

РАНЖУВАННЯ ҐРУНТІВ ЗА НЕБЕЗПЕКОЮ ВТРАТИ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВОДАМИ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Л.Я. Побережний¹, А.І. Станецький²

Процеси постачання природного газу супроводжуються значними його втратами. У зв'язку з цим комплексна проблема мінімізації втрат і підвищення ефективності використання енергоносіїв є вельми актуальною і її вирішення дасть змогу зекономити значні кошти, які можна буде спрямувати на забезпечення безперебійності і надійності постачання газу споживачу, підтримку належного функціонування газотранспортної системи загалом.

Вибрано характеристичні критерії та запропоновано методику ранжування ґрунтів за рівнем небезпеки втрати несної здатності тривалоексплуатованими магістральними трубопроводами. Визначено найнебезпечніші середовища за кожною із характеристичних ознак та за їх сумою: МС2 – серед хлоридних та МС 5 і МС 6 – серед хлоридно-сульфатних. Надалі потрібно збільшувати базу експериментальних даних із метою створення комплексної системи корозійного моніторингу магістральних трубопроводів.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, експлуатаційна деградація, втрата несної здатності, ранжування потенційних ризиків.

Вступ. Процеси постачання природного газу супроводжуються значними його втратами (у 2001 р. – 1,93 млрд м³). У зв'язку з цим комплексна проблема мінімізації втрат і підвищення ефективності використання енергоносіїв є вельми актуальною і її вирішення дасть змогу зекономити значні кошти, які можна буде спрямувати на забезпечення безперебійності і надійності постачання газу споживачу, підтримку належного функціонування газотранспортної системи загалом [1]. Вважають, що поведінка сталі трубопроводу в ґрунтах аналогічна її поведінці в разі повного занурення у розчини з відповідним рН. При цьому переважає електрохімічний механізм корозії з утворенням мікрогальванічних елементів.

Мета роботи. Дослідження деформаційної поведінки цієї сталі в умовах навантажень та впливів, які імітують експлуатаційні, дасть змогу краще оцінити залишковий ресурс безпечної експлуатації діючих, та ресурс роботи нових трубопроводів, коректніше прогнозувати експлуатаційні ризики та оцінити рівень потенційних загроз довіллю, спричинених експлуатацією цих технічних об'єктів. Важливо вивчити кінетику деформації у корозійних середовищах, оскільки рівень пошкоджень внаслідок синергічної дії механічного та корозійного чинників зростає нелінійно.

Матеріали і методи. Об'єктом досліджень вибрано магістральні трубопроводи за сталі 17ГС та 19Г на пізній стадії експлуатації. Для дослідження корозійних процесів під напруженням використано комп'ютеризовану установку КН-1 [2]. Випробовування зразків з матеріалу труб газопроводів на повітрі та в рідких робочих середовищах проведено в режимі статичного та повторно-статичного навантаження чистим згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка та зміни електродного потенціалу за допомогою БОМ, використовуючи 24-бітне аналого-цифрове перетворення.

¹ проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

² викл. А.І. Станецький – Івано-Франківський НТУ нафти і газу

Для вивчення кінетики деформації вибрано три рівні номінальних напружень відповідно до величини границь текучості матеріалу трубопроводу $\sigma_{0,2}^*$: 1,05 $\sigma_{0,2}^*$, 1,35 $\sigma_{0,2}^*$ та 1,65 $\sigma_{0,2}^*$, які відповідають штатним, підвищеним штатним та позаштатним режимам роботи трубопроводу відповідно та становлять 330, 420 та 510 МПа. Для коректного виявлення впливу корозійного середовища на деформаційну поведінку сталі трубопроводу повзучість вивчали спочатку на повітрі (імітуючи роботу трубопроводу з непошкодженим ізоляційним покриттям), а потім у модельних середовищах. Час експозиції становив 300000 хв.

Обговорення результатів. Для прийняття управлінських рішень на газопроводах потрібно проводити порівняння експлуатаційних середовищ за сумарним показником імовірності розвитку небезпечних процесів (корозії, втрати несної здатності тощо) з подальшим їх ранжуванням. За результатами проведених експериментів [3-5] запропоновано ранжувати усі досліджувані середовища за такими характеристичними величинами:

- абсолютна величина приросту деформації (величина втрати несної здатності);
- відносна величина приросту деформації;
- кут нахилу завершальної ділянки кривої деформації.

Значення відповідного характеристичного показника на повітрі приймаємо рівним одиниці та розраховуємо за ним відносні показники (бали) для інших випадків. Потім шляхом сумування балів за всіма характеристичними показниками отримуємо кінцевий ранг для кожної комбінації "сталь-середовище-напруження" та визначаємо найнебезпечніші. На першому етапі проводимо ранжування у групі нейтральних ґрунтових електролітів (МС1-МС6) (табл. 1). Отримаємо такі значення балів для кожного характеристичного показника (табл. 2-4).

Табл. 1. Склад модельних середовищ (МС) для випробовувань

№ МС	Концентрація, моль/л			
	NaCl	Na ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄
1	0,01	–	–	–
2	0,05	–	–	–
3	0,1	–	–	–
4	0,005	0,005	–	–
5	0,025	0,025	–	–
6	0,05	0,05	–	–

Табл. 2. Ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за абсолютним значенням деформації

МС	Сталь 17ГС			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	1,41	3,14	5,49	1,41	3,07	6,1
2	1,45	3,18	6,08	1,43	3,24	6,38
3	1,48	3,29	6,14	1,54	3,43	6,86
4	1,47	3,24	6,08	1,52	3,43	7,05
5	1,47	3,47	6,24	1,56	3,62	7,81
6	1,49	3,53	6,86	1,67	3,71	8

Для поглибленого аналізу отриманих результатів доцільно представити їх у графічному вигляді (рис. 1-3). Такий методичний підхід дасть змогу кращого унаочнення і спростить виділення найнебезпечніших типів ґрунтових електролітів.

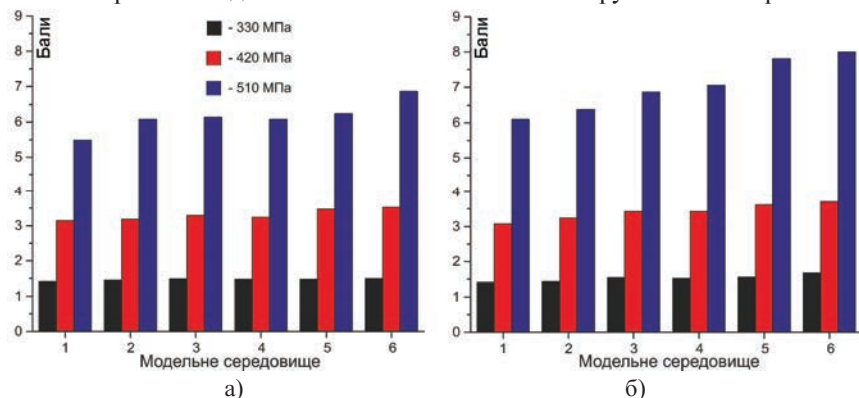


Рис. 1. Відносні показники рівня деформації у МС: а) 17ГC; б) 19Г

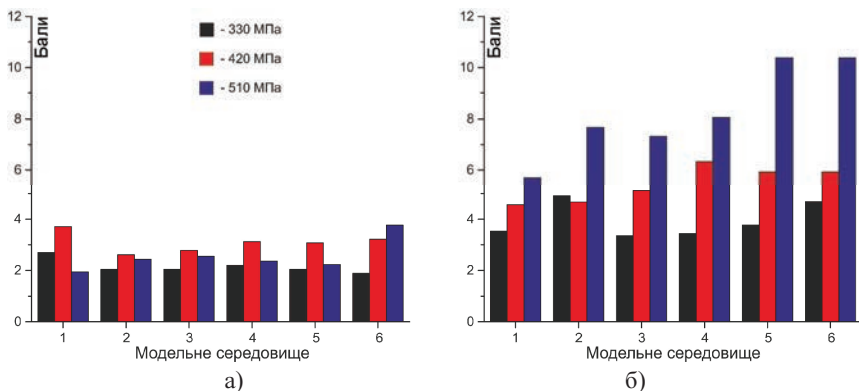


Рис. 2. Відносні показники рівня приросту деформації у МС: а) 17ГC; б) 19Г

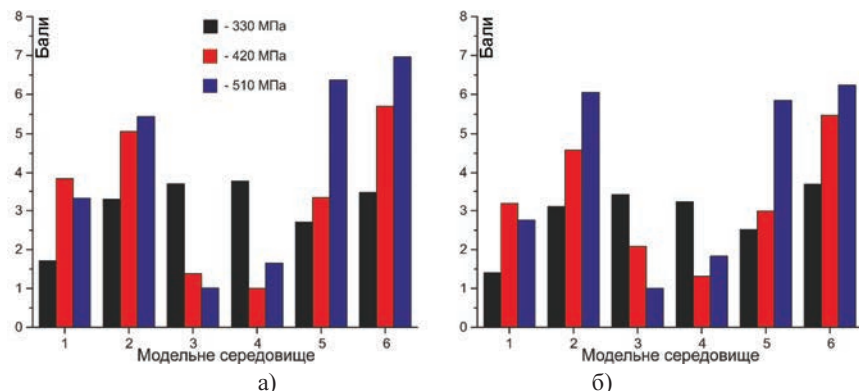


Рис. 3. Відносні показники кутів нахилу деформаційних кривих у МС: а) 17ГC; б) 19Г

Порівняльний аналіз експериментальних даних у графічному вигляді показує більшу схильність тривалоексплуатованої сталі 19Г до втрати показників опору деформаціям, особливо за рівнів номінальних напружень 420 та 510 МПа. Для подальшого порівняльного аналізу величини впливу хімічного складу ґрунтового електроліту та експлуатаційних напружень доцільно використовувати не тільки абсолютні показники деформації, а й величини її приросту у відсотках (див. табл. 3) та відповідні графічні залежності (див. рис. 2).

Табл. 3. Ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за приростом деформації

МС	Сталь 17ГC			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	2,7	3,71	1,94	3,53	4,56	5,69
2	2,04	2,61	2,44	4,91	4,67	7,67
3	2,05	2,78	2,56	3,36	5,12	7,32
4	2,2	3,13	2,37	3,44	6,33	8,06
5	2,04	3,08	2,23	3,77	5,92	10,38
6	1,89	3,22	3,77	4,68	5,92	10,37

Порівняльний аналіз величин приросту деформації вказує на дуже небезпечну тенденцію. Тоді як сталь 17ГC демонструє невисокі показники відносної деградації несної здатності, для сталі 19Г спостерігаємо значні відносні прирости, навіть за мінімального рівня номінальних напружень. Така тенденція свідчить про підвищені ризики виникнення ушкоджень та втрати цілісності труби, особливо в МС2 та МС6.

Для прогнозування показників деформації у часі важливим є визначення відносного рівня нестационарності процесу за кутом нахилу завершальної ділянки деформаційної кривої (див. табл. 4, рис. 3). Проаналізувавши відносні показники кутів нахилу кривих деформації (див. рис. 3) виявлено спільну для обох тривалоексплуатованих сталей тенденцію – за мінімального рівня номінальних напружень у МС2, МС3 та МС4 високі показники нестационарності процесу, тобто, є прихована небезпека довготривалої втрати несної здатності з невеликою швидкістю, що ускладнює її виявлення під час проведення моніторингових заходів.

Табл. 4. Ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за показником кута нахилу завершальної ділянки кривої деформації

МС	Сталь 17ГC			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	1,71	3,84	3,32	1,4	3,19	2,76
2	3,3	5,06	5,44	3,11	4,58	6,05
3	3,71	1,38	1,01	3,41	2,08	1
4	3,78	1	1,65	3,23	1,31	1,83
5	2,71	3,34	6,36	2,51	2,99	5,84
6	3,47	5,71	6,96	3,7	5,47	6,23

Інша виявлена небезпека пов'язана із різкою активізацією небажаної деформації у МС5 та МС6 за високих рівнів напружень. А беручи до уваги підвищену локалізацію корозійних процесів у цих середовищах [6], виникають ризи-

ки втрати стійкості оболонки труби та спонтанного руйнування. Такий сценарій може бути зумовлений перевантаженням труби внаслідок локального зсуву ґрунту, що спричинило важку аварію трубопроводу "Уренгой-Помари-Ужгород" у 2008 р. та, за попередніми даними, є однією з основних причин розгерметизації трубопроводу "Прогрес" у 2016 р. Додавши бали характеристичних показників, отримуємо дані для ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за небезпекою втрати несної здатності тривалоексплуатованими трубопроводами (табл. 5, рис. 4).

Узагальнення показників дає змогу виділити найнебезпечніші серед нейтральних ґрунтових електролітів середовища. Для обох досліджуваних марок сталей це будуть МС2, МС5 та МС6. Також спостерігаємо істотно більший вплив експлуатаційної деградації на несну здатність сталі 19Г, особливо у області підвищених навантажень.

Табл. 5. Ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за трьома характеристичними показниками

МС	Сталь 17ГС			Сталь 19Г		
	330 МПа	420 МПа	510 МПа	330 МПа	420 МПа	510 МПа
1	6,47	12,12	13,26	7,02	12,28	17,46
2	7,46	12,3	16,74	10,14	14,04	23,16
3	7,91	8,95	12,52	9,05	12,27	18,46
4	8,13	8,84	12,87	8,92	12,72	20,31
5	6,89	11,48	17,68	8,59	14,25	27,77
6	7,53	14,08	20,73	10,85	16,88	28,44

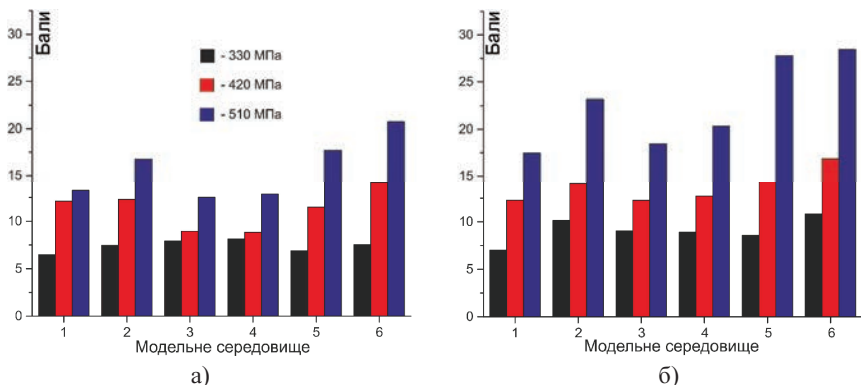


Рис. 4. Ранжування нейтральних ґрунтових електролітів за небезпекою втрати несної здатності матеріалом трубопроводу: а) 17ГС; б) 19Г

Однак найбільш небезпечними для деградованих матеріалів є кислі середовища, ранжування яких за характеристичними показниками буде наступним етапом наших досліджень.

Висновки:

- За результатами хімічного аналізу ґрунтових електролітів вибрано 6 модельних середовищ, які відповідають поширеним в Україні нейтральним ґрунтам.

- Вибрано характеристичні критерії та запропоновано методику ранжування ґрунтів за рівнем небезпеки втрати несної здатності тривалоексплуатованими магістральними трубопроводами.
- Показано, що деградована сталь 19Г більш чутлива до корозійного впливу ґрунтового електроліту.
- Визначено найнебезпечніші середовища за кожною із характеристичних ознак та за їх сумою: МС2 – серед хлоридних та МС 5 і МС 6 – серед хлоридно-сульфатних.
- Надалі потрібно збільшувати базу експериментальних даних із метою створення комплексної системи корозійного моніторингу магістральних трубопроводів.

Література

1. Крижанівський Є.І. Деградація матеріалів нафтогазових об'єктів довготривалої експлуатації та шляхи забезпечення їх працездатності / Є.І. Крижанівський // Розроблення родовищ : зб. наук. праць, 2014. – С. 241-253.
2. Побережний Л.Я. Корозійно-механічна деградація магістральних газопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький // Нафтова і газова промисловість : зб. наук. праць. – 2011. – № 1. – С. 36-38.
3. Побережний Л.Я. Вплив йонної сили ґрунтового електроліту на швидкість корозії металу нафтогазопроводів / Л.Я. Побережний, Т.Ю. Пиріг, А.І. Станецький // Фізико-хімічна механіка матеріалів : зб. наук. праць. – Спец. вип. № 8. – 2010. – Т. 2. – С. 620-624.
4. Побережний Л.Я. Методика визначення області підвищеної корозійної активності вздовж трас пролягання магістральних газонафтопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький, Т.Ю. Пиріг, О.Д. Мельник // Розвідка та розроблення газових та нафтових родовищ : зб. наук. праць. – 2010. – № 4(37). – С. 118-123.
5. Побережний Л.Я. Вплив експлуатаційної деградації на несучу здатність матеріалу магістральних трубопроводів / Л.Я. Побережний, П.О. Марущак, А.І. Станецький // Фізико-хімічна механіка матеріалів : зб. наук. праць. – Спец. вип. № 9. – 2012. – Т. 2. – С. 642-646.
6. Побережний Л.Я. Полікритеріальна оцінка корозійної активності середовища як елемент підвищення надійності магістральних газопроводів / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький // Нафтова і газова промисловість : зб. наук. праць. – 2011. – № 2. – С. 38-40.

Надіслано до редакції 23.02.2016 р.

Побережний Л.Я., Станецький А.І. Ранжировка почв по опасности потери несущей способности трубопроводами на поздней стадии эксплуатации

Процессы снабжения природного газа сопровождаются значительными его расходами. В связи с этим комплексная проблема минимизации потерь и повышение эффективности использования энергоносителей является весьма актуальной и ее решение позволит сэкономить значительные средства, которые можно будет направить на обеспечение бесперебойности и надежности поставок газа потребителю, поддержание надежного функционирования газотранспортной системы в целом. Выбраны характеристические критерии и предложена методика ранжировки почв по степени опасности потери несущей способности продолжительно эксплуатируемыми магистральными трубопроводами. Определены самые опасные среды по каждой из характеристических признаков и по их сумме: МС2 – среди хлоридных и МС 5 и МС 6 – среди хлоридно-сульфатных. В дальнейшем нужно увеличивать базу экспериментальных данных с целью создания комплексной системы коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, эксплуатационная деградация, потеря несущей способности, ранжировка потенциальных рисков.

Poberezhny L.Ya., Stanetsky A.I. Ranking of Soil in Danger Loss of Carrying Capacity of the Pipeline at the Late Exploitation Stage

Processes of natural gas supplies are accompanied with its costs. In connection with this complex problem of minimizing losses and improving energy efficiency is highly relevant and its solution will help save a lot of money that can be directed to ensure continuity and reliability of gas supplies to consumers, support the proper functioning of the gas transport system as a whole. Characteristic criteria are selected. The methods of ranking the level of danger of soil loss bearing capacity of long term exploited pipelines are proposed. We defined dangerous environment for each of the characteristic signs and the following sum: ME2 of chloride and ME 5 and ME 6 of chloride sulphate. There is a further need to increase the base of experimental data to create a comprehensive system of corrosion monitoring of pipelines.

Keywords: pipelines, operational degradation, loss of load capacity, ranking the potential risks.

УДК 656.13

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА ТРИВАЛІСТЬ СЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖНОГО АВТОМОБІЛЯ ДО МІСЦЯ ВИКЛИКУ

*І.В. Паснак¹, О.В. Придатко², А.Ф. Гаврилюк³,
А.В. Колеснікова⁴, Ю.В. Гангур⁵*

Обґрунтовано потребу досліджень поведінки пожежного автомобіля у системі "водій – автомобіль – дорога – середовище" з метою зменшення тривалості його слідування до місця виклику. Виокремлено основні чинники впливу на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику. Отримано залежності впливу чинників на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику, та, як наслідок, впливу цих чинників на площу пожежі. Обґрунтовано доцільність розроблення та вдосконалення наявних математичних моделей руху пожежного автомобіля із врахуванням його поведінки у системі "водій – автомобіль – дорога – середовище".

Ключові слова: тривалість слідування, вільний розвиток пожежі, вулично-дорожня мережа, маршрут слідування, водій – автомобіль – дорога – середовище.

Постановка проблеми. Однією із ключових проблем у царині пожежної безпеки є зменшення тривалості вільного розвитку пожежі. Це, своєю чергою, дасть змогу зменшити збитки, які завдасть пожежа. Аналіз складників тривалості вільного розвитку пожежі свідчить, що в більшості випадків його лівову частку займає слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику. Тому сьогодні вкрай актуальною є проблема пошуку заходів для зменшення тривалості слідування пожежників до місця виклику. Передумовою для цього має бути аналіз чинників, які впливають на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Варто зазначити, що окреслену проблему дослідило багато вчених. Однак у відомих наукових роботах [1-4] вкрай мало уваги приділено аналізу впливу чинників на тривалість слідування пожежного автомобіля, зокрема його взаємодію у системі "водій – автомобіль – дорога – середовище". Частково це питання розглянуто у роботі [5].

¹ доц. І.В. Паснак, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

² доц. О.В. Придатко, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

³ вкл. А.Ф. Гаврилюк, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

⁴ курсант А.В. Колеснікова – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

⁵ курсант Ю.В. Гангур – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є аналіз та виокремлення чинників, які впливають на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику для зменшення тривалості вільного розвитку пожежі. Для розв'язання окресленої задачі досліджено поведінку пожежного автомобіля у системі "водій – автомобіль – дорога – середовище".

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як зазначено вище, для розв'язання пріоритетної задачі зменшення тривалості вільного розвитку пожежі потрібно здійснювати пошук напрямків оптимізації часу слідування пожежних автомобілів до місця виклику. Відомі наукові праці вкрай рідко спрямовують свою увагу на аналіз поведінки пожежного автомобіля у системі "водій – автомобіль – дорога – середовище", що дасть змогу виокремити чинники, які впливають на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику. Тому ця робота спрямована на вирішення актуального науково-технічного завдання, яке передбачає аналіз чинників впливу на тривалість слідування пожежного автомобіля до місця виклику.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Відомо, що на тривалість вільного розвитку пожежі (і, як наслідок, на площу пожежі) найбільше впливає тривалість слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця її виникнення [6].

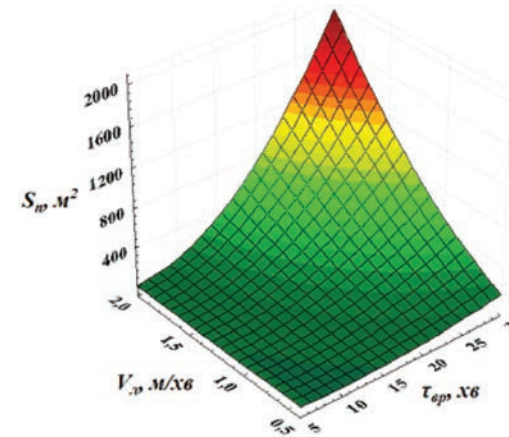


Рис. 1. Поверхня відшуку теоретичної залежності площі пожежі S_p (кутова, 90°) від тривалості її вільного розвитку τ_{sp} та лінійної швидкості розповсюдження пожежі V_{sp}

З використанням пакету прикладних програм STATISTICA отримано теоретичну залежність, що описує поверхню (рис. 1).

$$S_p = 753,6354 - 73,4825x - 876,5551y + 1,4038x^2 + 50,0936xy + 180,658y^2, \text{ м}^2, \quad (1)$$

де: x – тривалість вільного розвитку пожежі τ_{sp} , хв; y – лінійна швидкість розповсюдження пожежі V_{sp} , м/хв.

Залежність (1) дає змогу встановити значення площі пожежі залежно від тривалості її вільного розвитку та лінійної швидкості розповсюдження. Аналіз залежності (1) та рис. 1 показує, що навіть незначне зменшення тривалості віль-