

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Пасічник Лідія Євгенівна



УДК 004.421.2:624.96

**МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК
МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ**

Спеціальність 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Теслюк Василь Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри систем автоматизованого проектування

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Соколовський Ярослав Іванович,
Національний лісотехнічний університет України,
завідувач кафедри інформаційних технологій

кандидат технічних наук, доцент
Шило Галина Миколаївна,
Запорізький національний технічний університет,
доцент кафедри інформаційних технологій
електронних засобів

Захист відбудеться 04 грудня 2015 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка»
(79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету
«Львівська політехніка» (79013, Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий 03 листопада 2015 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, д. т. н., професор



Бунь Р.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Магістральні трубопроводи відіграють надзвичайно важливу роль у забезпеченні України паливно-енергетичними і сировинними ресурсами і, в той же час, належать до об'єктів підвищеного ризику. Забезпечення надійної експлуатації трубопровідного транспорту України стало однією з найважливіших загальнодержавних задач, оскільки аварії на трубопроводах можуть спричинити величезні економічні і екологічні збитки. Значна частина розгалуженої мережі трубопровідного транспорту перебуває в експлуатації понад 40 років. Зі збільшенням термінів експлуатації все актуальнішою стає проблема ефективної та безперервної роботи трубопровідного транспорту.

Роботоспроможність та ефективність роботи трубопровідних систем забезпечується організацією періодичної оцінки технічного стану елементів трубопроводів, ремонту в місцях виявлення недопустимих дефектів, а також їх реконструкції та розвитку з метою вирішення нагальних народногосподарських і соціальних потреб. У кожному конкретному випадку обґрунтування ремонтно-відновлювальних заходів та будівництво нових віток магістральних трубопроводів вимагає комплексного підходу, який би враховував особливості рельєфу місцевості, умов спорудження та експлуатації трубопроводів. Важливою складовою такого підходу є автоматизоване проектування лінійної частини трубопровідного транспорту на основі детального аналізу напружено-деформованого стану трубопроводів з урахуванням дії не лише статичних, а й динамічних навантажень, температурних та сейсмічних впливів.

У найтяжчих умовах працюють надземні ділянки магістральних трубопроводів. Оскільки довжина цих ділянок може сягати більше одного кілометра, а їх діаметр – близько півтора метра, істотне значення для забезпечення належної точності розрахунків на міцність і довговічність має урахування динамічної дії вітрових та сейсмічних навантажень. З огляду на широке застосування в останні десятиріччя внутрішньотрубної діагностики трубопроводів за допомогою діагностичних поршнів, маса яких може сягати декількох тон, а швидкість руху в трубі – 9 м/с, важливим завданням слід вважати удосконалення методів розрахунку трубопроводів, що перебувають під дією рухомих навантажень. На розв'язання цих важливих і актуальних наукових завдань спрямована дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках програм НАК «Нафтогаз України» згідно з розпорядженнями Кабінету міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» та «Про схвалення Концепції розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 роки». Дисертаційні дослідження виконувалися відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри «Системи автоматизованого проектування» Національного університету «Львівська політехніка» і безпосередньо пов'язані з держбюджетними темами «Розроблення базових компонентів для синтезу інтелектуальних мобільних робототехнічних систем» (№ державної реєстрації 0113U003191), «Розроблення методів аналізу пружно-пластичного деформування і оцінки міцності ма-

гістральних трубопроводів з урахуванням наявності дефектів матеріалу» (№ державної реєстрації 0113U001349).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – підвищення ефективності автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів за рахунок удосконалення математичного і програмного забезпечення з урахуванням сумісного впливу сил власної ваги, внутрішнього тиску, температурних, вітрових, сейсмічних навантажень, а також дії рухомих діагностичних або очисних поршнів.

Досягнення поставленої мети включало розв'язання таких задач:

- аналіз особливостей існуючих програмних систем і математичного забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів;

- розроблення методів, моделей та алгоритмів для автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів з урахуванням впливу оточуючого середовища, а також дії діагностичних або очисних поршнів;

- розроблення програмного забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів;

- розроблення інформаційного, лінгвістичного та методичного забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів;

- розроблення практичних рекомендацій, спрямованих на підвищення ефективності автоматизованого проектування і експлуатації надземних ділянок магістральних трубопроводів.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів.

Предмет дослідження – математичне і програмне забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів.

Методи дослідження. Дослідження проведені із застосуванням системного аналізу щодо побудови структури системи автоматизованого проектування, теорії баз даних, математичного моделювання та рівнянь математичної фізики. Математичні моделі динамічних процесів у надземних ділянках магістральних трубопроводів розроблені із застосуванням технічної теорії згину та неklasичної теорії балок С. Тимошенка. Для розв'язання систем диференціальних рівнянь динамічних процесів застосовані широко апробовані аналітичні і числові методи. Розрахунки вільних і вимушених гармонічних коливань багатопрогонових конструкцій виконані із застосуванням матричного методу початкових параметрів. Аналіз нелінійних коливань трубопроводів з урахуванням дії рухомих діагностичних або очисних поршнів проведено із застосуванням методу узагальнених переміщень.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено метод модального аналізу і розрахунку гармонічних вимушених коливань надземних ділянок магістральних трубопроводів в процесі їх автоматизованого проектування на основі сумісного розгляду коливань надземної ділянки і прилеглих до неї частин підземних ділянок та врахування взаємодії підземних ділянок з пружною основою.

2. Вперше запропоновано метод визначення мінімальної довжини підземних ділянок, деформування яких слід враховувати в процесі автоматизованого проектування, та з'ясовано вплив перепаду температури на характеристики власного частотного спектру і амплітуди вимушених коливань механічної системи, що включає надземну ділянку і прилеглі до неї частини підземних ділянок магістрального трубопроводу.

3. Удосконалено математичну модель статичного аналізу напружено-деформованого стану надземних ділянок магістральних трубопроводів, що перебувають під дією сил власної ваги, температурних, вітрових і сейсмічних навантажень, а також дії діагностичних або очисних поршнів, на основі сумісного розгляду деформування надземної ділянки і прилеглих до неї частин підземних ділянок.

4. Вперше на основі застосування методу узагальнених переміщень розроблено нестационарні математичні моделі вимушених коливань надземних ділянок магістральних трубопроводів з урахуванням дії рухомого навантаження з боку діагностичного або очисного поршня. Математична модель згинних коливань однопрогонової надземної ділянки трубопроводу з рухомим діагностичним або очисним поршнем узагальнена на випадок багатопрогонової конструкції, встановленої на податливих опорах.

Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблено структуру системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів, яка ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує швидку модифікацію системи та включає редактор для побудови структури надземної ділянки магістрального трубопроводу.

2. Розроблено та реалізовано програмне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу, яке базується на принципах об'єктно-орієнтованого програмування.

3. Розроблено інформаційне, лінгвістичне та методичне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу.

4. Розроблене математичне забезпечення модального аналізу надземних ділянок магістральних трубопроводів дає можливість добирати раціональні геометричні і пружно-дисипативні характеристики надземних ділянок (довжини прогонів, жорсткісні параметри опор, діаметр і товщину стінки труби) з метою забезпечення міцності трубопроводу та усунення резонансних явищ, що можуть бути викликані вітровими навантаженнями або кінематичним збудженням коливань.

5. Запропоновані і захищені патентами на корисні моделі конструкції центраторів для монтажу труб під час проведення ремонтних робіт на трубопроводах дають можливість забезпечити плавне спряження осей труб у місці стику, що сприяє забезпеченню рівномірності руху інтелектуальних поршнів, підвищенню якості технічної діагностики трубопроводів.

Одержані у дисертаційній роботі результати досліджень можуть бути застосовані в процесі проектування, спорудження, ремонту та експлуатації магістральних трубопроводів у підрозділах ПАТ «Укртрансгаз».

Методика динамічного розрахунку прямолінійних надземних ділянок трубопроводу, запропонована у дисертаційній роботі, застосована для оцінки впливу проходження рухомого діагностичного поршня на напружено-деформований стан і міцність надземного переходу МГ «Острогозьк – Шебелинка» II н. Ду 1220, Ру 5,5 МПа, км 165 Куп'янського ЛВУ МГ філії УМГ «ХАРКІВТРАНСГАЗ».

Результати дисертаційної роботи впровадженні у навчальний процес у Національному університеті «Львівська політехніка» і використовуються для викладання дисципліни «Математичне моделювання в САПР» при підготовці бакалаврів за напрямом 6.050101 «Комп'ютерні науки», а також для викладання дисципліни «Автоматизовані системи інженерного моделювання та розрахунку» при підготовці магістрів за спеціальністю 8.05010102 «Інформаційні технології проектування».

Особистий внесок здобувача. Всі результати, отримані при вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: математична модель, алгоритм і програма розрахунку коливань прямолінійної ділянки трубопроводу під дією рухомого діагностичного поршня [1]; математична модель, алгоритм і програма модального аналізу надземної ділянки магістрального трубопроводу [2]; структура САПР надземних ділянок магістральних трубопроводів та визначення температурних напружень у трубі [3]; математична модель, алгоритм і програма розрахунку нестационарних коливань багатопрогової ділянки трубопроводу [6]; конструктивна схема центратора для проведення ремонту трубопроводу [7]; конструкція силового механізму центратора для проведення ремонту трубопроводу [8]; математична модель коливань ділянки трубопроводу з багатосекційним рухомим діагностичним поршнем [9]; математичні моделі динамічних процесів у довгомірних конструкціях з рухомими навантаженнями [10]; математичне і програмне забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів [12]; математична модель коливань ділянки трубопроводу з урахуванням пружної взаємодії з рухомим інтелектуальним поршнем [13]; алгоритм і програма розрахунку коливань ділянки трубопроводу з урахуванням пружної взаємодії з рухомим діагностичним поршнем [14].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на 3-й Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (Львів, 2012); на 1-й і 2-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем» (Кіровоград, 2012, 2013); на 12-й Міжнародній конференції «The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)» (Поляна, 2013); на 11-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2013); на 9-й Міжнародній конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT'2014» (Львів, 2014); на семінарах кафедри «Системи автоматизованого проектування» Національного університету «Львівська політехніка» (2012-2014 рр.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з них 4 – статті у фахових наукових виданнях України та 2 статті – у закордонних виданнях; одержано 2 патенти України на корисні моделі.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 155 найменувань, і 4 додатків. Робота викладена на 194 сторінках, містить 151 сторінку основного тексту, 48 рисунків та 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, викладено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, відомості про їх апробацію, публікації та структуру дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблеми автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів. Встановлено, що забезпечення надійності магістральних трубопроводів являє собою складну науково-технічну проблему і в загальному випадку передбачає розв'язання комплексу задач статичної та динамічної міцності механічних систем. Проте, нормативні документи не містять деталізованих алгоритмів автоматизованого проектування, а розрахункові методи і моделі потребують подальшого вивчення і уточнення.

На сучасному ринку представлено достатньо програмних продуктів загального призначення, що дозволяють за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) оцінити поведінку інженерної конструкції в реальних умовах експлуатації, провести її статичний, динамічний та тепловий аналіз, здійснити оптимізацію. Аналогічні програмні комплекси спеціально створюють і для моделювання складних промислових трубопровідних систем та оцінки їх технічного стану. Незважаючи на переваги САПР, що ґрунтуються на застосуванні МСЕ, слід відмітити, що вони є достатньо складними у застосуванні і потребують значних апаратних потужностей і часових затрат для отримання практичних результатів. Тому паралельно розвиваються методи розрахунку магістральних трубопроводів на міцність, стійкість і коливання, які ґрунтуються на застосуванні стрижневих розрахункових моделей, як таких, що забезпечують необхідну для практики точність розв'язання інженерних задач і не пов'язані зі значними труднощами числової реалізації. Застосування саме таких розрахункових методів під час автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів передбачене СНиП 2.05.06-85.

Основи теорії стрижневих і оболонкових конструкцій висвітлені у працях А.В. Александрова, В.Л. Бідермана, М.В. Василенка, В.З. Власова, А.С. Вольміра, Е.І. Григолюка, О.М. Крилова, Л.Ф. Розіна, А.Р. Ржаніцина, В.О. Светліцького, А.Ф. Смірнова, Н.К. Снітка, С.П. Тимошенка, А.П. Філіна, А.П. Філіпова, В. Флюге та ін. Вагомий внесок у розвиток методів розрахунку і автоматизованого проектування магістральних трубопроводів внесли А.Б. Айбіндер, О.Є. Андрейків, Н.П. Аненков, В.В. Альошин, Б.С. Білобран, П.П. Бородавкін, В.Я. Грудз, І.М. Дмитрах, Г.С. Клишин, С.Ф. Клеванич, А.Я. Красовський,

І.Д. Красулін, Є.І. Крижанівський, Г.М. Никифорчин, І.В. Ориняк, В.А. Осадчук, В.Е. Селезньов, Л.А. Солов'йова, Д. Ф. Тимків, В.М. Тороп, В.Ф. Чекурін та ін.

У результаті проведеного аналізу сучасного стану проблеми автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів, з'ясовано, що саме ці ділянки експлуатуються у найнесприятливіших умовах, вони піддаються дії значних статичних і динамічних навантажень, температурних і сейсмічних впливів, а також дії атмосферного середовища. З розвитком систем трубопровідного транспорту методи розрахунку магістральних трубопроводів і, зокрема, їх надземних ділянок потребують удосконалення і автоматизації.

Розв'язання цього надзвичайно важливого завдання може бути здійснене лише на основі створення спеціальних систем автоматизованого проектування магістральних трубопроводів.

У **другому розділі** розроблено узагальнені математичні моделі для проведення модального аналізу і розрахунку гармонічних вимушених коливань надземних ділянок магістральних трубопроводів під час автоматизованого проектування. Для забезпечення належної точності розрахунків враховується пружна взаємодія надземної ділянки з частинами прилеглих до неї підземних ділянок, що встановлені на пружній основі, а також дія статичної осьової сили, обумовленої перепадом температури. Розглянуто випадки вимушених коливань трубопроводу, що виникають внаслідок дії динамічної складової вітрового навантаження, а також внаслідок кінематичного збудження коливань в період сейсмічної активності земної кори або у зв'язку з віброактивністю силових агрегатів значної потужності.

Для визначення поздовжнього зусилля у надземній та в прилеглих до неї частинах підземних ділянок магістрального трубопроводу розглянуто напружено-деформований стан трипрогонової конструкції, крайні прогоони якої затиснуті у ґрунті і навантажені осьовими силами з боку надземної ділянки, що перебуває під дією температурного впливу. Результати розрахунків засвідчують істотний вплив температурних перепадів на внутрішні зусилля в трубопроводі, а також на напруження, що виникають на зовнішніх поверхнях підземних ділянок.

Для проведення модального аналізу магістрального трубопроводу з надземною і частинами зв'язаних з нею підземних ділянок під час автоматизованого проектування розглядається пружна механічна система, схема якої зображена на рис. 1. Система є суцільною трипрогоною конструкцією, крайні ділянки якої встановлені на пружній основі типу Вінклера і утримують надземну ділянку.

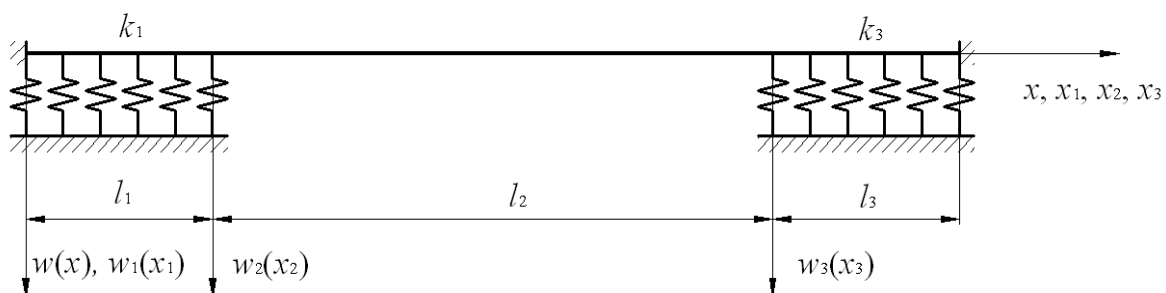


Рисунок 1 – Розрахункова схема надземної ділянки трубопроводу з частинами підземних ділянок

Довжини ділянок позначено як l_i ($i = 1, 2, 3$), а погонні коефіцієнти постелі пружної основи – як k_1 і k_3 (у зв'язку з відсутністю пружного опирання балки на другій ділянці приймаємо $k_2=0$). Для опису згинних коливань трубопроводу застосовано поздовжні координати x_i ($i = 1, 2, 3$) з початками у лівих крайніх перерізах відповідних ділянок і направлених вправо. Прогини здеформованої осі балки на окремих прогонах позначено як w_i ($i = 1, 2, 3$). Ці величини є функціями відповідних просторових координат x_i ($i = 1, 2, 3$) і часу t . Для зручності зображення форм коливань усієї трипрогонової конструкції додатково введено направлену вправо, спільну для усіх ділянок координату x з початком на лівому кінці конструкції.

Із застосуванням технічної теорії згину, рівняння поперечних коливань ділянок механічної системи подано у вигляді

$$\frac{\partial^4 w_i}{\partial \xi_i^4} + \frac{P_i l_i^2}{E_i I_i} \frac{\partial^2 w_i}{\partial \xi_i^2} + \frac{\rho_i A_i l_i^4}{E_i I_i} \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} + \frac{k_i l_i^4}{E_i I_i} w_i = 0 \quad (i = 1, 2, 3), \quad (1)$$

де E_i , ρ_i – модуль пружності першого роду і густина матеріалу трубопроводу; A_i , I_i – площа і осьовий момент інерції поперечного перерізу ділянки труби; P_i – статична осьова сила, що стискає трубопровід внаслідок температурного розширення матеріалу; $\xi_i = x_i/l_i$ – відносні поздовжні координати поперечних перерізів труби.

Для перерізів, що знаходяться на достатній відстані від зазначених перехідних зон, поступальні і обертальні переміщення прийняті рівними нулю:

$$w_1(0,t) = 0; \quad \varphi_1(0,t) = 0; \quad w_3(1,t) = 0; \quad \varphi_3(1,t) = 0. \quad (2)$$

Умови спряження сусідніх ділянок трубопроводу мають вигляд

$$\begin{aligned} w_2(0,t) &= w_1(1,t); \quad \varphi_2(0,t) = \varphi_1(1,t); \quad M_2(0,t) = M_1(1,t); \quad Q_2(0,t) = Q_1(1,t); \\ w_3(0,t) &= w_2(1,t); \quad \varphi_3(0,t) = \varphi_2(1,t); \quad M_3(0,t) = M_2(1,t); \quad Q_3(0,t) = Q_2(1,t). \end{aligned} \quad (3)$$

Тут φ_i – кут повороту поперечного перерізу трубопроводу, M_i – згинальний момент, Q_i – поперечна сила.

Співвідношення (2) та (3) є крайовими умовами, які повинні задовольняти розв'язки рівнянь з частинними похідними (1). Після розділення змінних у співвідношеннях (1)–(3) шляхом застосування матричного методу початкових параметрів розрахунок зведено до задачі на власні числа, розв'язання якої дає можливість розрахунку власних частот і форм механічної системи під час автоматизованого проектування.

Побудована математична модель вільних коливань механічної системи легко поширюється на випадок гармонічних вимушених коливань, що дає можливість розрахунку надземних ділянок магістральних трубопроводів з урахуванням дії вітрових навантажень і сейсмічних впливів.

По аналогії з викладеною, побудована математична модель надземної ділянки магістрального трубопроводу із застосуванням неklasичної теорії балок С. Тимошенка, що дає можливість контролювати адекватність математичного моделювання вільних і вимушених коливань під час автоматизованого проектування, оцінюючи вплив деформацій зсуву і інерції повороту поперечних перерізів труби на характеристики коливальних процесів.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений розробленню математичних моделей і алгоритмів аналізу напружено-деформованого стану і коливань надземних ділянок магістральних трубопроводів, обумовлених дією сил власної ваги трубопроводу і сил, що діють з боку рухомого очисного або діагностичного поршня.

У випадку малої швидкості руху поршня проводимо статичний аналіз напружено-деформованого стану трубопроводу з урахуванням податливості ґрунту у зонах виходу труби на поверхню та в оцінці впливу цієї податливості на згинальні моменти в трубі. Розрахункова модель трубопроводу прийнята у вигляді трипрогонової балки з защемленими кінцями, крайні ділянки якої опираються на пружну основу типу Вінклера (рис. 2), де l_1, l_2, l_3 – довжини прогонів, k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти пропорційності між інтенсивністю реакції основи і прогином трубопроводу; a – координата центра ваги діагностичного поршня, визначена на осі x , що має початок на лівому кінці першого прогону; x_1, x_2, x_3 – поздовжні координати прогонів трубопроводу з початками у їхніх лівих крайніх поперечних перерізах; $y(x)$ – прогин осі ділянки трубопроводу, що є функцією поздовжньої осі x ; $y_1(x_1), y_2(x_2), y_3(x_3)$ – функції, що описують прогини осі труби на відповідних прогонах трубопроводу.

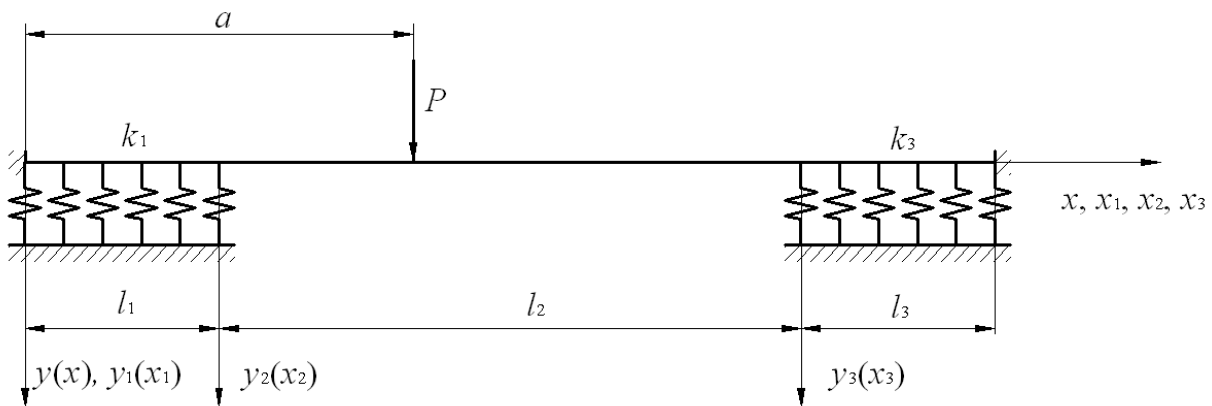


Рисунок 2 – Розрахункова схема надземної ділянки трубопроводу

Диференціальні рівняння зігнутої осі труби на окремих прогонах запишемо у вигляді

$$\frac{d^4 y_1(x_1)}{dx_1^4} + 4\beta_1^4 y_1(x_1) = \frac{q_1(x_1)}{EI_z}; \quad \frac{d^4 y_2(x_2)}{dx_2^4} = \frac{q_2(x_2)}{EI_z}; \quad \frac{d^4 y_3(x_3)}{dx_3^4} + 4\beta_3^4 y_3(x_3) = \frac{q_3(x_3)}{EI_z}, \quad (4)$$

де E – модуль пружності першого роду матеріалу труби; I_z – осьовий момент інерції поперечного перерізу труби; β_1, β_3 – сталі коефіцієнти,

$$\beta_i = \sqrt[4]{\frac{k_i}{4EI_z}} \quad (i = 1, 3),$$

причому, $k_i = k_{1i}d$ – коефіцієнт пропорційності між інтенсивністю реакції основи і прогином трубопроводу (k_{1i} – коефіцієнт податливості ґрунту (коефіцієнт постелі), d – зовнішній діаметр труби); $q_i(x_i)$ ($i = 1, 2, 3$) – інтенсивність розподіленого навантаження на відповідній ділянці балки.

Алгоритм розрахунку побудовано із застосуванням матричного методу початкових параметрів. На основі розв'язання диференціальних рівнянь (4) одержані матричні залежності для оцінки впливу дії розподілених по довжині трубопроводу сил його власної ваги, а також зосередженої в точці з координатою a_i (індекс i набуває значень 1, 2 або 3) сили ваги діагностичного поршня P на напружено-деформований стан ділянки труби

$$F_i(x_i) = A_i(x_i)F_i(0) + F_{qi} + F_{Pi}H(x_i - a_i) \quad (i=1, 2, 3), \quad (5)$$

де $F_i(x_i)$ – матриця-колонка геометричних і силових параметрів поперечного перерізу трубопроводу,

$$F_i(x_i) = \text{col}[y_i(x_i), \theta_i(x_i), M_i(x_i), Q_i(x_i)];$$

$A_i(x_i)$ – квадратні матриці, елементи яких виражаються через фундаментальні розв'язки диференціальних рівнянь (4); F_{qi} , F_{Pi} – матриці-колонки переміщень і внутрішніх сил, обумовлених дією сил ваги трубопроводу і ваги діагностичного поршня, відповідно,

$$F_{qi} = \text{col}[y_{qi}(x_i), \theta_{qi}(x_i), M_{qi}(x_i), Q_{qi}(x_i)], \quad F_{Pi} = \text{col}[y_{Pi}(x_i), \theta_{Pi}(x_i), M_{Pi}(x_i), Q_{Pi}(x_i)];$$

$H(x_i - a_i)$ – функція Хевісайда.

На основі викладеної математичної моделі із застосуванням матричного співвідношення (5) розроблено алгоритм для проведення аналізу напружено-деформованого стану надземних ділянок магістральних трубопроводів.

Для урахування впливу дії рухомого очисного або діагностичного поршня на згинальні моменти і напруження у матеріалі труби розроблена математична модель поперечних коливань прямолінійної надземної ділянки трубопроводу що виникають під час пропуску поршня. Аналіз ґрунтується на застосуванні методу узагальнених переміщень, згідно з яким передбачається задання форм коливань ланки з розподіленими параметрами з урахуванням відповідних крайових умов.

Механічна система, що включає надземну ділянку трубопроводу й рухомий діагностичний поршень, схематично зображена на рис. 3, де l – довжина ділянки; xOy – система координат, у якій розглядаються згинні коливання ділянки трубопроводу; m , J – маса й центральний момент інерції поршня; v – швидкість руху поршня, яка в загальному випадку може змінюватися з часом; x_m – координата центра маси поршня. Густина і модуль пружності матеріалу труби позначаємо як ρ і E ; площу і осьовий момент інерції поперечного перерізу труби – як A і I_z .

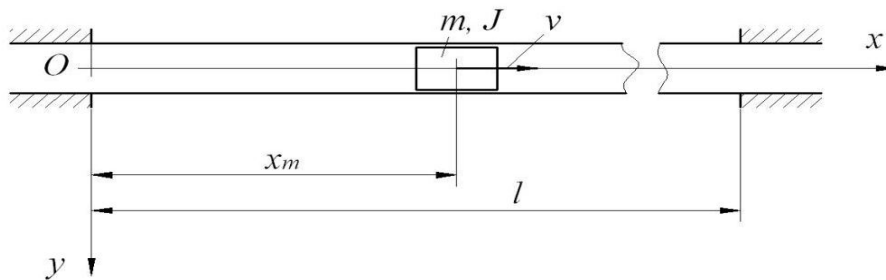


Рисунок 3 – Розрахункова схема надземної ділянки трубопроводу з рухомим діагностичним поршнем

Функцію, яка описує зігнуту вісь ділянки трубопроводу, подаємо у вигляді

$$y(x,t) = \sum_{i=1}^n Y_i(t) \cdot \psi_i(x), \quad (6)$$

де t – час; $y(x,t)$ – прогин трубопроводу; $\psi_i(x)$ – форми коливань, які треба добирати так, щоб виконувалися граничні умови на кінцях ділянки; $Y_i(t)$ – амплітудні коефіцієнти; n – число ступенів вільності механічної системи, що дорівнює числу врахованих форм коливань трубопроводу.

Задаємо залежності $\psi_i(x)$ у вигляді власних форм поперечних коливань стрижня з защемленими кінцями,

$$\psi_i(x) = \psi_{1i}(x) - \frac{\psi_{1i}(l)}{\psi_{2i}(l)} \cdot \psi_{2i}(x) \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

де

$$\psi_{1i}(x) = \cos k_i x - \operatorname{ch} k_i x; \quad \psi_{2i}(x) = \sin k_i x - \operatorname{sh} k_i x.$$

Нелінійні рівняння руху механічної системи одержуємо з урахуванням залежностей (6), (7) за схемою рівнянь Лагранжа другого роду і записуємо як

$$A\ddot{Y} + B\dot{Y} + CY = Q, \quad (8)$$

де Y – матриця-колонка узагальнених координат; A , B , C – квадратні матриці, елементи яких є функціями узагальнених координат; Q – матриця-колонка узагальнених сил.

Початкові умови числового інтегрування системи диференціальних рівнянь (8) одержуємо на основі аналізу напружено-деформованого стану надземної ділянки магістрального трубопроводу, що перебуває під дією сил власної ваги.

Математична модель згинних коливань однопрогонової надземної ділянки трубопроводу з рухомим діагностичним або очисним поршнем узагальнена на випадок багатопрогонової конструкції, встановленої на податливих опорах.

У четвертому розділі розглянуто особливості розроблення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів. Запропоновано структуру САПР для таких складних об'єктів як надземні ділянки магістральних трубопроводів, що базується на модульному принципі (рис. 4).

Блок, який називається центральним монітором системи, здійснює загальне управління всіма підсистемами та забезпечує злагодженість їх роботи. База даних (БД) виконує функцію зберігання результатів розрахунків однієї підсистеми для використання іншою.

Сервісні модулі системи включають:

- модуль, що призначений для управління введенням вхідної інформації і виведенням результатів математичного моделювання і симулювання;
- модуль візуалізації результатів, який реалізує виведення графіків і діаграм;
- обчислювальні модулі, які дозволяють виконувати аналіз динамічних процесів в системі;
- база розрахункових моделей (БРМ), в якій зберігаються моделі систем для проведення розрахунків.

Окрім того, розроблена структура системи включає модуль формування структури надземної ділянки магістрального трубопроводу. Згідно з назвою, цей

модуль призначений для формування структури проектованої ділянки. Ця операція реалізується шляхом простого об'єднання прогонів. Особливістю редактора є те, що він включає графічний інтуїтивний інтерфейс і дає змогу користувачу швидко побудувати проектовану надземну ділянку з заданою кількістю прогонів та опор.

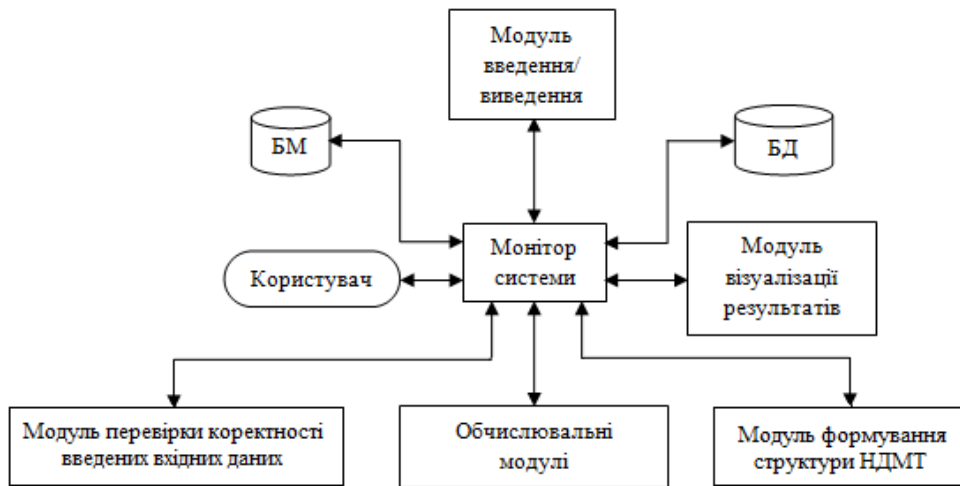


Рисунок 4 – Структура системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу

Для контролю введених вхідних даних призначений модуль перевірки некоректності вхідних даних.

Модульна організація програмної системи дає змогу швидко та ефективно організувати модифікацію програмного продукту.

Розроблене ПЗ дає змогу провести аналіз та дослідження ділянок магістральних трубопроводів з використанням розроблених методів та моделей. Особливістю розробленої системи є те, що модель для аналізу ділянки магістрального трубопроводу має ієрархічну структуру, яка полягає в тому, що моделі надземної ділянки магістрального трубопроводу (МНДМТ) включають різні моделі прогонів (МП), для яких попередньо створюються шаблони.

Така організація напряму пов'язана з структурою надземної ділянки магістрального трубопроводу і дає можливість побудувати модель ділянки в автоматичному режимі та виконати розрахунки із застосуванням розроблених математичних моделей та алгоритмів.

База розрахункових моделей надземних ділянок магістральних трубопроводів включає: прямолінійні однопрогонові ділянки; плоскі криволінійні однопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни; плоскі системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу; просторові криволінійні однопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни; просторові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу; прямолінійні багатопрогонові ділянки; плоскі криволінійні багатопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни; плоскі багатопрогонові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу; просторові криволінійні багатопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни; просторові багато-

прогонові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу.

Математичне і програмне забезпечення системи автоматизованого проектування включає такі обчислювальні модулі: модуль статичного розрахунку напружено-деформованого стану трубопроводів (Class StaticAnalysis); модуль модального аналізу трубопроводів (Class ModalAnalysis); модуль розрахунку гармонічних вимушених коливань трубопроводів (Class HarmonicForcedOsc); модуль розрахунку нестационарних коливань трубопроводів (Class NonStationaryOsc); модуль розрахунку кінематично збуджених коливань трубопроводів (Class KinematicOsc); модуль аналізу стійкості трубопроводів (Class StabilityAnalysis); модуль розрахунку коливань трубопроводів, що перебувають під дією рухомих навантажень (Class MovingLoadOsc).

На рис. 5 подано UML-діаграму класів системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу, що включає набір відповідних класів, їх атрибути та зв'язки між ними.

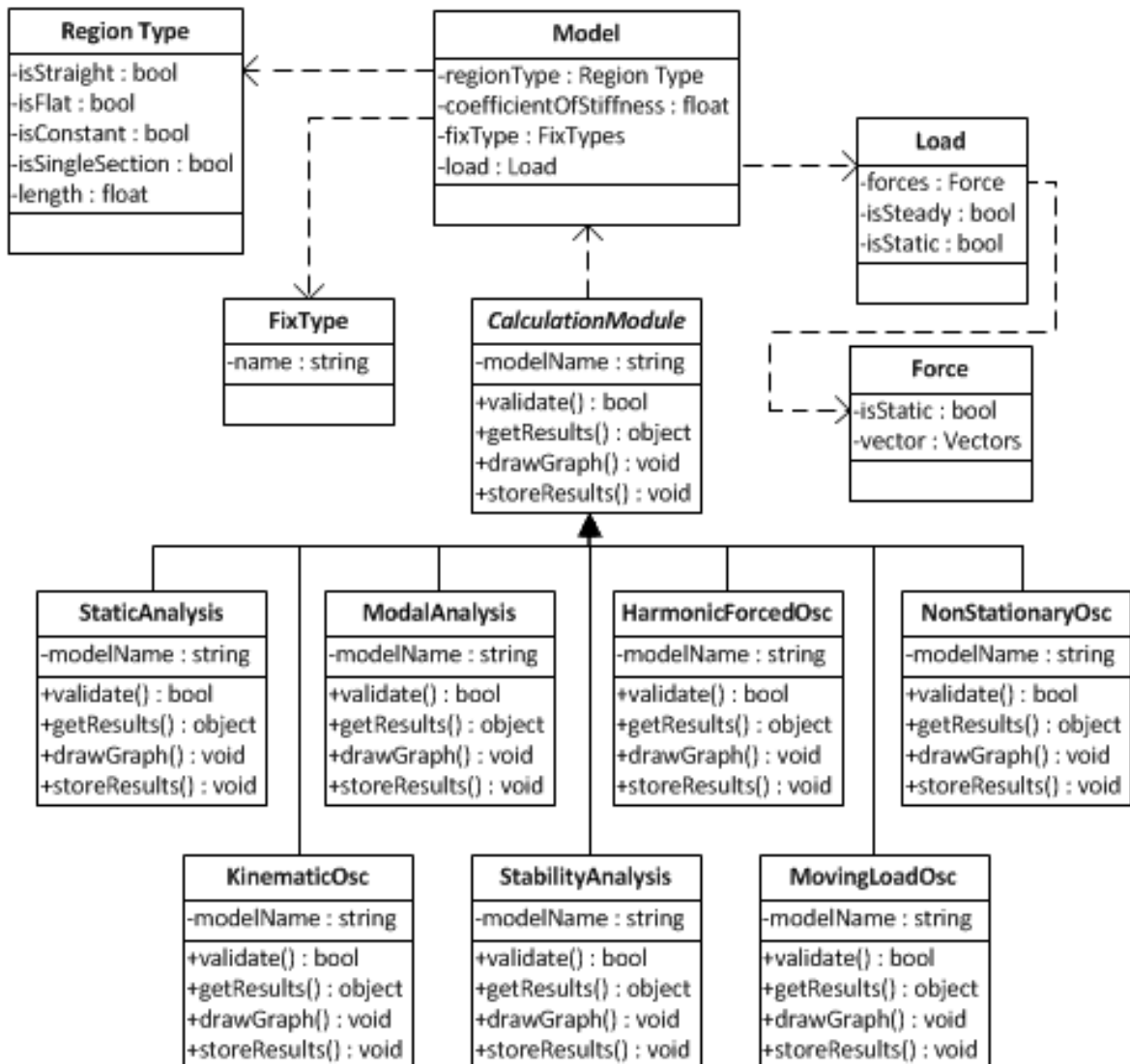


Рисунок 5 – UML-діаграма класів системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу

Розроблено інформаційне, методичне і лінгвістичне забезпечення системи та сформовано базу даних, яка містить низку розрахункових параметрів моделей та їх уточнених математичних моделей динамічних процесів, які виникають у надземних ділянках трубопроводів, що сприяє підвищенню ефективності автоматизованого проектування магістральних трубопроводів.

У п'ятому розділі наведено результати досліджень експлуатаційних параметрів надземних ділянок магістральних трубопроводів із застосуванням програмного забезпечення автоматизованого проектування.

Показано, що зі збільшенням довжини затиснутих у ґрунті частин трубопроводу власні частоти механічної системи спочатку помітно зменшуються, після чого їх значення стабілізуються (рис. 6, а).

Відносні амплітуди власних форм коливань першої і третьої ділянок є значно меншими, ніж максимальні відносні амплітуди коливань другої ділянки. Однак, внутрішні сили на затиснутих ділянках у зонах, що примикають до меж між крайніми ділянками і надземною частиною трубопроводу, набувають значень, сумірних з максимальними значеннями силових чинників. Зазначимо, що із зростанням жорсткості основи відношення згинальних моментів в розмежувальних перерізах до їх максимальних значень на надземній ділянці збільшуються. Зі зростанням довжини затиснутих у ґрунті частин трубопроводу, амплітуди оберտальних переміщень поперечних перерізів, що розмежовують надземний і підземні прогони, спочатку стрімко зростають, а потім асимптотично наближаються до деяких сталих значень (рис. 6, б).

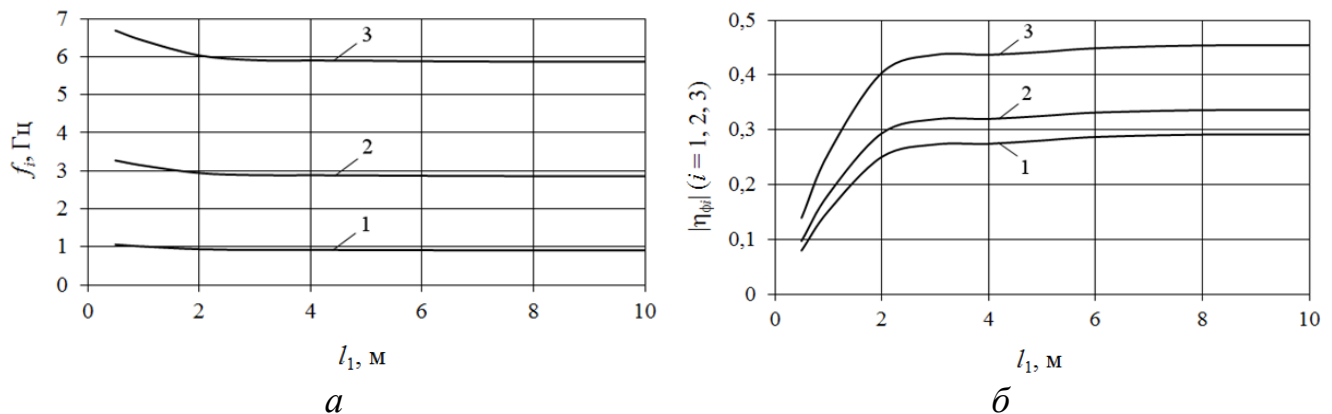


Рисунок 6 – Залежності власних частот надземної ділянки магістрального трубопроводу (а) і обертальних переміщень розмежувальних поперечних перерізів трубопроводу (б), від довжини затиснутих у ґрунті ділянок (номер кривої відповідає порядку номеру власної частоти)

У цьому випадку можна вважати, що достатня для інженерної практики точність розрахунків може бути забезпечена, якщо довжина взятих до уваги підземних ділянок трубопроводу становитиме 6 – 8 м. Одержані закономірності дають можливість обґрунтовано добирати мінімальну довжину підземних ділянок, деформування яких необхідно враховувати у динамічних розрахунках надземних ділянок магістральних трубопроводів під час автоматизованого проектування.

Перевірка адекватності модального аналізу надземних ділянок магістральних трубопроводів проведена шляхом порівняння результатів, одержуваних із застосуванням технічної і неklasичної теорії стрижнів, а також шляхом порівняння результатів теоретичних досліджень з експериментальними результатами, одержаними на фізичній моделі балкового переходу.

Результати статичного аналізу напружено-деформованого стану надземної ділянки трубопроводу показали, що на згинальні моменти у поперечних перерізах труби істотно впливає положення діагностичного поршня. Максимальний згинальний момент виникає в перерізі, що розташований посередині надземної ділянки.

Приклад процесу деформування ділянки трубопроводу довжиною 47 м і діаметром 1200 мм під дією рухомого діагностичного поршня масою 5000 кг, який рухається зі швидкістю 5 м/с, проілюстровано на рис. 7, де зображені криві прогинів (рис. 7, *a*) і згинальних моментів (рис. 7, *б*), побудовані для моментів часу, коли поршень пройшов шлях $0,1l$; $0,2l$; ...; $0,9l$ (криві 1, 2, ..., 9).

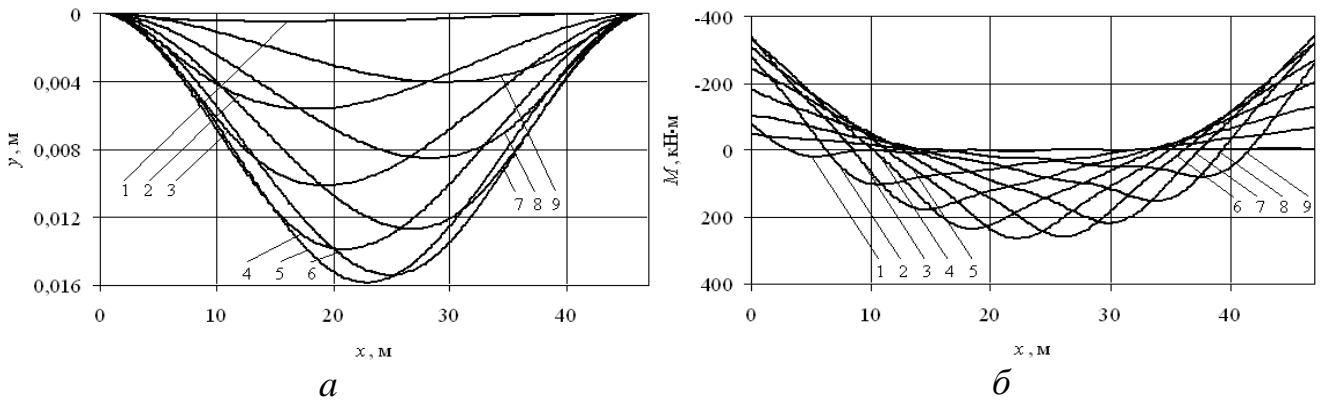


Рисунок 7 – Залежності прогинів (*a*) і згинальних моментів (*б*) від поздовжньої координати поперечного перерізу ділянки трубопроводу у моменти часу 0,94 с; 1,88 с; 2,82 с; 3,76 с; 4,7 с; 5,64 с; 6,58 с; 7,52 с; 8,46 с (криві 1 – 9, відповідно)

Найбільшого прогину значенням 15,979 мм набула точка осі труби з координатою $x = 23,754$ м у момент часу $t = 4,751$ с. Значні згинальні моменти, що можуть впливати на міцність трубопроводу, виникають як у крайніх перерізах ділянки, так і в перерізах, розміщених в області середньої частини ділянки. Найбільший за абсолютним значенням згинальний момент становив $-345,920$ кН·м і виник у поперечному перерізі з координатою $x = 47$ м у момент часу $t = 6,404$ с. Максимальне напруження згину досягло значення 26,266 МПа. Із збільшенням швидкості руху діагностичного поршня спостерігається загальна тенденція до зростання максимального прогину та максимального напруження у трубі.

Як показують результати досліджень, дія рухомого діагностичного поршня на трубопровід може спричинити значні динамічні деформації, згинальні моменти і напруження у матеріалі труби та істотно вплинути на міцність надземної ділянки трубопроводу. Отже, побудовані математичні моделі дають можливість підвищити точність розрахунків надземних ділянок магістральних

трубопроводів в процесі їх автоматизованого проектування, що посприяє ефективності експлуатації нафтогазотранспортної системи у цілому.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання підвищення ефективності автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів на основі розроблення математичного та програмного забезпечення з урахуванням дії постійних статичних навантажень, внутрішнього тиску, вітрових навантажень, навантажень з боку рухомих діагностичних або очисних поршнів, а також температурних і сейсмічних впливів, яке дає змогу підвищити точність інженерних розрахунків та якість проектувальних робіт, а також значно скоротити затрати часу на проектування об'єктів трубопровідного транспорту.

1. Як показує аналіз існуючих методів і програмного забезпечення процесів проектування лінійних частин систем трубопровідного транспорту, розроблення САПР надземних ділянок магістральних трубопроводів становить не лише актуальну, а й достатню складну науково-практичну задачу. Особливої актуальності набуває розвиток математичних моделей напружено-деформованого стану і коливань багатопрогонних надземних ділянок з урахуванням взаємодії труби з податливою основою, а також розроблення методів динамічного розрахунку надземних ділянок з урахуванням дії рухомих діагностичних або очисних поршнів.

2. Удосконалено математичне та програмне забезпечення аналізу вільних і вимушених гармонічних коливань надземних ділянок магістральних трубопроводів на основі сумісного розгляду коливань надземних і прилеглих до них частин підземних ділянок трубопроводів та врахування взаємодії підземних прогонів з пружною основою. Вперше запропоновано метод визначення мінімальних довжин частин підземних прогонів, деформування яких слід враховувати під час проведення розрахунків, та з'ясовано вплив перепаду температури на характеристики власного частотного спектру і амплітуди вимушених коливань механічної системи. Показано, що урахування податливості основи дає можливість збільшити точність визначення власних частот надземної ділянки магістрального трубопроводу на 12–17% і амплітуд згинальних моментів – на 15–22%.

3. Для оцінювання адекватності модального аналізу надземних ділянок магістральних трубопроводів в процесі автоматизованого проектування побудовано математичну модель коливальних явищ із застосуванням неklasичної теорії балок С. Тимошенка. З'ясовано, що деформації зсуву і інерція обертального руху поперечних перерізів трубопроводу мало впливають на першу і другу власні частоти механічної системи. Однак, існує загальна тенденція збільшення впливу цих чинників із зростанням порядкового номера частоти, зменшенням довжини надземної ділянки та збільшенням діаметра труби. Із зростанням коефіцієнта постелі основи похибки визначення нижчих власних частот, пов'язані із застосуванням наближеної технічної теорії згину, дещо збільшуються, а вищих власних частот – зменшуються. Для забезпечення належної точності розрахунків вібрацій коротких надземних ділянок трубопроводів, розташованих поблизу ком-

пресорних станцій, або інших збудників коливань, доцільно користуватися неklasичною теорією балок С. Тимошенка.

4. Удосконалено метод аналізу вимушених коливань надземних ділянок магістрального трубопроводу, що перебуває під дією рухомого навантаження з боку очисного чи діагностичного поршня. Побудована математична модель ґрунтується на застосуванні методу узагальнених переміщень і дає можливість звести розрахунок динамічного процесу до розв'язання задачі Коші для нелінійної системи диференціальних рівнянь за допомогою широко апробованих чисельних методів. Математична модель згинних коливань однопрогонової надземної ділянки трубопроводу з рухомим очисним або діагностичним поршнем узагальнена на випадок багатопрогонової конструкції, встановленої на податливих опорах.

5. Розроблено та реалізовано програмне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів, яке базується на принципах об'єктно-орієнтованого програмування і дає можливість добирати раціональні геометричні і пружно-дисипативні характеристики надземних ділянок (довжини прогонів, діаметр і товщину стінки труби, коефіцієнти жорсткості опор тощо) з метою забезпечення міцності магістрального трубопроводу та усунення резонансних явищ, що можуть бути викликані вітровими навантаженнями або кінематичним збудженням коливань.

6. Розроблено інформаційне, методичне і лінгвістичне забезпечення системи та сформовано базу даних, яка містить низку розрахункових параметрів магістральних трубопроводів та уточнених математичних моделей динамічних процесів, які виникають у надземних ділянках трубопроводів, що сприяє підвищенню ефективності автоматизованого проектування.

7. Як показують результати досліджень, дія рухомого діагностичного поршня на трубопровід може спричинити значні динамічні деформації, згинальні моменти і напруження у матеріалі труби та істотно вплинути на міцність надземної ділянки трубопроводу. Пропуск масивного діагностичного поршня зі швидкістю, близькою до 10 м/с, може спричинити зростання максимального еквівалентного напруження у матеріалі труби на 20–25%. Динамічні напруження зростають зі зменшенням згинної жорсткості трубопроводу і значною мірою залежать від швидкості руху діагностичного поршня, що необхідно враховувати як під час проектування трубопроводів, так і в процесі проведення їх технічної діагностики.

8. Порівняльний аналіз результатів теоретичних досліджень коливань надземної ділянки магістрального трубопроводу з експериментальними результатами, проведеними на фізичній моделі балкового переходу, підтвердили достатню для практики точність математичного моделювання динамічних явищ. Різниця між розрахунковими і експериментальними значеннями першої власної частоти не перевищує 4,5%, другої – 6,0%, третьої – 7,3%.

9. Розроблені у дисертації математичні моделі, розрахункові алгоритми і програмне забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів дають можливість забезпечити необхідну точність розрахунків трубопроводів на міцність, підвищити ефективність автоматизованого проектування магістральних трубопроводів у цілому. Методика динамічного розрахунку прямолінійних надземних ділянок магістральних трубопроводів

застосована Куп'янським ЛВУ МГ філії УМГ «ХАРКІВТРАНСКАЗ» для встановлення можливості проведення внутрішньо трубної технічної діагностики надземного переходу МГ «Острогоськ – Шебелинка» П н. Ду 1220, Ру 5,5 МПа, км 165. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес у Національному університеті «Львівська політехніка».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Теслюк В. М. Математичне моделювання згинних коливань прямолінійної ділянки трубопроводу під дією рухомого діагностичного поршня / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко // Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. – Вип. 69. – Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2013. – С. 126-135.
2. Теслюк В. М. Алгоритм модального аналізу надземної ділянки магістрального трубопроводу з прилеглими до неї частинами підземних ділянок / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко // Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. – Вип. 72. – Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2014. – С. 182-192.
3. Теслюк В. М. Математичне і програмне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Вип. 24.10. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2014. – С. 318-326.
4. Харченко Л. Є. Аналіз напружено-деформованого стану надземної ділянки трубопроводу з урахуванням податливості ґрунту / Л. Є. Харченко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – № 788. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – С. 66-72.
5. Kharchenko L. Modal analysis of aboveground pipeline section based on S. Timoshenko beam theory / Lidiya Kharchenko // Energia w Nauce i Technice. – Białystok – Kleosin : Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2014. – S. 25-41.
6. Kharchenko L. Fluctuation of multi-section aboveground pipeline region under the influence of moving diagnostic piston / Lidiya Kharchenko, Yevhen Kharchenko // Vibration in Physical Systems. – V. 26. – Poznan : Poznan University of Technology, 2014. – P. 105-112.
7. Патент на корисну модель № 91813. Центратор. Ковальчук Р. А., Носов Ю. Є., Палюх В. М., Харченко Л. Є. ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
8. Патент на корисну модель № 93884. Центратор. Ковальчук Р. А., Носов Ю. Є., Палюх В. М., Харченко Л. Є. ; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
9. Теслюк В. М. Математичне моделювання згинних коливань прямолінійної ділянки трубопроводу з урахуванням дії рухомого інтелектуального поршня / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко / Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: Міжнародна науково-практична конференція. – Кіровоград : Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, 2012. – С. 313-315.

10. Теслюк В. М. Математичне моделювання динамічних процесів у довгомірних конструкціях з рухомими навантаженнями / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко / Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: 3-я Міжнародна науково-технічна конференція: Тези доповідей. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2012. – С. 133-134.
11. Харченко Л. Є. Математичне моделювання коливань багатопрогонової балки зі змінними пружно-інерційними характеристиками та з рухомим вантажем / Л. Є. Харченко / Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: II Міжнародна науково-практична конференція. – Кіровоград : Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, 2013. – С. 245.
12. Teslyuk V. Modeling of pipeline vibrations during the movement of cleaning piston / Teslyuk Vasyl, Kharchenko Lidiya / XII-th International Conference. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). – Polyana, 2013. – P. 362-363.
13. Теслюк В. М. Моделювання коливань ділянки трубопроводу з урахуванням пружної взаємодії з рухомим інтелектуальним поршнем / В. М. Теслюк, Л. Є. Харченко / 11-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2013. – С. 89-90.
14. Teslyuk V. Computer-aided design of aboveground sections of pipelines / Teslyuk Vasyl, Kharchenko Lidiya / Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT'2014). – Львів : Вежа і Ко, 2014. – С. 81-82.
15. Харченко Л. Є. Про одне застосування нейронних мереж в системі автоматизованого проектування / Л. Є. Харченко / Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: III Міжнародна науково-практична конференція. – Кіровоград : Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, 2014. – С. 253.

АНОТАЦІЇ

Пасічник Л. Є. Математичне і програмне забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2015.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів.

Розроблено математичне і програмне забезпечення автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів на основі модульного принципу та сумісного розгляду напружено-деформованого стану або коливань надземної ділянки і прилеглих до неї частин підземних ділянок з урахуванням дії сил власної ваги, внутрішнього тиску, температурних, вітрових та сейсмічних

навантажень, а також навантажень з боку рухомих діагностичних або очисних поршнів. Розроблено інформаційне, лінгвістичне та методичне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів. Обґрунтовано практичні рекомендації, спрямовані на підвищення ефективності автоматизованого проектування і експлуатації об'єктів лінійної частини трубопровідного транспорту.

Ключові слова: автоматизоване проектування, математичне забезпечення, програмне забезпечення, магістральний трубопровід, надземна ділянка.

Пасичник Л. Е. Математическое и программное обеспечение автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – системы автоматизации проектных работ. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2015.

Диссертация посвящена повышению эффективности автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов.

Разработано математическое обеспечение модального анализа надземных участков магистральных трубопроводов на основе совместного рассмотрения колебаний надземного участка и прилегающих к нему частей подземных участков с учетом статических нагрузок, обусловленных силами собственного веса, температурными перепадами и взаимодействием подземных участков с упругим основанием. Обосновано способ определения минимальной длины подземных участков, деформирование которых следует учитывать в процессе проведения расчетов, исследовано влияние перепада температуры на характеристики собственного частотного спектра механической системы, включающей наземную участок и прилегающие к нему части подземных участков магистрального трубопровода.

На основе применения метода обобщенных перемещений разработано математическое обеспечение анализа вынужденных колебаний надземных участков магистрального трубопровода, находящихся под действием подвижной нагрузки со стороны диагностического или очистного поршня. Построенная математическая модель изгибных колебаний однопролетного надземного участка трубопровода с движущимся очистным или диагностическим поршнем обобщена на случай многопролетной конструкции, установленной на упругих опорах.

Разработана модульная структура системы автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов и предложены принципы формирования ее математического и программного обеспечения; разработана UML-диаграмма классов системы автоматизированного проектирования.

Составленный алгоритм автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов и разработанная структура САПР дают возможность повысить эффективность процессов проектирования и эксплуатации трубопроводов за счет повышения точности расчетов на прочность с учетом

статических и динамических нагрузок, температурных и сейсмических воздействий.

Предложенные и защищённые патентами на полезные модели конструкции центраторов для монтажа труб при проведении ремонтных работ на трубопроводах дают возможность обеспечить плавное сопряжение осей труб в местах стыка, что способствует обеспечению равномерности движения интеллектуальных поршней, повышению качества технической диагностики трубопроводов.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, математическое обеспечение, программное обеспечение, магистральный трубопровод, надземный участок.

Pasichnyk L. Ye. Mathematical modelling and software of computer aided-design of pipelines aboveground sections. – A manuscript.

Dissertation for obtaining a scientific degree of a Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.12 – Computer-aided design. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2015.

The thesis is devoted to the efficiency improvement of pipelines aboveground sections aided design.

The mathematical models and software for aided design of aboveground sections of pipelines were created on the basis of a modular principle and joint review of stress-strain state or fluctuations of aboveground areas and adjacent parts of the underground areas considering the forces of gravity, internal pressure, temperature, wind and seismic loads, as well as loads of the moving diagnostic or cleaning pistons. The information part, linguistic part and guidance were developed for computer aided design of aboveground sections of pipelines. Practical recommendations are aimed at improving the efficiency of aided design and operation of the linear part of pipelines.

Keywords: computer aided design, mathematical modeling, software, pipeline, aboveground section.

Підписано до друку 27.10.2015 р.
Формат 60×84 /₁₆.
Папір офсетний. Друк на різнографі.
Ум. друк. арк. 1,16.
Зам. № 106673. Наклад 100 прим.

Друк ТзОВ «ЗУКЦ»
79011, м. Львів, вул. Вітовського, 25/10
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 408 від 09.04. 2001 р.
тел. +38 (032) 297-06-76