

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Західноукраїнський національний університет**  
**Факультет комп'ютерних інформаційних технологій**  
**Кафедра економічної кібернетики та інформатики**


**ДИВОНЯК Микола Михайлович**

**Імітаційна модель газоспоживання на  
внутрішньому ринку.**  
**Simulation model of gas consumption in the  
domestic market.**

спеціальність: 051 - Економіка  
освітньо-професійна програма - Економічна кібернетика

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи ЕКм-21  
М. М. Дивоняк

  
\_\_\_\_\_

Науковий керівник:  
Шинкарик М.І.

  
\_\_\_\_\_

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту:

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Л. М. Буяк**

**ТЕРНОПІЛЬ - 2022**

методи його продажу для громадян та підприємств, відповідно різні методи ціноутворення в цих секторах ринку.

Крім того, газова промисловість – не єдина галузь, яка займає таке двоєке становище. В подібному стані перебувають інші підприємства паливно-енергетичного комплексу, до складу якого належать підприємства з видобутку і переробки всіх видів палива (паливна промисловість), підприємства з транспортування палива, виробництва й транспортування електроенергії, підприємства з постачання палива споживачам.

Споживання окремих видів палива в економіці України суттєво змінилося протягом ХХ століття. Так, на початку століття найважливішим видом палива залишались дрова, які поступово до середини 50-х років замінило вугілля, що становило більше половини всього палива. Пізніше почала зростати частка нафти й газу. І сьогодні частка газу серед всіх видів палива в нашій країні, як і в багатьох інших країнах Європи, є найбільшою.

До другої світової війни промислові поклади газу були відомі лише в Прикарпатті та на Кавказі, в Заволжі та в Комі АРСР. Спершу вивчення покладів газу було пов'язане лише з розвідкою нафти. Розвідані промислові запаси природного газу на 1940 рік становили 15 млрд.м<sup>3</sup>. Пізніше були відкриті нові родовища як на Україні, так і в Середній Азії та Сибіру. На 1 січня 1980 р. потенційні запаси природного газу в колишньому Радянському Союзі становили 80-85 трлн.м<sup>3</sup>. Більшість цих запасів припадало на східні регіони Росії, яка сьогодні володіє 35-40 % від світових запасів природного газу, що становить 48 трлн.м<sup>3</sup> розвіданих запасів й 235 трлн.м<sup>3</sup> потенційних запасів.

Розвиток газової промисловості в Україні, як і в усьому колишньому Радянському Союзі, відзначався надзвичайно динамічним переміщенням технологій, капіталу, трудових зусиль, супроводжувався грандіозними демографічними процесами, суттєвими соціальними зрушеннями.

Від початку економічної кризи знизилася активність розвідин, будівництво нових трубопроводів, вибули з ладу деякі родовища, на яких закінчились запаси газу. Також відносно скоротилися обсяги замовлень на

виробництво обладнання для газової промисловості, - зокрема труб, призначених для транспортування газу.

Не зважаючи на це в першій половині та в середині 1990-х років газова промисловість працювала стійко, навіть не дивлячись на заборгованість споживачів. Так, станом на 1 січня 1995 р. заборгованість споживачів з Росії та країн СНД перед російськими газовидобувними компаніями становила 2845,2 млрд.руб. Все ж, завдяки високій рентабельності підприємств газової промисловості, яка перевищує 30%, газова галузь залишалася стабільною. Від 1996 року в країнах СНД, зокрема в Україні, починає зростати споживання газу, в Росії, Казахстані та на Україні починає збільшуватись його видобуток. Ця тенденція зберігається по нині.

Тенденції зниження обсягів виробництва газу в країнах СНД протягом 1980-1990-х років подано в додатку А.

На Україні діє єдина система газопостачання, яка включає видобуток палива з покладів, мережу магістральних та місцевих газопроводів, компресорні станції, підземні газосховища, служби обслуговування споживачів, підприємства з випуску газового обладнання. Трубопроводи – єдиний засіб передачі газу на великі відстані. Загальна довжина газових трубопроводів в Росії – 80 тис. км., в країнах СНД – 140 тис.км.

Основні трубопроводи, якими передаються найбільші обсяги газу, сполучають Західно-Сибірську нафтогазову провінцію, Поволжя, Урал та Північний Кавказ з центральною Росією, країнами Балтії, Білорусією, Україною, Молдовою та далі з країнами Східної й Західної Європи.

Газ в Україну поступає основними магістральними трубопроводами: Уренгой – Медвеже – Надим – Вуктил – Ухта – Грязовець – Білорусія – Україна; Уренгой – Іжевськ – Помари – Єлець – Курськ – Жмеринка – Івано-Франківськ – Ужгород – даліше в Європу; Уренгой – Сургут – Тобольськ – Тюмень – Челябінськ – Самара – Сизрань – Ужгород – даліше в Європу; Оренбург – Уральськ – Олександрів Гай – Кременчук – Ужгород – даліше в Європу.

На кінець 1990-х років споживачі з України оплачували лише 85% вартості спожитого газу, з Білорусії – 91,5 %, Молдова залишалася повністю неплатоспроможною, отримувала газ в кредит з Росії.

В країнах Європи від середини 1990-х років попит на природний газ перевищує обсяги його поставок. За таких умов Україна опинилася в ролі посередника, який приймає участь в транспортуванні газу в Західні країни.

Короткий огляд історії становлення сучасного газового ринку в Україні дозволяє перейти до аналізу чинників, які впливають на ціноутворення в цій галузі.

Чи не найважливішим чинником впливу на ціну газу в Україні є політико-економічні інтереси російської монополії «Газпром», яка, будучи економічно-незалежним суб'єктом господарювання, виступає одночасно виразником політичних інтересів Росії. «Газпром» веде співробітництво як з окремими підприємствами, так і з територіальними регіонами. Так, в Росії, цим підприємством укладено 31 договір з регіонами та суб'єктами Російської федерації. Причому в цих договорах беруться до уваги не лише економічні, ринкові аспекти відносин, а й соціально-економічні інтереси регіону.

Подібно до цього протягом минулого десятиліття «Газпром» намагався враховувати економічні інтереси країн СНД, продаючи паливо в кредит, за заниженими цінами, що мало свій історичний соціальний ефект в роки обвальної економічної кризи.

Цінова політика «Газпрому», в тому числі – при взаємодії з іншими країнами СНД виражається чільним місцем цього підприємства в економіці Росії. Це підприємство дає 8% всього ВВП Росії та приблизно 25% всіх податкових надходжень у федеральний бюджет. Тобто російський «Газпром» веде послідовну роботу з розширення споживання газу в Східноєвропейських та Західноєвропейських країнах. Зокрема, розпочато постачання газу в Грецію та Італію через Болгарію, і, починаючи з 2002 року, обсяги транспортування газу через Грецію становлять 2,4 млрд.м<sup>3</sup> за рік. В майбутньому заплановано створити так званий Трансбалканський газопровід, - від Димитровограду

(Болгарія) через Південну Сербію і Чорногорію до порту Бар, далі дном Адріатичного моря до італійського порту Барі.

Інший напрямок розширення газових ринків – через північ Європи - Фінляндію, Швецію та Данію в країни Західної Європи.

Обидва ці напрямки нарощування обсягів збуту газу відзначаються спільною стратегією: добитись транспортування газу в багаті ринки Європи в обхід України, яка поки що виступає монопольним транзитним посередником в процесі постачання газу на Захід.

Подібне розширення газопостачання «Газпром» проводить і східному напрямку.

У внутрішньо-економічному аспекті основною метою роботи російського «Газпрому» на довготривалу перспективу є подальше нарощування видобутку природного газу з підвищенням його частки в енергопостачанні країни, щоб використати сучасні умови так званої «газової кризи» для підготовки до переходу на інші види палива, модернізуючи для цього всі галузі паливно-енергетичного комплексу.

В зовнішньоекономічному аспекті діяльність російських газопостачальних компаній націлена на розширення політичних сфер впливу Росії шляхом втягнення сусідніх та далеких країн в орбіту сировинно-енергетичного притягання Росії з одночасним послабленням політичних впливів інших країн, багатих енергоносіями та з нейтралізацією політичного домінування США над цими країнами.

Особливо виразно видно конкуренцію Росії та США за зони впливу над газоносними територіями та транзитними територіями в країнах Центральної та Південної Азії. Так, країни цього регіону, хоч і споживають всього 3,7% від первинних світових ресурсів, проте на їх території розміщено понад 30% світових запасів вуглеводневого палива, вони лежать між найзначнішими споживачами цього виду палива – Європою та Китаєм й Індією, що мають великий потенціал розвитку. З погляду на це США оголосили цей регіон «зоною життєвих інтересів». І для здобуття нового контролю над нею вдаються

як не до економічних санкцій, то до військової інтервенції в Афганістані, Іраку з подальшим просуванням контролю над транзитними та енергетичними ресурсами країн цього регіону.

За даними аналітичного дослідження [], лише Казахстан, Узбекистан, Туркменистан й Вірменія готові координувати свою політику з Росією, інші ж країни мають або непередбачувану поведінку, або проамериканську, або ж їх вплив на обіг вуглеводневих потоків в регіоні незначний.

Подібно до цього південного напрямку розширення політичних сфер впливу разом з контролем над енергетичними ресурсами й транзитними територіями, Росія намагається втримувати енергетично-ресурсні та політичні впливи в Західному напрямку, що робить Україну об'єктом політико-економічних маніпуляцій «Газпрому» та і Російської держави загалом.

Стосовно України протягом 1990-х років «Газпром» дотримувався цінової політики, подібної до співробітництва з внутрішніми регіонами Російської Федерації. Коли ж Україна почала заявляти про політичне зближення з Західною Європою, що є природно з уваги на історико-культурні традиції нашого народу, так цінова поведінка «Газпрому» змінилася відповідно до наступного правила: чим менш погоджена спільна політика України з Росією, тим вищі ціни Україна має платити за газ. Одночасно, щоб посилити ефект від такого методу ціноутворення, Росія почала інтенсивно прокладати трубопроводу в Західну й Південну Європу в обхід України.

«Газова війна», яка спалахнула між Києвом і Москвою у січні 2006 року показала, що Україна, країни Західної та Східної Європи мають менший ресурс часу, що припадає на «газову паузу», який необхідно використати для модернізації паливно-енергетичного комплексу, ніж Росія, багата сировинними ресурсами, добування яких нині налагоджено.

На жаль, за роки незалежності, влада в Україні нічого не зробила для підвищення енергетичної безпеки країни, для створення передумов енергетичної незалежності. Навпаки – скорочення обсягу видобування власного газу з одночасним збільшенням імпорту з Росії та Казахстану – посилити

енергетичну залежність від цих країн, що, за логікою політичних їх доктрин тягне також необхідність політичного підпорядкування України міжнародним інтересам цих держав.

Правові й дипломатичні заходи, вжиті Україною, аналогічні заходи, які неминуче доведеться повторювати в майбутньому – призведуть лише до сповільнення цільових апетитів головного постачальника газу в Україну. Це означає, що найближчим часом й на середньо-тривалу перспективу ціна на газ в Україні залежатиме від політичних рішень країни-постачальника газу – Росії, Казахстану. Тобто українським споживачам газу доведеться очікувати різких підвищень ціни на газ, які можуть бути непередбачувані, вводитися без попередження і під час найнесприятливіших умов – в зимовий період, коли тривають Новорічні й Різдвяні свята.

В засобах масової інформації [ ] неодноразово повідомлялося про роль тіньових факторів в ціноутворенні на ринку газу в Україні. На жаль, посилення політичного тиску на Україну в газовому питанні не дає підстав сподіватися, що впливи таких тіньових факторів послабляться.

Ці висновки дозволяють стверджувати, що в енергозабезпеченні Україна наблизилася до прикінцевої фази «газової паузи», в якій назріла потреба активізувати використання альтернативних джерел енергії та тепла, а також – розширити використання нині традиційних енергоресурсів з джерел, які вважаються вичерпними або малоефективними.

Тобто відпускна ціна на газ для споживачів в Україні також залежатиме від обсягів власного паливного забезпечення, побудованого на традиційних і новітніх, «нетрадиційних» джерелах енергії.

Як і тепер, так ще більше в майбутньому ціна газу залежатиме від наближення до кінця «газової паузи». Спостереження за нинішнім розширенням ринку споживачів газу, яке супроводжувалося здешевленням цього виду палива на ранніх стадіях його використання, дозволяє зробити висновок, що для цього виду палива ціна спочатку зменшуватиметься, досягне деякого мінімального значення, а далі – зростатиме. Причому, чим далі від

мінімуму, чим ближче до кінця «газової паузи», тим ціни на газ ставатимуть вищими. Аж до того, що споживати газ стане не вигідно в порівнянні з використанням інших видів палива.

Вище було названо ряд глобальних факторів впливу, від яких залежить ціна газу в даний час й на довготривалу перспективу в Україні та ряді інших країн. Крім цих, крупно масштабних чинників, ціна газу й доходи від його постачання залежать від ряду локальних особливостей, що стосуються економіки України, її газотранспортної системи та характеру споживання газу споживачами в побуті та промисловості.

Нижче продовжується аналіз ціноутворюючих чинників, які мають локальне походження, і пов'язані зі збутом газу, особливостями місцевого ринку.

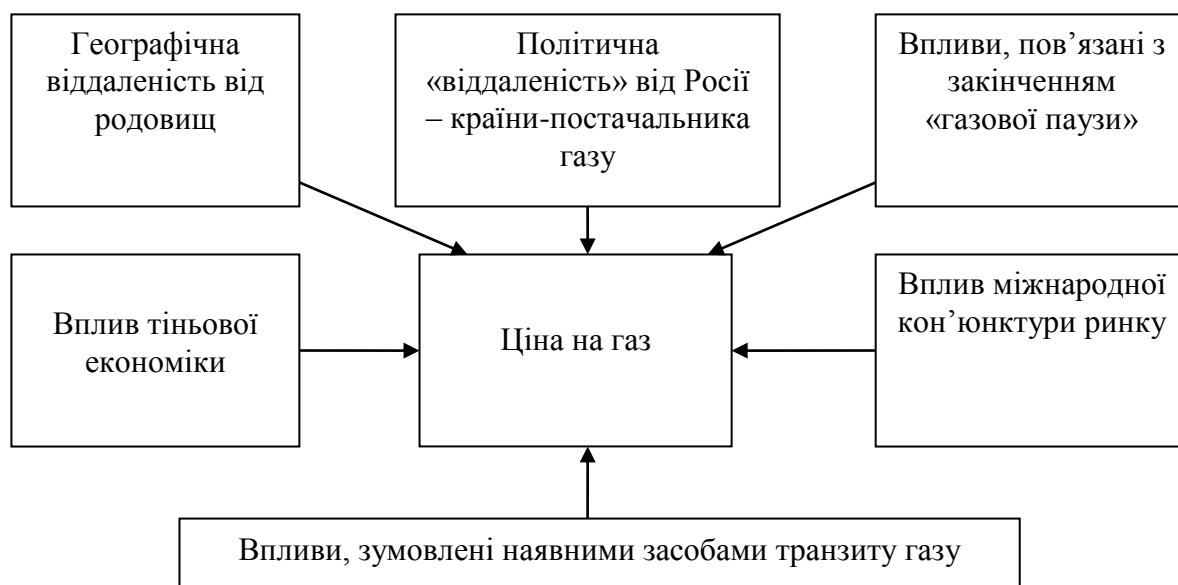


Рис. 1.1. Схема впливу глобальних чинників, які позначаються на ціні газу

Споживання газу належить до категорії споживання товарів першої необхідності. Від споживання газу громадяни не можуть відмовитись, адже з ним пов'язані дві основні фізіологічні потреби – приготування їжі та опалення приміщень. З уваги на це зрозуміло, що для газу немає оптимальної ринкової ціни, при якій постачальник отримав би найбільші прибутки. Найвигідніше



постачальнику дедалі більше підвищувати ціни на газ. Обмеження росту ціни на газ може бути зумовлене лише двома чинниками: правовим регулюванням з боку держави та зниженням рентабельності газової промисловості в порівнянні з становленням альтернативних форм енергопостачання. Втім, сьогодні останні впливи мізерні, хоча в майбутньому саме вони впливають як основний прояв «кінця газової паузи», призведуть до поступового зниження частки газу в загальному енергопостачанні.

## **1.2. Особливості та тенденції ціноутворення на ринку газу**

Споживання газу належить до категорії споживання товарів першої необхідності. Від споживання газу громадяни не можуть відмовитись, адже з ним пов'язані дві основні фізіологічні потреби – приготування їжі та опалення приміщень. З уваги на це зрозуміло, що для газу немає оптимальної ринкової ціни, при якій постачальник отримав би найбільші прибутки. Обмеження росту ціни на газ може бути зумовлене лише двома чинниками: правовим регулюванням з боку держави та зниженням рентабельності газової промисловості в порівнянні з становленням альтернативних форм енергопостачання (рис.1.4). Втім, сьогодні останні впливи мізерні, хоча в майбутньому саме вони впливають як основний прояв «кінця газової паузи», призведуть до поступового зниження частки газу в загальному енергопостачанні.

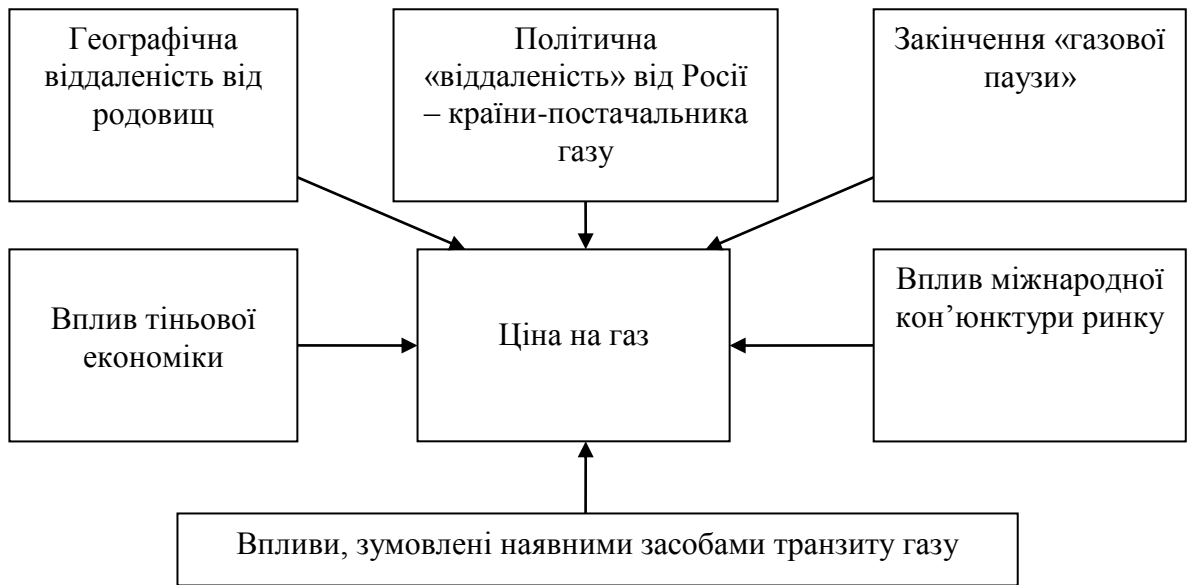


Рис. 1.4. Схема впливу глобальних чинників, які позначаються на ціні газу

Останні тенденції стосуються відрахування вартості спожитої одиниці газу відносно середнього доходу населення. Схематично описані тенденції зображені на наступних ілюстраціях (рис. 1.5 – 1.7).

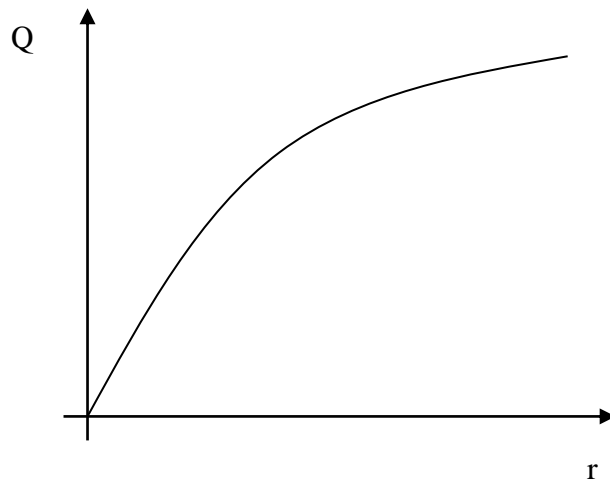


Рис. 1.5. Схематичний графік збільшення обсягів споживання товарів першої необхідності  $Q$  від величини купівельної спроможності  $r$

Оскільки величина  $Q(r)$  зростаюча, опукла, тому екстремум функції  $Q(r)$ , що відповідає максимальним доходам газопостачальної компанії, припадає на

праву межу області значень  $r$ , тобто газотранспортна компанія зацікавлена у необмеженому зростанні ціни газу.

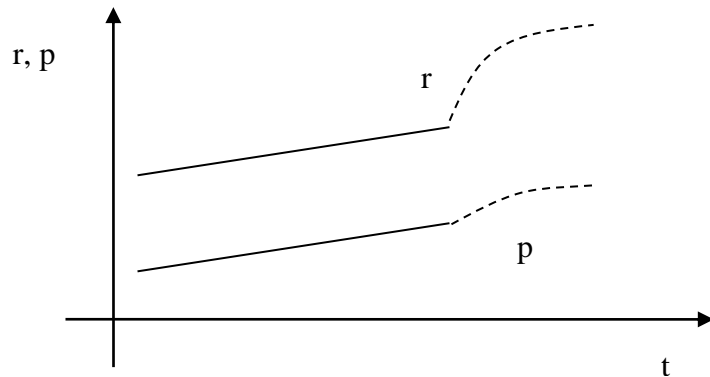


Рис. 1.6. Схематичний графік існуючої (пряма лінія) та гіпотетичної (пунктирна лінія) залежності платоспроможності  $r(t)$  та ціни  $p(t)$  за газ

При існуючій тенденції ціну на газ визначають як величину, пропорційну платоспроможності більшості населення:

$$p = \alpha r, \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  – деякий коефіцієнт пропорційності.

Протягом декількох останніх років середня платоспроможність більшості населення зростала приблизно на 2-3% за рік, що дозволяє зробити висновки про відповідне стрибкоподібне підвищення ціни на газ, що схематично зображено на рис. 1.7.

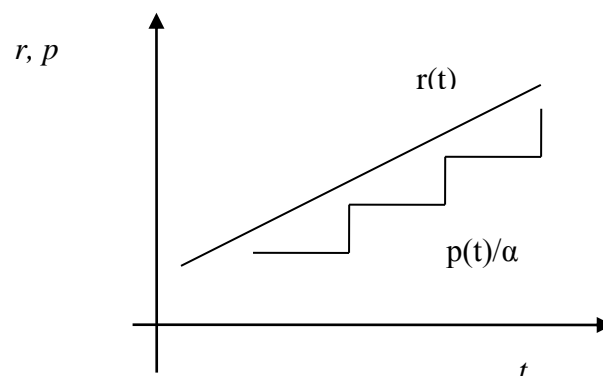


Рис. 1.7. Схематичне зображення повільного росту платоспроможності  $r$  та прив'язаного до неї стрибкоподібного збільшення ціни на газ

Споживання газу залежить від економічної структури суспільства. Іншими словами – дещо багатші громадяни можуть собі дозволити краще опалення, ніж бідніші їх співвітчизники. Оскільки в поставленій задачі – не береться до уваги промислове споживання газу, а враховується лише оплата за газ, спожитий в побуті, для дослідження залежності споживання газу від величини заощаджень (доходів) достатньо врахувати розподіл кількості громадян за цими величинами (опускаючи питання розподілу підприємств за величиною енергоспоживання).

Як показано в [12], розподіл кількості громадян за величиною заощаджень в країнах з перехідною економікою, має два максимуми, які відповідають малим доходам більшості громадян та великим доходам незначної групи людей, котрі володіють значною частиною національних багатств.

Схематично розподіл кількості людей за заощадженнями в Україні показано на рисунку 1.8.

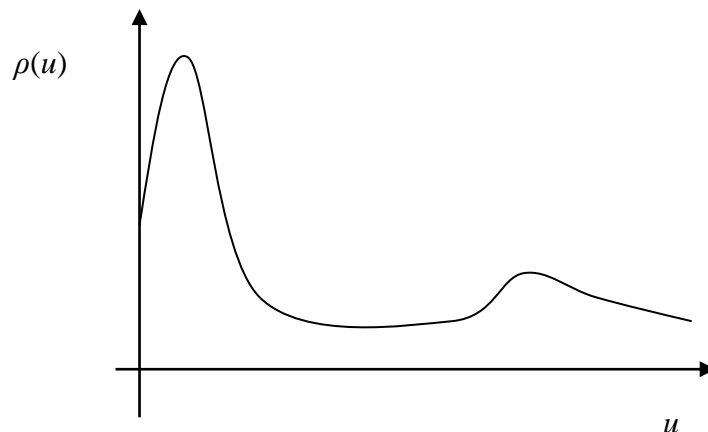


Рис. 1.8. Схематичний графік розподілу кількості людей  $\rho$  від величини заощаджень  $u$

Оскільки в дійсності другий максимум бімодального розподілу  $S(n)$  охоплює дуже малу частку людей, і їхнє споживання газу мало відрізняється від споживання більшості громадян, тому, шукаючи математичний опис залежності величини спожитого газу від величини заощаджень  $U$  маємо підстави знехтувати наявністю другого максимуму в  $S(n)$ , вважаючи, що найбагатші громадяни споживають газ на рівні з «середнім класом».

Емпірично доведено, що суттєво на ціну газу впливають своєрідні для галузі «накладні витрати». Нижче приведемо огляд деяких з таких «накладних витрат».

Автоматизація обліку енергоносіїв – одна з важливих ланок зниження собівартості газу в Україні. В даний час триває проектування і встановлення засобів автоматизованого контролю споживання газу в побутовому секторі. Масове впровадження газових лічильників – один з перших етапів цієї роботи, який здебільшого завершений, але, як продовження цього проекту, тривають роботи з впровадження автоматизованих засобів збору даних про обсяги споживання. Розгортання таких систем автоматизованого контролю за енергоспоживанням сьогодні належить до основних факторів зниження рентабельності у газопостачанні. Причому перспективи розвитку цієї галузі зберігаються дуже широкі – аж до інтегрування облікових систем енергопостачання з інформаційними платіжними банківськими системами.

Поступлення за спожитий газ залежать від двох сезонних чи календарних чинників. Розхід газу на опалення прив'язаний до змін пір року, на які накладається випадкове зростання або спад розходу, викликане відповідно похолоданням й потеплінням. Оскільки плату за газ громадяни вносять з деяким запізненням в порівнянні з внесенням платежів, тому поступлення за спожитий газ вираховуються як інтеграційний показник, вирахований на основі періодичних та випадкових складових споживання газу протягом деякого минулого періоду. Також при внесенні плати за газ громадяни допускають деяку заборгованість. Вираховуючи величину поступлень за газ, необхідно брати до уваги особливості формування заборгованості та її погашення. Схематично вплив локальних факторів, які визначають ціну газу, на обсяги поступлень за його споживання показано на рис. 1.9.



Рис. 1.9. Схема локальних чинників, що впливають на ціну газу та обсяги поступлень від його споживання

Приведений огляд сучасного стану ціноутворення на ринку газу в Україні показує, що цей сегмент ринку суттєво залежить від геополітичного та газотранзитного визначення базового рівня цін на газ в Україні. Крім того, ціна на газ залежить від особливостей ціноутворення на газ як продукт першої необхідності за умов перехідної економіки, від сезонних коливань споживання газу та випадкових відхилень у обсягах його споживання. Доходи від постачання споживачам газу залежать від періодичності їх внесення та величини заборгованості за раніше спожитий газ. Також на вартості газу позначається постійне оновлення виробничих технологій, триваючі інноваційні інвестування в галузі. Відносно короточасні техніко-економічні процеси відбуваються за умов повільного наростання довготривалих тенденцій розвитку

нетрадиційних видів енергопостачання, які в майбутньому повністю витіснять сучасні газові види енергопостачання.

Такі узагальнення приводять до висновку, що для моделювання ціноутворення в газовому секторі ринку енергопостачання та врахування доходів від постачання газу необхідно будувати динамічну техніко-економічну модель, яка б враховувала як рух сировини й альтернативних її замінників, так і обіг й розподіл пов'язаних з цим коштів. У зв'язку з подорожчанням імпортованого газу для України знову стала актуальною програма розвідки й видобутку власного газу. А також – відновлення роботи промисловості з випуску геологорозвідувального обладнання та обладнання для газової промисловості.

### **1.3. Аналіз методів моделювання та програмних інструментів газоспоживання**

Результати огляду існуючих моделей показали, що існує два основних підходи до математичних моделей та методів газоспоживання – детермінований та стохастичний.

Найпростіші методи аналізу газонавантажень пов'язані з дослідженням максимальних, мінімальних та усереднених рівнів газоспоживання за добу (Г.Шишко, М.Єнін). За математичну модель, в такому випадку, взято детерміновану функцію, яка описує газоспоживання протягом однієї доби. Такий підхід має обмежені можливості для опису реальних сигналів і може використовуватись для характеристики режимів споживання газу лише за одним зареєстрованим циклом.

Значною мірою наведені вище підходи удосконалюються при використанні стохастичних математичних моделей газоспоживання. Перші кроки у цьому напрямку було зроблено А.Гарляускасом, В.Панкратовим, М.Буланою. Характерною ознакою їх робіт є спроба ідеалізувати

процес газоспоживання, математичною моделлю газонавантажень при цьому вважають ергодичний стаціонарний у широкому розумінні процес. Грубе „приведення” нестаціонарних процесів до стаціонарних та нехтування циклічними властивостями сигналу є спрощенням дійсності та не дозволяє поглибити опис сигналів до рівня, необхідного для потреб покращення управління режимами газоспоживання. Однією з найпростіших моделей, яка враховує циклічність досліджуваного сигналу, є так звана „адитивна” модель (В.Попадько) – сума стаціонарного в широкому розумінні випадкового процесу та детермінованої періодичної функції. Дослідники М.Приймак та О.Мацюк для опису газоспоживання пропонують наступні моделі: модель періодично-корельованого випадкового процесу (ПКВП) та стохастично-періодичний випадковий процес за Слуцьким. Ці моделі мають низку переваг у порівнянні з вищерозглянутими, проте не позбавлені і певних недоліків.

Тобто огляд універсальних підходів до побудови динамічних моделей складних систем приводить до наступних висновків. Шукана модель поступлень від споживання газу має бути динамічною моделлю, побудованою як з урахуванням апріорних даних про особливості поведінки постачальників та споживачів газу, так й з повторенням методики проектування універсальних моделей, зокрема виділення ідентифікаційних рівнянь, записаних для наявних експериментальних даних, та моделюючих рівнянь, що відтворюють характерні особливості цих даних. Крім того, модель споживання газу повинна враховувати особливості випадкового споживання газу – як величини, що входить в динамічні співвідношення.

#### Динамічне моделювання випадкових процесів

Споживання газу залежить від випадкових чинників. Для газопостачальної компанії випадкові сплески або спади у величині споживання залежать від збігу природних та кліматичних умов. очевидно, що ці два чинники випадкових відхилень споживання газу необхідно враховувати



окремо, але для їх максимального опису доцільно застосовувати один і той же математичний апарат.

Для опису випадкових динамічних процесів застосовують методи статистичної теорії [34].

Достатньо загальний опис динаміки неперервних статистичних процесів задає диференційне рівняння

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= F(x,t) + \xi(x,t) \\ x(t_0) &= x_0 \end{aligned} \quad (1.1)$$

де  $x$  – вектор станів динамічної системи, в якій відбуваються випадкові події,  $F(x)$  – не випадковий вектор, функція своїх аргументів,  $\xi(x,t)$  – випадковий процес з відомими імовірнісними характеристиками, які можуть залежати від вектора  $x$ .

Проте, його застосування пов'язане з двома складними обчислювальними задачами. По-перше, це ідентифікація його параметрів, зокрема коефіцієнтів переносу та дифузії, по-друге, вирахування розв'язків з допомогою числового диференціювання. Втім цю складність легко обійти, адже розв'язок рівняння (1.1) задається розподілом виду:

$$\pi(x,t) = \pi_0 e^{-\frac{u^2(x)}{G^2}} \quad (1.2)$$

В більшості практичних випадків, що стосуються задач економіки розподіл  $\pi(x,t)$  для стаціонарних процесів вдається встановити на основі експериментальних спостережень. При такому підході задача моделювання випадкової складової обсягів споживання газу зводиться до імітаційного моделювання випадкового процесу з законом розподілу, встановленим за експериментальними спостереженнями. Крім імітаційних підходів для моделювання динамічних стохастичних систем застосовують методи, аналогічні до макромодельних підходів у випадку детермінованих систем.

Приведений огляд методів моделювання стохастичних динамічних систем показує, що ці методи придатні для розв'язування однієї з задач, що

постає під час моделювання споживання газу. А саме – вони виступають адекватним математичним інструментом для опису величини випадкових відхилень в подачі газу постачальником  $u(t)$ , величини випадкових відхилень у споживання газу в побутовому секторі споживачами  $y(t)$ , випадкових похибок вимірювань, пов'язаних із збором інформації  $v(t)$ . Причому, як зазначалося вище, величина випадкового споживання газу в побутовому секторі має дві адитивні складові

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t), \quad (1.3)$$

які відповідають збуренням в споживанні газу, викликаних кліматичними та соціальними умовами.

Отже, методи стохастичного динамічного моделювання доцільно вжити для опису відповідних окремих випадкових явищ, що відбуваються під час споживання газу, намагатись одночасно скористатись ними в такому обсязі, щоб не торкати складні обчислювальні проблеми, пов'язані з ними. Для опису ж детермінованих складових споживача газу – використати методи моделювання детермінованих коливних процесів, методи економіко-математичного моделювання боргу та диференційовані імітаційні методи опису зростання ціни газу.

Моделювання циклічних процесів з випадковими складовими

Для моделювання таких величин як обсяги спожитого газу в практиці економічного аналізу широко застосовують методи виділення тренду з їх подальшим аналізом й моделюванням тими чи іншими методами. В поставленій задачі величина поступлень за спожитий газ  $y(t)$  залежить від часу як адитивна функція трьох компонент: тренду  $g(t)$ , який відображає тенденції ринку;  $s(t)$  – періодичних коливань, прив'язаних до пір року,  $\xi(t)$  – випадкової складової, про яку достатньо йшлося в попередньому пункті:

$$y(t) = g(t) + s(t) + \xi(t) \quad (1.4)$$

Як відомо [35], виділення тренду з експериментально спостережуваного ряду нерідко призводить до суттєвого викривлення коливних та випадкових

складових спостережуваного процесу, тому виділяючи тренд доводиться аналізувати закони розподілу відхилення тренду від реальної величини за відповідними статистиками [36], які вказують, чи під час згладжування не було викривлено наявність періодичних компонент в експериментально спостережуваному ряді. Проте, в поставленій задачі немає потреби доводити наявність періодичної компоненти, адже сезонне коливання величини споживання газу є апіорно відомим, тому для моделювання обсягів поступлень за спожитий газ також придатний підхід, запропонований у [37]. Для опису коливних процесів з змінною амплітудою та випадковими відхиленнями вибрано апроксимацію ряду

$$y(t_k), k = 1, \dots, N \quad (1.5)$$

алгебраїчним виразом

$$y(t) = g(t) + a(t) \cos \left( \frac{t - t_0 - \sum_{i=1}^k T_i}{T_{k+1}} 2\pi \right) + \varepsilon(t) \quad (1.6)$$

де  $g(t)$  – основна складова (тренд);  $a(t)$  – повільна змінна амплітуда коливань;  $t_0$  – початковий момент часу ряду (1.5);  $T_i$  – проміжок часу між  $i$ -тим та  $i+1$  максимумами в ряді (1.6);  $k+1$  – кількість максимумів в (1.5), що спостерігалися до моменту часу  $t$ ;  $\varepsilon(t)$  – випадкова складова з нульовим математичним сподіванням.

Така модель придатна для відтворення процесу з повільною зміною тренду, відомими наявними періодичними складовими. Зокрема, за її допомогою легко відтворити процеси, пов'язані зі збутом газу та формуванням поступлень за наданий газ. Проте в цій моделі важко врахувати очікуване стрибкоподібне підвищення ціни на газ, вона не враховує специфічне коливання величини заборгованості за газ, а також – дуже спрощує відображення випадкової складової, замінюючи всі апіорно відомі тенденції однією випадковою складовою  $\varepsilon(t)$ . Разом з тим з останньої моделі доцільно

запозичити підхід, що передбачає моделювання тренду та повільно-змінної амплітуди коливного процесу.

Проведений порівняльний аналіз існуючих математичних моделей газоспоживання показав, що відомі моделі мають вагомні недоліки, а тому існує об'єктивна необхідність побудови нової конструктивної моделі та розробки методів статистичної обробки і прогнозу на її основі для розв'язування основних задач оперативного управління. На нашу думку у такій моделі необхідно поєднати алгебраїчні методи моделювання тренду з макромодельними методами відтворення детермінованих та стохастичних динамічних процесів.

### **Висновки до розділу 1**

1. На основі аналітичного огляду літературних джерел описано основні особливості газової промисловості України та виявлено проблеми, пов'язані з оптимізацією її функціонування.

2. Визначено та систематизовано основні чинники, які впливають на ціну газу.

3. Проведено аналіз відомих методів реєстрації витрат газу й статистичної обробки газонавантажень.

4. Проведено аналіз існуючих математичних моделей і методів прогнозу газоспоживання.

5. Зважаючи на природну аналогію процесів газо- та енергоспоживання, проведено короткий огляд математичних моделей енергонавантажень. Результати огляду існуючих моделей показали, що існує два основних підходи до математичних моделей та методів обробки газоспоживання – детермінований та стохастичний.

З уваги на огляд стану ринку газопостачання й особливостей споживання газу та ціноутворення в цьому секторі енергозабезпечення, беручи до уваги

результати порівняльного аналізу методів моделювання, які застосовуються для відтворення економічних процесів, пов'язаних з споживанням газу, поставлено задачу розробки моделі поступлень за спожитий газ у формі імітаційної динамічної техніко-економічної моделі, яка має враховувати обсяги постачання, транспортування, видобутку й збуту газу, особливості його споживання, а також дію зовнішніх детермінованих та випадкових чинників, що впливають на ціну газу та його споживання.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОБУТОВОГО СПОЖИВАННЯ ГАЗУ

#### 2.1. Опис математичної моделі побутового споживання газу

Поставлено задачу розробити математичну модель поступлень за спожитий газ з врахуванням швидкої зміни ціни газу, викликані ціновою політикою сировинних компаній-постачальників, повільної зміни ціни газу, зумовленої закінченням «газової паузи», впливом випадкових та «майже детермінованих» факторів, що відображають обсяги споживання газу для опалення та приготування їжі, врахувавши власні потреби газопостачальних компаній та здешевлення газу внаслідок розширеного його видобування власними силами. Взяти до уваги також особливості формування боргу та його погашення постачальниками.

Нижче викладено розв'язок поставленої задачі. Спершу виділимо список величин, які необхідно взяти до уваги при побудові моделі: ціна на газ як функція  $P(t)$ , залежить від часу, обсяги «детермінованого» – зумовленого споживанням для обігріву та окремо для приготування їжі; обсяги випадкового споживання газу для обігріву і окремо для приготування їжі; вплив глобальних тенденцій, пов'язаних з вичерпанням газових запасів; власні потреби ТЕК, затримка з внесенням платежів за газ, окремо – через формування боргу.

Схематично дію цих основних чинників зображено на рис. 2.1.

Введемо в розгляд наступні величини:

$P_1(t)$  – відпускна ціна газу, імпортованого з Росії, грн/м<sup>3</sup>;

$P_2(t)$  – відпускна ціна газу власного видобутку, грн./м<sup>3</sup>;

$g_1(t)$  – безрозмірний коефіцієнт, що відображає подорожчання газу на міжнародному ринку, зумовлене вичерпуванням ресурсів;

$g_2(t)$  – безрозмірний коефіцієнт, що відображає подорожчання газу власного видобутку, зумовлене вичерпуванням ресурсів;

$Q_1$  – обсяг споживання імпортного газу, м<sup>3</sup>/год;

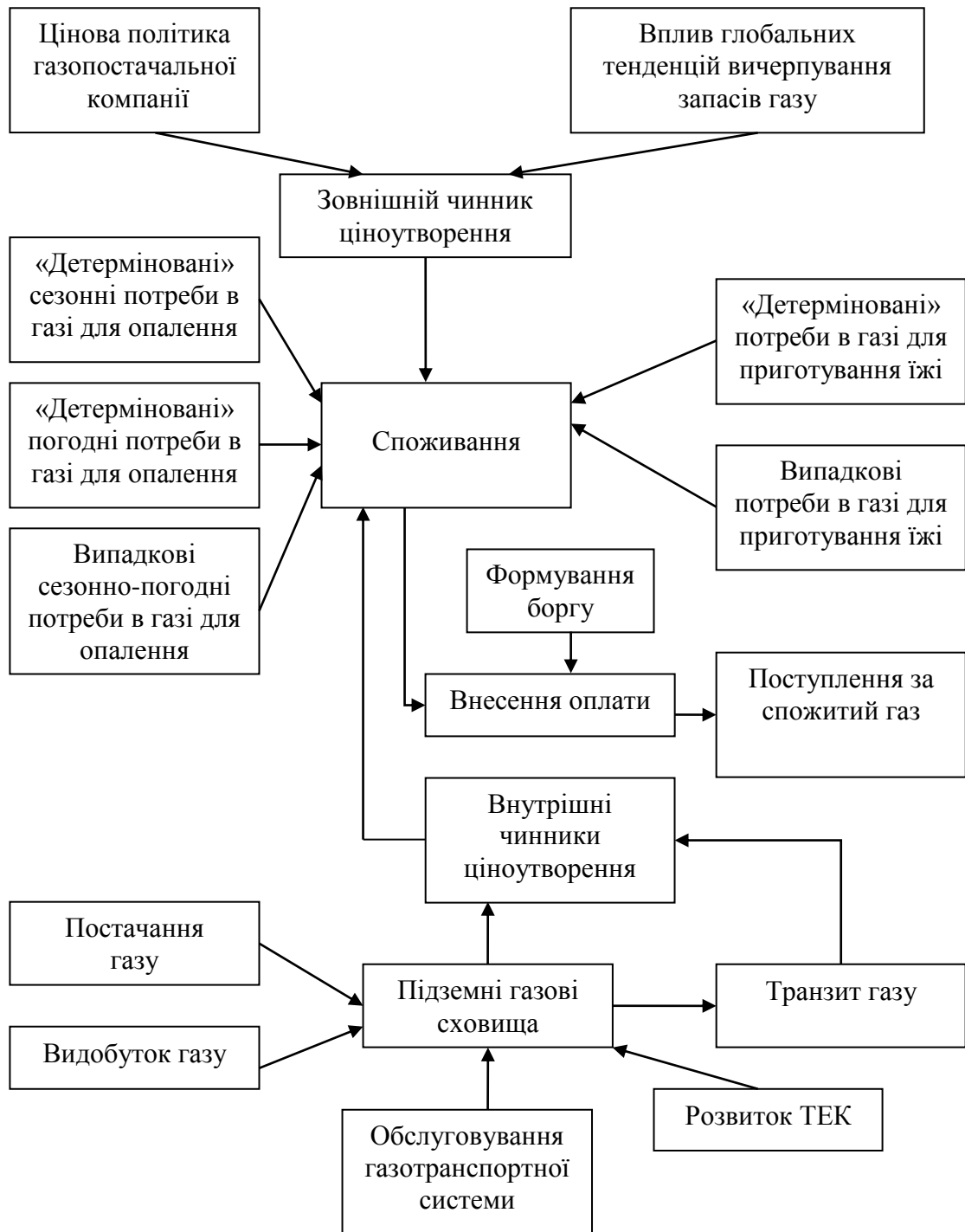


Рис. 2.1. Схема чинників, які впливають на ціноутворення та споживання газу в побуті

$Q_2$  – обсяг споживання газу власного видобутку, м<sup>3</sup>/год;

$Q_3$  – кількість транзитно переданого газу, м<sup>3</sup>/год;

$Q_4$  – загальна кількість спожитого газу, м<sup>3</sup>/год;

$a$  – безрозмірна величина, яка вказує частку потреб вітчизняного ТЕК, які спрямовуються на його перспективний розвиток, у ціні газу для побутових споживачів;

$b$  – безрозмірна величина, яка вказує частку власних потреб вітчизняного ТЕК у формуванні ціни газу для побутових споживачів;

$S_1$  – умовно детермінована потреба у газі, яка прив’язана до сезонних змін температури атмосфери, м<sup>3</sup>/год;

$S_2$  – умовно детермінована потреба у газі, яка прив’язана до передбачуваних погодно-кліматичних змін температури атмосфери, м<sup>3</sup>/год;

$S_3$  – умовно детермінована потреба у газі для приготування їжі, прив’язана до календаря будніх та святкових днів, м<sup>3</sup>/год;

$\xi_1$  – випадкова потреба у газі для обігріву, м<sup>3</sup>/год;

$\xi_2$  – випадкова потреба у газі для приготування їжі, м<sup>3</sup>/год;

$L$  – величина боргу за спожитий газ, грн.;

$R$  – поступлення за спожитий газ, грн./год.

Споживання газу описує декілька функціональних залежностей. Перелік цих функцій викладено нижче.

Обсяг газу, спожитого для обігріву та приготування їжі, залежить від купівельної спроможності. Подібно як і для інших товарів першої необхідності [7 ], цю функцію задає всюди опукла зростаюча крива.

$$Q = Q_0 \left( \frac{r}{r + r_{\min}} + \varepsilon r \right), \quad (2.1)$$

де  $Q_0$  – споживання на рівні «середніх потреб»,

$r_{\min}$  – мінімальна купівельна спроможність, при якій споживач може оплатити свої потреби в газі,

$\varepsilon$  – коефіцієнт заміщення, викликаний впровадженням більш енергоємних технологій опалення для дорогого житла.

Графік функції  $Q(r)$  показано на рисунку 2.2.



Споживання газу для обігріву залежить від температури, інших кліматичних умов. Вважатимемо, що споживання газу залежить від ефективної температури  $T$  атмосфери як кусково-лінійна функція,

$$Q_T(T) = \begin{cases} 0; T \leq T_{\min} \\ \alpha T; T > T_{\min} \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності.

Споживання газу для приготування їжі залежить від календарних днів тижня, вихідних, святкових днів як функція з трьома дискретними значеннями:

$$Q(d) = \begin{cases} Q_{d1}; \text{будні} \\ Q_{d2}; \text{вихідні} \\ Q_{d3}; \text{свята} \end{cases} \quad (2.3)$$

Для моделювання величини  $Q(d)$  необхідно врахувати наявний календар вихідних й робочих днів.

Ефективна температура – залежить від середньодобової температури атмосферного повітря в регіоні та від передбачуваної детермінованої складової відхилення температури від середньодобової, яка зумовлена відомими збуреннями в траєкторії обертання Землі навколо Сонця внаслідок дії сил притягання інших небесних тіл []. Тобто ефективну температуру  $T$  вважатимемо функцією часу, задану дискретними значеннями календарних, середньодобових значень атмосферної температури, визначених за роки реєстрації метеорологічних вимірювань, до якої додана періодична складова коливань погоди, вирахована за методикою, розробленою в []:

$$T = T(d) + T_\eta, \quad (2.4)$$

Дальше вважатимемо, що за наявності даних, взятих з гідрометеорологічних служб у (2.4) другий доданок буде присутній, інакше – ефективну температуру вибиратимемо за даними усереднення метеорологічних спостережень.

Аналітично ціну на газ, затребувану постачальниками, задає вираз:

$$p_1(t) = \sum_{i=1}^K h(t - t_i) p_{0i}, \quad (2.5)$$

де  $p_{0i}$  – ціна газу, затребувана в момент часу  $t_i$ ,  $k$  – кількість стрибкоподібних підвищень ціни,  $t_i < t_{i+1}$ ,  $i=1, \dots, k-1$ .

Схематично графік  $p_1(t)$  показано на рисунку 2.3.

Прийmemo, що подорожчання газу, викликане вичерпуванням його ресурсів, зростатиме як експонента з показником  $1/\tau$ , де  $\tau$  – тривалість часу, спів мірна з тривалістю часу до закінчення «газової паузи»:

$$p_1^* = p_1 e^{t/\tau_1} \quad (2.6)$$

$$p_2^* = p_2 e^{t/\tau_2} \quad (2.7)$$

де  $p_1^*$ ,  $p_2^*$  – відповідно ціна імпортованого газу та газу власного видобутку з урахуванням вичерпування покладів газу,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – логарифмічний показник наближення до кінця «газової паузи».

Обсяги споживання газу мають адитивну схематичну складову:

$$Q = Q(r) + Q(T) + Q(d) + \xi_1(t) + \xi_2(t) \quad (2.8)$$

де  $\xi_1(t)$ ,  $\xi_2(t)$  – випадкові відхилення в розмірах споживання газу для відповідно опалення та приготування їжі.

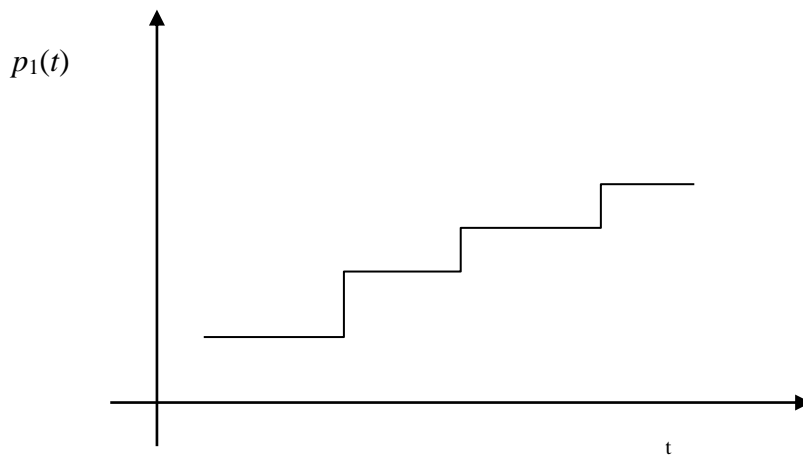


Рис. 2.2. Схематичний графік стрибкоподібного підвищення ціни на газ зарубіжними постачальниками

Оскільки рівняння (2.8) еквівалентне рівнянню Фокера-Планка-Колмогорова (п. 1.3), тому величина споживання  $Q$  – є випадковою величиною з законом розподілу.

$$\rho_1(Q) = \rho_{10} e^{-Q^2/G_1^2} \quad (2.9)$$

$$\rho_2(Q) = \rho_{20} e^{-Q^2/G_2^2} \quad (2.10)$$

де  $\rho_1(Q)$ ,  $\rho_2(Q)$  – відповідно закон розподілу кількості газу, спожитого через випадкові відхилення споживання газу для опалення й приготування їжі;  $G_1^2, G_2^2$  – невідомі коефіцієнти. оскільки задачу ідентифікації розподілів (2.9), (2.10) необхідно виконувати, окремо враховуючи дані споживання для двох різних категорій потреб, а даних про це немає, тому замість вирахування цих розподілів доцільно встановити закон розподілу величини сумарного споживання безпосередньо за експериментально визначеними вимірюваннями реєструючого обладнання. Нехай

$$\rho(Q), \quad Q \in [Q_0, Q_{\max}] \quad (2.11)$$

розподіл величини споживання газу без його складових, викликаних сезонною зміною середньої температури й календарних відхилень споживання газу в будні й святкові дні, тобто розподіл величини  $Q = \xi_1(t) + \xi_2(t)$  в (2.8). Тоді імітація споживання газу полягатиме у відповідності випадкової величини  $Q$  на основі відомого розподілу (2.11):

$$Q(t) = (Q[\rho(Q)] + Q(T) + Q(d))Q(r) \quad (2.12)$$

Співвідношення (2.12) моделює випадкове споживання газу з урахуванням календаря та сезонних коливань температури.

Споживання кількості газу має особливість, яка не повторюється в інших видах продукції, що пов'язано з збереженням цього товару у газовому виді в підземних сховищах. Споживач отримує стільки газу, скільки забажає, незалежно від пропозиції. Замість неї ціна на газ залежить від його обсягів, поданих підземні резервуари від різних постачальників.

$$p = \frac{S_1 p_1 + S_2 p_2}{S_1 + S_2}, \quad (2.13)$$

де  $S_1$  та  $S_2$  – обсяги поступлень газу в сховище відповідно від заграничних та власних видобувних підприємств,  $p_1$  та  $p_2$  – ціна відповідно імпортного і власного газу.

Ціна газу власного видобутку, крім (2.7) також залежить від двох параметрів – витрат, пов'язаних з обслуговуванням газопроводів, витрат на розвиток ТЕК:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_2^*(1 + a_2 + b_2); \\ p_1 &= p_1^*(1 + a_1 + b_1) \end{aligned} \quad (2.14)$$

де  $a, b$  – коефіцієнти, що відповідають названим вище впливам.

Плата за транзит газу не входить у відшкодування його вартості, тому транзит газу в моделі немає потреби враховувати.

За прийнятих припущень обсяги газу, використаного у побуті, рівні:

$$R = \int_{t_0}^{t_k} Q(t) dt \quad (2.15)$$

де  $Q(t)$  вирахована за (2.12);  $t_0, t_k$  – граничні значення відрізка часу.

Величина платежів, які споживачі повинні внести за період  $[t_0, t_k]$ , рівна:

$$M = \int_{t_0}^{t_k} Q(t) P(t) dt, \quad (2.16)$$

де  $p(t)$  – ціна, вирахована за (2.13), (2.14) з урахуванням (2.6), (2.7).

Величина (2.16) становить значення нарахованої величини оплати. Реальну ж оплату споживачі вносять із запізненням та допускаючи утворення боргу.

Розглянемо економіко-математичну модель формування боргу при сплаті за спожитий газ. візьмемо до розгляду наступні величини:

$u(t)$  – обсяг газу, спожитого в побуті;

$y(t)$  – обсяг поступлень.

Величини  $u(t), y(t)$  вимірюють в кількості грошових одиниць за одиницю часу. Різниця між  $u(t)$  та  $y(t)$  становить заборгованість:

$$z(t) = u(t) - y(t) \quad (2.17)$$

Величина нарахованих платежів визначається за (2.16).

$$u(t) = \frac{1}{t_0 - t} M(t) \quad (2.18)$$

Якщо заборгованість надто велика, користувач намагається зменшити споживання газу. Якщо ж заборгованість мала – споживач збільшує використання газу. Позначимо граничні значення заборгованості, при яких користувач починає зменшувати використання газу  $Z_{\max}$  і припиняє зменшувати використання газу  $Z_{\min}$ . За прийнятих припущень отримуємо наступне правило поведінки. Швидкість зміни величини споживання  $u(t)$  пропорційна обсягу неспожитої потреби у газі й обернено пропорційна обсягу спожитої потреби у газі не зменшується на величину, яка пропорційна віддаленості до максимальної граничної заборгованості й обернено пропорційна перевищенню мінімальної граничної заборгованості. Це очевидне правило поведінки запишеться у формі диференційного рівняння:

$$\frac{du}{dt} = \alpha \frac{u' - u_{\min}}{u_{\max} - u} + \beta \frac{((u - y) - Z_{\max})^r}{(Z - (u - y))^r} \quad (2.19)$$

де  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти пропорційності,  $r$  – параметр – показник логістичного рівняння, до якого належить другий доданок (2.19).

Швидкість зміни поступлень  $y(t)$  прямо пропорційна величині неоплаченого спожитого газу:

$$\frac{dy}{dt} = \gamma(u(t) - y(t)), \quad (2.20)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт пропорційності.

Швидкість погашення боргу пропорційна величині боргу:

$$\frac{dz}{dt} = \delta(u(t) - y(t)), \quad (2.21)$$

Параметри  $u_{\min}$  та  $u_{\max}$  з рівняння (2.19) доцільно вираховувати через миттєве середнє споживання:

$$u_{\min} = K_{\min} \frac{M(t)}{t_0 - t}; \quad (2.22)$$

$$u_{\max} = K_{\max} \frac{M(t)}{t_0 - t}; \quad (2.23)$$

де  $K_{\min}$ ,  $K_{\max}$  – коефіцієнти пропорційності, які необхідно встановити експертно або шляхом статистичних оцінок.

Зауважимо, що рівняння (2.19 - 23) зводиться до вирахування швидкості поступлень  $y(t)$  без формування боргу, якщо  $Z_{\min} = Z_{\max} = 0$ . Якщо ж ці величини відмінні від нуля, тоді рівняння (2.19) - (2.23) додатково описують процеси формування боргу за спожитий газ та тенденції його погашення.

Описана вище модель відображає процеси фізичного переміщення газу, процеси його споживання, які мають одночасно як фізичний зміст, адже йдеться про розхід газової форми речовини, так й економічний, який стосується виникнення грошових обов'язків споживача перед постачальником. В фізико-економічні параметри споживання газу описано з допомогою імітаційного відтворення детермінованих та випадкових процесів, які визначають споживання газу.

Величину оплати за спожитий газ виражено через обсяг спожитого палива, його ціну, котра залежить від політики постачальника, глобальних тенденцій, власного видобутку та кількісних співвідношень між імпортованим й власним газом.

Швидкість поступлення платежів за газ, які зумовлені описаним вище споживанням та ціноутворенням, змодельовано з урахуванням формування боргу та тенденцій його погашення.

## **2.2 Алгоритми визначення параметрів моделі**

В попередньому розділі описано техніко-економічну модель споживання газу з урахуванням ціноутворення та формування боргу. Для розробки програмного забезпечення моделі спершу необхідно з'ясувати, які технічні та обчислювальні роботи потрібно виконати для встановлення параметрів моделі. Потім спроектувати алгоритми обчислення як основу для створення програмного забезпечення.

Для розробки моделі потрібно встановити наступні її елементи:

ідентифікувати на основі спостережень за реальними обсягами добового споживання газу закон розподілу  $\rho(Q)$  кількості спожитого газу за одиницю величини від величини розходу;

отримати в результаті розв'язку пошукової задачі величину щоденних середніх еквівалентних температур  $T_1, \dots, T_{236}$ , властивих клімату в досліджуваному районі;

отримати величини існуючих обсягів постачання імпортного газу й газу власного видобутку та ціну одиниці об'єму цих видів палива;

визначити параметри глобальних тенденцій;

отримати детерміновані (прив'язані до календаря) дані про споживання газу для приготування їжі.

В результаті цього будуть встановлені вихідні (початкові) дані, потрібні для розв'язання задачі ціноутворення. На основі цих даних з урахуванням динаміки формування боргу далі необхідно розв'язати рівняння, що описують величину поступлень.

З погляду моделювання функціональних елементів системи постачання газу модель об'єднує основні складові – моделювання технічної системи постачання газу; моделювання економічної системи споживання газу. Причому деякі з параметрів технічної та економічної складових моделі є спільними.

Схему спроектованої моделі показано на рисунку нижче.

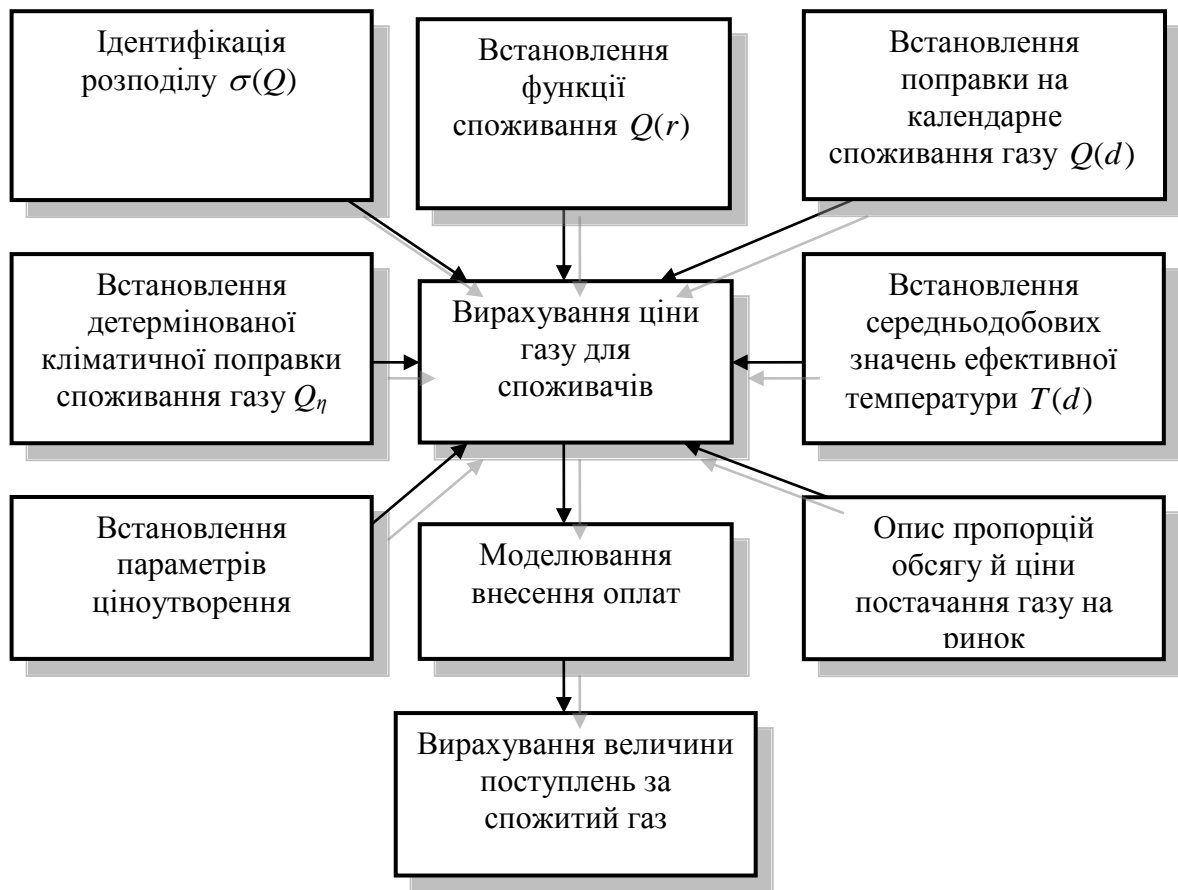


Рис. 2.4. Схема елементів задачі ідентифікації параметрів моделі

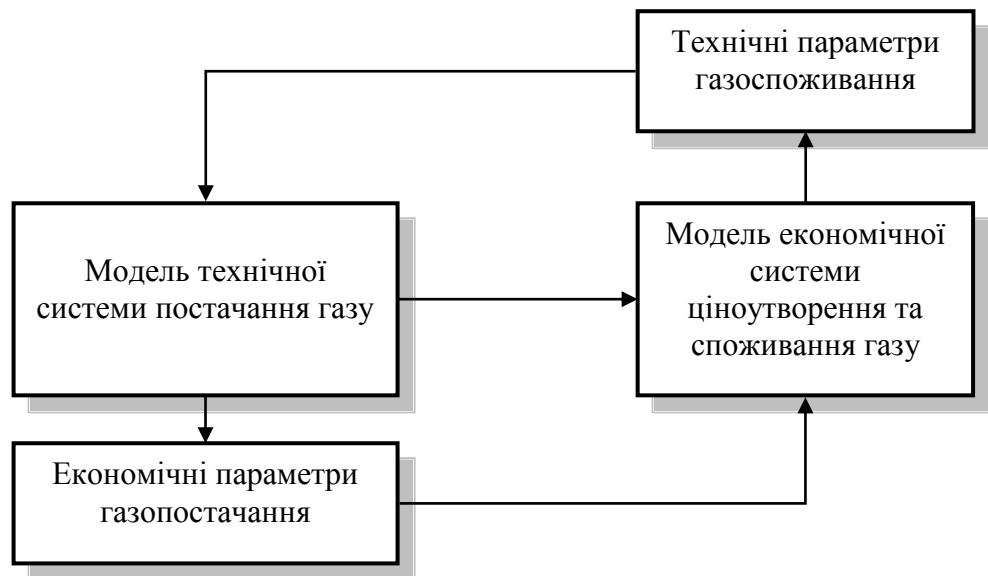


Рис. 2.5. Структурна схема економічної та технічної складових моделі

З точки зору організації обчислювального експерименту модель має поєднувати елементи опису початкових даних, процедури ідентифікації



складових елементів моделі (функцій, законів розподілу, параметрів), засоби графічного й текстового відображення результатів. Схематично функціональну будову моделі показано на рисунку 2.6.

Нижче викладено детальний алгоритм обчислень, необхідних для модельного вирахування обсягів поступлень за спожитий газ.

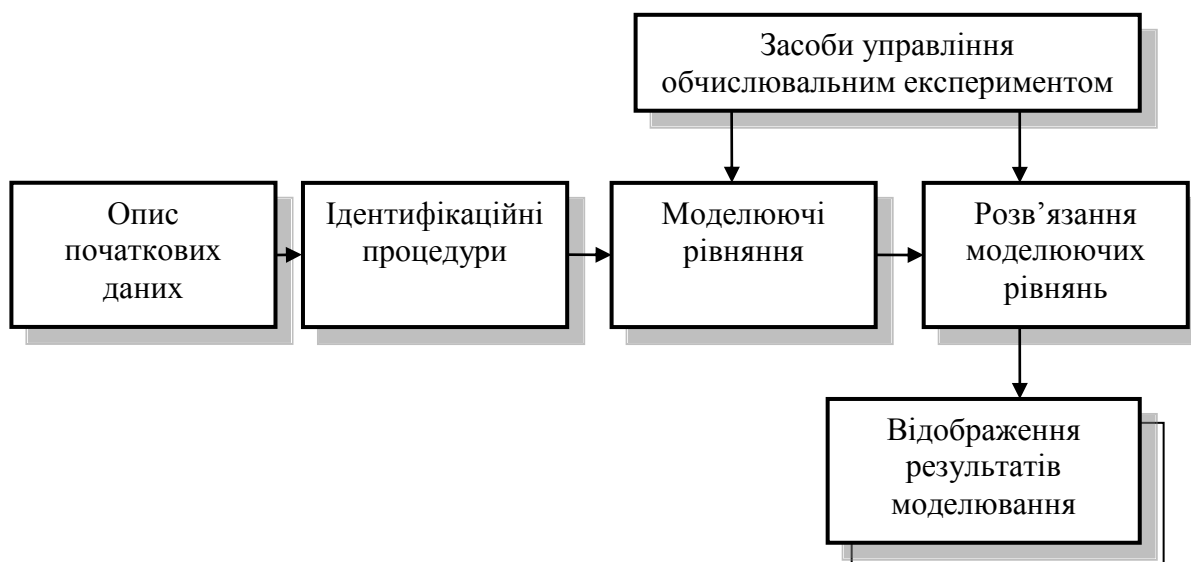


Рис. 2.6. Схема функціональних елементів спеціалізованої моделі

Алгоритм 2.1 Обчислення обсягів поступлень за спожитий газ.

1. Встановити значення параметра  $r_{min}$  в (2.1) купівельної спроможності споживань газу на рівні фізіологічного мінімуму.
2. Встановити значення параметра  $\varepsilon$  - коефіцієнта збільшення споживання газу при зростанні купівельної спроможності, пов'язаного із кращими умовами проживання.
3. Встановити мінімальну ефективну температуру атмосфери  $T_{min}$  в (2.2), при якій знижується споживання газу для опалення.
4. Встановити параметр  $\alpha$  в (2.2), який відображає зв'язок між температурою середовища та обсягами споживання в холодну пору року.
5. Побудувати функцію температурної поправки споживання газу.

6. Побудувати функцію (2.3) календарної поправки до величини споживання газу для приготування їжі.

7. Отримати прогнозні дані щодо ефективної температури у відповідності із середньодобовими їх значеннями за багаторічний період спостереження  $T_d \in [T_1, \dots, T_{365}]$ .

8. Отримати прогнозні дані щодо ефективної температури  $T_n$ , взяті із синоптичних прогнозів.

9. Вирахувати прогнозну ефективну температуру (2.4).

10. Визначити модельні параметри  $t_0, p_{0i}$ , які описують моменти й величину стрибкоподібного збільшення ціни газу в (2.5).

11. Побудувати функцію ціни імпортного газу  $p(t)$  згідно (2.5).

12. Встановити параметри  $\tau_1, \tau_2$  логарифмічної відстані до кінця «газової паузи» відповідно на зовнішньому та внутрішньому ринку газопостачання.

13. Побудувати функцію поправки ціни газу на зовнішньому ринку, пов'язану із закінченням «газової паузи» (2.6).

14. Побудувати функцію поправки ціни газу на внутрішньому ринку, пов'язану з закінченням «газової паузи» (2.7).

15. Отримати експериментальні дані  $Q(t_k), k=1, \dots, m$  про щоденні обсяги сумарного розходу газу в побуті, де  $t_k$  –  $k$ -та доба,  $m$  – кількість днів спостереження.

16. Побудувати на основі даних п. 15 закон розподілу величини споживання газу (2.11).

17. Задати модельну величину зміни платоспроможності громадян з часом  $r_1(t)$  в основній групі споживачів.

18. Задати модельну величину зміни платоспроможності громадян з часом  $r_2(t)$  у групі високозабезпечених користувачів.

19. Визначити сумарну кількість споживачів  $N$ , а також відносні частки споживачів основної  $u_1$  та високозабезпеченої  $u_2$  груп.

20. Вирахувати обсяги споживання за формулою

$$D(t) = (Q_1(r_1(t)) \cdot n_1 + Q_2(r_2(t)) \cdot n_2) N \cdot (Q_T(T_d + T_n) + Q_d(t) + Q[\varphi(Q)]) \quad (2.24)$$

де  $r_1(t)$  – платоспроможність основної частини споживачів (п.17);  
 $r_2(t)$  – платоспроможність громадян з власними доходами (п.18);  
 $n_1$  – кількість громадян з малими доходами (п.19);  
 $n_2$  – кількість громадян з великими доходами (п.19);  
 $N$  – загальна кількість громадян (п.19);  
 $Q_T(\dots)$  – залежність споживання від температури (2.2), (п.5);  
 $T_d(t)$  – середньодобова температура за минулі роки (п.7);  
 $T_n(t)$  – прогнози відхилення температури (п.8)  
 $Q_d(t)$  – поправка на споживання прив'язана до календаря (п.6);  
 $\rho(Q)$  – закон розподілу величини розходу газу (п.16);  
 $Q[\rho]$  – випадкова величини, яка підлягає закону розподілу  $\rho$ .

21. Отримати дані про обсяги поступлень  $S_1, S_2$  та ціну  $p_1, p_2^*$  газу від іноземних та внутрішніх постачальників.

22. Встановити значення ціни газу власного видобутку з урахуванням виробничих витрат (2.14).

23. Визначити ціну газу за (2.13).

24. Вирахувати величину грошових зобов'язань  $M(t)$  споживачів перед постачальною компанією.

25. Вирахувати величину грошових зобов'язань, які споживачі повинні вносити за одиницю часу за (2.18).

26. Встановити значення параметрів  $Z_{\min}, Z_{\max}, u_{\min}, u_{\max}, \alpha, \beta, r$  в (2.19).

27. Встановити початкові умови системи рівнянь (2.20-21).

28. Розв'язати рівняння (2.20-21) при вибраних початкових умовах.

29. Відобразити знайдені модельовані величини:

$R(t)$  – величину спожитого газу;

$M(t)$  – величину грошових зобов'язань споживачів;

$u(t)$  – обсяги грошових зобов'язань споживачів за поточну одиницю часу;

$y(t)$  – обсяги внесення платежів за одиницю часу;

$z(t)$  – обсяги боргу (в абсолютному вимірі).

Описаний вище алгоритм 2.1 задає опис порядку обчислень, які необхідно виконати, щоб знайти шукану модельну величину – обсяги поступлень за спожитий газ з урахуванням наявних внутрішніх і зовнішніх економічних, природних й соціальних впливів.

Спосіб програмного проектування обчислювальної моделі, яка відтворює алгоритм 2.1, описаний вище, показано на рис. 2.4 – 2.6.

Отже, вище описано техніко-економічну модель, яка поєднує опис технічних процесів постачання газу з економічними процесами ціноутворення газу, особливостей його споживання та внесення платежів за спожитий газ.

Зокрема, враховано технічні особливості спільного постачання газу власного видобутку та імпортованого газу.

Враховано тенденції ціноутворення, зумовлені ціновою політикою іноземного постачальника, загальними впливами, пов'язаними із вичерпуванням природних запасів газу, власними потребами газовидобувної галузі в Україні та газотранспортних й газопостачальних компаній.

Для моделювання процесів внесення платежі за газ записано систему диференційованих рівнянь, які включають рівняння логістичного виду, яке відображає тенденції споживачів вносити платежі за газ з деяким запізненням, однак не допускаючи надмірної заборгованості.

Модель також враховує випадкові відхилення в споживанні газу, залежність споживання газу від календаря вихідних і робочих днів, від передбачуваних коливань погоди.

Завдяки тому, що в моделі достатньо взято до уваги вплив численних факторів, вона придатна для довготривалого прогнозування величини надходжень коштів у газопостачальну компанію, а також – для проведення експериментів з метою вивчення тенденцій ринку газопостачання, адептивного пошуку оптимальних техніко-економічних параметрів управління галуззю.

Модель слугує ефективним інструментом підтримки прийняття рішень при плануванні роботи підприємства з газифікації та газопостачання.

Програмне забезпечення моделі та обчислювальні експерименти, проведені з нею, описані в наступному розділі.

### **2.3. Застосування динамічної моделі споживання газу при плануванні роботи підприємства з встановлення газового обігрівуючого обладнання**

В попередніх підрозділах описано математичну модель, що відображає взаємозалежність численних економічних величин, пов'язаних з побутовим споживанням газу. Ці параметри впливають на особливості споживання замовниками обігрівуючого газового обладнання. Плануючи роботу підприємства з встановлення обігрівуючого газового обладнання важливо взяти до уваги фактори, що впливають на потік замовлень щодо встановлення обігрівуючого обладнання. Деякі з цих факторів є динамічними змінними моделі, інші ж – відображають вплив ринкового середовища. Отже, для планування роботи досліджуваного підприємства важливо врахувати вплив двох груп параметрів. Перша група параметрів – це динамічні змінні моделі, вони змінюються відносно швидко і відображають короткотривалі тенденції на ринку побутового газового обладнання. Другі параметри – це повільно-змінні величини, що впливають на побутове споживання енергоносіїв.

Тому для практичного застосування розробленої моделі в роботі підприємства з встановлення обігрівуючого газового обладнання застосовано підхід, описаний в наступному алгоритмі.

Алгоритм 2.2. Порядок застосування динамічної прогновної моделі.

1. Визначити економічні та соціальні параметри, що впливають на обсяги замовлень щодо встановлення обігрівуючого газового обладнання. Причому, частина з цих параметрів є динамічними змінними моделі побутового енергоспоживання.

2. Побудувати багатфакторну лінійну модель, що відображає залежність обсягів замовлень на встановлення обігрівуючого газового обладнання від величин, вибраних в п.1.

3. Побудувати прогнозу динамічну модель за алгоритмом 2.1.

4. На основі розв'язків прогнозу динамічної моделі (п.3) та коефіцієнтів багатофакторної лінійної моделі (п.2) визначити прогнози обсяги замовлень на встановлення обігрівуючого газового обладнання.

Схематично такий метод застосування моделі показано на рисунку нижче.

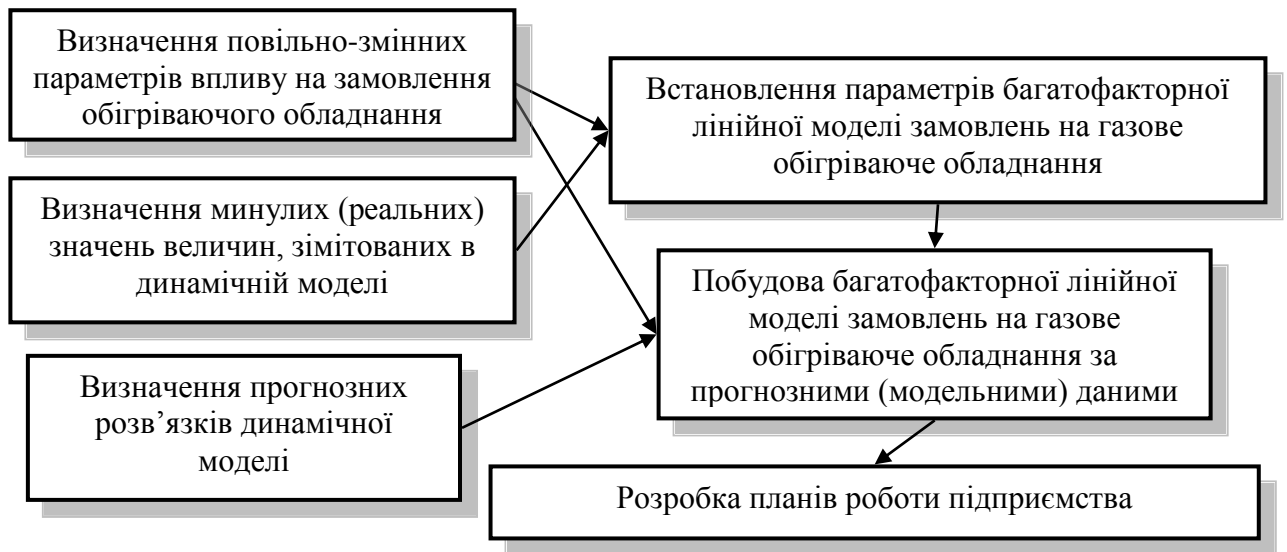


Рис. 3.7. Схема застосування прогнозних даних в багатофакторній моделі визначення обсягів замовлень на встановлення обігрівуючого обладнання

Розв'язки рівнянь (2.19)-(2.23) задають залежність динамічних змінних моделі  $u(t)$ ,  $z(t)$ ,  $p(t)$ ,  $R(t)$ ,  $M(t)$ ,  $D(t)$  від часу протягом відрізка часу  $[t_0, t_{\max}]$ . В п.2.2 описано розв'язки моделі для значень параметрів, близьких до реального стану економіки. Тобто, в пп.2.1-2.2 знайдено розв'язки системи рівнянь (2.19)-(2.23) для ринку енергоспоживання окремого регіону при різних значеннях сталих параметрів, що входять у рівняння (2.1)-(2.23). З допомогою цього розкрито залежність динамічної зміни розв'язків (2.19)-(2.23) від окремих параметрів моделі. Для вироблення рекомендацій щодо планування роботи досліджуваного підприємства важливо застосувати знайдені прогнози залежності динамічних змінних моделі від її параметрів для пошуку числових значень рекомендованих параметрів розвитку досліджуваного підприємства.

Щоб ці числові значення застосувати для вироблення бізнес-планів, проектів бюджету, регуляторних програм. Нижче проілюстровано застосування моделі (2.19)-(2.23) для вироблення рекомендацій щодо загального планування роботи досліджуваного підприємства.

Нехай значення ставки на прибуток змінюється в межах [12%, 19%]. Розділимо цей відрізок на 15 рівних частин і знайдемо розв'язок (2.19)-(2.23) при  $\kappa_{li}$  ( $i=1, \dots, 16$ ;  $\kappa_{li} \in [0.12, 0.19]$ ). В результаті знаходимо дискретні залежності розв'язків  $p(t)$  моделі (2.19)-(2.23) при різних  $\kappa_{li}$ .

Розв'язки  $p(t)$ , (як і всі інші розв'язки моделі), знайдені при окремих  $\kappa_{li}$ , задані дискретними функціональними залежностями на відрізку інтегрування часу  $[t_0, t_{\max}]$ . Нехай  $p(t_k, \kappa_l)$ , ( $k=1, \dots, K$ ;  $l=1, \dots, R$ ) – числові значення розв'язку  $p(t)$  в момент  $t_k$ , при ставці  $\kappa_{li}$ , де  $K$  – кількість вузлів розбиття проміжку  $[t_0, t_{\max}]$ ,  $R$  – кількість вузлів розбиття проміжку [12%, 19%] значень ставці  $\kappa_{li}$ . Ці величини відомі. На їх основі легко встановити залежність  $p(\kappa_l)$  ( $l=1, \dots, R$ ) в різні момент часу  $t_k$ , ( $k=1, \dots, K$ ). В одні момент часу залежність  $p(\kappa)$  є майже лінійною, в інші – хаотично змінюється. Це дає підстави припускати, що для моделювання залежності ціни  $p(t)$  від податкової ставки  $\kappa_1$  в країні придатні економетричні лінійні моделі.

Тому за відомими прогнозними даними  $p(\kappa_l)$  ( $l=1, \dots, R$ ) для всіх моментів часу  $t_k$ , ( $k=1, \dots, K$ ) було знайдено середнє значення залежності.

$$\bar{p}(\kappa_l) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K p(t_k, \kappa_l); \quad l=1, \dots, R$$

На основі відомого  $\bar{p}(\kappa_l)$ ;  $l=1, \dots, R$  вираховано лінійне наближення

$$p(\kappa_1) = a_0 + a_1 \kappa_1$$

залежності ціни газу від ставки  $\kappa_1$ . Параметри цього рівняння встановлено з розв'язку переозначеної системи лінійних алгебричних рівнянь  $p(\kappa_{li}) = a_0 + a_1 \kappa_{li}$  ( $l=1, \dots, R$ ) методом найменших квадратів. В результаті його розв'язку отримано рівняння:

$$p(\kappa_1) = 40.6832 + 3.1284 \kappa_1.$$

Це рівняння встановлено на основі прогнозних розв'язків моделі (2.19)-(2.23). В цьому його особливість в порівнянні з економетричними моделями, знайденими за реальними даними минулих відрізків часу. Перший параметр в цьому рівнянні має сенс «базової» величини ціни. Другий параметр відображає «чутливість» ціни до ставки оподаткування. Зокрема, видно, що збільшення податку на прибуток на 1 % (в околі існуючої податкової ставки) приведе до зростання ціни на 0.03 %.

Проілюстрований приклад показує спосіб застосування моделі як інструменту підтримки прийняття рішень щодо планування роботи енергетичного підприємства. Показаний приклад демонструє застосування прогнозних розв'язків моделі (2.19)-(2.23) для накопичення експертних даних щодо проектування бізнес-плану розвитку підприємства.

Детальний перелік рекомендацій щодо застосування розробленої моделі для вироблення рекомендацій щодо управління енергетичним підприємством описаного в алгоритмі, який викладено нижче. Для простоти опису позначимо множину всіх динамічних змінних моделі (2.19)-(2.23) символом  $x(t)$ . Тобто

$$x(t) = \{u(t), y(t), p(t), R(t), M(t), D(t)\}.$$

Множину всіх початкових умов позначимо символом  $x_0 = x(t_0)$ . Кількість змінних в множині  $x(t)$  рівна  $N$ . Множину всіх параметрів, котрі входять у функції економічної поведінки та в рівняння моделі позначимо символом  $\sigma$ . Повний перелік параметрів  $\sigma$  (та рекомендації щодо встановлення значень цих параметрів) описано в пп.2.1-2.2. Позначимо символом  $c$  множину початкових умов  $x_0$  і множину параметрів  $\sigma$  в функціях та рівняннях моделі.

$$c = \{x_0, \sigma\}.$$

При таких позначеннях модель (2.19)-(2.23) відображає динамічну залежність змінних стану  $x(t)$  від параметрів  $c$ . Кількість параметрів  $c$  рівна  $N_c$ . Тому модель (2.19)-(2.23) зручно переписати у формі задачі Коші



$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = F(x, \sigma); \\ x(t_0) = x_0, \end{cases}; \quad (2.25)$$

де вектор-функція  $F$  задана правими частинами рівнянь (2.19)-(2.23). Розв'язок цього рівняння, знайдений з допомогою числових методів, позначимо  $x(t) = \Phi(t, c)$ ,  $t \in [t_0, t_{\max}]$ .

Алгоритм 3.1. Застосування моделі в системі підтримки прийняття рішень при розробці планів розвитку енергетичної галузі регіону.

1. Розв'язуючи пошукову задачу, встановити значення  $\sigma$  параметрів функцій та рівнянь моделі (2.19)-(2.23).

2. На основі аналізу дійсного стану енергетичної галузі регіону встановити початкові умови  $x_0 = x(t_0)$  задачі (2.25).

3. Вибрати множину параметрів  $\delta \in c$  для яких заплановано експеримент обчислення залежності розв'язків  $x(t) = \Phi(t, c)$  від цих параметрів. Кількість параметрів в множині  $\delta$  рівна  $N_\delta$ , де  $1 \leq N_\delta \leq N_c$ .

4. На основі концептуально обґрунтованого сценарію розвитку енергетики під впливом зміни параметрів  $\delta$  моделі (2.25) визначити границі і крок зміни значень параметрів  $\delta$ . Тобто, встановити  $[\delta_{\min}^i, \delta_{\max}^i]$ ,  $\Delta\delta_i$  для всіх  $i = 1, \dots, n$  і обчислити дискретні значення параметрів:  $\delta_{ik}$ ;  $i = 1, \dots, N_\delta$ ;  $k = 1, \dots, m$ , де  $m$  – кількість точок розбиття відрізка  $[\delta_{\min}^i, \delta_{\max}^i]$  з кроком  $\Delta\delta_i$  для всіх  $i = 1, \dots, N_\delta$ .

5. Вибрати  $k = 1$  (номер значення параметрів з можливого сценарію їх зміни).

6. Розв'язати задачу (2.25) при  $k$ -тому значенні параметрів  $\delta_{ik}$ . Зберегти знайдені розв'язки  $x(t, \delta_k)$ .

7. Збільшити значення індексу  $k = k + 1$  поки  $k < m$  і повторити п.6.

8. Для знайдених розв'язків  $x(t, \delta_k)$  ( $k = 1, \dots, m$ ;  $t \in [t_0, t_{\max}]$ ) побудувати сплайн-апроксимацію  $\tilde{x}(t, \delta_k)$  ( $k = 1, \dots, m$ ;  $t \in [t_0, t_{\max}]$ ).

9. На основі сплайн-апроксимації  $\tilde{x}(t, \delta_k)$  розв'язків (2.25) обчислити їх значення  $\tilde{x}(t_l, \delta_k)$  у дискретних вузлах  $t_k$  на проміжку  $[t_0, t_{\max}]$ ;  $l=1, \dots, L$ ;  $t_1, t_L \in [t_0, t_{\max}]$ .

10. На основі дискретних значень  $\tilde{x}(t_l, \delta_k)$  розв'язків моделі (2.25) встановити дискретні залежності розв'язку  $x_l(\delta_{ik})$ , в  $l$ -тий момент часу від  $i$ -того параметра сценарного розвитку,  $l=1, \dots, L$ ,  $i=1, \dots, N_\delta$ .

11. Виконати якісний аналіз залежностей динамічних змінних  $x_l(\delta_{ik})$  в  $l$ -тий момент часу від  $i$ -того параметра сценарного розвитку,  $l=1, \dots, L$ ,  $i=1, \dots, N_\delta$ ,  $k=1, \dots, K$ .

12. На основі дискретних значень залежності динамічних змінних  $x_l(\delta_{ik})$  ( $i=1, \dots, N_\delta$ ,  $k=1, \dots, K$ ) від параметрів сценарного розвитку, розв'язуючи переозначену систему лінійних алгебричних рівнянь

$$\tilde{x}_j(t_l, \delta_{ik}) = a_{0j} + \sum_{i=1}^{N_\delta} b_{ij} \delta_{ik}, \quad (l=1, \dots, L)$$

відносно параметрів  $a_{ik}, b_{ik}$ , де  $i=1, \dots, N_\delta$ ,  $k=1, \dots, K$ ,  $j=1, \dots, N$  побудувати лінійну регресійну модель залежності всіх змінних стану

$$\bar{x}_j(\delta) = a_{0j} + \sum_{i=1}^{N_\delta} a_{ij} \delta_i \quad (2.26)$$

від параметрів моделі (2.25) для всіх  $j=1, \dots, N$ .

13. Виконати якісний аналіз рівняння лінійної залежності динамічних змінних  $x(t)$  від вибраних параметрів  $\delta$  параметрів сценарного розвитку. На основі цього аналізу уточнити множину параметрів  $\delta$  і, якщо потрібно, повторити пп. 2-13.

14. Застосувати кількісні та якісні висновки з аналізу рівняння (2.26) лінійної залежності змінних моделі  $x(t)$  від її параметрів  $\delta$  на області прогнозування  $[t_0, t_{\max}]$  для вироблення рекомендацій щодо управління модельованим об'єктом – підприємством з встановлення енергетичного обладнання.

Всі етапи описаного вище алгоритму проілюстровано на прикладі обчислення ціни газу від ставки на прибуток. В алгоритмі 3.1 цей метод моделювання розширено на загальний випадок.

Так в пропонованій системі підтримки прийняття рішень щодо управління енергетичним об'єктом враховано прогнозу динаміку розвитку енергетики, інвестування в неї. Проте опущено вплив зовнішнього середовища, що впливає на енергоспоживання й експлуатацію енергетичного обладнання. Для того щоб цей вплив врахувати нижче запропоновано об'єднати фактори прогнозного впливу динаміки інвестицій в енергетиці й факторами впливу на інвестуванні в енергетику, котрі побудовані на основі інших формальних та слабоформалізованих параметрів з реальних даних за минулі проміжки часу. Нижче подано опис такої моделі.

Рівняння (2.26) описує лінійну залежність змінних стану моделі енергоспоживання (2.19)-(2.23) від параметрів цієї моделі на деякому відрізку часу  $[t_0, t_{\max}]$ , минулого, або майбутнього. Щоб в рівняннях (2.26) додатково врахувати вплив інших чинників, опущених в моделі (2.19)-(2.23), візьмемо до розгляду відомі значення деяких параметрів

$$y(t_k) = (y_1(t_k), \dots, y_{N_y}(t_k)), \quad (k = 1, \dots, K_u), \quad (2.27)$$

де  $K_u$  – кількість значень параметрів впливу на змінні стану  $x(t)$ ,  $N_u$  – кількість таких параметрів.

Опираючись на апріорні знання про вплив економічного середовища на інвестиційні процес, віднесемо до параметрів впливу  $y_i(t_k)$  ( $i=1, \dots, N_y$ ) величини, котрі стосуються економіки регіону для всіх  $k = 1, \dots, K_y$  ( $N_y = 18$ ):

$y_1(t_k)$  – продуктивність праці в регіоні;

$y_2(t_k)$  – енергоозброєність одного робочого місця в регіоні;

$y_3(t_k)$  – матеріалоємність однієї одиниці продукції в регіоні;

$y_4(t_k)$  – середня зарплата на одного працюючого в регіоні;

$y_5(t_k)$  – середній дохід власника підприємства в регіоні;

$y_6(t_k)$  – валовий обсяг споживання енергії в регіоні;

$y_7(t_k)$  – валовий обсяг споживання товарів в регіоні;

$y_8(t_k)$  – валовий обсяг споживання послуг в регіоні;

$y_9(t_k)$  – кількість працюючих в регіоні;

$y_{10}(t_k)$  – кількість учнів і студентів в регіоні;

$y_{11}(t_k)$  – кількість пенсіонерів в регіоні;

$y_{12}(t_k)$  – обсяги сільськогосподарського виробництва в регіоні;

$y_{13}(t_k)$  – імпорт з досліджуваного регіону;

$y_{14}(t_k)$  – експорт в досліджуваний регіон;

$y_{15}(t_k)$  – продукт, поставлений з досліджуваного регіону в інші регіони країни;

$y_{16}(t_k)$  – продукт, поставлений в досліджуваний регіон з інших регіонів країни;

$y_{17}(t_k)$  – валовий продукт досліджуваного регіону;

$y_{18}(t_k)$  – кількість населення досліджуваного регіону;

Введені в розгляд величини  $y_i(t_k)$ , ( $i=1, \dots, N_y$ ,  $k=1, \dots, K_y$ ) мають відомі значення. Їх опубліковано у відповідних щорічних звітах, в даних статистичної звітності, публікацій рейтингових показників тощо. Окремі такі значення встановлюють експертно.

Залежними величинами вибрано

$\tilde{x}_1(t_k)$  – дохід від встановлення нового обладнання;

$\tilde{x}_2(t_k)$  – дохід від обслуговування раніше встановленого обладнання;

$\tilde{x}_3(t_k)$  – кількість замовлень (за одиницю часу);

$\tilde{x}_4(t_k)$  – збитки, викликані технічними поломками і браком.

Введені в розгляд величини  $\tilde{x}_i(t_k)$  ( $i=1, \dots, 4$ ,  $k=1, \dots, K_y$ ) мають відомі значення.

Ці значення легко встановити з інформаційних облікових систем досліджуваного підприємства.

З урахуванням величин (2.27) ідентифікаційні рівняння лінійної моделі набувають виду

$$\tilde{x}_j(t_l, \delta_{ik}) = a_{0j} + \sum_{i=1}^{N_\delta} a_{ij} \delta_i(t_l) + \sum_{i=1}^{N_y} b_{ij} y_i(t_l); (l=1, \dots, L), \quad (2.28)$$

де вузли  $t_l$  вибрано з області перетину проміжків  $[t_0, t_{\max}]$  та  $[t_1, t_{K_y}]$ . Тобто

$$t_l \in [t_0, t_{\max}] \cap [t_1, t_{N_y}].$$

Розв'язок  $a_{ij}$  ( $i=0, \dots, N_\delta$ ),  $b_{ij}$  ( $i=0, \dots, N_y$ ;  $j=1, \dots, N$ ) переозначеної системи рівнянь (2.28) ( $N_\delta + N_u < L$ ) легко знайти з допомогою методу найменших квадратів або інших числових методів. Тоді отримуємо лінійну модель:

$$\bar{x}_j(\delta, y) = a_{0j} + \sum_{i=1}^{N_\delta} a_{ij} \delta_i + \sum_{i=1}^{N_y} b_{ij} y_i \quad (2.29)$$

де  $j=1, \dots, N$ . Ця модель відображає найзагальніші тенденції щодо залежності змінних стану моделі (2.19)-(2.23) від параметрів цієї моделі та факторів зовнішнього впливу, котрі в моделі (2.19)-(2.23) не враховано.

Зауважимо, що моделі (2.1)-(2.23) мають особливість, пов'язану б тим, що в них частину динамічних змінних легко опустити. Це приводить до спрощення концептуальної моделі – деякі економічні величини вважаються сталими, або незалежними від інших. Втім, це не обмежує області застосування моделі, а навпаки – надає їй додаткової практичної зручності.

## Висновки до розділу 2

1. Описано концептуальну побутового споживання газу та ціноутворення щодо побутового споживання газу. Вказано параметри та функції, котрі описують процес побутове енергоспоживання газу. На цій основі встановлено динамічні рівняння моделі побутового енергоспоживання в регіоні.

2. Запропоновано застосувати лінійну багатофакторну модель, побудовану за реальними й прогнозними даними, отриманими з розв'язків динамічної моделі енергоспоживання, для розробки планів роботи підприємства з встановлення обігрівуючого газового обладнання.

3. Детально описано алгоритми встановлення значень параметрів моделі, розробки її програмного забезпечення.

Запропонована модель враховує широке коло зовнішніх впливів, які позначаються на споживанні газу, достатньо детально відображає тенденції в середині ринку споживання газу, тобто слугує математичним інструментом як для вивчення довготривалих закономірностей на ринку газу, так й для коротко- й середньо-тривалих прогнозів ціноутворення, споживання газу, поступлень коштів за спожитий газ.

4. Запропоновано лінійну багатофакторну модель енергетичної галузі регіону, побудовано за реальними й модельними прогнозними даними. Показано приклад розробки такої моделі щодо впливу ставки оподаткування на інвестиційну привабливість транспортної енергетики в регіоні.

5. Запропоновано комплексну лінійну багатофакторну модель, що відображає вплив реальних й модельних значень параметрів, котрі позначаються на інвестуванні. Продемонстровано приклад застосування цієї моделі при обчисленні розмірів інвестування в енерготранспортну енергетику в регіоні в залежності від декількох параметрів, взятих з статистичної звітності й розв'язків динамічної моделі енергетичної галузі регіону.

6. Подано рекомендації щодо застосування спроектованого комплексу моделей енергетичної галузі регіону як інструменту підтримки прийняття рішень при розробці регіональних програм енергетичного розвитку.

### РОЗДІЛ 3

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ

В моделі врахування ціни газу та обсягів поступлень за спожитий газ враховуються функціональні залежності, що задають динамічну зміну модельованих величин з часом, функції, що зв'язують різні параметри модельованого процесу, а також – випадкові величини, згенеровані за заданим законом розподілу та система звичайних диференціальних рівнянь, яка описує явища формування та погашення боргу під час оплати за спожитий газ.

Тому, вибираючи програмні засоби, які з легкістю дозволяють виконати відповідні математичні обчислення, доцільно взяти універсальні інструменти моделювання, які призначені для розв'язування складних математичних обчислень, виконання інших обрахунків.

Цілий комплекс найсучасніших інструментів, призначених для моделювання об'єктів різної природи, в тому числі – економічних, розроблено в системі MatLab американської фірми MathWorks [], концептуальна ідея якої запропонована у 60-х роках минулого століття українськими дослідниками. Програма MatLab – інтерпретатор універсальної мови програмування. Він оснащеної численними математичними функціями й програмами виконання обчислювальних алгоритмів, дає досконалі засоби побудови моделей та експериментів з ними. В програмі MatLab розроблено підсистему моделювання динамічних систем Simulink з текстовим та графічним описом моделей, підсистему моделювання в реальному часу (Real-Time Workshop – RTW) та її розширення. Ці підсистеми призначені переважно для моделювання технічних об'єктів. Для економічного аналізу в MatLab впроваджено підсистему фінансових розрахунків. В ній, зокрема, розроблено засоби обробки змінних типу дата й час, що необхідно для обробки економічних даних, графічні засоби відображення даних доповнені сервісними функціями, наприклад – з

інтервалами статистичних характеристик, або з огинаючими кривими, усередненими за декілька днів, окремими функціями аналізу ефективності й оптимізації, взятими з економічних дисциплін, тощо. Все ж, засоби вирахування похідних, методи регресійної екстраполяції часових залежностей, які запропоновані в MatLab, залишаються функціонально обмеженими. Програму моделі, побудовану з допомогою цієї системи, описано в наступному пункті.

### 3.1 Опис програмного забезпечення

Програмне забезпечення моделі побутового споживання розроблено з допомогою системи програмування Matlab.

В основі програми покладено ряд програмних функцій, які імітують залежність модельованих величин від часу, групу функцій, що задають зв'язок між модельованими величинами, головну моделюючу програму з процедурою опису системи звичайних диференціальних рівнянь. Нижче подано детальний опис розробленого програмного забезпечення.

Залежність обсягів споживання газу від атмосферної температури імітує функція  $qqq\_t(T)$ , яка відтворює формулу (2.2) з допомогою кусково-лінійної та кускової лінійно-поліноміальної залежності. Графік функції  $Q_T(T)$ , побудований з допомогою процедури  $qqq\_t(T)$ , показано на рисунку 3.1. Текст програми  $qqq\_t(T)$ , що реалізує функцію споживання газу від температури атмосфери подано  $Q_T(T)$  в додатку А.

Залежність обсягів споживання газу від купівельної спроможності  $Q(r)$  згідно (2.1) моделює функція  $qqq\_r(r)$ . Текст програм цієї функції споживання газу в залежності від купівельної спроможності подано в додатку Б.



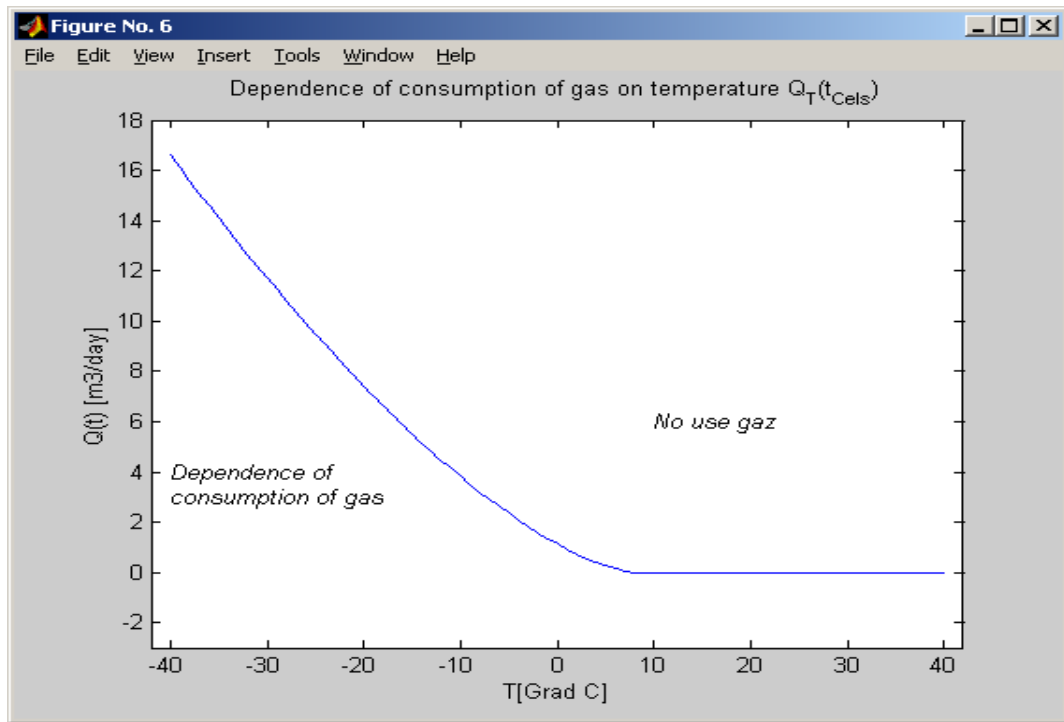


Рис. 3.1. Графік залежності величини споживання від атмосферної температури

Як зазначалося, в описі моделі прийнято припущення про можливе стрибкоподібне підвищення ціни імпортованого газу. Це явище змодельовано з допомогою кусково-постійної функції  $p_1(t)$ , яку розроблено в програмі rrr1\_t(t), котра відтворює залежність (2.5).

Типовий вид графіку стрибкоподібного підвищення ціни імпортованого газу показано на рисунку 3.2. В Ході імітаційного моделювання величина стрибка цін та його час змінювалися.

В концептуальній моделі прийнято припущення, що ціна газу власного видобутку не зазнаватиме стрибкоподібного зростання, а лише плавного піднесення, з урахуванням потреб газопостачання, розвитку газової галузі та з уваги на вичерпування газового ресурсу.

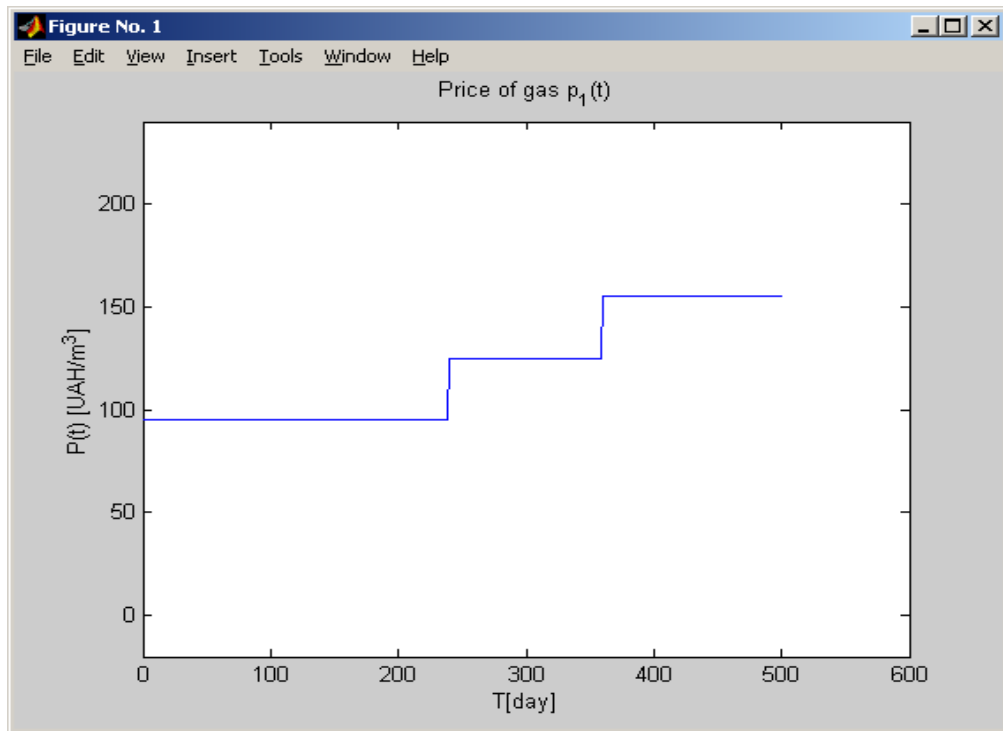


Рис. 3.2. Графік функції імітації підвищення ціни газу  $p_1(t)$

Текст програми, яка імітує підвищення відпускної ціни на газ російською компанією «Газпром» подано в додатку В. Функція  $p_1(t)$  відтворює цінову поведінку видобувної іноземної компанії, яка постачає основну частину газу споживачам на Україні.

Вичерпування газу викликає підвищення цін на нього. В моделі таке підвищення цін відображено залежностями (2.6)-(2.7). Програмно підвищення цін на власний та імпортований газ відтворено з допомогою двох окремих функцій.

Функція (2.6), що описує подорожчання газу на міжнародному ринку у зв'язку з вичерпуванням газового ресурсу розроблена в програмі  $p1\_glob(t)$ . Графік ціни на імпортований газ з урахуванням ціни підвищення цін через вичерпування ресурсів показано на рис. 3.3.

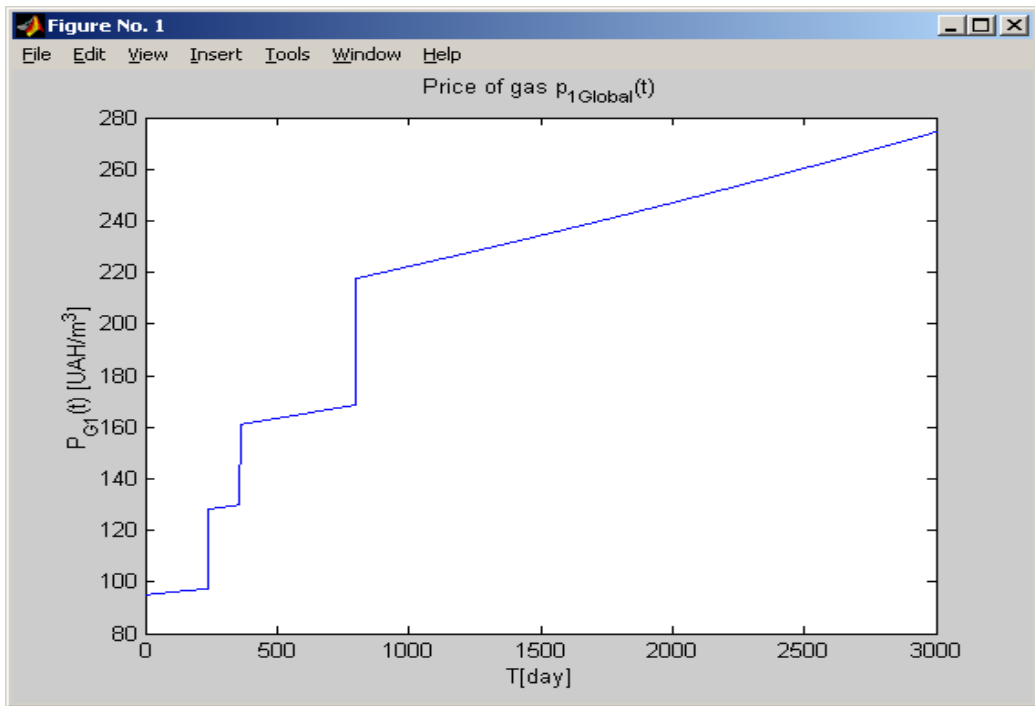


Рис. 3.3. Графік глобального підвищення цін на газ на міжнародному рику

Графік підвищення цін на газ власного видобутку, зумовленого вичерпуванням ресурсу, показано на рисунку 3.4. Функція  $p_2(t)$ , що імітує це явище, розроблена в програмі,  $p2\_glob(t)$ . Текст програм  $p1\_glob(t)$ ,  $p2\_glob(t)$  імітації глобального підвищення ціни на газ подано в додатку Г

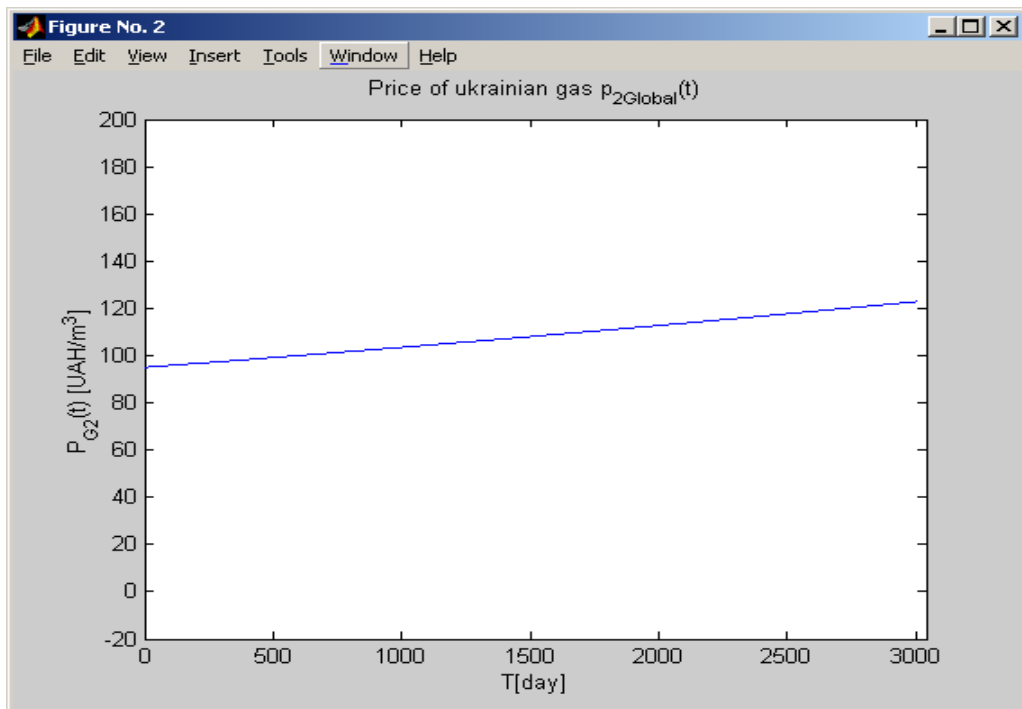


Рис. 3.4. Графік глобального підвищення цін на газ власного видобутку

В розробленій моделі обсяги щоденного споживання газу залежить від атмосферної температури, для тижня та від випадкового впливу інших факторів. Залежність, позначена в моделі формулою (2.4). Для її відтворення взято середні значення споживання газу для приготування їжі в різні дні тижня й додано до цієї величини випадкове значення відхилення обсягів споживання від середнього, яке згенеровано за відомим законом розподілу випадкової величини – відхилення обсягів споживання від середнього в розрахунку на одного споживача.

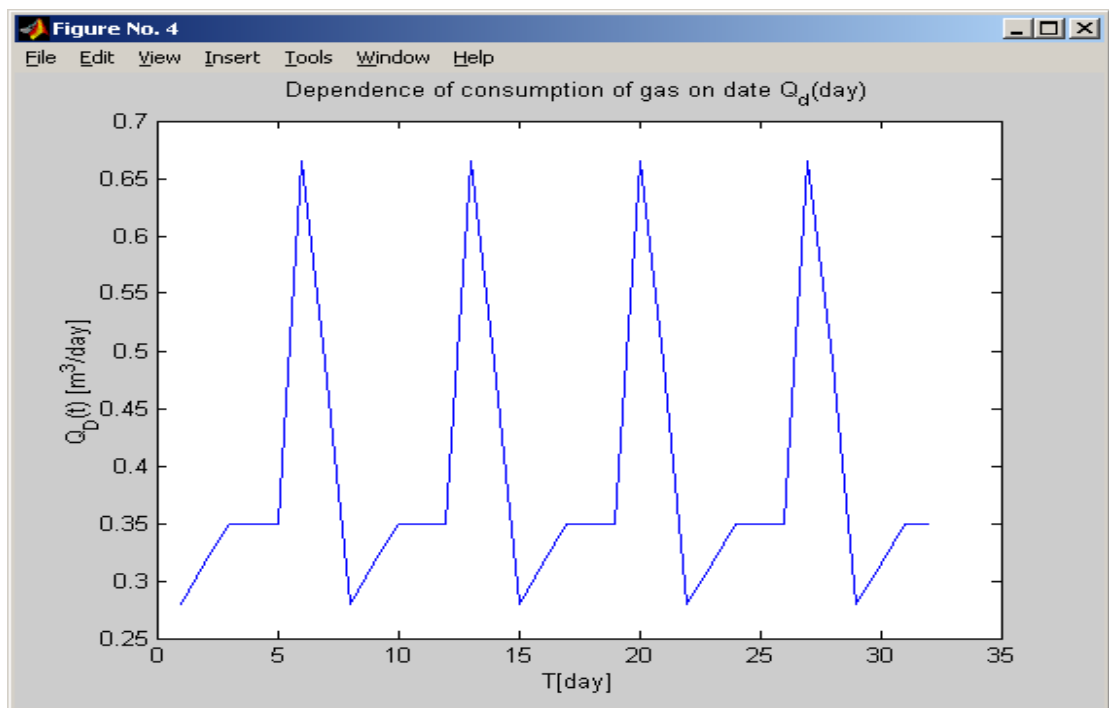


Рис. 3.5. Графік залежності обсягів споживання від календарної дати

Програму  $qqq\_d(t)$ , яка імітує залежність обсягу споживання від дня тижня згідно формули (2.3) подано в додатку Д.

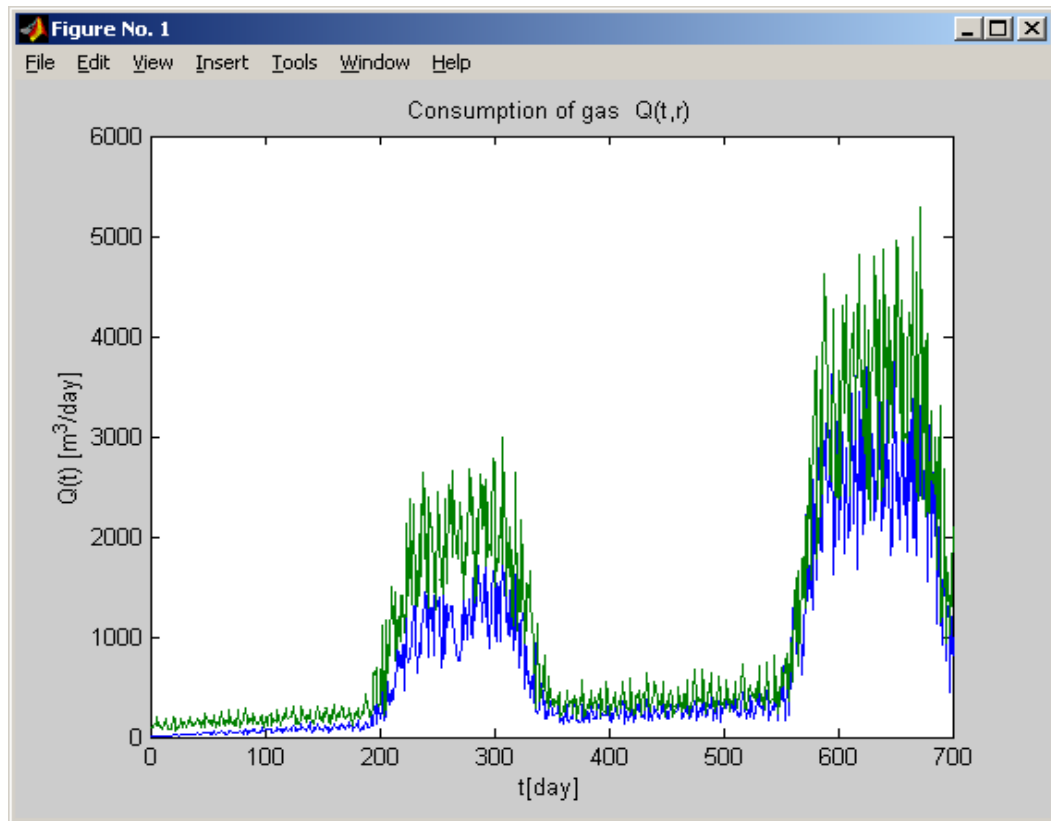


Рис. 3.6. Графік величини споживання газу у двох групах громадян

Функцію, що імітує щоденні зміни температури, зокрема – сезонні її перепади розроблено в програмі `tcels_t(t)`. На основі цієї імітації щоденної зміни температури вираховується обсяги споживання газу, потрібного для опалення приміщень. Програма імітації щоденної зміни температури подана в додатку Е.

Встановивши всі складові, що впливають на споживання газу, неважко змодельовати споживання газу одним користувачем, що має власний рівень купівельної спроможності. В моделі суспільство розділене на дві частини за рівнем купівельної спроможності. Залежність величини споживання від часу та купівельної спроможності розроблено в програмі `qqq_all(t, r)`, яка відтворює формулу (2.12). Текст цієї функції імітування величини споживання газу подано в додатку Є.

Модельні значення залежності обсягів споживання газу від часу для двох споживачів з низькою та високою купівельною спроможністю показано на рис. 3.6.

Головна програма моделювання обсягів поступлень за спожитий газ згідно алгоритму 2.1 розроблена в програмі процедури ggaazz. Її текст подано в додатку. Головна програма моделювання поступлень за спожитий газ вираховує шукану величину, розв'язуючи систему диференціальних рівнянь третього порядку (2.19-21), звертаючись при цьому до функцій, які описано вище. Систему диференціальних рівнянь описано в функції  $ode\_gaz(t, y)$ , її текст подано в додатку 3. функція приймає два параметри – векторний аргумент – динамічні змінні системи звичайних диференціальних рівнянь, і скалярний аргумент – незалежну змінну, час. Ця функція повертає один векторний аргумент – похідні від динамічних змінних системи звичайних диференціальних рівнянь.

Завдяки такій організації обчислень отримано Зручний програмний інструмент для організації та проведення обчислювальних експериментів, призначених для вивчення закономірностей щодо ціноутворення на газовому ринку, споживання газу та вирахування величини поступлень накриють газопостачального підприємства за спожитий газ.

Обчислювальні експерименти, проведені з моделлю та висновки щодо отриманих результатів подано в наступному пункті.

### **3.2 Обчислювальні експерименти з моделлю та рекомендації щодо її застосування**

ПП «Теплокомфорт» належить до загальноукраїнської системи підприємств з встановлення, експлуатації та обслуговування газового обігрівачаючого обладнання. Проведений аналіз діяльності ПП «Теплокомфорт» показує, що для вдосконалення оперативності й стратегічного планування техніко-економічного розвитку підприємства важливо, особливо за сучасних умов, позначених певною ціновою нестабільністю, отримувати прогнозні значення обсягів поступлень за встановлене газове обладнання з урахуванням

плати громадянами за спожитий газ та урахуванням нових тенденцій ціноутворення на газовому ринку й особливостей споживання газу громадянами нашої країни. Складним питанням є програма ефективності проектування бізнес-плану на наступний період урахуванням величини очікуваних поступлень коштів від споживачів газу, що є власне основним джерелом фінансових доходів підприємства.

Оскільки величина цих поступлень суттєво змінюється і залежить від багатьох чинників, перелік яких було надано в п.1.1, тому проектування бізнес-планів пов'язане з ризиком коливання кількості замовлень на встановлення обігрівуючого обладнання. На цю величину впливають як і техніко-вимірні обсяги споживання, так і економічні особливості внесення оплати – затримка з переходом коштів, формування боргу, інтенсивність споживання, прив'язана до купівельної спроможності тощо. Тому, ставлячи перед собою задачу ефективного планування господарської роботи в майбутньому, зокрема – розвитку підприємства, розширення інноваційної діяльності – газопостачальна організація потребує уточнення прогнозних даних щодо величини очікуваних поступлень за спожитий газ, які вноситимуть клієнти в майбутньому, протягом опалювального періоду, для якого розробляється бізнес-проект. Актуальність задачі прогнозної оцінки величини поступлень за спожитий газ особливо зростає у зв'язку з порушенням стабільності на ринку газу, також внаслідок дедалі помітніших зрушень в області газопостачання, які спостерігаються останнім часом в усіх країнах Європи й Азії та інших континентів.

У зв'язку з цим постає актуальна задача прогнозної оцінки величини поступлень за спожитий газ, вирахування величини сезонних коливань цих поступлень із урахуванням глобальних тенденцій подорожчання газу ат інших факторів, що проявляються на газовому ринку за умов стабілізації економіки в постконфліктний період. Вирахування середньо- й довготривалих прогнозів величини поступлень за газ, а також вивчення якісних особливостей ціноутворення й споживання в сучасному газовому секторі ринку енергопостачання на Україні дозволить суттєво вдосконалити планування

роботи підприємств, гнучкіше адаптуватися до нових тенденцій ринку й технічного стану галузі, впроваджувати інноваційні проекти з меншим ризиком, що врешті веде до тієї модернізації паливно-енергетичного комплексу, яка має вивести галузь і країну загалом на нові технології енергопостачання.

З допомогою розробленого програмного забезпечення моделі поступлення за спожитий газ було проведено ряд обчислювальних експериментів, спланованих для виявлення економічних закономірностей, що проявляються у галузі постачання й споживання газу.

У першій групі експериментів досліджувалося, як залежатиме загальний обсяг поступлень за спожитий газ від часу. При цьому було вибрано деякий припустимий графік підвищення ціни на газ і вивчалось, як внутрішньо-український ринок постачання газу відреагує на такі підвищення ціни.

Так, на рис. 3.7 зображено один з можливих графіків підвищення ціни на імпортований з Російської федерації газ, а на рис. 3.8 – зображено відповідний графік величини сумарних поступлень за спожитий газ всіма побутовими споживачами району, які відповідають.

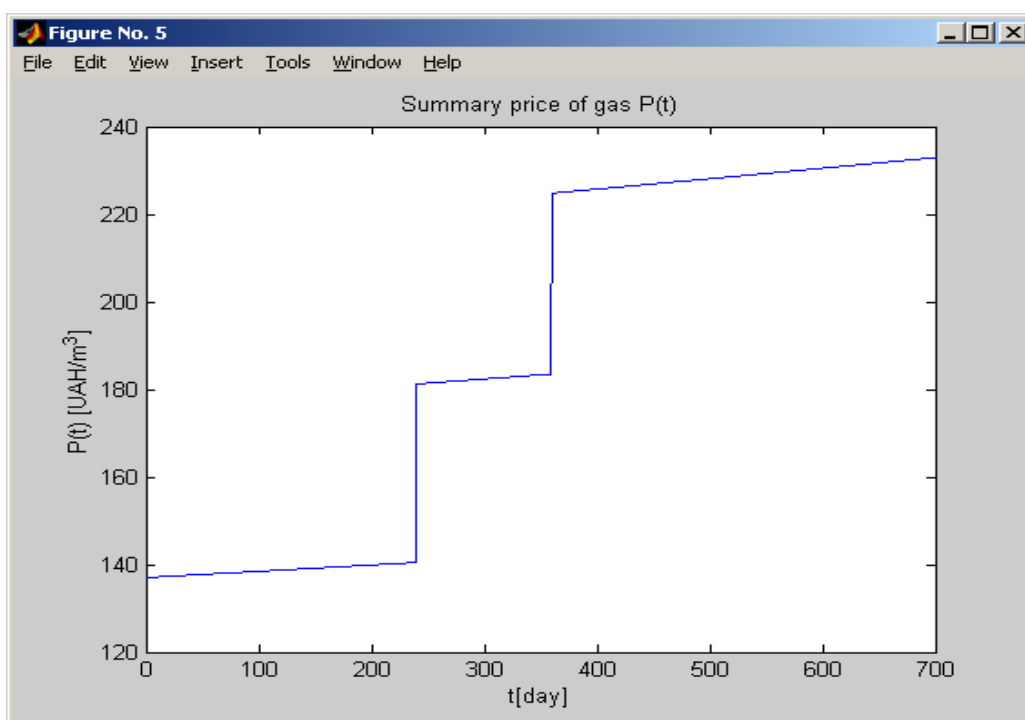


Рис. 3.7. Графік прогнозної величини відпускної усередненої ціни газу



За результатами цих експериментів отримано наступні висновки. Загальний обсяг споживання газу і поступлень за газ з часом зростає майже лінійно з кутовим коефіцієнтом, який відповідає збільшенню річних доходів за газ на 2-3 % щорічно.

Рис. 3.7, 3.8, 3.9 ілюструють типовий результат, що повторювався для багатьох інших подібних експериментів, в яких моделювалися різні сценарії підвищення ціни російського газу.

Протягом літнього і зимового сезонів споживання газу зростає з приблизно однаковим кутовим коефіцієнтом, але на різних рівнях (рис. 3.8). Тобто зростання споживання газу нагадує п-подібну лінію, що повільно піднімається. Такий тип поведінки споживачів повторювався аж до надто сильного підвищення ціни газу, про що йтиметься нижче.

Складніші закономірності внесення оплати за газ. Якщо ціна газу залишається приблизно на такому ж рівні, як теперішнє її значення, тоді величина поступлень за спожитий газ повторює характерну П-подібну лінію, приклад якої зображено на рис. 3.9. Така модельна величина добре погоджується з дійсними реальними даними.

Якщо ціна імпортованого газу стрибкоподібно зростає, але при цьому плата за подорожчання газу зростає не більше, ніж на величину підвищення плати за газ під час початку опалювального сезону, тоді споживачі «встигають» вносити оплати за дорожчий газ. І внесення платежів за газ залишається стабільним, інша річ, що в моделі не враховано, наскільки це позначиться на інших статтях споживання громадян.

З цього спостереження випливає висновок, що неминуче підвищення ціна імпортованого газу доцільно розділяти на окремі східці, щоб підвищення східчастої функції (див. рис. 3.7), призводило до розходу коштів громадян на суму, меншу, ніж при переході на опалювальний сезон. Така умова зберігає фінансову стабільність в галузі газопостачання.

Зауважимо, що на рис. 3.9 зображено графік зобов'язань за спожитий газ. Внесення ж реальних платежів дещо відрізняється від зобов'язань, що зумовлено формуванням боргу.

Якщо зростання ціни газу надмірно високе, при цьому складеться ситуація, коли громадяни продовжуватимуть споживати газ, але плату за нього вноситимуть не повністю, швидше допускать появу заборгованості. Якщо ціна на імпортований газ суттєво зросте, тоді на ринку споживання газу виявиться наступна закономірність. Споживання газу зростатиме приблизно на 2-3% річно, тобто зберігатиметься тенденція існуючого сталого піднесення, проте внесення платежів за газ різко зменшиться. Зрозуміло, що це лише модельне припущення, але такий результат моделювання показує перші наслідки глобального обвалу паливно-енергетичного комплексу, які почнуться після надмірного підвищення цін на імпортований газ.

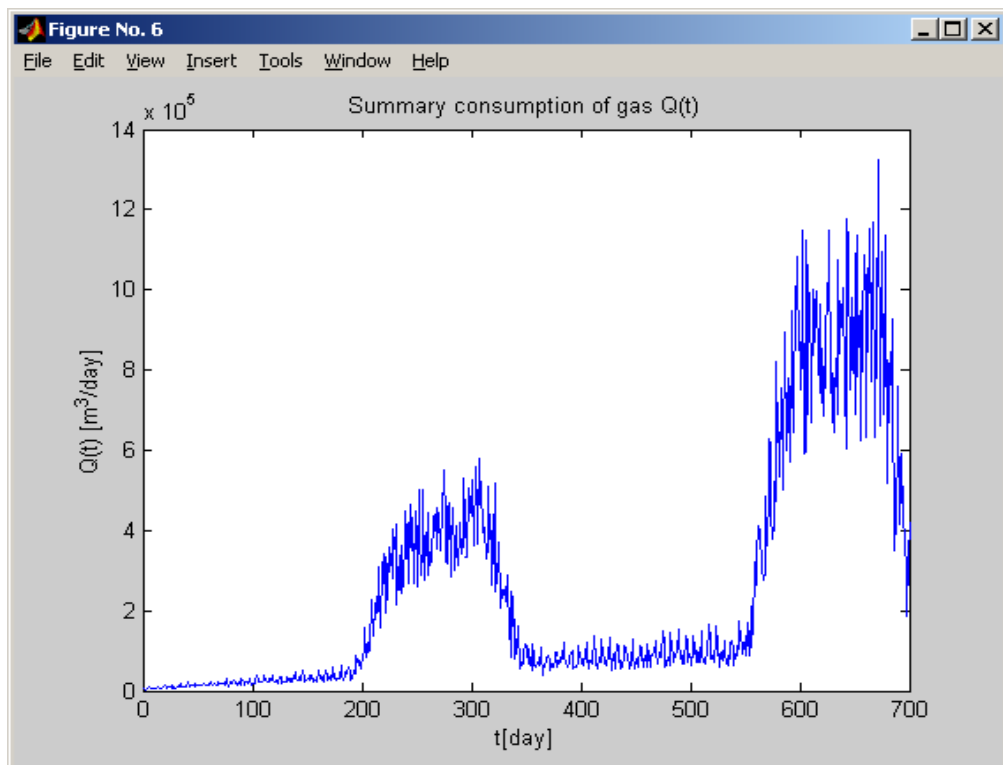


Рис. 3.8. Графік сумарної величини споживання газу

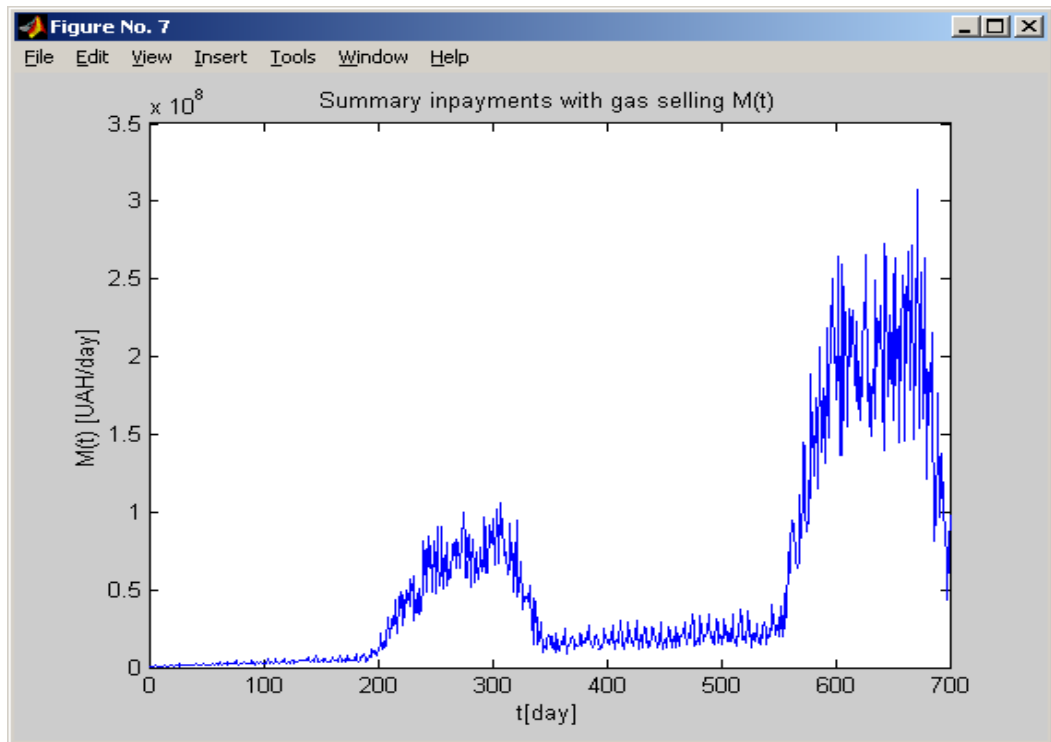


Рис. 3.9. Графік величини зобов'язань за спожитий газ

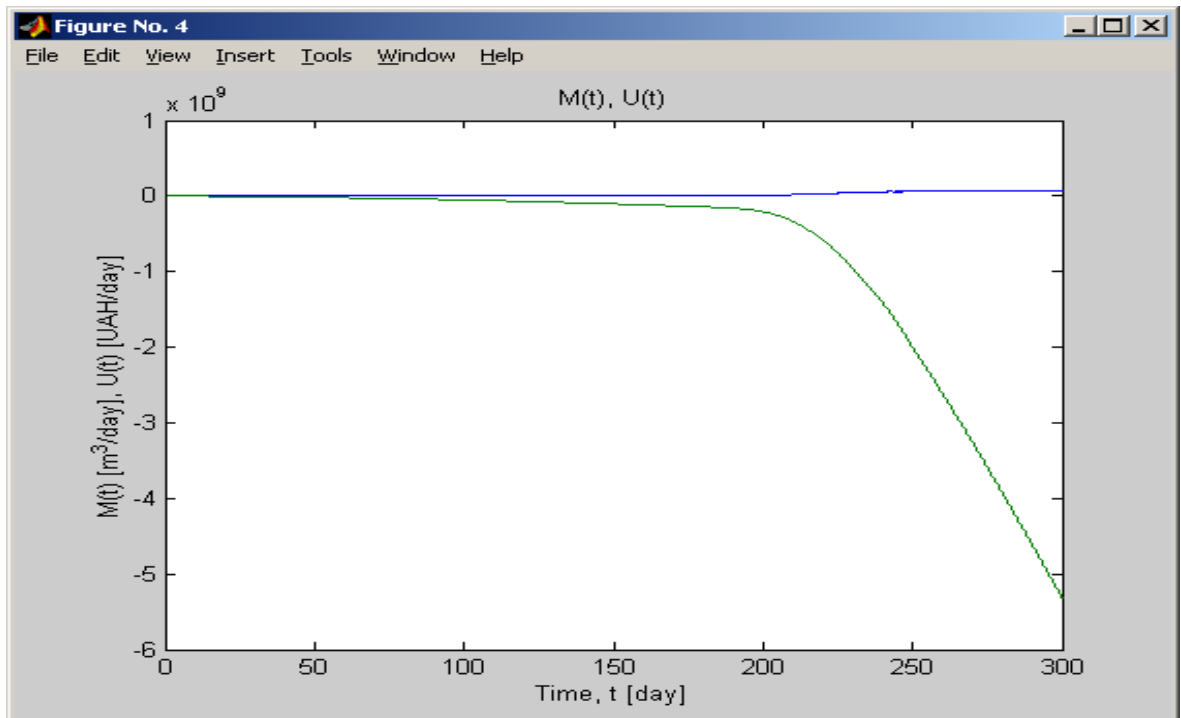


Рис. 3.10. Графік виникнення неоплати за газ при зростанні його ціни

Графік майже лінійного зростання споживання газу та обвалу з оплатою за спожитий газ показано на рис. 3.10.

В другому експерименті досліджувалася залежність формування боргу за спожитий газ при східчасту піднесенні цини на нього. Результати цього експерименту зображено на рис. 3.11, 3.12. Припускалося, що ціна на імпортований газ зростає як східчаста функція (рис. 3.11). При цьому між споживанням газу та внесенням оплати за нього виникає розбіжність, яка особливо зростає після стрибкоподібного підвищення ціни газу.

Графіки розв'язків моделі при східчастому помірному підвищенні ціни газу зображено на рис. 3.12. Як видно з отриманих розв'язків (рис. 3.12), обсяги зобов'язань і величина оплати зростає майже лінійно, не зважаючи, що в цей час відбулося східчасте зростання ціни газу (рис.3.13). На рис. 3.12 показано цей же розв'язок, що на рис. 3.12 в збільшеному масштабі для відрізка часу, протягом якого ціна газу не змінювалася. Видно, що між виникненням зобов'язань за споживанням газу та внесенням оплати зберігається характерне динамічне відставання.

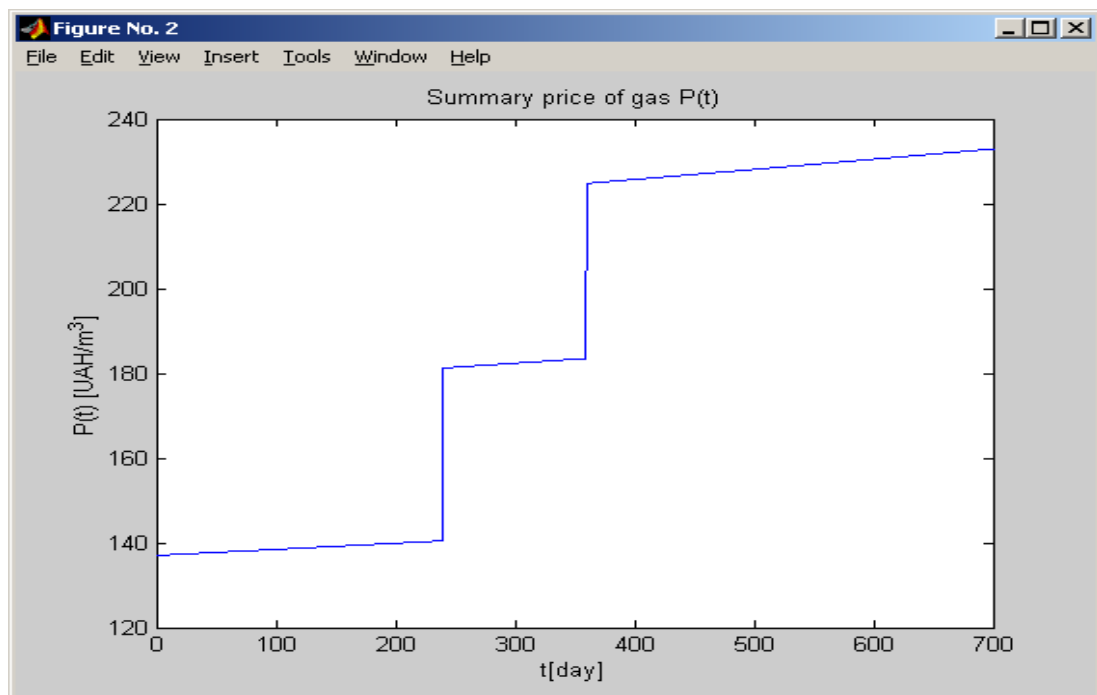


Рис. 3.11. Модельне східчасте підвищення ціни газу для виявлення динаміки виникнення боргу.

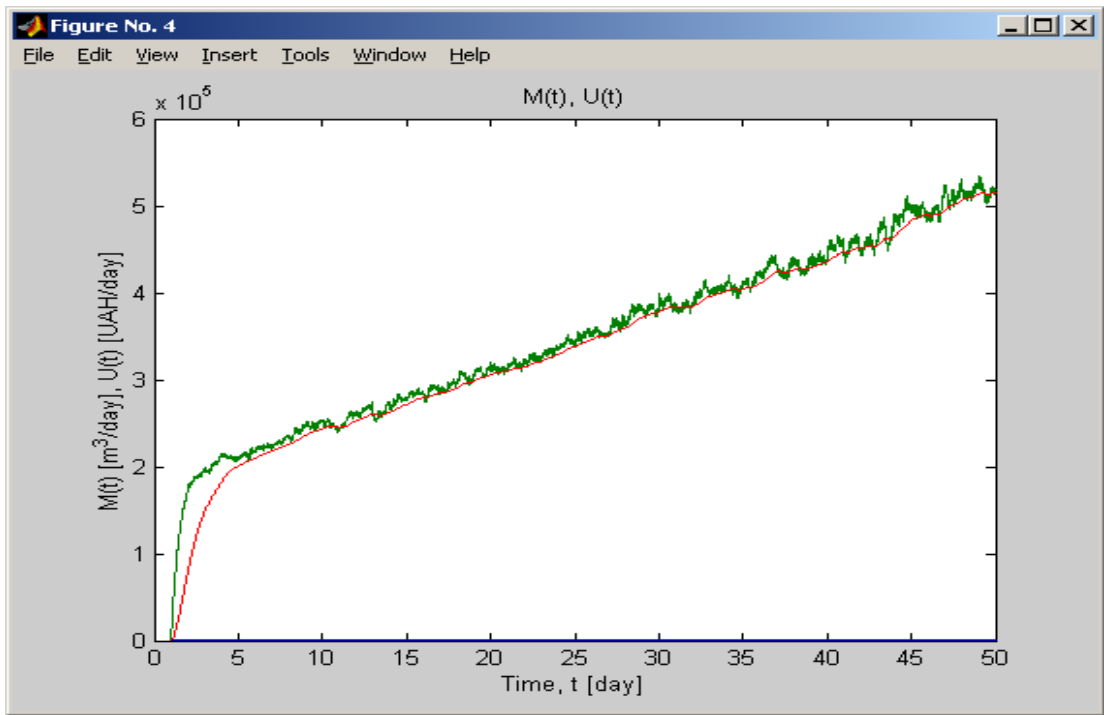


Рис. 3.12. Графік величини споживання газу, величини зобов'язань за спожитий газ і величини внесеної оплати

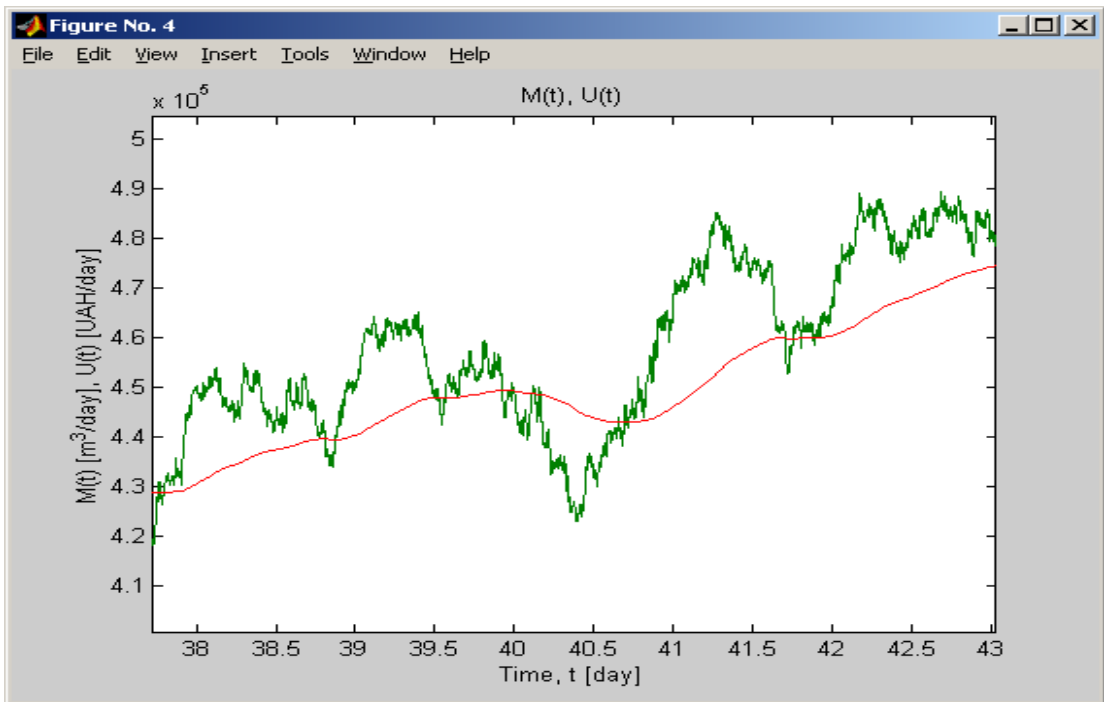


Рис. 3.13. Графік зобов'язань за спожитий газ і внесення оплати за нього (плавна лінія)

Як показують експерименти, це динамічне відставання дещо залежить від параметрів економічної поведінки споживачів – максимального і мінімального допустимих боргів. Все ж зміни цих параметрів суттєво не впливала на якісний вид розв'язків а моделі.

Також динаміки відставання внесення оплати за спожитий газ менше проявлялася в літній сезон, коли немає потреби споживати газ для опалення.

З цього випливають висновки загалом про стійку, дисципліновану поведінку споживачів газу, що є певним соціальним надбанням, яке необхідно зберігати.

На рис. 3.14 зображено графік зобов'язань за спожитий газ і графік внесення оплати в момент стрибкоподібного підвищення ціни газу влітку. Як видно з цього графіку, за підвищенням ціни настає майже стрибкоподібне зростання зобов'язань, яке, втім, повільніше за ріст ціни, що, очевидно викликано, обмеженням споживання газу в перші дні його подорожчання. Внесення оплати за споживання дорожчого газу супроводжується утворенням боргу, який згодом згасає.

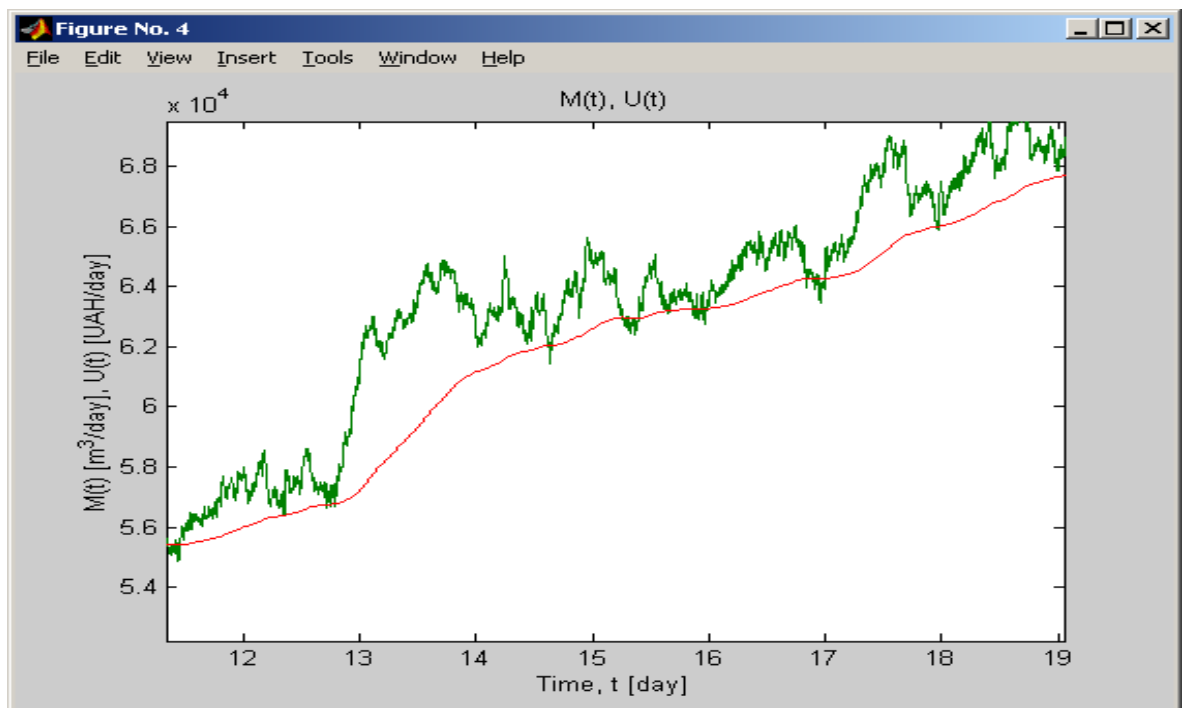


Рис. 3.14. Графік реакція внесення оплат під час підвищення ціни влітку

Розв'язки, зображені на рис. 3.14 відповідають умові стрибкоподібного підвищення ціни газу взимку, коли немає споживання газу для потреб опалення. Як видно, протягом літнього сезону ринок споживання газу зберігає сильну здатність адаптуватися до стрибкоподібного підвищення ціни газу. Це також необхідно враховувати, плануючи ціни на ринку газопостачання.

Якщо ж ціна газу стрибкоподібно зостає взимку, це викликає катастрофу в економічній системі. Графіки, що ілюструють таку катастрофу, зображено на рисунку 3.15 – 3.18.

Відразу треба зазначити, що графіки, отримані на рис. 3.16-18 є доволі неточними, адже в моделі не враховано споживання інших видів товару крім газу і обвал оплати вираховано лише при умові, коли всі заощадження громадян вкладаються в оплату за газ. В дійсності явища обвалу наступлять при приблизно вдвічі меншій ціні газу, адже половина доходів більшості громадян взимку витрачається на опалення.

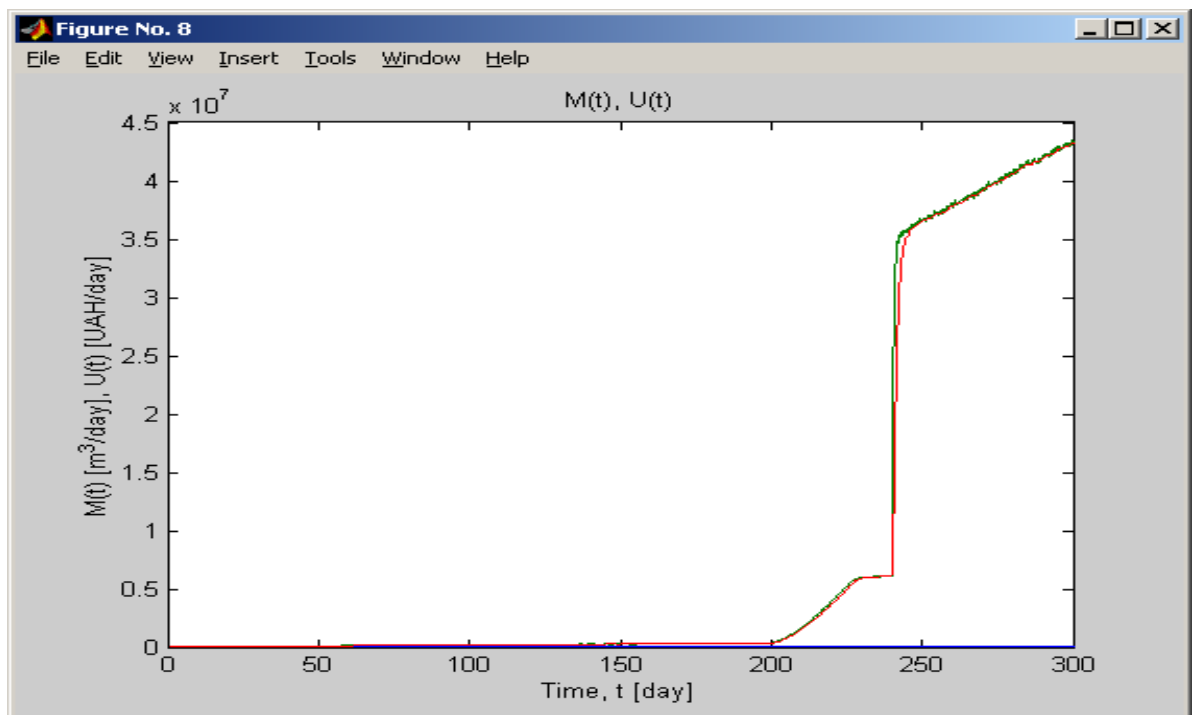


Рис. 3.15. Графік споживання газу, зобов'язань і оплати під час стрибкоподібного підвищення ціни газу взимку

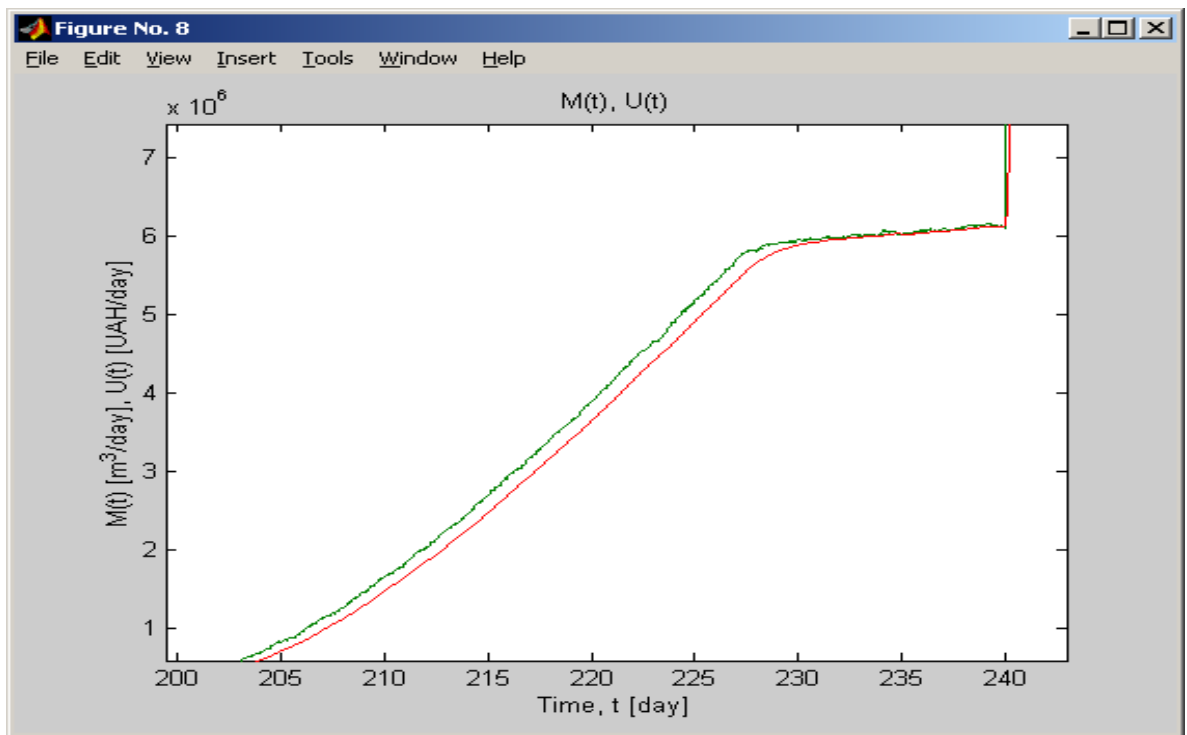


Рис. 3.16. Графік обвалу ринку газу під час стрибкоподібного підвищення ціни газу взимку (фрагмент рис. 3.15 у збільшеному масштабі)

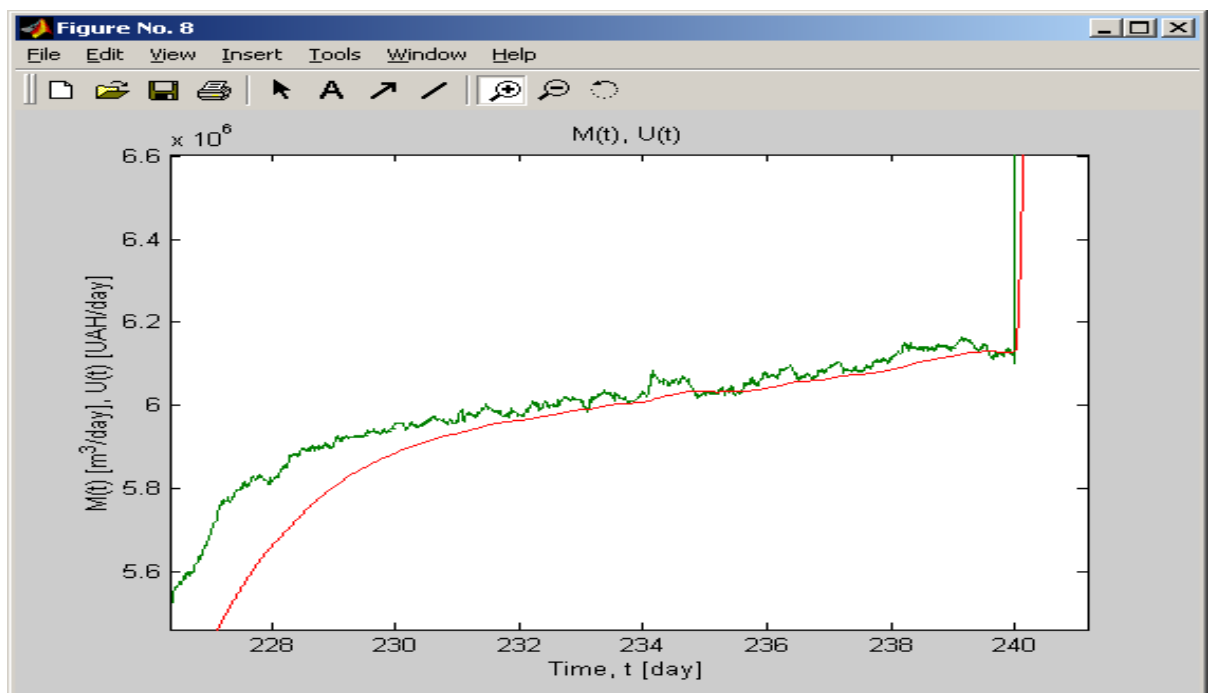


Рис. 3.17. Графік зростання зобов'язань за газ і внесення оплати перед моментом стрибкоподібного підвищення ціни газу взимку (фрагмент рис. 3.16 у збільшеному масштабі)



На рис. 3.16 видно поступове збільшення поступлень за споживання газу у зв'язку з початком зимового сезону, посеред якого наступає миттєве збільшення величини зобов'язань, викликане підвищенням цін за газ. В моделі це миттєве зростання цінит газу відображено таким же стрімким ростом зобов'язань і відповідним намаганням громадян оплатити ці зобов'язання.

В експерименті, проілюстрованому на рисунках 3.17-3.18 змодельовано ситуацію, коли споживачі змогли виплатити кошти в повному обсязі споживання.

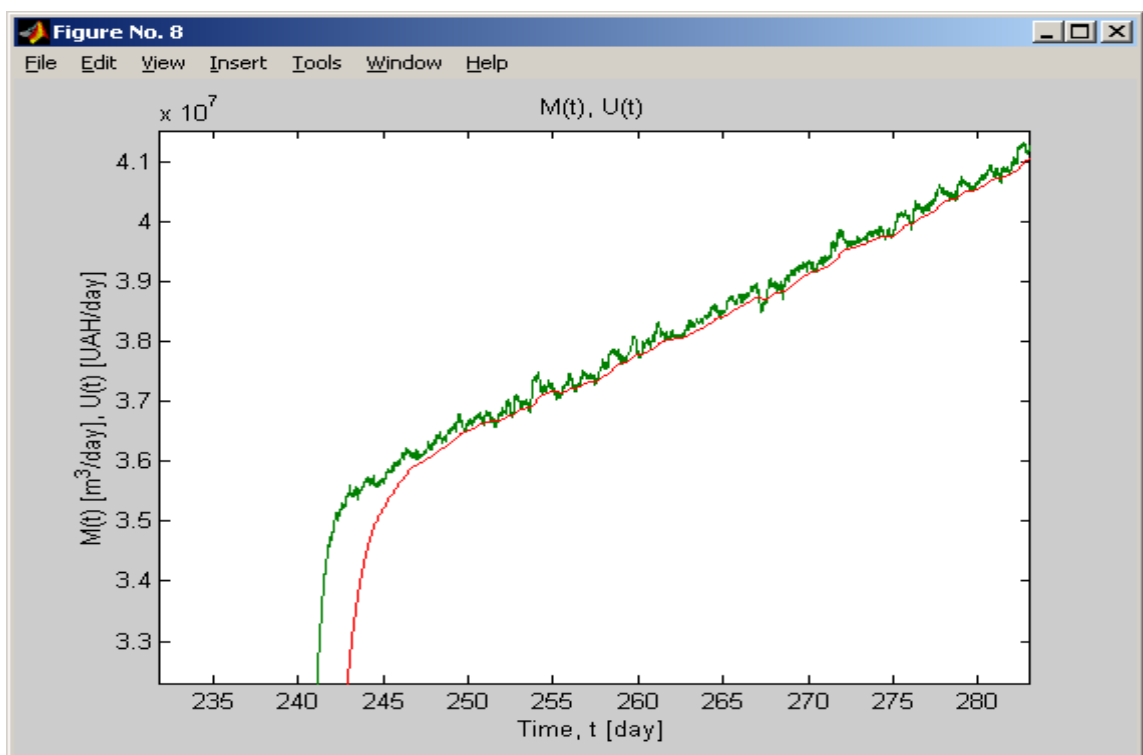


Рис. 3.18. Графік стабілізації споживання газу й внесення оплат після стрибкоподібного підвищення ціни газу взимку (фрагмент рис. 3.16 у збільшеному масштабі)

Як зазначалося вище, стрибок обсягів споживання, показаний на рис. 3.15, лише наближено, якісно відображає поведінку ринку газу під час стрімкого підвищення цін взимку. Тому результати останнього експерименту дозволяють робити лише якісні висновки щодо обсягів оплати під час катастрофічного підвищення цін посеред опалювального сезону.

Графік на рис. 3.18 також відображає невелику стабільну заборгованість, яка виникне після стімкого підвищення ціни газу в зимовий сезон, котра, додамо, не має тенденції до зниження, як це спостерігалось в експериментах з підвищення ціни газу влітку.

Аналіз проведених експериментів приводить до наступних висновків.

Споживання газу в регіоні відзначається стійкою дисципліною внесення платежів споживачами. Якщо стрибкоподібне підвищення ціни газу незначне, до того ж припадає на літній сезон, поступлення за спожитий газ швидко стабілізуються, формування заборгованості як перехідний динамічний процес, закінчується за відносно невеликий проміжок часу (в дійсності – за період нарахування оплати, тобто – місяць).

Для практичного дослідження моделі (2.29) було побудовано залежність величини замовлень на обігріваче газове обладнання  $x$  від продуктивності праці в регіоні, енергоозброєності одного робочого місця, зарплати одного працюючого, обсягів виробництва. В результаті отримано таку модель.

$$x = u_1 12.4775 - u_2 31.7606 + u_4 2.0301 + u_{17} 0.0076 \quad (2.30)$$

В цій моделі ідентифікаційні значення для величини зарплати одного працюючого  $u_2$  взято з розв'язків моделі (2.19)-(2.23), де  $y_2(t) = s_\theta$ , або  $y_2(t) = u_{1\theta}(t)$  з області  $t_l \in [t_0, t_{\max}] \cap [t_1, t_{N_y}]$ , котра припадає на 2003-2008 роки. Ця модель дає прості висновки щодо залежності замовлень на газове обігріваче обладнання від параметрів економічного середовища. Так, обсяги цих замовлень в регіоні сильно позитивно залежать від продуктивності праці (з коефіцієнтом 12.4), позитивно залежить від величини зарплати (з коефіцієнтом 2.03), майже не залежать від існуючих обсягів виробництва (коефіцієнт 0.007). Сильно негативно (з коефіцієнтом – 31.7) залежать від енергоозброєності. (рис. 3.30).

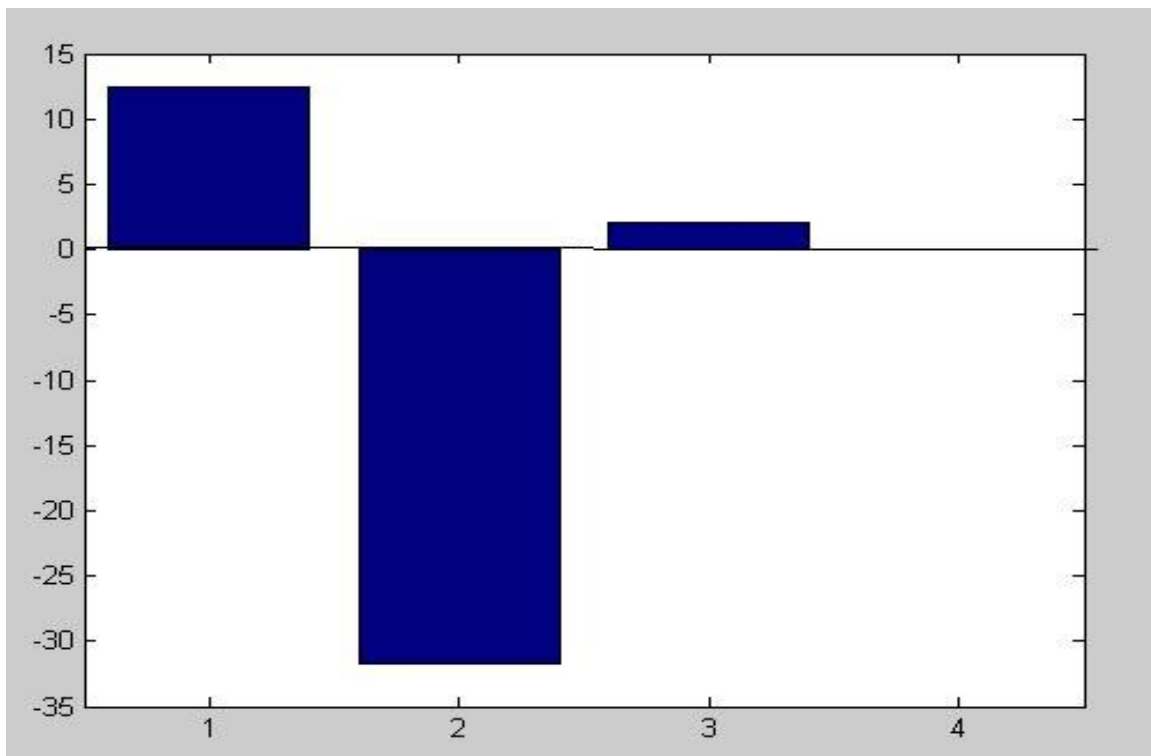


Рис. 3.8. Діаграма значень коефіцієнтів моделі (2.30)

Моделі виду (2.30), отримані як часткові випадки завальної моделі (2.29), дають прості рекомендації щодо пошуку ефективних напрямів вдосконалення роботи енергетичного підприємства. Отже, на основі добре розроблених методів аналізу лінійних рівнянь (2.26), (2.29) розроблено план-прогноз роботи енергетичного підприємства щоб проектувати бюджет його розвитку..

### Висновки до розділу 3

Обчислювальні експерименти з моделлю ціноутворення й споживання газу показують, що ці величини суттєво залежать від зовнішніх щодо економіки параметрів – встановлення ціни газу іноземними постачальниками. Для зниження цієї вразливості необхідно посилювати капіталовкладення у розробку альтернативних джерел енергозабезпечення. В моделі обсяг відрахувань на ці потреби відображено параметром  $b_2$ .

Прогнозування стійкого зростання доходів газотранспортних підприємств за умов існуючої дисципліни внесення платежів споживачами газу приводить до висновку про позитивні перспективи проблеми енергозабезпечення в

майбутньому. Єдиною умовою успішного розв'язання цієї проблеми залишається обов'язкове планомірне та цільове вкладання частки коштів від постачання газу на розвиток нових технологій енергозабезпечення.

Програмне забезпечення досліджуваної моделі дозволяє вивчати тенденції розвитку газового ринку України. Запропонований метод придатний для практичного використання як інструмент підтримки прийняття рішень при плануванні роботи підприємств з газопостачання, стану газового ринку України.

Прогнозні розв'язки моделі споживання газу застосовано для розробки лінійних багатофакторних моделей, що відображають залежність показників діяльності підприємства з встановлення обігрівуючого обладнання від розв'язків цієї моделі та інших факторів впливу.

Застосування запропонованого методу суттєво вдосконалює організаційно-планову роботу підприємств газової галузі, дозволяє виявляти на ранніх стадіях існуючі тенденції її розвитку, розкривати фактори енергетичної небезпеки. Що своєю чергою сприяє розв'язанню проблеми енергозабезпечення – однієї з найгостріших соціально-економічної задач, що стоїть перед українським суспільством.

## ВИСНОВКИ

В умовах інтенсивних соціально-економічних змін, викликаних політичним конфліктом, які охопили всі сфери українського суспільства важливо зберегти стійку планомірну роботу комплексу енергозабезпечення країни – її громадян, підприємств та організацій, забезпечити енергетичну незалежність України, розширити впровадження нових енергозберігаючих технологій, відкрити альтернативні та відновлювальні джерела енергозабезпечення.

Для розв'язку цієї задачі проведено огляд сучасного стану газової промисловості України, її газотранспортних підприємств та системи газопостачання. Описано організацію роботи підприємства, зайнятого встановленням обігрівача газопостачання. Відзначено особливості впливу на його роботу зі сторони ринку постачання газу, формування ціни газу.

Відмічено, що сучасний формування доходів підприємств, зайнятих встановленням обігрівача газопостачання, залежить від внутрішньої організації його роботи та від зовнішніх факторів впливу, до яких, зокрема, належить динаміка енергоспоживання та ціноутворення на газ.

Проведено огляд методів математичного моделювання, які застосовуються для моделювання енергоспоживання, виконано їх порівняльний аналіз і поставлено задачу розробити динамічну модель для обчислення прогнозів основних величин, котрі описують енергоспоживання, і визначення їх впливу на діяльність підприємства з встановлення обігрівача газопостачання.

Для розв'язку задачі прогнозного вирахування параметрів енергоспоживання розроблено імітаційну динамічну модель, яка враховує переміщення газу, потребу в ньому, випадкові відхилення від середнього споживання, сезонність споживання, зумовлену потребами опалення. А також – відтворює динамічні особливості формування боргу. Зокрема, модель динамічно зв'язує обсяги споживання, відповідні грошові зобов'язання та динаміку внесення оплати за них.

З допомогою цієї моделі розраховано прогнозні значення сезонного коливання величини поступлень за спожитий газ з урахуванням різкої зміни цінової політики іноземного постачальника газу.

На основі запропонованого алгоритму розроблено програмне забезпечення, яке вираховує ціну газу, обсяги його споживання й величину поступлень на користь підприємств зайнятих газопостачанням.

З допомогою розробленого програмного забезпечення виконано обчислювальні експерименти з вирахування прогнозного значення ціни газу за різних можливих стратегій поведінки іноземного постачальника газу. Вирахувано величину доходів від постачання газу в окремому адміністративному районі.

Розроблено лінійну багатофакторну модель величини для окремих параметрів щодо діяльності підприємства з встановлення обігрівача газопостачання. Для ідентифікації цієї моделі застосовано прогнозні розв'язки динамічної моделі енергоспоживання в регіоні.

Запропоновано спосіб застосування динамічної прогнозної моделі енергоспоживання та лінійної багатофакторної моделі як інструменту при плануванні роботи підприємства з встановлення й обслуговування побутового обігрівача газопостачання.

Досвід пробної експлуатації програмного забезпечення вирахування величини поступлень за спожитий газ підтверджує практичну ефективність методу.

Впровадження алгоритму прогнозування коливань поступлень дозволяє істотно підвищити якість планування окремого підприємства з газопостачання, відкриває шлях до впровадження нових технологій управління, які поєднують довготривале прогнозування обсягів поступлень за спожитий газ з перспективним розгортанням нових енергозберігаючих технологій та відкриттям відновлювальних й альтернативних джерел енергозабезпечення, які мають замінити нинішні без відновні джерела енергії.

Досвід побудови моделі врахування коливання поступлень за спожитий газ за умов різкої зміни ціни газу, результати практичного застосування отриманих прогнозів для фінансового планування на окремому підприємстві й практичне застосування моделі для дослідження закономірностей, що проявляються на сучасному ринку газу України підтверджують ефективність запропонованого методу. Його впровадження дає інструмент для розробки фінансових планів газотранспортного підприємства, визначення довготривалих стратегічних планів його розвитку, розробки перспективних планів розвитку паливно-енергетичного комплексу України, що становить майбутню основу енергетичної незалежності нашої країни.