Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

БОДНАР Віталій Михайлович

УДК 622.691.4.004.67

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховищ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор
Грудз Ярослав Володимирович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ.

Офіційні опоненти: — доктор технічних наук, професор
Харченко Євген Валентинович,
Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної механіки;

кандидат технічних наук, доцент
Костів Василь Васильович,
ТОВ «Оператор газотранспортної системи України», заступник головного інженера з експлуатації (західний регіон).

Захист відбудеться *25 лютого 2021 р. о* 10^{00} на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Із дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий *«22» січня 2021 р.*

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради — А.П. Джус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність тематики. Система газопостачання в Україні являє собою складну енергетичну систему, що характеризується великою потужністю, значною довжиною, складною структурою, різним віком і станом магістральних газопроводів. Старіння газопроводів, велике число аварій і ушкоджень на лінійній частині (ЛЧ) серйозно ускладнюють процес технічної експлуатації об'єктів газотранспортної системи, збільшують матеріальні витрати.

У цих умовах набуває актуальності задача забезпечення надійності функціонування газотранспортних систем з метою безперебійного постачання газу, зниження втрат газу, запобігання аварій і забруднення навколишнього середовища. Причому проблеми безпеки і екологічності магістрального транспорту газу вимагає особливої уваги з обліком можливих катастрофічних наслідків аварій і несправностей.

У нових умовах господарювання немаловажний економічний аспект цієї проблеми, оскільки аварії й ушкодження на ЛЧ приводять до великих утрат газу, збиткам від недопоставка палива народному господарству, вимагають витрат на ремонтно-відбудовчі роботи.

Як відомо, методи підвищення надійності газопровідних систем поділяються на доексплуатаційні (схемні і конструктивні) і експлуатаційні. Впливати на надійність функціонуючого газопроводу можна, лише забезпечивши правильну технічну експлуатацію. Експлуатація, крім безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного устаткування для виконання виробничих задач по транспортуванню газу, містить у собі також систему технічного обслуговування і ремонту, що представляє сукупність взаємозалежних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості об'єктів і їхніх елементів, що входять у систему.

З огляду на той факт, що аварійність магістральних газопроводів залишається досить високою, а темпи їх “старіння” значно випереджають темпи виконання капітального ремонту, одним з головних засобів підтримки експлуатаційної надійності лінійної частини є система технічного обслуговування і ремонту (ТОіР ЛЧ МГ).

Основними задачами системи ТОіР ЛЧ МГ є:

– ефективний контроль за технічним станом елементів об'єктів і систем лінійної частини;

– аналіз одержуваної інформації з метою оптимального планування ремонтно-відбудовчих заходів;

– проведення профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт на ЛЧ МГ;

– своєчасне виявлення й оперативне усунення відмовлень і несправностей.

В останні роки питанням удосконалювання ремонтно-експлуатаційного обслуговування ЛЧ МГ присвячений цілий ряд наукових розробок, що торкаються окремі аспекти технології, організації і керування системою ТОіР.

Методи і підходи до рішення перерахованих задач базуються на результатах основопожних досліджень ведучих учених галузі В.Л. Березина, П.П. Бородавкина, Л.Г. Телєгіна, Н.Х. Халлиєва, Е.М. Ясина, К.Е. Рашепкина, З.Г. Галиуллина, А.Ф. Комягина й ін.

Разом з тим, аналіз досвіду експлуатації газотранспортних систем і наукових досліджень у цій області доводить необхідність подальшого пророоблення задач удосконалювання організації експлуатаційного обслуговування лінійної частини і її елементів.

З позицій системного аналізу система ТОіР ЛЧ МГ характеризується визначеним складом, структурою і режимом функціонування.

У залежності від умов експлуатації ремонтно-експлуатаційного підрозділу мають різну потужність і структуру, ступінь централізації і концентрації матеріально-технічних і інших ресурсів.

У зв'язку з вищевикладеним, дуже актуальними є задачі підвищення ефективності використання наявних ресурсів (матеріальних, технічна, людських і ін.), удосконалювання планування контрольно-відновлювальних заходів (КВЗ) і керування ремонтно-експлуатаційними підрозділами (РЕП) у ході обслуговування ЛЧ із метою забезпечення надійної і безперебійної роботи газотранспортних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів НАК "Нафтогаз України", спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортного комплексу і окреслених Національною програмою "Нафта і газ України до 2035 року".

Мета і завдання дослідження. Розробка комплексного рішення з організації ефективної системи технічного обслуговування лінійної частини магістральних газопроводів для забезпечення експлуатаційної надійності.

Вказана мета досягається шляхом реалізації наступних **завдань**:

- оптимальне планування перекачування газу з врахуванням очікуваних втрат через недостатню надійність забезпечення споживачів газом і випадковим навантаженням системи;
- раціональний вибір обсягу запасних частин під час експлуатації систем газопостачання для випадків відновлювальних і невідновлювальних елементів;
- оптимізація процесу обслуговування і ремонту основного устаткування комплексу газопостачання за умов централізованої системи обслуговування;
- сформування модульно-технологічної структури ремонтно-експлуатаційного підрозділу;
- розробка засад практичної реалізації запропонованих рішень.

Об’єкт дослідження: експлуатація лінійної частини магістральних газопроводів.

Предмет дослідження: раціональна система обслуговування і ремонту ЛЧ МГ.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження оптимального розміщення РЕП в регіоні газотранспортного комплексу, математичне моделювання стратегічного планування контрольно-відновлювальних заходів на ЛЧ, формування

модульно-технологічної структури РЕП на основі математичного аналізу відмовлень і ушкоджень, методика раціонального планування виробничого експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів.

– сформовано комплексний підхід до задачі вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонту ЛЧ МГ з врахуванням випадкового характеру появи і розвитку ушкоджень.

– встановлено закономірності впливу розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів на ефективність системи технічного обслуговування і ремонту ЛЧ МГ і зосереджених об'єктів.

– створено і реалізовано математичні моделі стратегічного планування контрольно-відновлювальних заходів на ЛЧ МГ і зосереджених об'єктах.

– вирішено задачі оптимізації періодичності патрулювання ЛЧ МГ і її об'єктів та планування контрольно-відновлювальних заходів в умовах неповної інформації про стан системи.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено методику оцінки ефективності функціонування і вдосконалення схеми розміщення РЕП у газотранспортній системі. На основі реалізації математичних моделей створено методи стратегічного планування контрольно-відновлювальних заходів на ЛЧ і зосереджених об'єктах, вибору раціональних способів і засобів контролю. Сформовано модульно-технологічну структуру РЕП і розроблено методику оцінки показників ремонтопридатності ЛЧ і ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів у ході ТОіР. Вирішено часткові задачі з вибіру технології робіт і раціональної комплектації й оснащення технологічних модулів при різних обмеженнях на ресурси.

Особистий внесок здобувача. В рамках комплексного підходу до проблеми організації ефективної системи ТОіР ЛЧ МГ розроблено принципи формування оптимальної схеми розміщення РЕП у регіоні обслуговування газотранспортного комплексу [1,4].

Виконано теоретичні дослідження і створено математичну модель раціонального проведення контрольно-відновлювальних заходів на ЛЧ МГ[2], та обслуговування зосереджених об"єктів [4, 5].

Розроблено методику оцінки показників ремонтопридатності ЛЧ і ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів у ході ТОіР [3].

Автор брав безпосередню участь в плануванні і проведенні виробничого експерименту з оцінки адекватності розробленої методики і впровадженні запропонованих рекомендацій у виробництво.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи висвітлені в доповідях і повідомленнях на:

– семінарі-нараді „Організація експлуатації та ремонту газотранспортної системи НАК „Нафтогаз України"(м. Яремча, 2015);

– міжнародній виставці „Нафта і газ: новітня техніка і технології”(м. Київ, 2016).

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідалися на наукових семінарі кафедри газонафтопроводів і газонафтосховищ та між- кафедральному семінарі інституту нафтогазової інженерії Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. (Івано-Франківськ, 2020).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 5 друкованих робіт, з яких одна у виданні наукометричних баз, 4 статті у фахових журналах України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що містить 102 найменування, та додатків. Текстова частина викладена на 131 сторінках комп’ютерного набору і містить 16 рисунків і 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, показано актуальність теми, її зв'язок з науковими планами, програмами, мету і задачі досліджень, її наукову новизну і практичну цінність, а також особистий внесок автора в результати досліджень.

В першому розділі проведено аналіз експлуатації газотранспортної системи України, літературних джерел з питань забезпечення її надійної експлкуатації, і на його основі сформовано основні задачі досліджень

Вигідне географічне розташування України на основних шляхах транспортування природного газу від найбільших у світі газовидобувних регіонів Росії, Центральної Азії та Близького Сходу до основних споживачів цього газу - країн Західної, Центральної і Східної Європи, визначає надзвичайно важливу роль газотранспортної системи ДК "Укртрансгаз" як транзитної системи. За об'ємом транзиту газу Україна впевнено займає перше місце в світі.

На території держави створена найбільша система транзитних магістральних газопроводів, яка забезпечує близько 93 % експортних поставок російського газу, що складає більш ніж чверть загального об'єму споживання газу в Європі. Газотранспортна система ДК"Укртрансгаз" технологічно з'єднана з системами магістральних газопроводів Росії, Бєларусі, Молдови, Румунії, Угорщини, Словаччини, Польщі, а через них з газопроводами всього європейського континенту.

Енергетична політика європейських країн спрямована на диверсифікацію джерел постачання природного газу, що в поєднанні зі зростанням потреб у газі країн Західної, Центральної і Східної Європи викликає необхідність збільшення об'ємів його поставок. За прогнозами очікується, що частка газу у використанні первинних енергоресурсів в Західній Європі збільшиться в 2010 р. до 24 %, а в 2025 р. до 27%, і споживання газу відповідно складе 550-575 млрд. м^3 і 580-600 млрд. м^3. Це зумовлює збільшення потоків газу з Росії і Середньої Азії.

Загальна протяжність ГТС ДК "Укртрансгаз" на сьогодні складає біля 35 тис. км, у тому числі магістральні газопроводи-відводи — 12,5 тис. км. Проектна

пропускна спроможність ГТС на вході в Україну складає 292 млрд. $м^3$ на рік (800 млн. $м^3$ на добу). Загальна потужність компресорних станцій (КС) складає 5492 МВт. Число газорозподільних станцій (ГРС) складає 1307 одиниць, а газовимірювальних станцій (ГВС) - 100 одиниць.

У структурі газопроводів суттєво переважають трубопроводи великого діаметру. Так, газопроводи діаметром 1420 мм складають 15,82 %, діаметром 1020-1220 мм - 23,34 %; 720-820 мм - 14,93 %/

Водночас ГТС має у своєму складі 59,43 % газопроводів з терміном експлуатації від 15 до 50 років, 5,8 тис. км газопроводів відпрацювали свій амортизаційний строк - 33 роки, більш третини газопроводів мають антикорозійне покриття з полімерних плівок холодного нанесення. Це вимагає щорічного виконання значних обсягів капітального ремонту та реконструкції газопроводів. Сьогодні в системі ДК"Укртрансгаз" в експлуатації знаходиться 78 компресорних станцій (121 компресорний цех) з працюючими 779 газоперекачувальними агрегатами двадцяти типів, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, в тому числі 449 агрегатів із газотурбінним приводом, що складає 80 % від загальної потужності, 175 - із електроприводом і 155 газомотокомпресорів. На магістральних газопроводах працює 60 компресорних станцій з газотурбінним приводом, 12 – на станціях підземного зберігання газу,

Як відомо, методи підвищення надійності газопровідних систем поділяються на доексплуатаційні (схемні і конструктивні) і експлуатаційні. Впливати на надійність функціонуючого газопроводу можна, лише забезпечивши правильну технічну експлуатацію. Експлуатація, крім безпосереднього використання основного і допоміжного технологічного устаткування для виконання виробничих задач по транспортуванню газу, містить у собі також систему технічного обслуговування і ремонту, що представляє сукупність взаємозалежних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту, виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості об'єктів і їхніх елементів, що входять у систему.

З огляду на той факт, що аварійність магістральних газопроводів залишається досить високою, а темпи їх “старіння” значно випереджають темпи виконання капітального ремонту, одним з головних засобів підтримки експлуатаційної надійності лінійної частини є система технічного обслуговування і ремонту.

Аналіз закордонного досвіду експлуатаційного обслуговування МГ і наукових розробок у цій області показує, що велика частина досліджень присвячена питанням удосконалювання старих і створення нових методів і технічних засобів контролі стану ЛЧ, перспективних технологій і механізмів для проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Важливими в плані забезпечення ефективності і надійності експлуатації є питання ефективного використання технічних засобів у ході ТОіР, планування термінів контролю і профілактики ЛЧ і її елементів з врахуванням нерівномірного розподілу показників надійності по довжині МГ, випадкового характеру появи відмовлень і ушкоджень. задачі організації територіально-виробничої системи ТОіР складної регіональної мережі МГ з урахуванням конфігурації ЛЧ. Ці параметри, у свою чергу, багато в чому визначаються прийнятою технологією й оснащеністю

бригад, служб і підрозділів, характером робіт у потоці вимог на ремонтно-відновлювальне і профілактичне обслуговування.

Другий розділ присвячено розробці принципів керування транспортом газу з урахуванням чинника надійності.

Як відомо, втрати від недопоставок газу споживачам значно перевищують втрати, пов'язані з технологічними затратами на транспорт газу. Тому тут розглядається задача вибору оптимального співвідношення між вартістю і надійністю перекачування газу. Зазначена задача досліджується за допомогою змішаної моделі, заснованої на використанні методів динамічного програмування і математичних методів теорії надійності.

Для задоволення вимог максимізації навантаження газотранспортної системи при відповідних технологічних обмеженнях і гарантії безперервності в постачанні споживачам заданої витрати газу зазвичай вирішуються такі основні завдання:

– прогнозування навантаження протягом певного інтервалу часу (доби, тижня);

– виділення набору газоперекачувальних агрегатів компресорної станції;

– відшукання оптимального розподілу загального навантаження між газоперекачувальними агрегатами, що мінімізує сумарну вартість перекачування.

Ці три проблеми тісно пов'язані між собою. У зв'язку з цим зазначені проблеми об'єднуються задачею під назвою керування транспортом газу з урахуванням чинника надійності.

При нормальному законі розподілу випадкових величин загальні втрати підсумовуються як втрати на перекачування та втрати через недоподачу газу. Ці втрати можна подати таким чином

$$W = C_2 \sum_j \sum_i [\sum_{j \neq 1} \lambda_{ji} I_{ij}(t_1, t_2)] u_{ij}^n A_j + C_3 \sum_j \sum_i I_{ij}(t_1, t_2) H_{ij} A_j, \qquad (1)$$

де C_2, C_3 - коефіцієнти, що враховують вартість від перекачування і недоподачі; u_{ij}^n - дискретна зміна втрат за час Δt; A_j - коефіцієнт, що враховує розподіл втрат по нормальному закону.

Мінімум сукупних затрат f_{nj} для комбінації j на етапі nj знаходиться за допомогою рекурентного співвідношення

$$F_{nj} = \min\{F_{n-1} + f_{nj} + W_{nj}\} \qquad (2)$$

Рішення завдання дискретного динамічного програмування здійснюється за допомогою стандартного алгоритму. Ідея алгоритму полягає в наступному.

Розглядається послідовність моментів часу 0,1 ... Керована система в кожен момент часу може знаходитися в одному з j станів. Управління системою, що знаходиться в момент часу n в стані j_n, полягає в тому, що приймається рішення про переведення її в момент $n+1$ в стан j_{n+1}. Визначена локальна ціна такого переходу, тобто число (для всіх можливих пар j_n, j_{n+1}). У початковий момент часу

$n = 0$ система може знаходитися в якомусь фіксованому j_0 стані. У кінцевий момент часу N система повинна знаходитися в одному із заданих j_N станів. Завдання полягає у визначенні такої послідовності станів (траєкторії) $f_0, f_1, \ldots f_n, \ldots f_N$, яка мінімізує загальну ціну еволюції системи, тобто функції

$$R(f_0, f_1, ..., f_N) = \Phi_0(f_0) + \sum_{n=0}^{N-1} f_{j_n, j_{n=1}}^{n+1/2} + \Phi_N(j_N) \qquad (3)$$

де Φ_0, Φ_N - витрати на початковий і кінцевий стан системи.

Реалізація задачі здійснюється спеціальним алгоритмом, що використовує типову для динамічного програмування функцію Беллмана.

В результаті одержано оптимальну періодичність проведення планово-попереджувальних ремонтів. Збільшення кількості ППР призводить до зростання затрат на ППР з одного боку і до зменшення затрат на аварійні ремонти з іншого. Тому питомі приведені експлуатаційні затрати мають мінімум, який відповідає оптимуму обслуговування.

З поставленою задачею тісно повязана задача про обсяг запасних елементів (ЗІП) для забезпечення заданого рівня надійності. В плані оптимізації обслуговування розглядаються наступні стратегії:

– **нульова або базова стратегія**, яка полягає в наступному: при технічному обслуговуванні замінюють елементи, що тільки відмовили, тобто устаткування експлуатують без профілактичних замін елементів;

– **групова стратегія замін**, при якій належить встановлювати оптимальний інтервал замін T_3 . При цьому в моменти часу T_3, $2T_3$, $3T_3$ ... замінюють всі елементи даного типу, включаючи і ті з них, які замінили відмовлені;

– **стратегія замін із напрацювання або індивідуальна стратегія** полягає в тому, що елемент, який знаходиться в системі, замінюють при напрацюванні T_3 ;. якщо відмова відбулася до цього часу, то профілактична заміна нового елементу, поставленого замість того, що відмовив, відтерміновується і її здійснюють тільки після фактичного досягнення цим елементом нормативного ресурс.

Очевидно, що достатнім обсяг ЗІП буде в тому випадку, коло число відмов на протязі певного проміжку часу дорівнюватиме числу запасних елементів. Збільшення обсягу ЗІП призведе до надмірних витрат на їх зберігання, а нестача ЗІП призведе до зростання тривалості ремонтів, тобто до зниження надійності системи.

Для визначення оптимального запасу ЗІП за розробленою методикою побудовано номограми.

Третій розділ присвячено підвищення ефективності технічного обслуговування магістральних газопроводів в умовах централізованої системи.

Централізована система обслуговування ГТС опирається на ряд пунктів, розміщених вздовж траси магістрального газопроводу і обладнаних спеціальною ремонтною технікою, яка дозволяє раціонально проводити роботи з обслуговування різних об’єктів. Збільшення числа опорних пунктів призведе, з одного боку, до прискорення робіт з відновлення технічного стану газотранспортної системи

(підвищення експлуатаційної надійності) і до здорожчання процесу обслуговування загалом за рахунок збільшення витрат на їх утримання. Тому має місце оптимізаційна задача вибору раціонального числа опорних пунктів централізованої системи обслуговування і їх розміщення вздовж траси газопроводу. При цьому виникає задача оптимального керування централізованою системою обслуговування, яка повинна за наявності даної кількості технічних засобів і їх розміщення в опорних пунктах забезпечити максимально надійність експлуатації ГТС.

При побудові математичної моделі, що описує процес обслуговування системи і дає змогу одержати оптимальні його показники, використовуються наступні припущення для технологічного устаткування об'єктів системи газопостачання:

1) потік відмов технологічного устаткування є пуасоновським нестаціонарним;

2) планові профілактичні роботи на окремих об'єктах системи газопостачання незалежні;

3) тривалість аварійного ремонту ξ_1 технологічного устаткування на *i*-му об'єкті є випадковою величиною з довільною функцією розподілу $G_i(x)$ і з математичним очікуванням $\tau_{cp}^{AP(i)}$;

4) середня тривалість планових попереджувальних ремонтів на *i*-му об'єкті обслуговування детермінована і стала, тобто $\bar{\tau}_{cp}^{пр} = \text{const}$;

5) порядок організації обслуговування: *i*-тий експлуатований об'єкт через деякий календарний період часу τ_i після проведення планового ремонту *(i – 1)*-го технологічного об'єкта і триваючого $\bar{\tau}_{cp}^{пр(i-1)}$, виводиться на плановий ремонт із середньою тривалістю $\bar{\tau}_{cp}^{пр(i-1)}$ для $i = 1$ підсистеми, з номером *(i –1)* буде m-на підсистема.

Оптимальний розклад технологічного обслуговування визначиться з умови вибору значень $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_i, ..., \tau_m$, що забезпечують екстремум показників якості функціонування комплексу технологічних об'єктів у зоні централізованого обслуговування системи газопостачання.

Як критерій оптимізації системи ремонтів використано техніко-економічний показник, зокрема середні сумарні питомі витрати на експлуатацію системи. У цьому випадку розв’язок задачі полягає в описі показника середніх сумарних питомих витрат $C(\vec{\tau})$ і зводиться до процедури

$$\min_{\tau} C(\vec{\tau}) = C(\vec{\tau}^{*}), \qquad (4)$$

де $\vec{\tau}$ - m-мірний вектор.

Функція мети визначиться з залежності:

$$C\left(\vec{\tau}\right)=\frac{\sum_{i=1}^{r} a_i C}{K_r\left(\vec{\tau}\right)}, \qquad (5)$$

де r - число станів системи газопостачання; a_i - середні питомі витрати, зв'язані з перебуванням комплексу об'єктів системи газопостачання в *i*-тому стані; $К_i\left(\vec{\tau}\right)$ - коефіцієнт, визначений як частка часу, яку система проводить у *i*-му стані в стаціонарному процесі обслуговування; $К_r\left(\vec{\tau}\right)$ - коефіцієнт готовності системи (комплексу експлуатованих об'єктів) газопостачання загалом.

Отримані залежності дають змогу досліджувати режими обслуговування складної системи газопостачання, що включає m різнотипних, територіально розосереджених, але функціонально взаємозалежних (загальними цілями функціонування) технологічних об'єктів системи газопостачання в регіоні центральної бази технічного обслуговування і ремонту, вони дають змогу розраховувати оптимальний графік планових ремонтів системи газопостачання, що включає m різнотипних розосереджених безупинно функціонуючих технологічних об'єктів.

У випадку обслуговування двох однакових об'єктів системи газопостачання розв'язок розглянутої задачі зводиться до оптимізації виду:

$$\min_{\tau_1,\tau_2} C\left(\tau_1,\tau_2\right)=C\left(\tau_1{*},\tau_2{*}\right). \qquad (6)$$

У випадку двох однакових підсистем, якщо виконується умова $1-\tau_{ср}^{АР}\lambda\left(0\right)\geq 0$, мінімум функції $1-К_r\left(\tau_1,\tau_2\right)$ досягається при $\tau_1=\tau_2$. Оскільки для ряду технологічних об'єктів системи газопостачання умова $1-\tau_{ср}^{АР}\lambda\left(0\right)\geq 0$, як правило, виконується, то для експлуатованого устаткування зводиться до $\min_{\tau} C(\tau)=C(\tau*)$.

На рисунку 1 зображено графік функції середніх сумарних питомих витрат $С\left(\vec{\tau}\right)$ на обслуговування і ремонт двох однакових ГРС, розглянутих як єдиний комплекс.

У практиці експлуатації систем газопостачання через різні причини іноді виникають проблеми, пов'язані з недотриманням оптимальних графіків планових ремонтів. Тому доцільно враховувати й оцінювати можливості і наслідки перенесення чергового планового профілактичного ремонту. При цьому виникають дві типові ситуації.

1. Дострокове проведення профілактичного ремонту бажано в тому випадку, якщо виникає відмова експлуатованого устаткування, оптимальний термін якого наблизився до значень $\tau*$, $\theta*$ або $К*$. Іноді доцільно не тільки усунути виниклу відмову, але і провести позачергові регламентні роботи.

2. Відтягування терміну початку планових попереджувальних заходів, коли до оптимального моменту τ^*, θ^* або K^* не існує достатніх умов для їхнього проведення: відсутні резервне устаткування, чи запчастини достатня оперативна готовність ремонтних бригад або виникали різні розуміння оперативно-управлінського характеру.

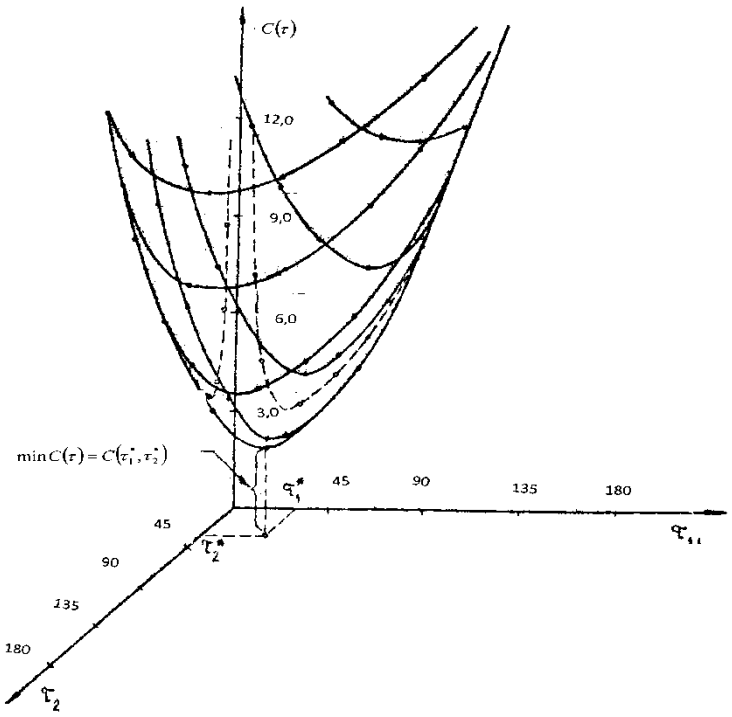

Рисунок 1 - Показники обслуговування і ремонту двох ГРС, розглянутих як єдиний комплекс

У практиці експлуатації систем газопостачання профілактичні допуски для різного типу устаткування і різних експлуатаційних умов визначаються на підставі виробничого досвіду обслуговуючого персоналу. У теоретичних і прикладних дослідженнях організації ремонтного обслуговування устаткування систем газопостачання профілактичні допуски задаються заздалегідь.

Запропоновані підходи дозволять розвинути методику централізованого обслуговування газотранспортних систем в складних трасових умовах і забезпечити достатній рівень надійності їх експлуатації

В четвертому розділі розглядаються принципи і методи забезпечення ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів у системі технічного обслуговування і ремонту магістральних газопроводів.

Удосконалювання організації функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів у системі технічного обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу є актуальною задачею підвищення ефективності технічного обслуговування, рішення якої дозволяє в значній мірі скоротити

фінансові, матеріальні, трудові і тимчасові витрати, сприяє всілякій економії ресурсів.

Принцип системності розгляду задач по удосконалюванню обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу вимагає дослідження процесу функціонування окремого ремонтно-експлуатаційного підрозділу в рамках сформованих вище структурних схем системи Технічного обслуговування і ремонту і моделей контрольно-відбудовного обслуговування лінійної частини. Комплексний підхід обумовлений також необхідністю оцінки показників ремонтопридатності лінійної частини магістрального газопроводу і ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційного підрозділу, використовуваних у якості вихідних даних у представлених вище моделях технічного обслуговування і ремонту.

Результати проведеного дослідження системи ремонтно-експлуатаційного обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу дозволили сформувати ієрархічну об'єктно-технологічну структуру і створити перелік технологічних наборів робіт з технічного обслуговування і ремонту з розбивкою по рівнях пріоритету і об'єктах, що потребуть проведення тих чи інших заходів.

Ефективність функціонування виробничих підрозділів у системі технічного обслуговування і ремонту розуміється як здатність виконувати необхідний комплекс робіт з найменшими витратами. Витрати на провадження робіт по технічного обслуговування і ремонту (включаючи витрати на матеріали, експлуатацію техніки, оплата персоналу, транспортні витрати й ін.) - цілком традиційний техніко-економічний показник. Разом з тим на процес ремонтно-відновлювального обслуговування лінійної частини накладаються дуже тверді обмеження за часом, через те, що зниження продуктивності газопроводу чи його простій призводять до значного народно-господарського збитку в зв'язку з недопоставкою газу споживачу. Тому облік і визначення тимчасових витрат при виконанні кожного окремого виду робіт з технічного обслуговування і ремонту має важливе значення при оптимальній організації функціонування ремонтно-експлуатаційного підрозділу.

Запропонована комп’ютерно-орієнтована методика призначена для оперативного розрахунку загальних витрат на проведення заходів щодо технічного обслуговування і ремонту на лінійній частині магістрального газопроводу і їхньої сумарної тривалості. Використання методики дозволяє робити багаторазову оцінку техніко-економічних показників ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційного підрозділу, що обумовлює доцільність її застосування при рішенні деяких організаційно-управлінських задач, що виникають у ході експлуатаційного обслуговування елементів і систем лінійної частини магістрального газопроводу.

Розроблений алгоритм розрахунку дає можливість оцінити:

– вартість виконання визначених комплексів робіт на різних об'єктах лінійної частини магістрального газопроводу;

– вартість експлуатації машин і механізмів при виконанні робіт на лінійній частині;

– вартість експлуатації транспортних засобів у процесі технічного обслуговування і ремонту;

– вартість загубленого (стравленого) газу при проведенні РВР;

– тривалість виконання ремонтно-відновлювальних робіт на об'єктах лінійної частини;

– час на збір і підготовку ремонтно-експлуатаційного підрозділу до виконання робіт;

– час на транспортування і перебазування ремонтно-експлуатаційного підрозділу в ході робіт.

З метою апробації розробленої методики було проведено виробничий експеримент при заміні лінійного крана на трасі газопровода Угерсько-Чернівці силами та засобами ЛЕС Богородчанського ЛВУМГ „Укртрансгаз”. Суть експерименту полягала в прогнозуванні пооперaційних термінів технологічного процесу заміни крану на основі запропонованої методики і визначенні витрат на заміну крана без врахування вартості самого крана і вартості матеріалів і порівнянні прогнозних показників з фактичними.

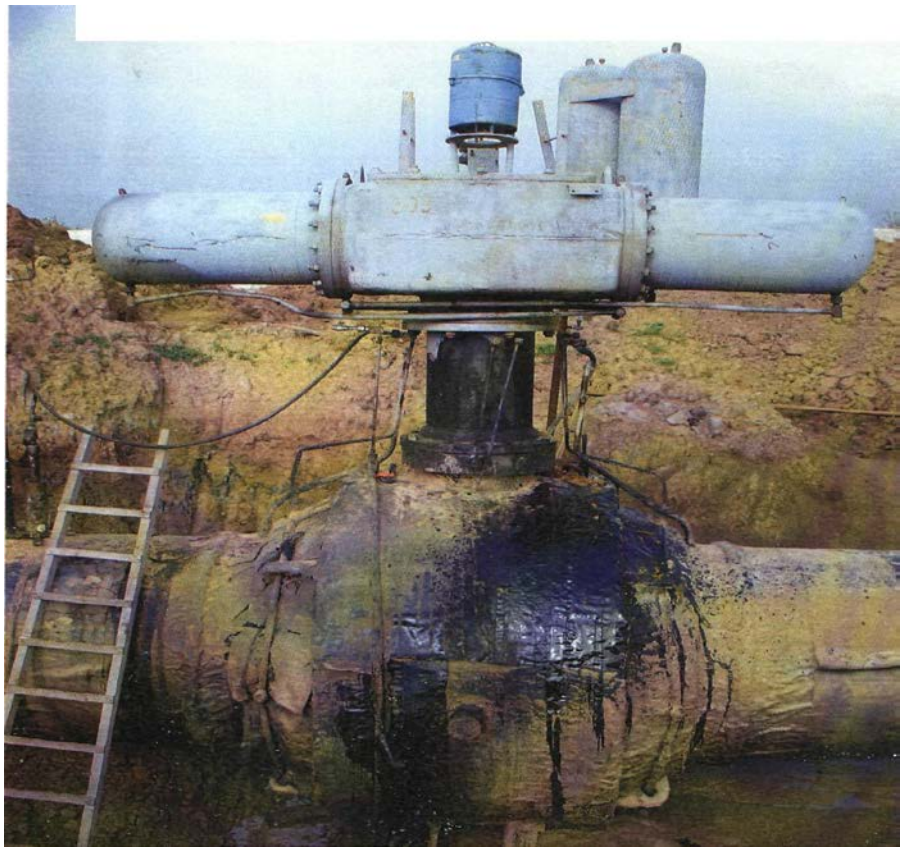

Рисунок 2 – Заміна лінійного крана

Задача вибору оптимального варіанта технології, організації робіт і комплектації підрозділів зводиться до пошуку схеми провадження робіт, що

відповідає мінімальному значенню показника ефективності, розробленого в представленій вище методиці:

$$\begin{cases} \min\limits_{R_{jv}^{KN};m_{jv}^{KN}} \overline{З}_{\Sigma}\left(R_{jv}^{KN};m_{jv}^{KN};\tau\right) \\ \tau \le \tau_{доп} \\ m_{jv}^{KN} \le M_{факт}^{K} \\ S_{vCB}^{K} \le S_{vCB\,факт}^{K} \end{cases} \qquad (7)$$

В результаті розрахунків отримана ефективна схема провадження робіт. За критерієм мінімуму середніх сумарних витрат (4989,11 тис.грн.) доцільно провести ремонтно-відновлювальні роботи силами ЛЕС Богородчанського ЛВУМГ із заміною лінійного крана Ду500 на газопроводі Угерсько-Чернівці. Розрахунковий час проведення всіх технологічних операцій (з врахуванням тривалості випробовування за нормами 2 год.) склав (з заокругленням до цілого) 555 хв, що передбачало закінчення робіт за планом о 18.30. Фактично роботи було завершено о 18.18, що на 12 хв. менше планового часу. Зменшення витрат часу в порівнянні з плановим пояснюється меншими його затратами на операцію видалення конденсату.

Отримані результати підтверджують ефективність використання даної розробки в ході організації робіт з ТОіР ЛЧ газотранспортних систем з метою більш ефективного керування матеріально-технічними ресурсами, скорочення втрат і простоїв газопроводів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу наукову задачу, яка полягає у встановленні закономірностей організації і технології процесу обслуговування газотранспортних систем і дозволяє скоротити витрати на підтримання надійності лінійної частини газопроводів на належному рівні, а саме:

1. Вирішено задачу оптимального планування перекачування газу з врахуванням очікуваних втрат через недостатню надійність забезпечення споживачів газом, і випадковим навантаженням системи, яка полягає в тому, що приймається рішення про переведення керованої системи з початкового стану в кінцевий шляхом такої послідовності станів, яка мінімізує загальну ціну еволюції системи.

2. Приведені принципи вибору обсягу запасних частин під час експлуатації систем газопостачання для випадків відновлювальних і не відновлювальних елементів дали змогу створити методику, яка містить засади формування номенклатури як перелік номерів і найменувань запасних інструментів та приладдя, складений в певному групуванні і послідовності, критерії оцінки достатності комплекту запасних частин, які вибрано з умови достатньої надійності процесу експлуатації системи, засновану на оцінках вірогідності появи відмови в період регулярної заміни елементів. Показано, що попит на запасні частини і матеріали носить випадковий характер і розглядається у вигляді стаціонарного процесу, описуваного розподілом Пуассона. Принцип розрахунку зводиться до визначення

вірогідності того, що в механізмі будуть заповнені всі канали обслуговування і всі місця очікування відповідно до теорії масового обслуговування.

3. На основі аналізу стратегій обслуговування отримані залежності, що дають змогу розраховувати оптимальні показники процесу обслуговування і ремонту основного устаткування комплексу газопостачання за умов централізованої системи обслуговування в рамках кожної: календарна періодичність, напрацювання, стан до планово-попереджувальних ремонтів, а також відповідні екстремальні значення показника якості обслуговування і ремонту, що дає змогу розв’язати практичні проблеми підвищення надійності систем газопостачання, пов'язані з дотриманням оптимальних графіків планових ремонтів у складних експлуатаційних умовах.

4. На основі аналізу можливих відмовлень і ушкоджень на об'єктах лінійної частини і технології проведення профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт сформована модульно-технологічна структура ремонтно-експлуатаційного підрозділу та компютерноорієнтована методика оцінки показників ремонтопридатності і ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційного підрозділу у ході технічного обслуговування і ремонту

5. Вирішено часткові задачі з вибору технології робіт і раціональної комплектації й оснащення технологічних модулів при різних обмеженнях на ресурси. Виконано розрахунки і видані рекомендації з організації ремонтно-відновлювальних робіт лінійно-експлуатаційною службою Богородчанського ЛВУМГ; розроблені методики, алгоритми і програми апробовані і прийняті до впровадження в промислову експлуатацію в "Укртрансгаз".

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В ПРАЦЯХ

1. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Боднар В.М., Тутко Т.Ф. Піцдвищення ефективності технічного обслуговування магістральних газопроводів. Прикарпатський вісник НТШ. Число. 2018. №1(45).С. 200-210.

2. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Боднар В.М. Піцдвищення надійності експлуатації систем газопостачання на основі оптимізації обслуговування. Прикарпатський вісник НТШ. Число. 2018. №2(46). С. 137-151.

3. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Боднар В.М., Чернецький М.С. Підвищення ефективності функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів у системі технічного обслуговування і ремонту магістральних газопроводів. Прикарпатський вісник НТШ. Число. 2019. №1(53). С. 104-115.

4. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Боднар В.М., Самсоненко В.В. Прогнозування ремонтних робіт магістральних газопроводів в умовах централізованої системи обслуговування. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2018. №3(68). С. 31 – 38.

5. Grudz V. Ya., Grudz Ya. V., Zapukhliak V. B., Chudyk I. I., Poberezhny L. Ya., Slobodyan N. B., Bodnar V. M. Optimal gas transport management taking into account reliability factor. Management Systems in Production Engineering. 2020. Vol. 28, Issue 3. P. 202-208.

АНОТАЦІЯ

Боднар В.М. Оптимізація обслуговування газотранспортних систем для забезпечення їх надійної експлуатації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису**.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу МОН України, Івано-Франківськ, 2021.

Розглядається задача оптимального планування управління газотранспортними об’єктами за умов безперебійного забезпечення споживачів природним газом в заданих обсягах та мінімізації втрат при експлуатації газотранспортної системи. Наведено загальні принципи вибору обсягу запасних частин в процесі експлуатації систем газопостачання для випадків відновлювальних і не відновлювальних елементів. Моделюється процес керування технічним станом магістральних газопроводів, які включають різнотипні елементи і мають складну розгалужену і закільцьовану структуру.

Ключові слова: магістральний газопровід, технічне обслуговування, оптимізація, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Боднар В.М. Оптимизация обслуживания газотранспортных систем для обеспечения их надежной эксплуатации. – Квалификационная научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нафтогазосховища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа МОН Украины, Ивано-Франковск, 2021.

Рассматривається задача оптимального планирования управления газотранспортными объектами в условиях бесперебойного обеспечения потребителей природным газом в заданных объемах и минимизации потерь при эксплуатации газотранспортной системы. Приведены общие принципы выбора объема запасных частей в процессе эксплуатации систем газоснабжения для случаев восстановительных и не восстановительных элементов. Моделируется процесс управления техническим состоянием магистральных газопроводов, которые включают разнотипные элементы и имеют сложную разветвленную и закольцованных структуру.

Ключевые слова: магистральный газопровод, техническое обслуживание, оптимизация, математическая модель.

SUMMARY

Bodnar V.M. Optimization of maintenance of gas transportation systems to ensure their reliable operation. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences (PhD) in the specialty 05.15.13 – pipeline transportation, oil and gas storages. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2021.

In the period of shortage of gas supply to Ukraine, special attention is given to reducing the supply of gas to its consumers, that is, their complete and uninterrupted gas supply. On the other hand, gas losses associated with technological transportation costs are increasing, in particular due to the unsteady flow of gas and frequent changes in the modes of operation of gas transmission networks.

The problem of optimal planning of gas transportation facilities management under conditions of uninterrupted supply of natural gas to consumers in the given volumes and minimization of losses during operation of the gas transportation system is smoothed out.

The general principles of choosing the volume of spare parts in the operation of gas supply systems for the cases of renewable and non-renewable elements are given. The nomenclature is considered as a list of numbers and names of spare tools and accessories, compiled in a specific grouping and sequence in accordance with the technical documentation of the manufacturing plants and containing mechanical parts, components and assemblies. The criteria for assessing the adequacy of a spare part set are selected from the condition that the system operation process is sufficiently reliable, based on estimates of the likelihood of failure occurring during the period of regular replacement of elements. Demand for spare parts and materials is random and is considered as a stationary process described by the Poisson distribution. The principle of calculation is to determine the likelihood that the mechanism will fill all the service channels and all waiting places according to the theory of queuing. As a result, a method for calculating the volume of spare parts during the operation of gas supply systems is proposed.

The process of controlling the technical condition of the main gas pipelines, which include different types of elements and have a complex branched and ringed structure, is considered. The task belongs to the category of service process optimization. The purpose of the study is to optimize the schedule of preventive repairs to the gas supply system, which includes independent subsystems. The optimal maintenance schedule will be determined from the condition of choosing the values of the moments of time that provide the extremum of quality indicators of the functioning of the complex of technological objects in the area of centralized maintenance of the gas supply system. As a criterion for the optimality of the maintenance process, it is proposed to use a technical and economic indicator, in particular the average total unit operating costs of the system. The dependencies obtained from the conducted researches make it possible to estimate the modes of servicing of a complex gas supply system, which includes various,

geographically dispersed, but functionally interdependent technological objects of the gas supply system in the region of the central base of maintenance and repair.

The classification of failures and damages of the linear part and its individual elements is carried out, variants of technology of carrying out preventive and repair and restoration works and modular-technological structure of repair and maintenance units are formulated. The method of estimation of indexes of maintenance of linear part of main gas pipelines and efficiency of functioning of repair and maintenance units during maintenance and repair is developed.

Key words: main gas pipeline, maintenance, optimization, mathematical model.