності газопроводу необхідно заздалегідь визначити стратегію обслуговування елементів, тобто план або правила, які визначають періодичність і порядок проведення профілактичних ремонтів устаткування.

Пропускна здатність газопроводу визначається як максимальна кількість газу, що може бути передана споживачам при даному стані газопроводу за одиницю часу в усталеному режимі за умови дотримання вимог щодо складу, якості підготовки, забезпеченні тиску газу в точках притоку і відбору і за умови гарантованої подачі газу в газопровід у необхідній кількості.

Зміна стану елемента, ланки, газопроводу є випадковою подією. Пропускна здатність газопроводу q (як функція його стану) повинна розглядатися як випадкова величина з кінцевою безліччю значень q_0, q_1, \dots, q_n . Для її опису досить побудувати ряд розподілів [2, 3, 4]:

– значення пропускної здатності

q_0, q_1, \dots, q_n ;

– імовірність P_0, P_1, \dots, P_n .

Значення пропускної здатності розташовуються в порядку спадання $q_0 > q_1 > \dots > q_n$, причому (q_0 – пропускна здатність газопроводу із справними робочими елементами, називається номінальною). Імовірність P_k можна умовно вважати рівною тій частці даного періоду T , коли пропускна здатність газопроводу рівна q_k . Вірогідність P_0 того, що газопровід володіє номінальною пропускною здатністю, називається коефіцієнтом готовності газопроводу.

Для опису системи газопостачання застосовуємо граф переходів, в якому станом i відповідає вершина i , а переходу із стану i в стан j – спрямована дуга (i, j). Інтенсивність переходів ω_0 зі стану i в суміжні стани j описується значенням $\omega_0 = 1/T_0$, де T_0 – напрацювання на відмову. Значення $\omega_{ij} \cdot \Delta t$ вказує на умовну ймовірність того, що за малий проміжок часу ($t, t + \Delta t$) ланка перейде в стан j за умови, що у момент t вона перебувала в стані i . Інтенсивність переходів вважається постійною. Це рівносильно припущенню, що відповідні потоки подій є простими. За допомогою графа переходів складається і розв'язується система лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомої вірогідності $P_i, i = 0, 1, \dots, m$ перебування ланки у відповідних станах в стаціонарному процесі

$$P_i \cdot \sum_{j \neq i} \omega_{ij} - \sum_{j \neq i} \omega_{ji} \cdot P_j = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^m P_i = 0. \quad (2)$$

У рівнянні (1) перша сума береться по всіх дугах, що виходять з вершини i , а друга – по всіх дугах, що заходять в i . Ряд розподілу P_0, P_1, \dots, P_n уможливує обчислення всіх основних показників надійності газопроводу, зокрема, його середньої пропускної здатності

$$\bar{Q} = P_0 \cdot q_0 + P_1 \cdot q_1 + \dots + P_k \cdot q_k. \quad (3)$$

Коефіцієнтом надійності газопроводу K_H називається відношення середньої пропускної здатності до номінальної [5]

$$K_H = \frac{\bar{Q}}{Q_0} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Розглянемо розрахунки коефіцієнтів надійності для трьох варіантів систем газопостачання:

низького тиску розгалуженої системи (рис. 1);

низького тиску з введенням додаткових перемичок (рис. 2);

низького тиску з введенням додаткового ГРП (рис. 3).

На рисунку 4 зображено граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску комбінованої структури. На рисунку 5 зображено граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску з введенням додаткових перемичок. На рисунку 6 зображено граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску з введенням додаткового ГРП.

Складемо систему рівнянь для визначення ряду імовірностей для випадку, коли $\omega = 0,009 \text{ д}^{-1}$, $\omega_{np} = 0,003 \text{ д}^{-1}$, $\mu = 0,5 \text{ д}^{-1}$, $\mu_{np} = 0,05 \text{ д}^{-1}$. Ці дані відповідають таким показникам роботи: середнє напрацювання між відмовами $T_p = 111$ днів, середній час відновлення $T_{en} = 2$ дні, середній міжремонтний ресурс $T_{mp} = 333$ дні, середній час ППР $T_{np} = 20$ днів.

Визначимо коефіцієнт надійності газопроводу для газової мережі низького тиску комбінованої структури, для газової мережі низького тиску з введенням додаткових перемичок, для газової мережі низького тиску з введенням додаткового ГРП.

Для трьох варіантів складемо системи рівнянь для визначення ряду імовірностей.

Для розрахунку систем рівнянь використаємо програму Maple 7. Результати розрахунку зводимо до таблиць 1-3 відповідно.

Визначимо значення усереднених витрат за формулою (3) для кожного з розглянутих варіантів.

На основі отриманих результатів визначимо коефіцієнти надійності за формулою (4):

– для газової мережі низького тиску комбінованої структури

$$K_H = \frac{1345,5}{1445,1} \cdot 100\% = 93,1\%;$$

– для газової мережі низького тиску з введенням додаткового ГРП

$$K_H = \frac{1357,8}{1446,5} \cdot 100\% = 93,9\% ;$$

– для газової мережі низького тиску з введенням додаткових перемичок

$$K_H = \frac{1373,7}{1422,2} \cdot 100\% = 96,6\% .$$

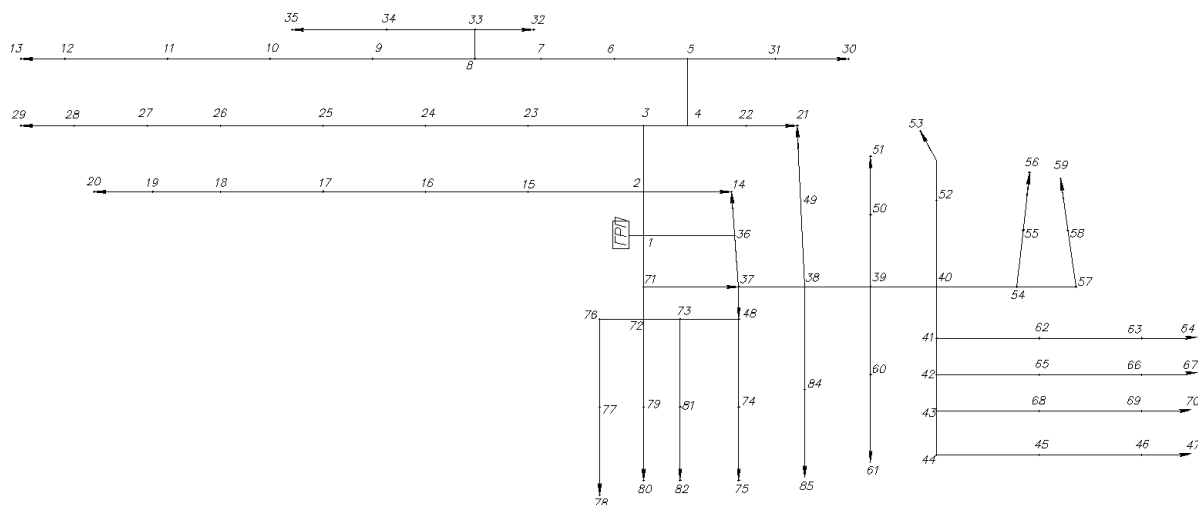


Рисунок 1 – Схема газової мережі низького тиску розгалуженої частини

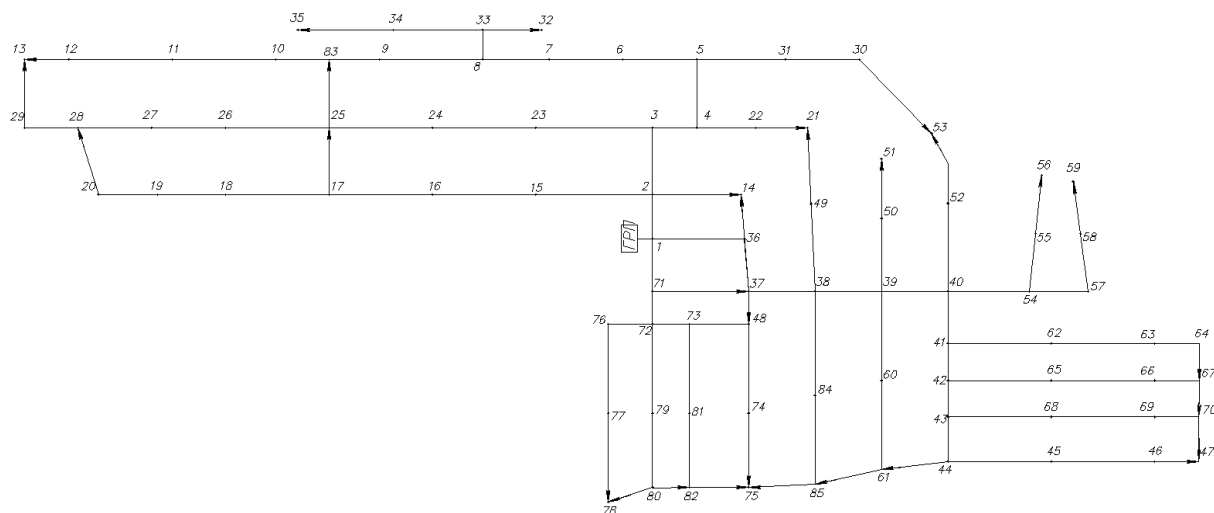


Рисунок 2 – Схема газової мережі низького тиску з введенням додаткових перемичок

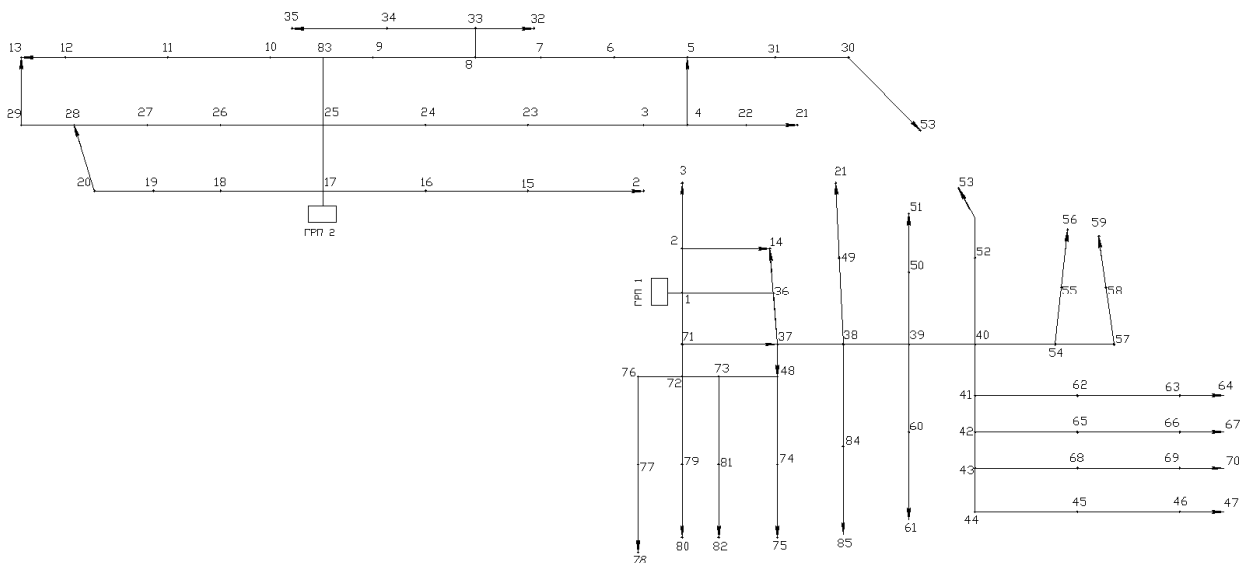


Рисунок 3 – Схема газової мережі низького тиску з введенням додаткового ГРП

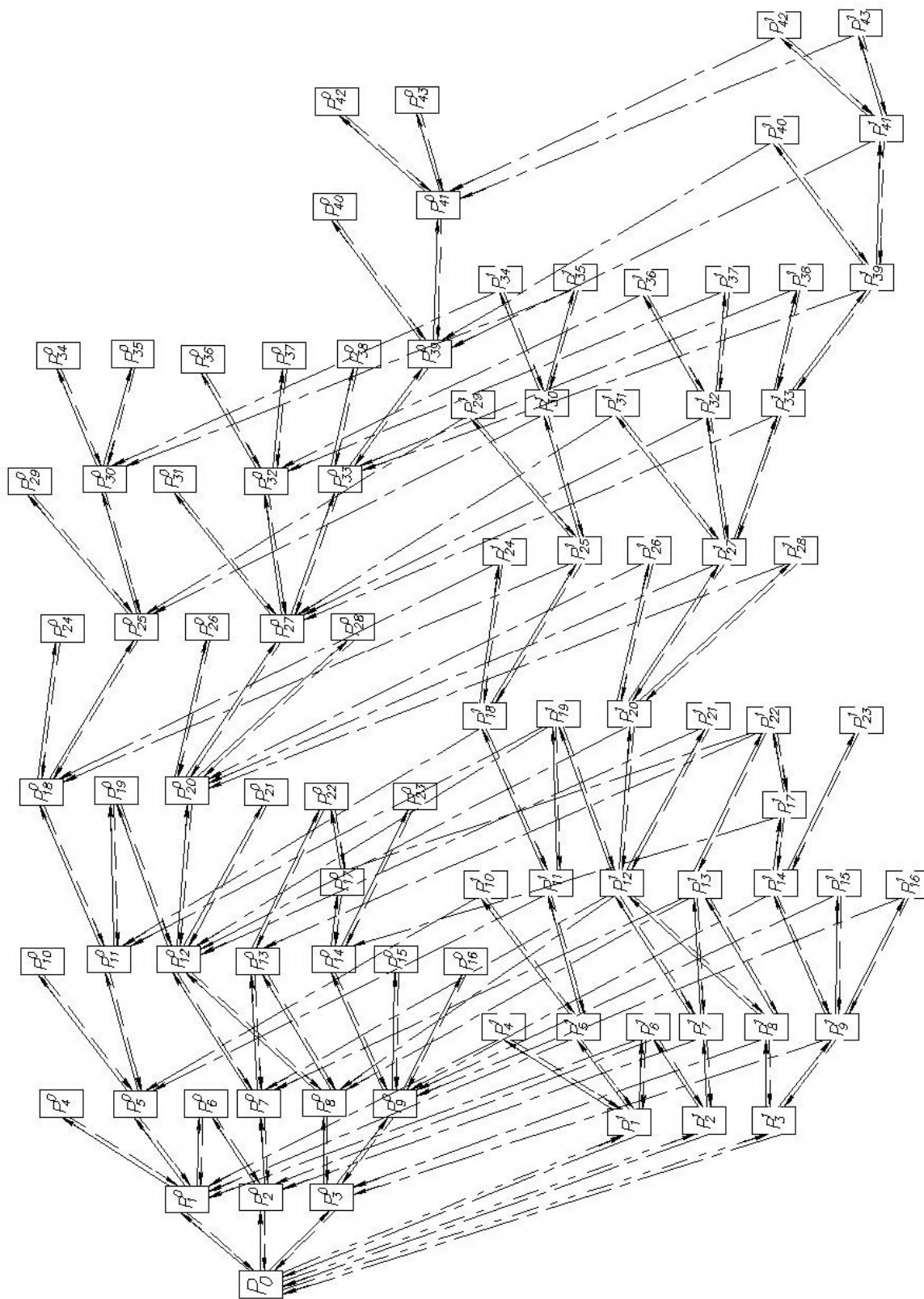


Рисунок 4 – Граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску комбінованої структури

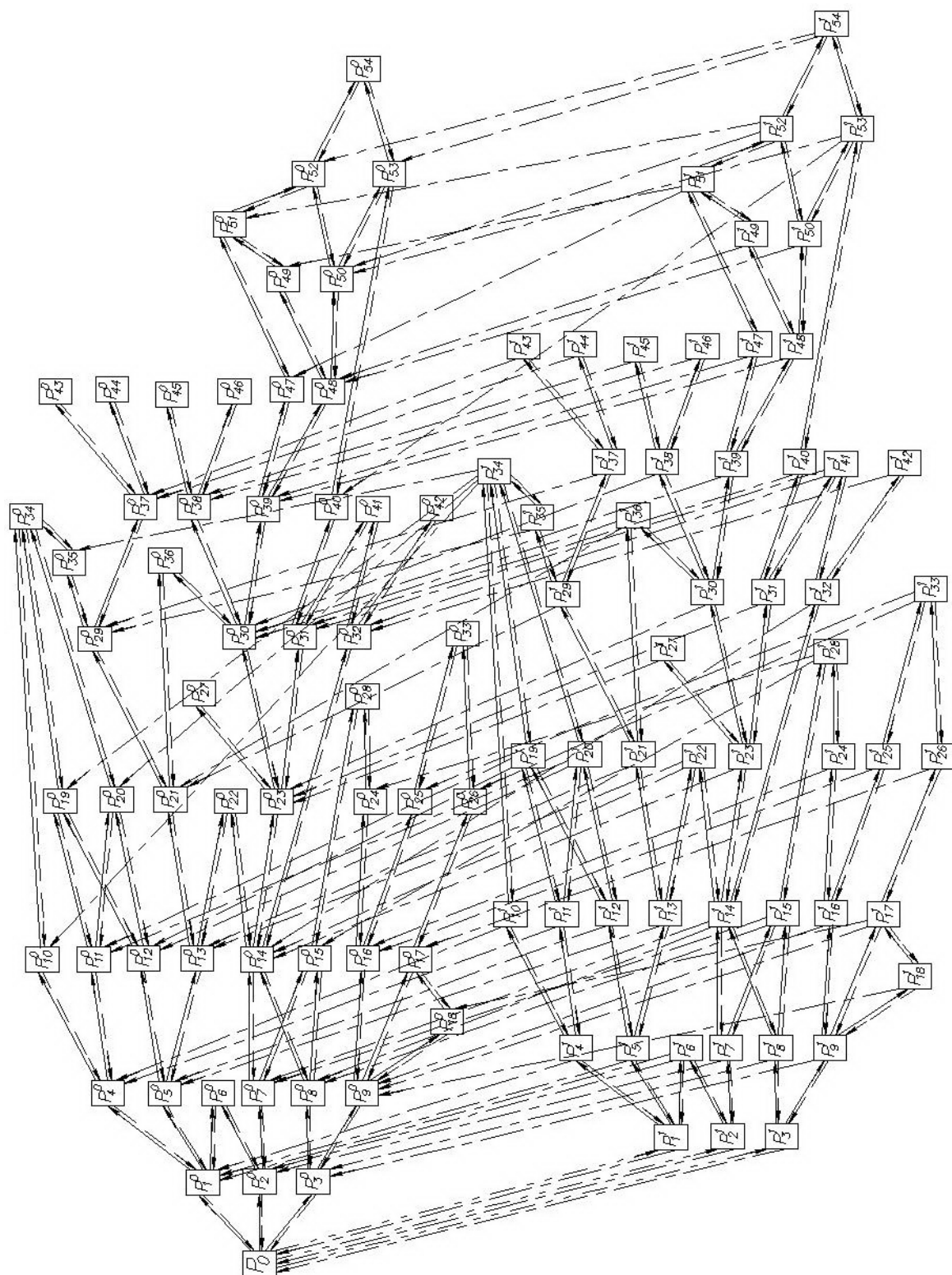


Рисунок 5 – Граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску з введенням додаткових перемичок

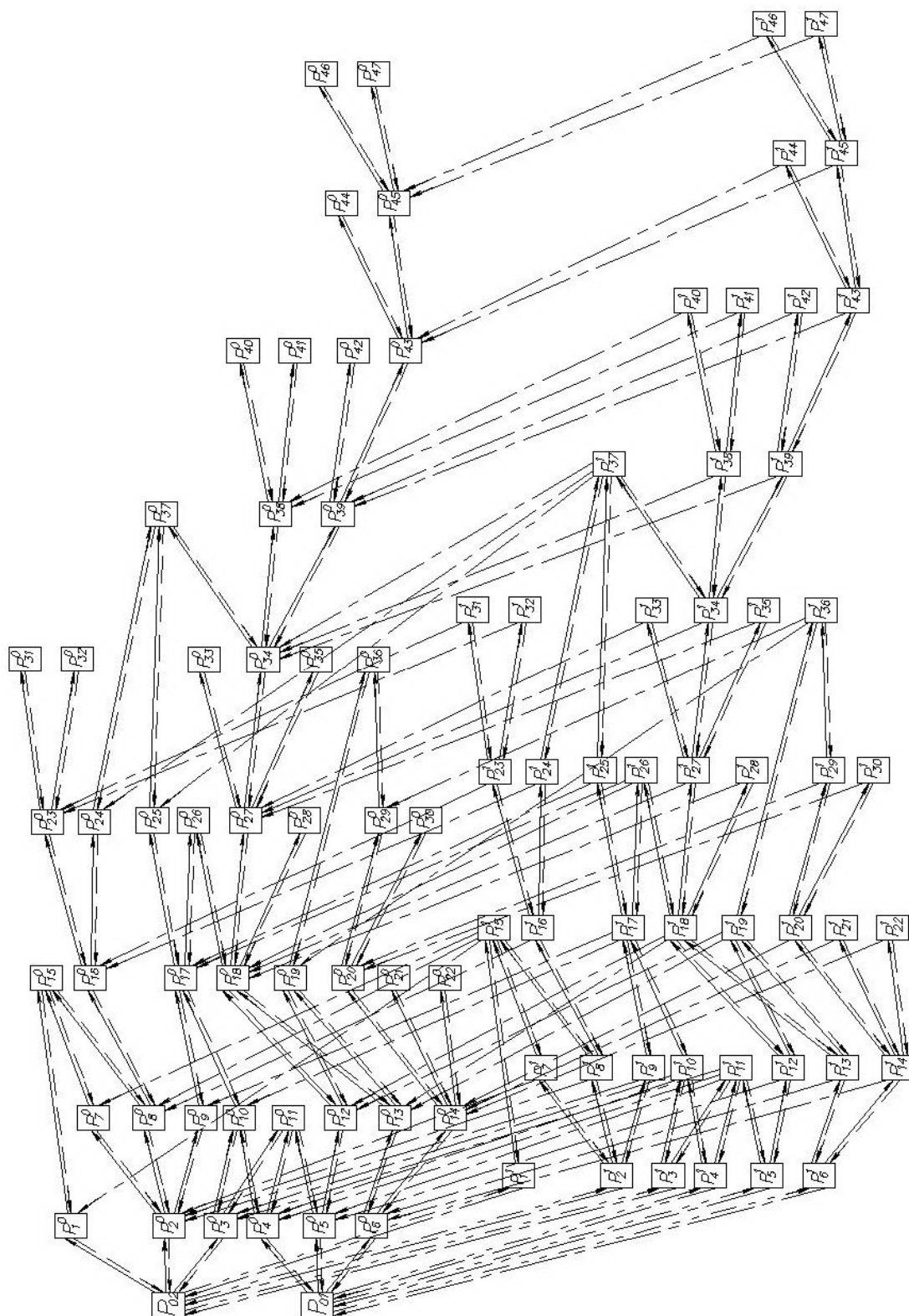


Рисунок 6 – Граф переходів для розрахунку надійності газової мережі низького тиску з введенням додаткового ГРП

Таблиця 1 – Результати розрахунку імовірностей відмов для газової мережі низького тиску

Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення
P_0	0,7895	P_{22}^0	0	P_1^1	0,0443	P_{23}^1	0
P_1^0	0,0220	P_{23}^0	0	P_2^1	0,0451	P_{24}^1	0
P_2^0	0,0219	P_{24}^0	0	P_3^1	0,0451	P_{25}^1	0
P_3^0	0,0219	P_{25}^0	0	P_4^1	0,0010	P_{26}^1	0
P_4^0	0,0006	P_{26}^0	0	P_5^1	0,0010	P_{27}^1	0
P_5^0	0,0006	P_{27}^0	0	P_6^1	0,0011	P_{28}^1	0
P_6^0	0,0006	P_{28}^0	0	P_7^1	0,0011	P_{29}^1	0
P_7^0	0,0006	P_{29}^0	0	P_8^1	0,0011	P_{30}^1	0
P_8^0	0,0006	P_{30}^0	0	P_9^1	0,0011	P_{31}^1	0
P_9^0	0,0006	P_{31}^0	0	P_{10}^1	0	P_{32}^1	0
P_{10}^0	0	P_{32}^0	0	P_{11}^1	0	P_{33}^1	0
P_{11}^0	0	P_{33}^0	0	P_{12}^1	0	P_{34}^1	0
P_{12}^0	0	P_{34}^0	0	P_{13}^1	0	P_{35}^1	0
P_{13}^0	0	P_{35}^0	0	P_{14}^1	0	P_{36}^1	0
P_{14}^0	0	P_{36}^0	0	P_{15}^1	0	P_{37}^1	0
P_{15}^0	0	P_{37}^0	0	P_{16}^1	0	P_{38}^1	0
P_{16}^0	0	P_{38}^0	0	P_{17}^1	0	P_{39}^1	0
P_{17}^0	0	P_{39}^0	0	P_{18}^1	0	P_{40}^1	0
P_{18}^0	0	P_{40}^0	0	P_{19}^1	0	P_{41}^1	0
P_{19}^0	0	P_{41}^0	0	P_{20}^1	0	P_{42}^1	0
P_{20}^0	0	P_{42}^0	0	P_{21}^1	0	P_{43}^1	0
P_{21}^0	0	P_{43}^0	0	P_{22}^1	0		

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що із всіх розглянутих систем газових мереж низького тиску найбільш надійною являється газова мережа низького тиску із введенням додаткового ГРП.

Таким чином, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що для забезпечення надійності газопостачання населених пунктів варто передбачати декілька ГРП. Оскільки навіть додаткове закільцювання системи розподілу газу не забезпечить необхідної надійності. Дослідження проводились на основі конкретної системи газопостачання сільського населеного пункту низького тиску. Але отримані результати дають можливість говорити

про необхідність збереження додаткової кількості ГРП і для одноступеневої системи газопостачання середнього тиску. Тим більше, введення додаткового ГРП дає можливість зменшити питоме навантаження в мережі і цим самим дозволяє прокладання трубопроводів менших типорозмірів, що значно здешевлює проект системи газопостачання за одночасного збільшення її надійності.

Література

1 Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

Таблиця 2 – Результати розрахунку імовірностей відмов для газової мережі низького тиску з веденням додаткових перемичок

Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення
P_0	0,8092	P_{28}^0	0	P_2^1	0,0469	P_{30}^1	0
P_1^0	0,0148	P_{29}^0	0	P_3^1	0,0470	P_{31}^1	0
P_2^0	0,0147	P_{30}^0	0	P_4^1	0,0008	P_{32}^1	0
P_3^0	0,0147	P_{31}^0	0	P_5^1	0,0008	P_{33}^1	0
P_4^0	0,0003	P_{32}^0	0	P_6^1	0,0008	P_{34}^1	0
P_5^0	0,0003	P_{33}^0	0	P_7^1	0,0008	P_{35}^1	0
P_6^0	0,0003	P_{34}^0	0	P_8^1	0,0008	P_{36}^1	0
P_7^0	0,0003	P_{35}^0	0	P_9^1	0,0008	P_{37}^1	0
P_8^0	0,0003	P_{36}^0	0	P_{10}^1	0	P_{38}^1	0
P_9^0	0,0003	P_{37}^0	0	P_{11}^1	0	P_{39}^1	0
P_{10}^0	0	P_{38}^0	0	P_{12}^1	0	P_{40}^1	0
P_{11}^0	0	P_{39}^0	0	P_{13}^1	0	P_{41}^1	0
P_{12}^0	0	P_{40}^0	0	P_{14}^1	0	P_{42}^1	0
P_{13}^0	0	P_{41}^0	0	P_{15}^1	0	P_{43}^1	0
P_{14}^0	0	P_{42}^0	0	P_{16}^1	0	P_{44}^1	0
P_{15}^0	0	P_{43}^0	0	P_{17}^1	0	P_{45}^1	0
P_{16}^0	0	P_{44}^0	0	P_{18}^1	0	P_{46}^1	0
P_{17}^0	0	P_{45}^0	0	P_{19}^1	0	P_{47}^1	0
P_{18}^0	0	P_{46}^0	0	P_{20}^1	0	P_{48}^1	0
P_{19}^0	0	P_{47}^0	0	P_{21}^1	0	P_{49}^1	0
P_{20}^0	0	P_{48}^0	0	P_{22}^1	0	P_{50}^1	0
P_{21}^0	0	P_{49}^0	0	P_{23}^1	0	P_{51}^1	0
P_{22}^0	0	P_{50}^0	0	P_{24}^1	0	P_{52}^1	0
P_{23}^0	0	P_{51}^0	0	P_{25}^1	0	P_{53}^1	0
P_{24}^0	0	P_{52}^0	0	P_{26}^1	0	P_{54}^1	0
P_{25}^0	0	P_{53}^0	0	P_{27}^1	0		
P_{26}^0	0	P_{54}^0	0	P_{28}^1	0		
P_{27}^0	0	P_1^1	0,0463	P_{29}^1	0		

Таблиця 3 – Результати розрахунку імовірностей відмов для газової мережі низького тиску з веденням додаткового ГРП

Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення	Імовірність	Значення
P_{01}	0,3804	P_{23}^0	0	P_{47}^0	0	P_{24}^1	0
P_{02}	0,3806	P_{24}^0	0	P_1^1	0,0608	P_{25}^1	0
P_1^0	0,0103	P_{25}^0	0	P_2^1	0,0263	P_{26}^1	0
P_2^0	0,0042	P_{26}^0	0	P_3^1	0,0218	P_{27}^1	0
P_3^0	0,0105	P_{27}^0	0	P_4^1	0,0218	P_{28}^1	0
P_4^0	0,0105	P_{28}^0	0	P_5^1	0,0218	P_{29}^1	0
P_5^0	0,0105	P_{29}^0	0	P_6^1	0,0217	P_{30}^1	0
P_6^0	0,0105	P_{30}^0	0	P_7^1	0,0010	P_{31}^1	0
P_7^0	0,0003	P_{31}^0	0	P_8^1	0,0010	P_{32}^1	0
P_8^0	0,0003	P_{32}^0	0	P_9^1	0,0006	P_{33}^1	0
P_9^0	0,0001	P_{33}^0	0	P_{10}^1	0,0005	P_{34}^1	0
P_{10}^0	0,0003	P_{34}^0	0	P_{11}^1	0,0005	P_{35}^1	0
P_{11}^0	0,0003	P_{35}^0	0	P_{12}^1	0,0005	P_{36}^1	0
P_{12}^0	0,0003	P_{36}^0	0	P_{13}^1	0,0005	P_{37}^1	0
P_{13}^0	0,0003	P_{37}^0	0	P_{14}^1	0,0005	P_{38}^1	0
P_{14}^0	0,0003	P_{38}^0	0	P_{15}^1	0,0005	P_{39}^1	0
P_{15}^0	0,0001	P_{39}^0	0	P_{16}^1	0	P_{40}^1	0
P_{16}^0	0	P_{40}^0	0	P_{17}^1	0	P_{41}^1	0
P_{17}^0	0	P_{41}^0	0	P_{18}^1	0	P_{42}^1	0
P_{18}^0	0	P_{42}^0	0	P_{19}^1	0	P_{43}^1	0
P_{19}^0	0	P_{43}^0	0	P_{20}^1	0	P_{44}^1	0
P_{20}^0	0	P_{44}^0	0	P_{21}^1	0	P_{45}^1	0
P_{21}^0	0	P_{45}^0	0	P_{22}^1	0	P_{46}^1	0
P_{22}^0	0	P_{46}^0	0	P_{23}^1	0	P_{47}^1	0

2 Барлоу Р. Математическая теория надежности / Барлоу Р., Прошан Ф. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.

3 Александров А.В. Надежность систем дальнего газоснабжения / Александров А.В. – М.: Недра, 1976. – 318 с.

4 Сухарев М.Г. Оптимизация систем транспорта газа / Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р. – М.: Недра, 1975. – 277 с.

5 Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания / Климов Г.П. – М.: Наука, 1966. – 244 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
21.07.09
Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом