

УДК: 621.757.007.52

В. С. Сідак

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ГАЗУ НА СТІЙКІСТЬ РОБОТИ ПІЛОТНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ТИСКУ

Розглянуті проблеми безпеки газопостачання та технічний стан газових розподільних пунктів, який характеризується моральним і фізичним зносом технологічного обладнання. Проведений аналіз відмов та моделювання аварій, пов'язаних з неконтрольованим підвищенням тиску при використанні газу низької якості. Досліджені критерії і принципи безпечної роботи пілотних регуляторів та шляхи підвищення рівня безпеки газопостачання.

Ключові слова: газопостачання, аварія, регулятор, фільтр, дрoсель, крива відгуку, статика, динаміка

Постановка проблеми

Надійне і стійке функціонування системи газопостачання неможливе без вирішення проблеми підвищення надійності роботи газових регуляторних пунктів (ГРП), регулюючої і запобіжно-запірної арматури і обладнання.

Сьогодні газорозподільчі системи міст і населених пунктів України за показниками надійності і безпеки в умовах тривалого терміну експлуатації – знаходяться далеко не на належному рівні. Газорозподільчі системи України почали будуватися в першій половині минулого століття, тобто велике число газопроводів вже вичерпало свій нормативний термін – заданий проектний ресурс експлуатації (30-40 років).

В Україні функціонує 63 тисячі ГРП та 1400000 будинкових регуляторів тиску газу (БРТГ). На них знижується тиск газу, газ очищується від дрібних включень за допомогою спеціального обладнання (газових фільтрів). Третина обладнання на ГРП експлуатується понад 25 років. Тому у частині морально та фізично застарілого обладнання втрати можуть бути вище нормативних. Технічний стан газорозподільних пунктів (ГРП) насторожує.

Для аналізу витоків газу та відмов обладнання, що не пов'язані з витокami газу на ГРП, побудуємо гістограми відмов та витоків газу на ГРП та ШГРП. Аналіз відмов (рис. 1) показує, що за 14 років було найбільше число витоків й відмов у 2010 році (442 шт.) та у 2011 р. (409 відмов та витоків на ГРП). В порівнянні з 2015 роком у 2016 році число витоків газу в ГРП та інших типах регуляторів тиску газу збільшилося на 22,55% (з 275 до 337 штук).

При довгостроковому дослідженні динаміки

витоків газу та відмов ГРП та ШГРП маємо загальну тенденцію зростання витоків газу та відмов обладнання, що не пов'язані з витоком на ГРП по експоненті. Аналіз причин аварій при використанні газу в побуті [1; 6; 11] за останні 10 років показав, що до 7% аварій від загальної їх кількості, походить від аварійного підвищення тиску газу на виході ГРП. Найчастіше це збіг у просторі і в часі трьох випадкових подій: відмова регулятора тиску на ГРП; відмова запобіжно-запірного клапана (ЗЗК) або запобіжного скидного клапана (ЗСК) а також припинення подачі газу; аварійні ситуації, які зв'язані з підвищенням або зниженням тиску газу, що сталися у зв'язку з використанням газу невідповідної якості.

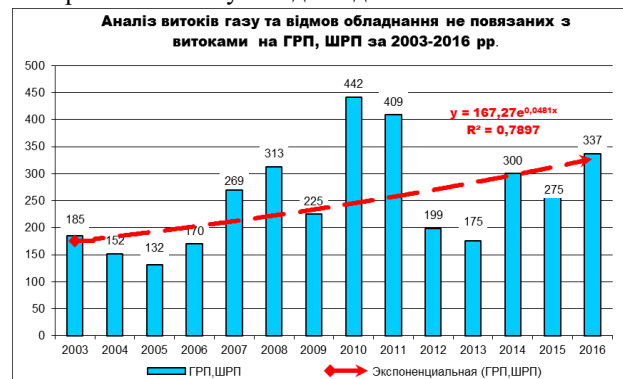


Рис. 1. Аналіз витоків газу та відмов обладнання, що не пов'язані з витокami, на ГРП

Основною умовою стійкої і безпечної роботи системи газопостачання є забезпечення постійного тиску в мережі, автоматичне підтримання вихідного тиску на заданому рівні, незалежно від відбору газу споживачами і коливання вхідного тиску [1]. Не менш важливою умовою є запобігання можливого підвищення або зниження тиску понад допустимі

величини перед газовим обладнанням споживачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз досліджень питань експлуатації й розвитку систем газопостачання Харкова й Харківської області свідчить про те, що для ГРП характерне зношення й відмови регулюючої і запобіжно-запірної арматури і обладнання [2; 3; 4; 5]. У монографії під редакцією В. С Сідака [1] аналізуються основні принципи автоматичного регулювання тиску газу, запропоновані основні принципи на вибір обладнання. Але вплив якості газу на статичні і динамічні характеристики регуляторів і стійкість системи газопостачання досліджено недостатньо.

Експерти припускають, що в Україні понад 10% ГРП потребують заміни, якщо в 2014 році кожен 12-й газорозподільний пункт в Україні був в аварійному стані, то до 2020 року, при такому розвитку ситуації, аварійним буде вже кожен шостий ГРП [9]. Огляд останніх джерел і досліджень у даній галузі [5; 6; 7; 9; 12] показує актуальність питань надійного і стійкого функціонування систем газопостачання в сучасних умовах, але в цих публікаціях відсутні методики проведення досліджень статичних і динамічних характеристик та недостатньо досліджені вплив якості газу на стійку і безпечну роботу ГРП.

Метою даної статті є моніторинг технічного стану ГРП та причин виникнення аварій на базі даних розслідувань нещасних випадків в системах газопостачання, які відбулися у Харківській області й інших регіонах України, а також аналіз впливу якості газу на безпеку газопостачання, дослідження статичних й динамічних характеристик пілотних регуляторів газу та впровадження невідкладних заходів по надійності роботи ГРП та безпеці газопостачання.

Виклад основного матеріалу

1. Аналіз впливу якості газу на безпеку газопостачання.

Проведемо аналіз впливу якості газу на безпеку газопостачання на деяких прикладах із розслідування аварій по Харківському регіону. Газопостачання області здійснюється в основному за рахунок газу, що добувається на місцевих родовищах. Газ з місцевих родовищ характеризується підвищеним вмістом вологи, конденсату, парафіну та смолистих речовин. Перед подачею газу в магістральні газопроводи він проходить обов'язкову підготовку на газорозподільних станціях (ГРС), але на більшості ГРС обладнання для підготовки газу застаріле і знаходиться в незадовільному стані, що призводить

до подачі газу з підвищеною вологістю в магістральні мережі.

При зниженні температури навколишнього повітря до -20°C відбувається конденсація вологи з подальшим утворенням кристалогідратів, обмерзання робочих органів регулюючої арматури та засміченням дросельних отворів пілотних регуляторів тиску на ГРП.

Згідно ГОСТ 5542–87 «Гази горючі для промислового та комунального та побутового використання» та ТУ 320.001.58764–033–2000 «Гази горючі природні родовищ України промислового і комунально-побутового призначення» вміст рідких домішок в газі, що транспортується не повинно перевищувати 25 – 50 г. на 1000 м^3 газу. Температура точки роси повинна відповідати значенню -30°C . Ще більш жорсткі вимоги пред'являються до вмісту твердих домішок (не більше $0,001\text{ г на }1\text{ м}^3$), котра сприяє ерозійному зносу технологічного обладнання і газопроводів, а саме головне, призводить до засмічення дроселів регулятора тиску газу, зниженню його стійкості та надійності безпеки газопостачання.

Приведемо декілька випадків аварійних ситуацій, що сталися в Харківському регіоні у зв'язку з використанням газу невідповідної якості, а також при недотриманні вимог нормативних документів при будівництві газопроводів.

12 лютого 1995 року в Двурічанському районі Харківської області було масове обмерзання робочих органів регуляторів та неконтрольоване підвищення тиску газу після ГРП, що призвело до вибуху газу та пожежі в двох житлових будинках. Основною причиною цього випадку стало недбале проведення випробувальних робіт на магістральному газопроводі, що призвело до потрапляння води в газопровід високого тиску (6 кг/см^2).

6 січня 1983 року в м. Мерефа Харківської області відбулося замерзання регуляторів і газопроводу середнього тиску діаметром 300 мм по причині неякісної продувки газопроводу при його будівництві. Це призвело до виникнення перебоїв з газопостачанням на частині території міста.

Також не можна забувати про масштабні аварії і в інших регіонах (13 жовтня 2007 р. вибух газу в Дніпропетровську на вул. Мандриківська №127 в десяти-поверховому будинку), коли характерним прикладом виникнення аварії є підвищення тиску по причині відмов регуляторів газу та іншого обладнання (ЗЗК або ЗСК).

Основні причини аварій на газорозподільних мережах по причині відмов обладнання на ГРП:

1. Досить часто з ГРС подається природний газ, який не відповідає вимогам ГОСТ 5542–87 і може містити суттєву кількість побічних включень,

а саме: краплину рідину із води, газового конденсату, парафіну і різних механічних домішок в газовому потоці, що може призвести до прискореного зносу основного і додаткового технологічного обладнання ГРП та створення умов для аварій.

2. Порушуються строки планового технічного обслуговування ГРП, не контролюється якість очистки касет фільтрів та проведення необхідного налаштування ЗЗК та ЗСК.

3. Фільтри експлуатуються з пошкодженими фільтруючими елементами або застосовуються неякісні матеріали, котрі не відповідають ТУ на фільтри та не забезпечують ефективну очистку газу.

4. Більшість ГРП обладнано сітчастими або волосяними фільтрами типу ФС і ФВ, котрі не забезпечують якісну очистку газу, що призводить до засмічення дроселів регулятора і порушення надійної і стійкої роботи ГРП.

Завдяки аналізу і моделюванню аварійних ситуацій, пов'язаних з неконтрольованим підвищенням тиску газу, дослідженню впливу якості газу на статичні та динамічні характеристики, а також розробка організаційних і технічних рекомендацій по запобіганню аварійних ситуацій є актуальним науковим завданням, вирішення якого дозволить підвищити надійність газопостачання в Україні та знизити кількість нещасних випадків при використанні газу в побуті.

2. Основні цілі досліджень впливу якості газу на стійкість роботи пілотних регуляторів.

Для повного відображення величини і напрямку дій сил в пілотному регуляторі тиску типу РДУК-2, розроблена модель регулятора (рис. 2). Пристрої для зміни пропускної здатності дроселів регулятора. Для визначення особливостей зміни роботи регулятора, при подачі газу низької якості, були виготовлені моделі дроселів (рис. 3), які імітують засмічення скидного дроселя, далі (СД), а також модель дроселя зворотного зв'язку (ДЗЗ) на рисунку 4. Вони були встановлені для діючої моделі ГРП, з пілотним регулятором тиску типу РДУК2-50, сітчастим фільтром типу ФС, запобіжно-скидним клапаном ПСК-50 та запобіжно-запірним клапаном ПКН-50.

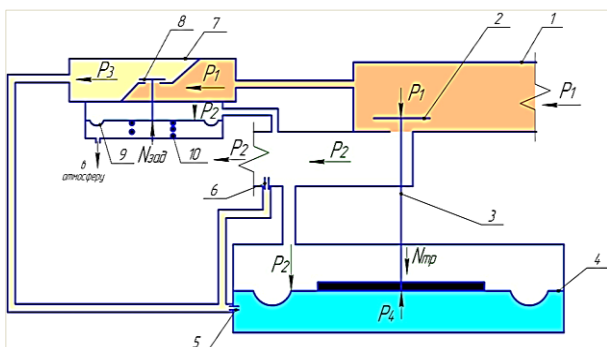


Рис. 2. Модель регулятора тиску газу РДУК-2

1 – корпус регулятора; 2 – клапан регулятора; 3 – шток; 4 – мембрана; 5 – дросель зворотного зв'язку (ДЗЗ); 6 – скидний дросель (СД); 7 – корпус пілота; 8 – клапан пілота; 9 – мембрана пілота; 10 – задаюча пружина; P1-вхідний тиск; P2 - вихідний тиск над мембраною; P4 – тиск під мембраною регулятора.

Основною причиною зменшення пропускної здатності дроселів регулятора є їх засмічення, тобто часточки пилу, смолистих речовин поступово відкладаються на внутрішніх стінках отвору дроселя і таким чином відбувається «заростання» його прохідного перерізу, що призводить до зменшення пропускної здатності і в наслідок цього – погіршення статичних і динамічних характеристик роботи регулятора в цілому.

Для того, щоб краще зрозуміти особливості роботи регулятора при засміченні дроселів, розроблені та виготовлені такі пристрої: набір дросельних шайб з різною пропускною здатністю СД. При послідовній їх установці на місце скидного дроселя, тобто поступовому зменшенні його внутрішнього діаметра, можна імітувати засмічення. Таким чином була сформована таблиця 1, яка показує співвідношення діаметра отворів шайб СД і відсотка зменшення пропускної здатності СД (засмічення). Характеристики і зовнішній вигляд (рис. 3) набору дросельних шайб СД представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Набір дроселів СД та % засмічення		
№п/п	Діаметр отворів d мм	Відсоток засмічення %
1	3,5	78
2	3,2	80
3	3,0	81,25
4	2,5	83,75
5	2,0	87,5

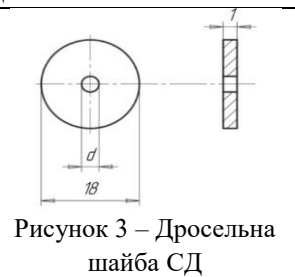


Рисунок 3 – Дросельна шайба СД

Так як ДЗЗ для регулятора РДУК-2 характеризується складністю конструкції і достатньо малим внутрішнім діаметром (0,8 мм), то було прийнято рішення виготовити дросель з регульованим внутрішнім діаметром (рис. 4). Це дає змогу плавно змінювати пропускну здатність дроселя і точно відстежити відсоток його засмічення при якому починають відбуватися небезпечні відхилення в роботі регулятора..

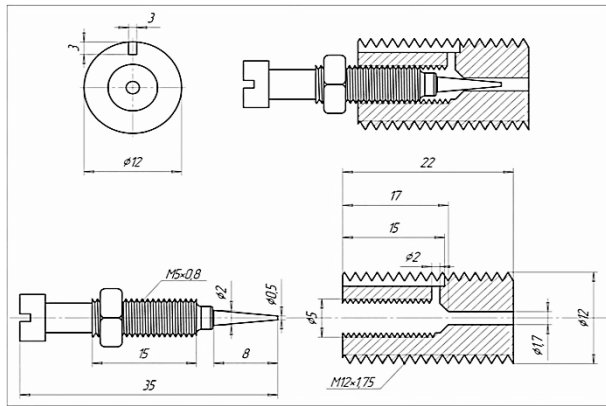


Рис. 4. Дросель ДЗЗ типу жиклер

Кінець регулювального гвинта виготовлений в виді конуса з діаметром 0,5 мм при вершині і 2 мм при основі. При вкручуванні гвинта конус входить в отвір жиклера і зменшує площу його поперечного перерізу. При проведенні дослідження динамічних характеристик регулятора спочатку було замінено існуючий ДЗЗ на модель ДЗЗ типу жиклер, виготовлений для проведення досліджень впливу якості газу на стійкість роботи регуляторів. Потім модель дроселя ДЗЗ було відрегульовано на пропускну здатність (для діаметра 0,8 мм). Кожне наступне дослідження проводилось при поступовому вкручуванні гвинта на 0,25 оберти. Була сформована табл. 2, яка показує співвідношення кількості обертів регулювального гвинта і відсотка зменшення пропускну здатності ДЗЗ.

Таблиця 2

Залежність відсоткового засмічення ДЗЗ

№ п/п	Кількість обертів гвинта	Відсоток засмічення %
1	1	1
2	1,25	1,5
3	2,5	2
4	2,75	3
5	3	12,72
6	3,25	23,98
7	3,5	37,57
8	3,75	55,62
9	4	90

Стійкість роботи регулятора забезпечується дроселями ДЗЗ і СД. Дросель ДЗЗ забезпечує необхідну стійкість регулятора при перехідних процесах і являється демферним дроселем, тобто від його пропускну здатності залежить швидкість реакції регулюючого органу на завдане збурення.

При збільшенні пропускну здатності ДЗЗ зростає швидкість реакції, але при значному збільшенні його внутрішнього \varnothing регулюючий орган регулятора буде постійно знаходитися в русі, що призведе до збільшення величини нерівномірності регулювання.

3. Методика досліджень статичних характеристик та аналіз впливу якості газу на стійкість роботи пілотних регуляторів.

Дослідження стійкості роботи пілотного регулятора тиску газу проводилося на розробленому випробувальному стенді ГРП. При проведенні дослідів регулятор налаштовувався на рівень 300 мм вод. ст. вихідного тиску P_2 (рис. 5). Об'єктом управління в даному досліді представляємо тупикову мережу з невеликим об'ємом. Така мережа може бути представлена астатичним об'єктом управління в якому вихідний сигнал після збурення не приймає сталого значення до тих пір, поки діє збурення [11]. В даному дослідженні ми зімітували засмічення дроселів СД і ДЗЗ з метою визначення та аналізу впливу засмічення на стійкість роботи регулятора. Розглянемо роботу регулятора при засміченні дроселя СД.

Як показано на рисунку 2 дросель СД (6) розташований перед запірним пристроєм під накидною гайкою на корпусі регулятора. Він необхідний для уповільнення процесу скидання зайвого тиску газу з імпульсної лінії в газопровід перед ДЗЗ. При почерговій установці дроселів згідно таблиці 1, ми імітували поступове засмічення СД. При зменшенні пропускну здатності СД виникають незатухаючі синусоїдальні коливання вихідного тиску, а при збільшенні можливе самовільне зниження вихідного тиску (рис. 5).

В ході проведення досліджень роботи регулятора було встановлено, що при засміченні СД порушується статична характеристика регулятора та виникає пульсація вихідного тиску (рис.5). Регулятор тиску буде знаходитися в рівновазі, якщо алгебраїчна сума сил (ΣN_1), діючих на регулюючий клапан, дорівнює нулю ($\Sigma N_1 = 0$).

У цьому випадку регулятор буде пропускати споживачеві [1] необхідну та постійну кількість газу. Таким чином, рівновага об'єкта забезпечується умовою рівності припливу газу через регулятор і стоку його в систему до об'єкта. а рівновага регулятора забезпечується умовою $\Sigma N_1 = 0$;

$$P_2 \cdot F_m + P_1 \cdot F_{кл} + N_{тр} + F_{подв.ч.} - P_4 \cdot F_m = 0$$

(1)

де: P_2 - вихідний тиск над мембраною; F_m - активна площа мембрани; P_1 - вхідний тиск; P_4 - задає протидіє сила. $F_{кл}$ - площа клапана регулятора; $F_{рух.ч.}$ - Сила дії ваги рухомих частин; $N_{тр}$ - сили тертя, що виникають при русі (коливанні) рухомих частин регулятора;

Якщо баланс сил порушується, то клапан почне переміщатися в бік дії більшої сили, змінюючи витрату газу. Таким чином, у разі засмічення дроселя СД (рис. 2) баланс сил, що

впливають на мембрану, буде по черзі зміщуватися в бік P_1 або P_2 , тим самим регулятор перейде в режим автоколивань (рис. 5).

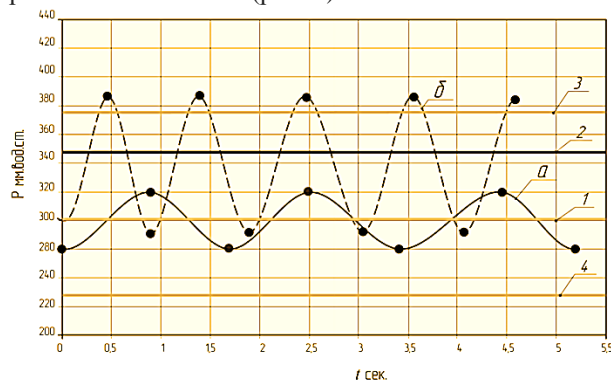


Рис. 5. Графіки вихідного тиску P_2 (мм вод. ст.) при засміченні СД на 78% та засміченні до 87,5% а - крива відгуку регулятора при засміченні СД на 78%; б - крива відгуку регулятора при засміченні СД на 87,5%; 1 - лінія настройки регулятора; 2 - лінія настройки ЗСК; 3,4 - лінії настройки ЗЗК (верхня і нижня межі спрацьовування)

Допустимі коливання вихідного тиску не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від номінального значення при коливаннях тиску на вході $\pm 25\%$. По результатам досліджень і обробки даних були отримані графіки вихідного тиску P_2 (рис. 5).

Амплітуда коливань вихідного тиску (крива а) становить 20 мм. вод. ст., а період - 2,2 секунди. Слід зазначити, що при такому ступені засмічення СД величина пульсацій не перевищує допустимих значень. При заміні дроселя № 4 на дросель № 5 ми імітуємо (рис. 5) збільшенні відсотка засмічення СД до 87,5 % (крива б). При цьому амплітуда коливань збільшується до 390 мм вод. ст., період коливань скорочується до 0,8 сек, а частота виростає до 1,25 Гц. При збільшенні ступеня засмічення СД до 87,5% (крива б) відбувається зміщення осі коливань у бік підвищення тиску, це пояснюється тим, що навіть невелике відкриття клапана пілота призводить до різкого відкриття клапана регулятора і підвищенню вихідного тиску (P_2) в мережі. У такому режимі роботи пік підвищення тиску перевищує значення настройки ЗСК і ЗЗК, що призведе до їх спрацьовування і відповідно, до припинення подачі газу споживачам.

Режим автоколивань регулятора (рис. 5 крива б) особливо небезпечний тим, що підвищення тиску створює аварійну ситуацію, а при відмові ЗСК і ЗСК (поломка, настройка ЗСК і ЗЗК або невідповідність мапі настройки ГРП) може привести до різкого підвищення вихідного тиску, що перевищує в кілька разів робоче, і як наслідок руйнування запірної арматури і газових приладів споживачів і стати причиною аварій, пожеж і вибухів.

4. Методика досліджень динамічних характеристик та аналіз впливу засмічення дроселя ДЗЗ на стійкість роботи регулятора.

Наступною частиною нашого дослідження є аналіз впливу засмічення дроселя ДЗЗ на стійкість роботи регулятора. Пропускна здатність ДЗЗ впливає на його динамічні характеристики. При проведенні дослідження в якості об'єкта регулювання ми обрали мало розгалужену, тупикову газову мережу (рис. 6), так як при роботі регулятора тиску на таку мережу, якість регулювання залежить, в основному, від динамічних характеристик регулятора, а саме:

- час регулювання ($T_{рег.}$),
- час запізнення (T_0),
- показник керованості (S).



Рис. 6. Схема тупикової газової мережі

Тупикова газова мережа характеризується відносно малим показником інерційності (малий об'єм газопроводу), великою швидкістю зміни відбору газу і описується рівнянням (2.3)

$$Q_1 = C_1(P_1 - P_2); \quad Q_2 = C_2(P_2 - P_A) \quad (2)$$

де: Q_1 і Q_2 – витрата газу в початковій і кінцевій точці мережі;

$P_1 - P_2$ – тиск в початковій і кінцевій точці мережі;

P_A — атмосферний тиск;

C_1, C_2 — коефіцієнти витрат дроселів 1 і 2.

Аварійні ситуації при роботі регулятора на такий об'єкт регулювання частіше всього відбуваються при несподіваній і швидкій зміні витрати газу. Перед проведенням дослідження регулятор налаштували на тиск $P_2 = 220$ мм вод. ст. Дросель ДЗЗ знаходиться під мембраною регулятора (рис. 2). Щоб зімітувати засмічення цього дроселя, був виготовлений дросель типу жиклер з регульованою пропускною здатністю (рис. 4 та табл. 2). Він встановлюється на місце заводського дроселя і на місці здійснюється регулювання його прохідного перетину. На вхід регулятора ми подавали збурення у вигляді різкого збільшення витрати повітря з 15 до 30 м³/год на виході регулятора, тим самим ми змоделювали включення в роботу великого споживача, наприклад місцевої котельні.

Якщо величина відхилення, вище зазначених параметрів, не перевищує допустимих значень, то відбудеться короткочасне падіння тиску газу перед пальниками, що не впливає на безпеку їх роботи

Динамічні властивості регулятора визначаються диференціальним рівнянням руху, з якого можна знайти передавальну і перехідну функції. Рівняння руху має вигляд (3)

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F + R \quad (3)$$

де: m — вага частин регулятора, що коливаються;

x — величина переміщення частин регулятора, що коливаються;

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ — миттєве прискорення частин регулятора, що коливаються;

t — час;

F — сила, що виникає від зміни регульованого тиску;

R — опір середовища.

Сила F спрямована на відновлення порушеної рівноваги і пропорційна відхиленню, т. ч.

$$F = -kx \quad (4)$$

де k — коефіцієнт пропорційності регулятора.

При зменшенні внутрішнього діаметра знижується швидкість реакції регулятора і погіршується його керованість, тобто ми можемо моделювати аварійну роботу регулятора шляхом зменшення перерізу діаметра ДЗЗ та зменшення пропускну здатності ДЗЗ.

Не змінюючи налаштувань регулятора, заміняємо існуючий дросель ДЗЗ (рис. 2) на модель дроселя типу жиклер (рис. 4); Зняти покази U-подібного рідинного манометра за методикою [11]. Провести регулювання дроселю (закрутити регульовальний гвинт на чверть оберту) та зняти показання манометра. Після обробки даних по методиці [11] одержані графіки кривих відгуку, які зображені на рис. 7-9. Отримана крива відгуку $h_1(t)$ відповідає процесам з перерегулюванням. Для визначення часу запізнювання (T_0), постійної часу об'єкта (T) побудуємо, на підставі кривої $h_1(t)$, аперіодичну криву перехідного процесу $h_2(t)$ (див. рис. 7). Одним з найважливіших показників, що характеризує керованість і стійкість регулятора тиску і об'єкта керування — є показник керованості (інерційності), знаходиться за наступним відношенням:

$$S = \frac{T_0}{T} \quad (5)$$

Для встановлення ступеня керованості регулятора використовують наступну класифікацію за показником керованості S (формула 5)

Якщо: $S \leq 0.1$ — об'єкт добре керований;

$0.1 < S \leq 0.4$ — керований;

$0.4 < S \leq 0.8$ — важко керований;

$S > 0.8$ — некерований.

Для імітації засмічення дроселя ДЗЗ на 1,5%

необхідно гвинт регулювання дроселя типу жиклер (рис. 4) вкрутити на 0,25 оберти. Показник керованості регулятора при такій величині засмічення ДЗЗ дорівнює:

$$S = \frac{0,95}{2,38} = 0.4$$

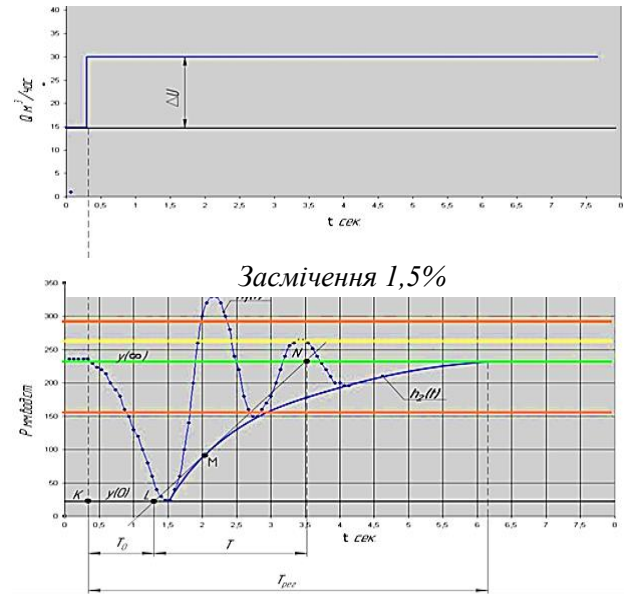


Рис. 7. Крива відгуку при засміченні ДЗЗ 1,5 %

Як видно з результатів дослідження даний об'єкт при такій величині засмічення дроселя ДЗЗ є керованим. Час регулювання складає 6 секунд. При нанесенні збурення перед газовикористовуючою установкою відбувається короточасний спад тиску, який не впливає на її нормальну роботу (рис. 7).

Для імітації засмічення дроселя ДЗЗ на 2% необхідно гвинт регулювання дроселя типу жиклер (рис. 2) вкрутити ще на 0,25 оберти. З графіку видно, що при засміченні дроселя ДЗЗ на 2% крива відгуку $h_1(t)$ (див. рис. 2.16) поступово стає більш плавною, що призводить до збільшення часу регулювання. Використовуючи формули наведені вище, визначимо показник керованості об'єкта.

$$S = \frac{1.1}{1.4} = 0.7$$

Так як отримане значення знаходиться в діапазоні $0.4 < S \leq 0.8$ це вказує на те що при засміченні дроселя ДЗЗ на 2% об'єкт стає важко керованим (рис. 8). При цьому час запізнення складає $T(0)$ 1.1 секунди, а час регулювання $T(\text{reg})$ 6.33 сек. Варто зазначити, що межа часу запізнення складає $T(0)$ 1.2 секунди, а час регулювання $T(\text{reg})$ 6.5 секунд. Це значить, що при значенні параметрів $T(0)$ і $T(\text{reg})$ більше зазначених величин відбувається суттєве зниження тиску газу з повільним його виведенням на потрібний рівень, що призведе до виникнення аварійної ситуації.

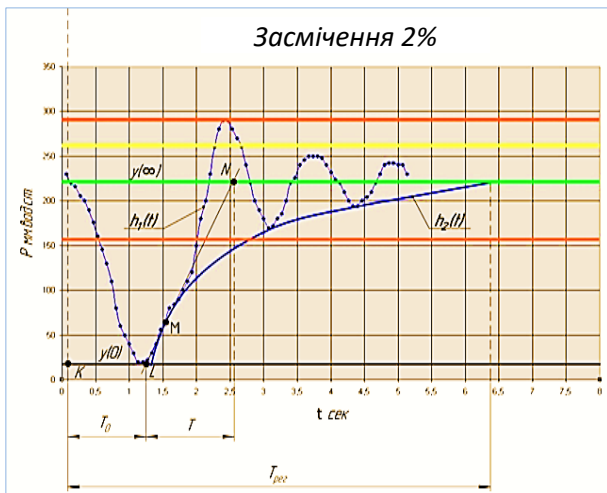


Рис. 8. Крива відгуку при засміченні ДЗЗ - 2%

При подальшому вкручуванні регулювального гвинта, а разом з тим, підвищенні рівня засмічення дроселя ДЗЗ до 55,6% (рис. 9). Після подачі на вхід регулятора збурення, крива відгуку $h_1(t)$ відображає різке зниження вихідного тиску, виникають затухаючі коливання з встановленням значення тиску на новому рівні. Після цього відбувається підвищення тиску до заданого, при цьому час регулювання складе 11,1 сек (рис. 9). При такому відсотку засмічення дроселя ДЗЗ на 55,6% навіть невелике збурення призведе до виведення з рівноваги дану систему, спрацювання запобіжних клапанів ЗЗК та ЗСК. **При такому ступені засмічення ДЗЗ об'єкт стає некерованим** і при внесенні збурення регулятор повільно вирівнює тиск до заданого рівня (рис. 9).

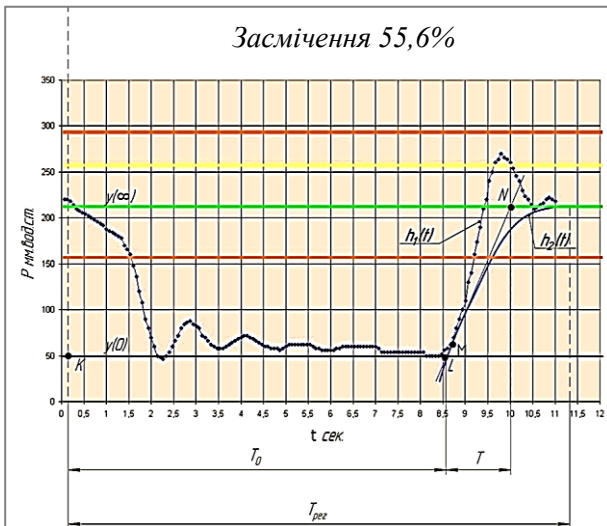


Рис. 9. Крива відгуку при засміченні ДЗЗ 55,6%

З побудованого графіка визначаємо, що за оптимальних параметрів налаштування регулятора час регулювання, який визначається моментом входу процесу в зону статичної помилки ($2\delta = \pm 2,5\%$ від $h_1(t)$) становить $T_{рег} = 11,1$ сек. (рис. 9). При цьому перехідний процес володіє

перерегулюванням (динамічною помилкою).

Висновки

Правильний вибір якості, типу і місця установки регулювальних пристроїв визначають не тільки техніко-економічні показники, але і надійність всієї газорозподільної системи. Тому надійність роботи ГРП багато в чому також залежить від ступеня очищення газу і впливає на узгодження газодинамічних характеристик системи газопостачання з технічними характеристиками запобіжно-регулюючої апаратури та газової мережі.

До сьогоднішнього дня вплив якості газу на стійкість роботи пілотних регуляторів був досліджений мало і тому підготовці газового потоку приділялось недостатньо уваги. Саме з цієї причини на більшості ГРП встановлені фільтри зразка 70-х років минулого сторіччя типу ФС або ФВ.

Завдяки дослідженню і моделюванню аварійних ситуацій, які пов'язані з неконтрольованим підвищенням тиску газу був проведений моніторинг причин виникнення аварій на базі даних розслідувань нещасних випадків на системах газопостачання, а також аналіз впливу якості газу на безпеку газопостачання, дослідження динамічних характеристик пілотних регуляторів газу були впроваджені науково-дослідні розробки:

- Впроваджені пристрої для зміни пропускної здатності дроселів ДЗЗ регулятора на лабораторному стенді та моделі регулятора тиску газу РДУК-2, що дало змогу в ході проведення досліджень отримати нові математичні залежності зміни керованості регулятора тиску від відсоткової величини засмічення його дроселів.

- Розроблені методики проведення збору й обробки даних досліджень зміни пропускної здатності пілотних регуляторів при моделюванні засмічення ДЗЗ;

- Проведені дослідження динамічних характеристик та аналіз впливу засмічення дроселя ДЗЗ на стійкість роботи пілотного регулятора та моделювання аварійних ситуацій в газових мережах при критичних показниках керованості регулятора.

Для запобігання виникнення аварійних ситуацій в газових мережах необхідно створити всі умови для забезпечення надійної роботи регуляторів:

1. Природний газ для споживачів повинен відповідати ГОСТ 5542-87;
2. Не допускати збільшення перепаду тиску на фільтрах та своєчасно проводити очистку касет фільтрів, впроваджувати сучасне обладнання;
3. Не допускати використання пошкоджених фільтруючих елементів та своєчасно проводити очистку касет фільтрів, використовувати фільтруючі елементи із спеціальних матеріалів

згідно ТУ;

5. Розробити та впровадити «Методику проведення реконструкції ГРП» з врахуванням вибору сучасних матеріалів, технологічного обладнання обліку газу, регуляторів газу, сучасних технологічних схем редукування тиску газу та надійних конструкцій газових фільтрів [12].

6. Розробити та впроваджувати автоматизовані системи оперативного-диспетчерського управління (АСОДУ) з використанням сучасних засобів телемеханіки з можливістю дистанційного керування устаткуванням ГРП;

7. Впровадження інноваційних технологій та вимог європейських норм до ГРП з метою підвищення надійності та ефективності газопостачання [12]. На підставі отриманих нами кривих відгуку регулятора, при засміченні дроселя ДЗЗ, можна на практиці можна визначати причину відмови регулятора

Пропоную в подальшому розробку програмно-апаратного комплексу, що дозволить на основі одержаних кривих відгуку регулятора, при засміченні дроселів ДЗЗ і СД, встановити причину відмови. Для цього необхідно зіставити, наведені вище криві відгуку, з практично отриманими показаннями U-образного рідинного манометра після регулятора на практиці.

Вирішення задач оперативного диспетчерського управління, з врахуванням результатів досліджень впливу якості газу на стійкість роботи ГРП, дає змогу підвищити якість керування режимами газорозподілу, дозволить значно зменшити трудовитрати на експлуатацію й технічне обслуговування обладнання ГРП та підтверджує необхідність впровадження Європейських норм по безпечній експлуатації ГРП.

Література

1. Сідак, В. С. Надійність і якість процесів регулювання сучасних систем газопостачання [Текст]: монографія / В. С. Сідак, В. М. Супонев, М. Д. Каслін за заг. ред. В. С. Сідака. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 226 с.
2. Гончарук, М. І. Довідник з газопостачання населених пунктів України [Текст] / М. І. Гончарук, М. Д. Середюк, В. І. Шелудченко. – Івано-Франківськ, 2006. – 1313 с.
3. Седак, В. С. Анализ аварийных рисков и прогноз отказов систем газоснабжения [Текст] / В.С. Седак, В.Н. Супонев // Научно производств. журнал «Охрана труда». – 2011. – № 6. – С. 44-47
4. Седак, В. С. Мониторинг безопасности газоснабжения в Украине. Пути повышения надежности [Текст] / В.С. Седак, В.Н. Супонев // Сборник научно-технических трудов Международной научно-технической конференции «FORGAS – 2014» (г. Краков, Польша) – С. 145-159.
5. Сідак, В. С. До питання про проблеми безпеки у газопостачанні [Текст] / В.С. Сідак, В.Н. Супонев // Науково-виробничий журнал «Охорона праці». – 2009. – №1 – С. 39-41.

6. Дунас, С. Н. Пришло время серьезных подходов в решении проблемы «Газовых взрывов» [Текст] / С.Н. Дунас // Журнал «Технополис». – 2010. – №5. – с.13-17.

7. Динаміка травматизму при використанні газу в побуті [Електронний ресурс] / Інформація з офіційної веб-сторінки Держгірпромнагляду України – Режим доступу: <http://dnop.gov.ua>

8. Нубарян, С. М. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции [Текст]: краткий курс лекцій / С.М. Нубарян – Х.: ХНАГХ, 2007 – 147 с.

9. Казда, С. Через 5 років аварійність розподільних газопроводів в Україні зростає в 10 разів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://104.ua>

10. Седак, В. С. Повышение безопасности системы газоснабжения. [Текст] / В.С. Седак, В.Н. Супонев // Журнал «Охрана труда», №3 (213) – 2012 – С. 44-45.

11. Сідак, В. С. Сучасні та інноваційні технології в безпеці газопостачання [Текст]: монографія / В. С. Сідак, В. М. Супонев, Ю. Ф. Броневський за заг. ред. В. С. Сідака. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 433 с.

12. Полетто, А. Европейский взгляд на ГРП. Требования европейских стандартов по регулированию давления в системах распределения природного газа и практика их реализации в странах – членах ЕС [Текст] / А.Полетто // Газ России. – №4. – С. 36-43

13. Сідак, В. С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання [Текст]: навч. посіб. / В. С. Сідак. – Харків., 2005. – 227 с.

References

1. Sidak, V. S., Suponov, V. M., Kaslin, M. D (2011). Reliability and quality of the processes of regulation of modern gas supply systems: monograph for the cons. Ed. VS Sidak. - Kharkiv: Kharkiv National Academy of Municipal Economy, 226
2. Goncharuk, M.I., Seredyuk, M.D., Sheludchenko, V.I. (2006). Gas Supply Directory of Human Settlements of Ukraine - Ivano-Frankivsk, - 1313.
3. Sedak, V.S., Suponev, V.N. (2011). Analysis of emergency risks and forecast of failures of gas supply systems. Scientific Production. Journal of Labor Protection, 6, 44-47
4. Sedak, V.S., Suponev, V.N. (2014). Monitoring of gas supply safety in Ukraine. Ways to improve reliability. Collection of scientific and technical works of the International Scientific and Technical Conference "FORGAS-2014" (Krakow, Poland), 1 (194), 145-159
5. Sidak, V.S., Suponev, V.N. (2009). Prior to feeding about problems of carelessness in gas supplies. Scientific-vibronic journal "Ohorona praci", 1, 39-41
6. Dunas, S.N. (2010). The time has come for serious approaches to solving the problem of "gas explosions". Journal Technopolis, 5, 13-17
7. Dinamika traumatism with vikoristanny gazu vospitri. Information from the official web site of the

- Derzhgirpromna glyad of Ukraine*. Retrieved from: <http://dnop.gov.ua>
8. Nubaryan, S.M. (2007). Automation of systems of heat and gas supply and ventilation: A short course of lectures. *Kharkiv National Academy of Municipal Economy*, 147
9. Kazda, S. (2015). After 5 years, the accidents of distribution gas pipelines in Ukraine will increase 10 times. Retrieved from: <https://104.ua>
10. Sedak, V.S., Suponev, V.N. (2012). Improving the security of the gas supply system. *Journal of Labor Protection*, 3 (213), 44-45
11. Sidak, V.S., Suponov, V. M., Bronevsky, Yu. F. (2015). Modern and innovative technologies in security of gas supply: monograph for the cons. Ed. V.S. Sidak. *Kharkiv National Academy of Municipal Economy*, 433
12. Poletto, A. (2012). European view on EMG. Requirements of the European standards on pressure

regulation in natural gas distribution systems and the practice of their implementation in the EU member countries. *The Gas of Russia*, 4, 36-43

13. Sidak, V.S. (2005). Innovative Technologies in Diagnostics and Operation of Gas Supply Systems: *Teaching. manual*. *Kharkiv National Academy of Municipal Economy*, 227

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б. С. Ільченко, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна;

Автор: СІДАК Володимир Степанович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри ЕГТС Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E-mail - vssedak48@gmail.com

RESEARCH OF INFLUENCE OF GAS QUALITY IS ON FIRMNESS OF WORK OF PILOT UNLOADERS

V. Sidak

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Considered problems of safety of gas-supplying and technical state of gas distributive points, that is characterized by the moral and physical wear of technological equipment. Conducted analysis of refuses and design of the accidents related to the out-of-control increase of pressure at the use of gas of subzero quality

At long-term research of dynamics of gas sources and refuses of gas distributive points have a general tendency of increase on експоненци of gas sources and refuses in-process equipment of gas regulator.

For determination of features of change of work of regulator, at the serve of gas of subzero quality, were worked out and the made models of throttles, that imitate the obstruction of upcast throttle, and also throttle of feedback. Research of work of pilot regulator showed that at bad quality of gas there is an obstruction of throttles and there are violations in-process regulator. Undertaken studies of dynamic descriptions and analysis of influence of upcast throttle and obstruction of throttle on firmness of work of pilot regulator.

Technology of design of emergency situations is offered in gas networks at the critical indexes of dirigibility of unloader of gas and organizational and technical recommendations are worked out on prevention of emergency situations, that are an actual scientific task the decision of that will allow to promote reliability of gas-supplying.

Keywords: *gas-supplying, accident, regulator, filter, throttle, curve of review, statics, dynamics*