

СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ В ПРОГНОЗУВАННІ РОЗВИТКУ СКЛАДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

© 2014 СОКОЛОВСЬКА З. М., ЯЦЕНКО Н. В.

УДК 658.012.2

Соколовська З. М., Яценко Н. В. Системно-динамічні моделі в прогнозуванні розвитку складних економічних систем

Мета статті полягає в розгляді та обґрунтуванні можливостей застосування системно-динамічного підходу в прогнозуванні розвитку складної економічної системи на прикладі динаміки морського порту. Узагальнюючи наукові праці багатьох вчених, стверджується, що необхідними умовами створення мінімалістичних моделей, адекватних реальним системам і поставленим завданням, є вдале обрання методології моделювання, програмних засобів реалізації та планів проведення імітаційних експериментів. Обґрунтовується доцільність застосування системно-динамічної методології залежно від рівня абстракції та ступеня агрегації досліджуваних процесів. Запропоновано комплекс моделей, спрямованих на прогнозування динаміки операційної діяльності порту та пов'язаних з нею фінансових потоків на різну часову перспективу. Наведено загальну структуру та фрагменти потокових діаграм моделі довгострокового прогнозування динаміки розвитку порту. Робота моделі представлена результатами імітаційних експериментів на прикладі Державного підприємства «Морський торговельний порт «Усть-Дунайськ». Імітаційні експерименти на моделях реалізовані на програмній платформі Ithink і сприяють визначенню загальних тенденцій функціонування об'єкта та отриманню уявлення про найбільш суттєві «вузькі місця».

Ключові слова: імітаційна модель, імітаційний експеримент, системна динаміка, потокові діаграми, прогнозування.

Рис.: 17. **Бібл.:** 16.

Соколовська Зоя Миколаївна – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій, Одеський національний політехнічний університет (пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна)

E-mail: nadin_zs@te.net.ua

Яценко Наталія Володимирівна – старший викладач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій, Одеський національний політехнічний університет (пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна)

E-mail: natali_j@te.net.ua

УДК 658.012.2

UDC 658.012.2

Соколовская З. Н., Яценко Н. В. Системно-динамические модели в прогнозировании развития сложных экономических систем

Цель статьи заключается в рассмотрении и обосновании возможностей использования системно-динамического подхода в прогнозировании развития сложной экономической системы на примере динамики морского порта. Обобщая научные труды многих ученых, утверждается, что необходимым условием создания минималистичных моделей, адекватных реальным системам и поставленным заданиям, является удачный выбор методологии моделирования, программных средств реализации и планов проведения имитационных экспериментов. Обосновывается целесообразность использования системно-динамической методологии в зависимости от уровня абстракции и степени агрегации исследуемых процессов. Предложен комплекс моделей, направленных на прогнозирование динамики операционной деятельности порта и связанных с ней финансовых потоков на различную временную перспективу. Приведена общая структура и фрагменты потоковых диаграмм модели долгосрочного прогнозирования динамики развития порта. Работа модели представлена результатами имитационных экспериментов на примере Государственного предприятия «Морской торговый порт «Усть-Дунайск». Имитационные эксперименты на моделях реализованы на программной платформе Ithink и способствуют определению общих тенденций функционирования объекта и получению представления о наиболее существенных «узких местах».

Ключевые слова: имитационная модель, имитационный эксперимент, системная динамика, потоковые диаграммы, прогнозирование.

Рис.: 17. **Библ.:** 16.

Соколовская Зоя Николаевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет (пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина)

E-mail: nadin_zs@te.net.ua

Яценко Наталья Владимировна – старший преподаватель кафедры экономической кибернетики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет (пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина)

E-mail: natali_j@te.net.ua

Sokolovska Zoia M., Yatsenko Nataliia V. System-dynamic Models in Forecasting Development of Complex Economic Systems

The goal of the article lies in consideration and justification of possibilities of use of the system-dynamic approach in forecasting development of a complex economic system using example of dynamics of a sea port. Generalising scientific works of many scientists, the article holds that the necessary condition of development of minimalistic models, adequate to real systems and set tasks, is a proper selection of methodology of modelling, relevant software and plans of conduct of simulation experiments. The article justifies expediency of use of the system-dynamic methodology depending on the level of abstraction and degree of aggregation of the studied processes. The article offers a set of models directed at forecasting dynamics of the operation activity of a port and connected financial flows for various time prospective. The article shows a general structure and fragments of flow charts of a model of long-term forecasting the port development dynamics. Operation of the model is presented by results of simulation experiments using example of the "Sea Trade Port Ust-Dunaysk" State Enterprise. Simulation experiments are realised on the Ithink software platform and facilitate identification of general tendencies of object functioning and detection of the most significant weak points.

Key words: simulation model, simulation experiment, system dynamics, flow chart, forecasting.

Pic.: 17. **Bibl.:** 16.

Sokolovska Zoia M. – Doctor of Science (Economics), Professor, Head of the Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Odessa National Polytechnic University (pr. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine)

E-mail: nadin_zs@te.net.ua

Yatsenko Nataliia V. – Senior Lecturer of the Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Odessa National Polytechnic University (pr. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine)

E-mail: natali_j@te.net.ua

Імітаційні дослідження знаходять значне розповсюдження у різних сферах. Однак у вітчизняній практиці розробка та використання імітаційних моделей конкретних об'єктів складає незначний відсоток від загальної кількості додатків, де досі превалюють навчальні та наукові моделі. Водночас попит на впровадження цього потужного апарату прогнозу, аналізу та оптимізації постійно зростає.

На сучасному етапі розвитку складні економічні системи вимушені працювати в умовах високої невизначеності, що суттєво ускладнює управління ними. У процесі прийняття управлінських рішень виникає проблема прогнозування поведінки системи та зовнішнього середовища. Результати прогнозів необхідно постійно коригувати по ходу розвитку подій, що дозволяє пристосовуватися до змін оточення та гнучко реагувати на негативні впливи. Імітаційне моделювання дозволяє здійснити множини прогнозів за різними сценаріями залежно від динамічного формування різноманітних ситуацій практично необмеженої складності. Необхідними умовами створення мінімалістичних моделей, адекватних реальним системам і поставленим завданням прогнозування й аналізу, є вдале обрання методології моделювання, програмних засобів реалізації та планів проведення імітаційних експериментів [1 – 7]. Проблема вибору методології тісно пов'язана з вибором рівня абстракції та ступеня агрегації досліджуваних процесів [2, 4, 8]. Згідно з цим дослідник може обирати одну з кількох можливих альтернатив – дискретно-подійний підхід, системно-динамічний, агентний або гібрид з перелічених методологій [9 – 13].

Метою статті є розгляд та обґрунтування можливостей застосування системно-динамічного підходу в прогнозуванні розвитку складної економічної системи – морського порту.

Сучасні портові комплекси – це масштабні технологічні системи, яким притаманні ті ж саме властивості, як і будь-якій складній економічній системі:

- ✦ ступінь складності: велика кількість процесів, нетривіальний характер їх взаємодії, комплексний вплив різноманітних стохастичних факторів зовнішнього та внутрішнього середовища функціонування об'єктів;
- ✦ структурованість: наявність конкретної організаційної структури.

У комплексних дослідженнях таких об'єктів можуть використовуватися різні підходи імітаційного моделювання залежно від поставлених тактичних і стратегічних задач [14 – 16].

Згідно з прийнятою Стратегією розвитку морських портів України (до 2038 р.) кожним портом розробляються власні плани розвитку, які містять три перспективи – короткострокову, середньострокову та довгострокову. Набувають значення прогнози відповідної тривалості.

Як об'єкт дослідження розглянемо Державне підприємство «Морський торгівельний порт «Усть-Дунайськ». У поточний час порт спеціалізується на перевантаженні навалювальних і генеральних вантажів. Основними напрямками його діяльності є:

- ✦ навантаження-вивантаження суден;
- ✦ перевалка вантажу з річкових суден на морські та навпаки;
- ✦ обслуговування пасажирів;
- ✦ транспортно-експедиторські й складські операції;

- ✦ агентування і комплексне обслуговування флоту (зняття льяльних, фекальних вод, сухого сміття, бункерування водою і паливом), буксирні операції;
- ✦ обслуговування несамохідного флоту;
- ✦ управління судноплавством на акваторії порту, інформаційне забезпечення;
- ✦ зовнішньоекономічна діяльність;
- ✦ забезпечення безпечної стоянки суден.

На базі розробленого комплексу моделей здійснюється прогнозування динаміки операційної діяльності порту та пов'язаних з нею фінансових потоків впродовж року (з різним часовим кроком імітації) та на довготривалу перспективу (крок імітації – рік). Обрання як базової системно-динамічної методології моделювання обґрунтовано таким.

Головною метою імітаційних експериментів було визначення загальних тенденцій функціонування об'єкта та отримання уявлення про найбільш вагомий «вузький міський». У такій постановці задачі дослідження носили стратегічний характер, були націлені, перш за все, на розробку довготривалої стратегії розвитку портового господарства, а тому допускали достатньо високий рівень агрегації в межах моделей. Імітація господарських операцій порту, пов'язаних з операційною діяльністю, здійснювалася із урахуванням багатьох стохастичних впливів факторів внутрішнього і зовнішнього середовища та з урахуванням часових затримок (тривалості) відповідних процесів.

Усе це відповідає системно-динамічній методології, коли динаміка об'єкта визначається у вигляді еволюційних змін, без відтворення окремих елементарних подій. Моделі при цьому представлені у вигляді взаємодії потоків різноманітної природи, що і потрібно у даному випадку: різноспрямовані вантажопотоки, заходи у порт вітчизняних і зарубіжних суден, фінансові потоки від здійснення конкретних видів операцій тощо.

Потоки і фонди є фундаментальними поняттями методу, на базі якого об'єкт моделювання представляється як динамічна система. Структурно модель – це сукупність фондів, пов'язаних між собою потоками. Вміст фондів вимірюється їх рівнем, а інтенсивність потоків визначається темпами або швидкістю переміщення вмісту фондів. Наведені поняття є дуже універсальними і легко інтерпретуються у термінах конкретної економічної системи. У даному випадку у вигляді фондів виступають обсяги вантажів різних типів, обсяги вантажоперевалювання конкретних країн і загальний обсяг вантажопереробки порту, кількість оброблених суден, доходи та витрати від каналних зборів, від зберігання вантажів на складах, загальний фінансовий результат роботи порту тощо.

Рівні фондів визначаються величинами безперервними за діапазоном своїх значень та дискретними у часі. Вони фактично є змінними стану системи, значення яких формуються за рахунок накопичення різниць між вхідними та вихідними потоками. Темпи потоків визначаються управлінськими рішеннями, які формуються на основі інформації про стан рівнів. Рівняння темпів – це формалізовані правила, що визначають, яким чином інформація про рівні призводить до вибору поточних значень темпів потоків.

Моделі системної динаміки – це моделі зі зворотними зв'язками, у яких процеси протікають у часі. Останнє досягається за рахунок наявності специфічної дискретної змінної – «часу». Користувач має змогу встановити як термін імітації – загальний час моделювання, так і крок імітації –

часовий крок моделювання (елементарну одиницю часу). Згідно з цим можливою є імітація тривалості будь-якого процесу – наприклад, операцій перевалки вантажів кранами або на рейді з судна на судно; терміну зберігання вантажів на складах; термінів оренди допоміжного флоту і т. ін.

На математичному рівні моделі системної динаміки є системою кінцево-різницевої рівнянь, які вирішуються на основі чисельного алгоритму інтегрування (за схемою Ейлера або Рунге – Кутта) з постійним кроком і заданими початковими значеннями. Формування моделі за методом системної динаміки здійснюється за допомогою діаграм причинно-наслідкових зв'язків. Діаграми визначають, в яких відношеннях знаходяться між собою змінні та являють собою розміщені графи.

Таким чином, системна динаміка замінює індивідуальні об'єкти їх агрегатами та передбачає найвищий рівень абстракції і безперервність процесів у часі, що і відповідає цілям конкретного дослідження. Як програмну платформу реалізації використано технологію Ithink.

Структуру моделі довгострокового прогнозування динаміки розвитку порту наведено на *рис. 1*.

Прогнози динаміки основних складових операційної діяльності, а також доходної та витратної частин пов'язаних з ними фінансових потоків здійснювалися з використанням наявних статистичних даних за ретроспективні періоди, а також з врахуванням впливу різноманітних стохастичних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища функціонування портового комплексу.

Потокові діаграми фрагменту моделі, який стосується прогнозування обсягів вантажопереробки порту та фі-

нансових потоків доходів і витрат, пов'язаних з вантажопереробкою, наведені на *рис. 2*.

Обсяги вантажопереробки (за видами вантажів) моделюються за допомогою масиву фондів «вантажопереробка», рівень яких визначається вхідними потоками «вантажі». Темпи вхідних потоків визначаються двома конверторами та підмоделлю:

- ✦ конвертор «статистика вантажопотоків» – задається функцією $GRAF(Time)$, де $Time$ – поточний час в межах процесу моделювання;
- ✦ конвертор «прогноз вантажопотоків» – визначається функцією $FORCST$, яка здійснює екстраполяцію тенденції «статистика вантажопотоків» на задану відстань у майбутнє. $FORCST$ обчислює тенденцію на вході, основану на значеннях вхідного конвертору, величини експоненціальної середньої входу першого порядку і середнього часу. Потім $FORCST$ екстраполює тенденцію на майбутнє. Наприклад, $FORCST(статистика вантажопотоків, (рік даних - 2008 + 1), 5)$, де «рік даних» – змінна, в якій зберігається час закінчення наявної статистики (може встановлюватися користувачем автоматично на CASE-рівні за допомогою стандартного блоку Graphical Input Device). У наведеному прикладі константа 2008 – рік початку наявної статистики. Прогноз робиться до 2018 р.;
- ✦ підмодель «фактори впливу на обсяги вантажопотоків» призначена для генерації впливів комплексу детермінованих і стохастичних факторів.

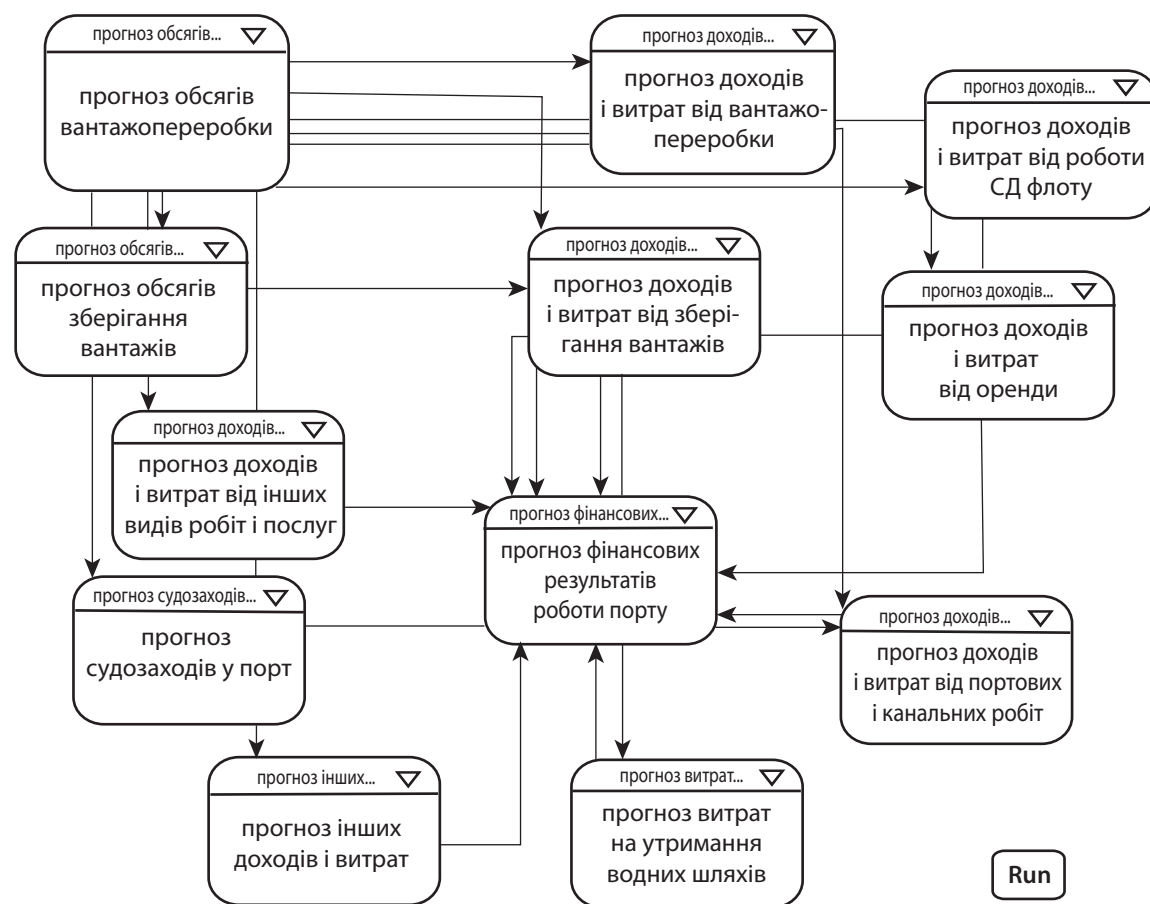


Рис. 1. Структура моделі довгострокового прогнозування функціонування порту

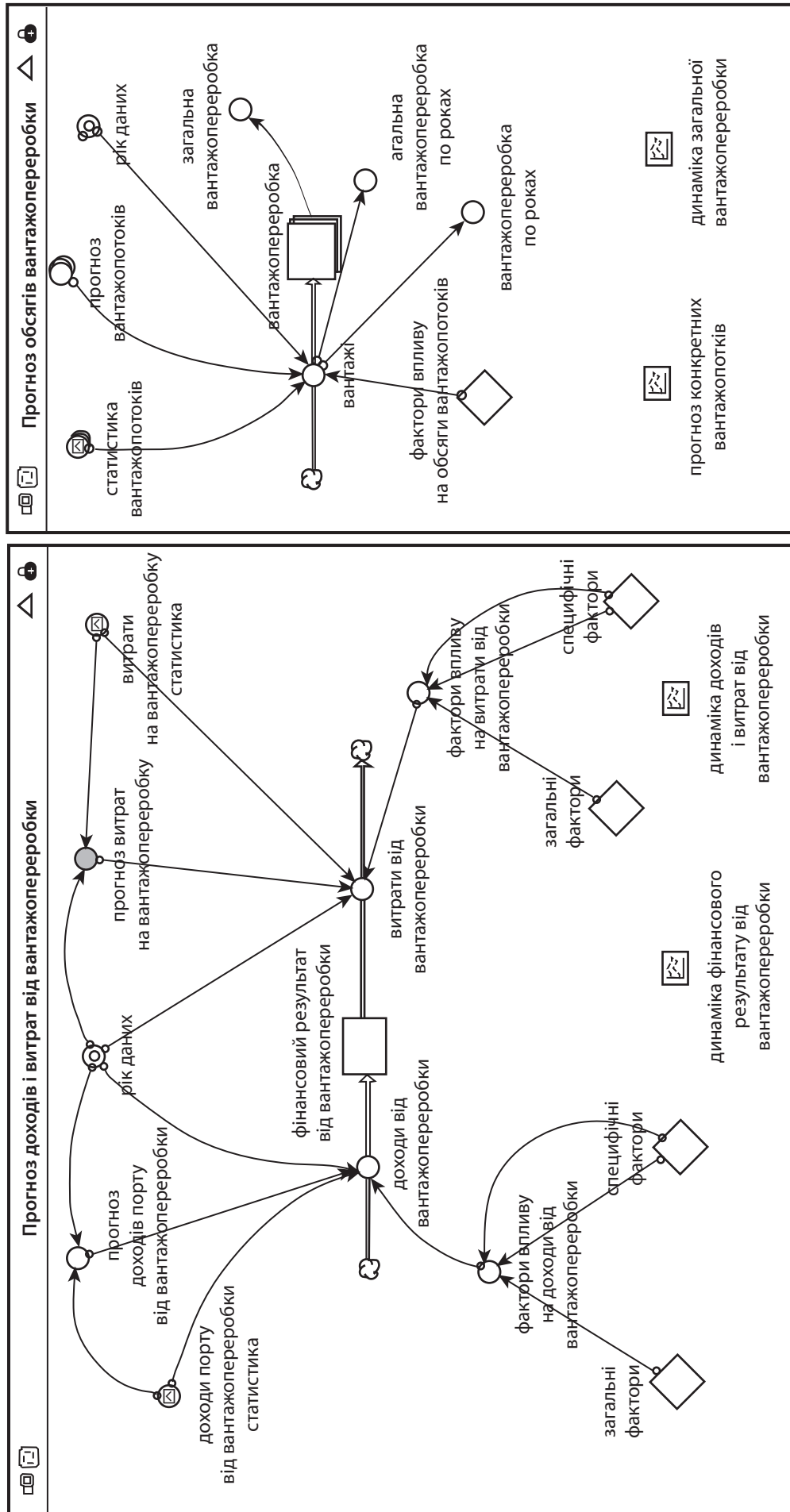


Рис. 2. Модельні блоки «Прогноз обсягів вантажообороту» та «Прогноз доходів і витрат від вантажообороту» (фрагменти)

Загальний фінансовий результат від вантажопереробки, представлений у фрагменті, формується вхідним «доходи від вантажопереробки» та вихідним «витрати від вантажопереробки» потоками. Темпи потоків визначаються трьома конверторами, один з яких задає наявну статистику доходів/витрат (функції GRAF(Time)); другий формує прогнозні дані (функції FORCST); третій – інтегральна змінна, значення якої (доходи/витрати) формується на базі роботи двох підмоделей («Загальні фактори», «специфічні фактори»).

До складу загальних належать економічні, політичні фактори; кліматичні та екологічні впливи. Специфічні фактори відображають стан обладнання, інфраструктури порту; хід днопоглиблювальних робіт; зміни рівня витрат на паливо, електроенергію, матеріали, заробітну плату, ремонтні роботи; наявність непередбачуваних витрат тощо. Комплекс факторів формується гнучко. Також передбачені різні алгоритми визначення конкретних та інтегральних впливів (з використанням різних законів розподілу стохастичних величин) залежно від змодельованих ситуацій.

На основі моделювання динаміки окремих складових формується загальна динаміка операційної та фінансової (у межах наведених операцій) діяльності порту на тривалу перспективу (фрагмент потокової діаграми – *рис. 3*).

Роботу моделі розглянемо на прикладі деяких результатів імітаційних експериментів.

На поточний час однією зі значних проблем всіх Дунайських портів є падіння вантажопотоків.

Прогнозна динаміка загальних обсягів вантажопереробки на довгострокову перспективу без урахування та з врахуванням впливу стохастичних факторів зовнішнього і внутрішнього середовища представлена, відповідно, на *рис. 4* і *рис. 5*.

З наведеного видно, що прогнози динаміки обсягів вантажно-розвантажувальних робіт по порту загалом несприятливі. Однак це стосується не всіх видів вантажів. Наприклад, відносно вантажопереробки зерна прогнозується позитивна тенденція на тривалу перспективу (*рис. 6*).

Песимістичний (*рис. 7*) та оптимістичний (*рис. 8*) прогнози динаміки доходів і витрат від вантажопереробки демонструють два ймовірні варіанти розвитку подій.

Якщо існуючи реалії та кризові явища будуть зберігатися та поглиблюватися, вірогіднішим є песимістичний варіант -- негативна динаміка доходів та, відповідно, позитивна динаміка витрат. У разі зміни ситуації та з урахуванням більш сприятливого впливу факторів зовнішнього та внутрішнього оточення прогнозується поступове збільшення доходів від вантажопереробки, однак все одно зі значним підвищенням рівня витрат – оптимістичний прогноз.

Серед складових доходної частини фінансових потоків порту найбільша інтенсивність спостерігається по доходам від роботи службово-допоміжного (СА), рейдового та місцевого флоту; доходам від оренди флоту, а також від інших видів робіт та послуг. Така ситуація є наслідком достатньо сталої тенденції і обумовлена одержанням доходів від надання послуг портовим флотом (буксирами, бункерувальниками питної води), а також надходженням доходів від інших послуг, що надаються службою портового нагляду (оформлення приходу-відходу, завірення журналів тощо), адміністративно-господарським відділом (обслуговування пасажирів, послуги автотранспорту, ВОХР) і портовим пунктом (наприклад, послуги докерів і т. ін.).

Позитивна динаміка наведених доходів, згідно з довгостроковим прогнозом, зберігатиметься і надалі (*рис. 9, рис. 10*). Однак на фоні зростання витрат, особливо за іншими видами послуг.

Доходи від оренди флоту мають місце на фоні відносно мінімальних витрат, пов'язаних з цим видом діяльності. Однак така тенденція не є сталою. Результати імітаційних експериментів доводять спад доходів від оренди, що обумовлено поступовим виведенням зі строю, списанням буксирів, плавучих кранів та практично відсутністю оновлення портового флоту (*рис. 11*).

За результатами імітаційних експериментів (песимістичний варіант) у довгостроковій перспективі прогнозується значне скорочення портових і каналних зборів та паралельно зростання витрат (*рис. 12*). Ситуація незначно поліпшиться до 2018 р.: прогнозується невелика позитивна динаміка. За оптимістичним варіантом стан дещо кращий (*рис. 13*).

Ситуація має об'єктивні пояснення, якщо звернутися до розгляду динаміки кількості оброблених у порту вітчизняних та іноземних суден – песимістичний варіант (*рис. 14*). За оптимістичним прогнозом динаміка судозаходів має поліпшитися (*рис. 15*).

Довгостроковий прогноз загальної динаміки доходів та витрат від діяльності порту -- песимістичний та оптимістичний варіант – наведені, відповідно, на *рис. 16* і *рис. 17*.

Таким чином, імітаційні експерименти, проведені на моделях, дозволили визначити та обґрунтувати ряд тенденцій функціонування та розвитку досліджуваного порту:

- ✦ значне та стале падіння загальних обсягів та, відповідно, доходів від вантажопереробки;
- ✦ позитивні прогнози стосовно динаміки потоків окремих видів вантажів – зернових, металів;
- ✦ суттєве зменшення заходів у порт вітчизняних та іноземних суден;
- ✦ негативну тенденцію доходів від портових і каналних зборів, а також від оренди флоту;
- ✦ зростання витрат практично по всім складовим операційної діяльності;
- ✦ аналіз чутливості досліджуваних процесів виявив серед найбільш впливових специфічних негативних факторів стан днопоглиблювальних робіт (не вистачає глибин для заходу багатотоннажних суден), стан перевантажувального обладнання (ступінь зносу порталних кранів перевищує 90%) та портової інфраструктури; зростання витрат на паливо, енергію та ремонтні роботи; вимоги карантинних органів. Негативний вплив загальних факторів обумовлений нестабільністю політичного та економічного становища в країні та несприятливою ситуацією в Дунайському регіоні (економічно-депресивний район, відсутність притоку інвестицій).

ВИСНОВКИ

Принципи, на яких базується системна динаміка, дозволяють моделювати динамічні системи практично необмеженої складності. Будь-яка інформація за проблемою може бути формалізована та «вбудована» в модель. Системно-динамічні моделі формують реальну структуру досліджуваних бізнес-систем і структуру прийняття рішень стосовно їх розвитку.

З апропоновані моделі прогнозу динаміки функціонування порту є інструментами постійного використання. Тренажерний характер моделей дозволяє програвати багатofакторні зміни ситуацій, створювати низку сценаріїв можливого розвитку подій. Проведення аналізу чутливості моделей наглядно демонструє зміни результатів експериментів в залежності від варіації конкретних параметрів. Прогнози, отримані в ході експлуатації моделей, треба оцінювати не з позицій величини похибки (наскільки точними є значення результатних по-

казників), а з позицій достовірності загальних тенденцій процесів, можливостей заздалегідь уявити «вузькі місця» та прийняти відповідні заходи.

Використання CASE-технологій пакету Ithink значно спрощує технологію проведення імітаційних експериментів, що робить її більш прийнятною для експлуатації в повсякденній діяльності. Модульність та відкритість модельного комплексу передбачає пристосування до специфіки конкретних об'єктів аналогічного спрямування. ■

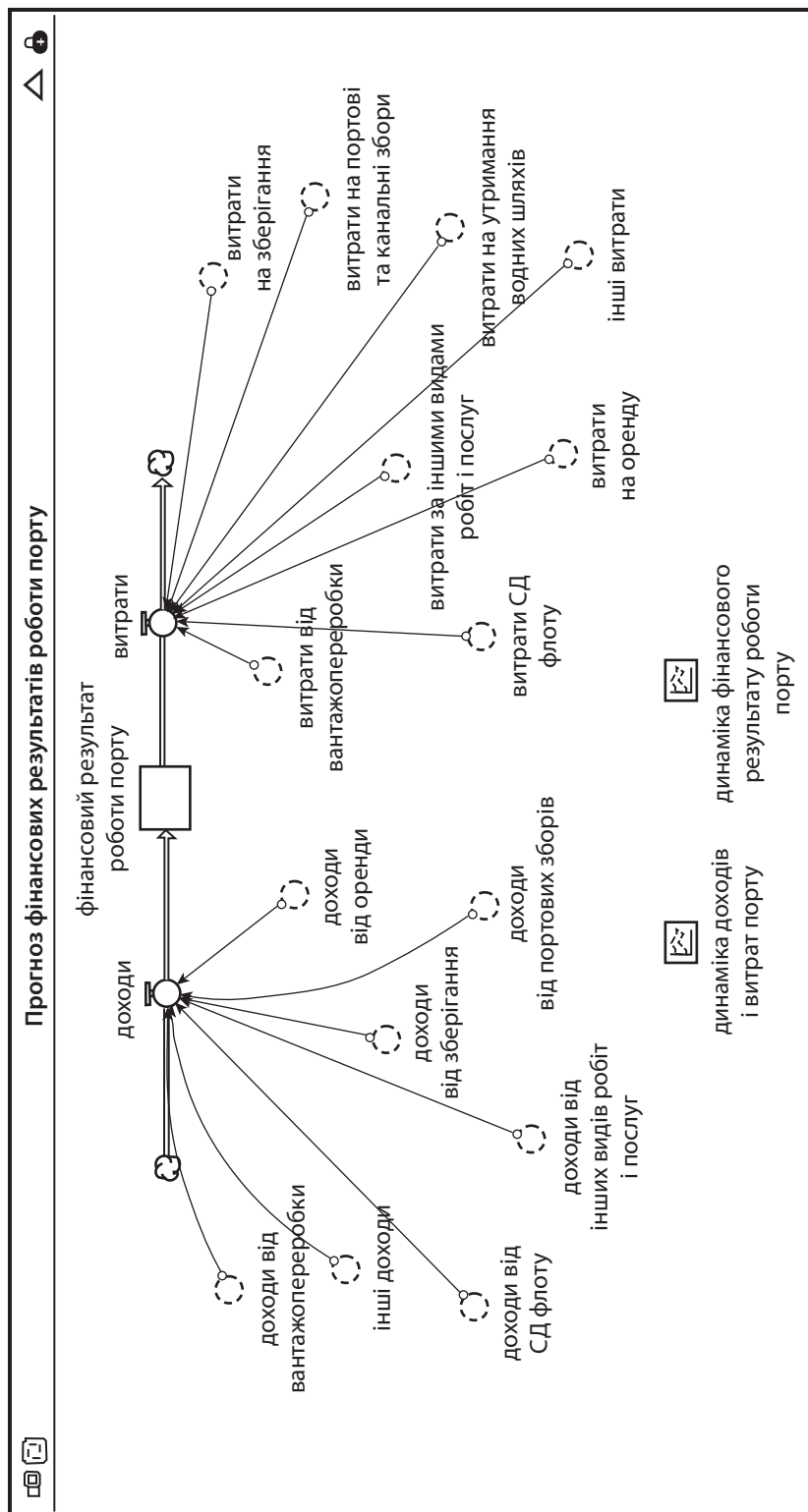


Рис. 3. Модельний блок «Прогноз фінансових результатів роботи порту» (фрагмент)

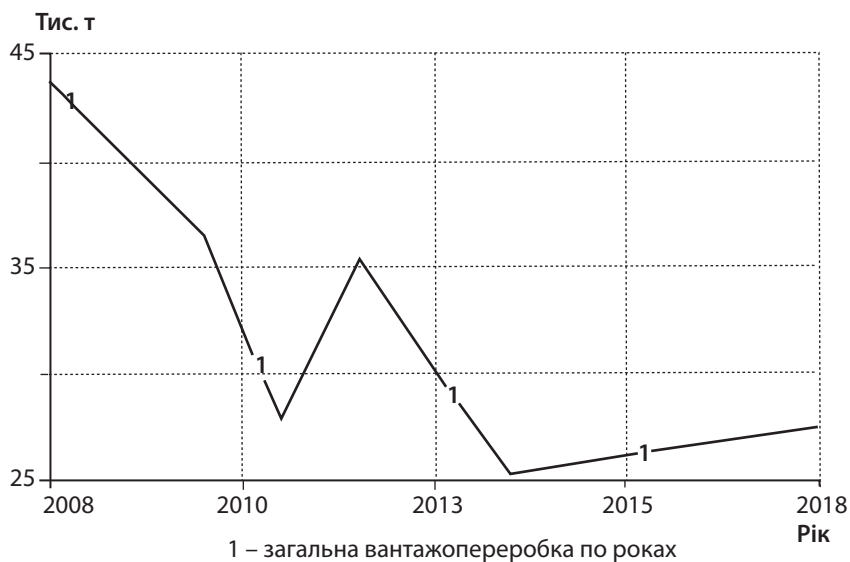


Рис. 4. Динаміка вантажопереробки без урахування факторного впливу (тис. т)

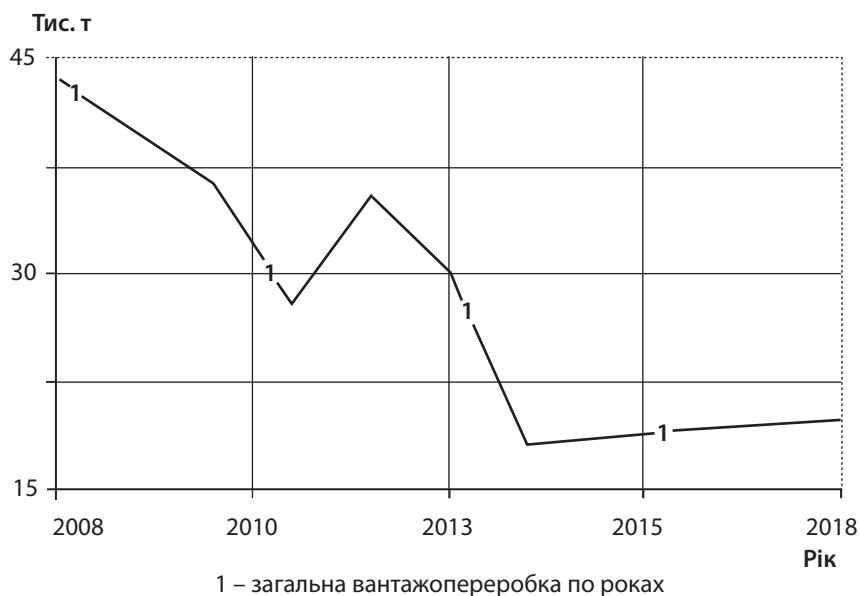


Рис. 5. Динаміка вантажопереробки з урахуванням факторного впливу (тис. т)

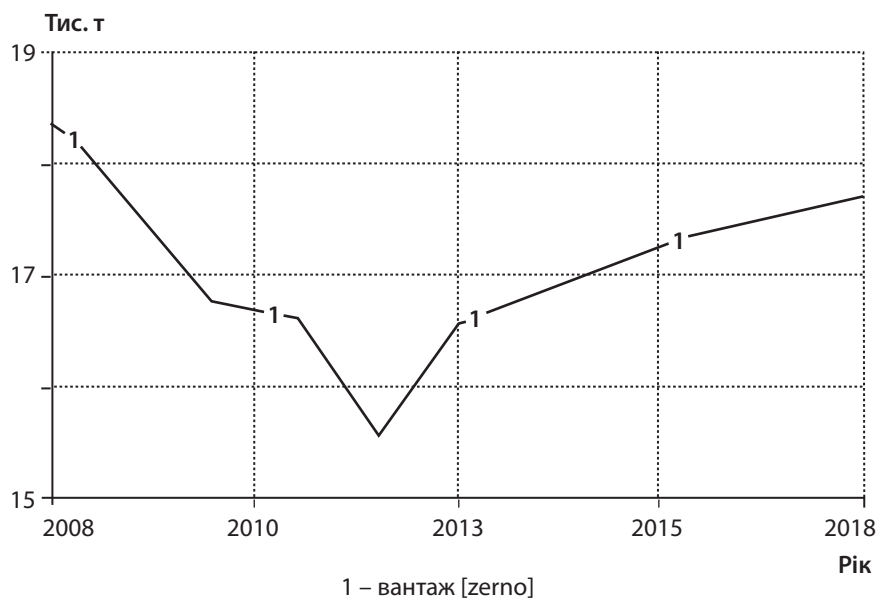


Рис. 6. Динаміка вантажопереробки зернових з урахуванням факторного впливу (тис. т)

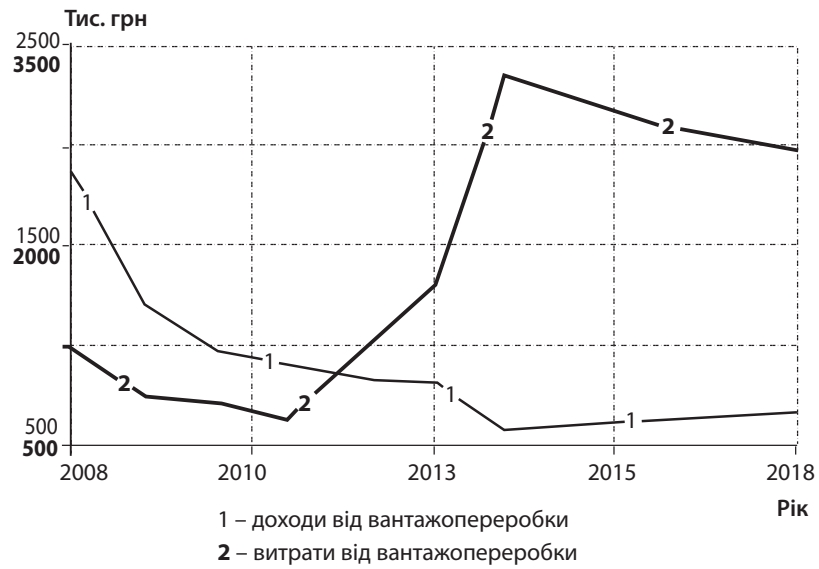


Рис. 7. Песимістичний прогноз динаміки доходів і витрат від вантажно-розвантажувальних робіт (тис. грн)

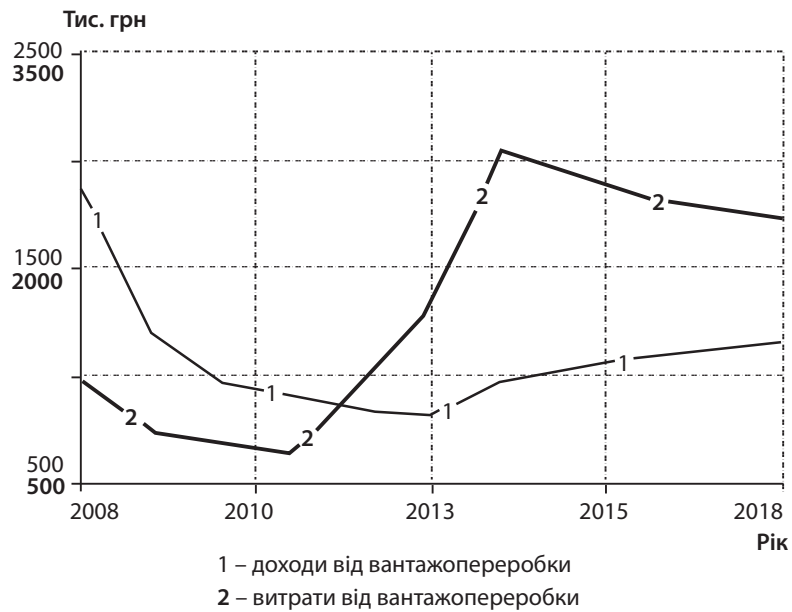


Рис. 8. Оптимістичний прогноз динаміки доходів і витрат від вантажно-розвантажувальних робіт (тис. грн)



Рис. 9. Прогноз динаміки доходів і витрат від роботи СД, рейдового та місцевого флоту (тис. грн)

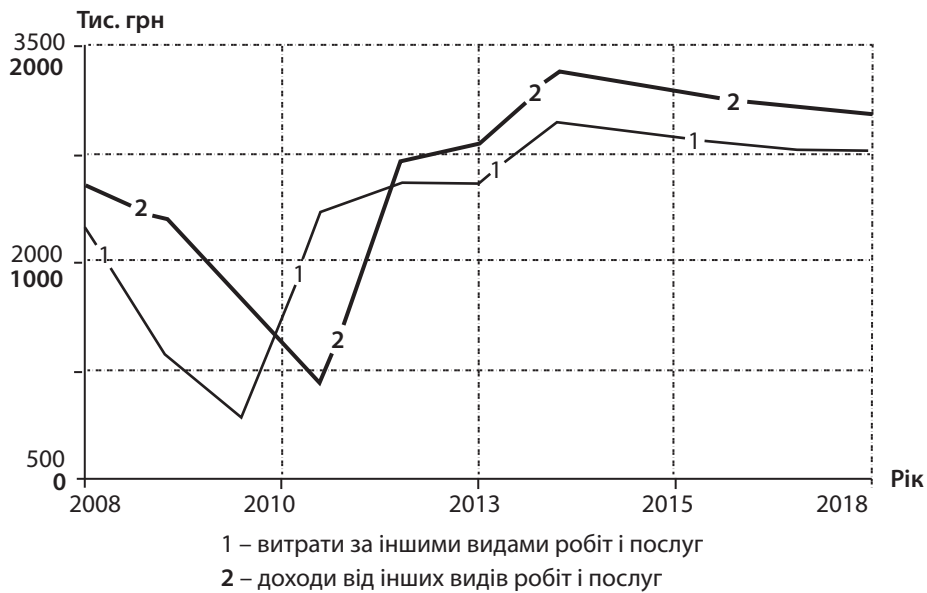


Рис. 10. Прогноз динаміки доходів витрат від інших видів робіт і послуг (тис. грн)

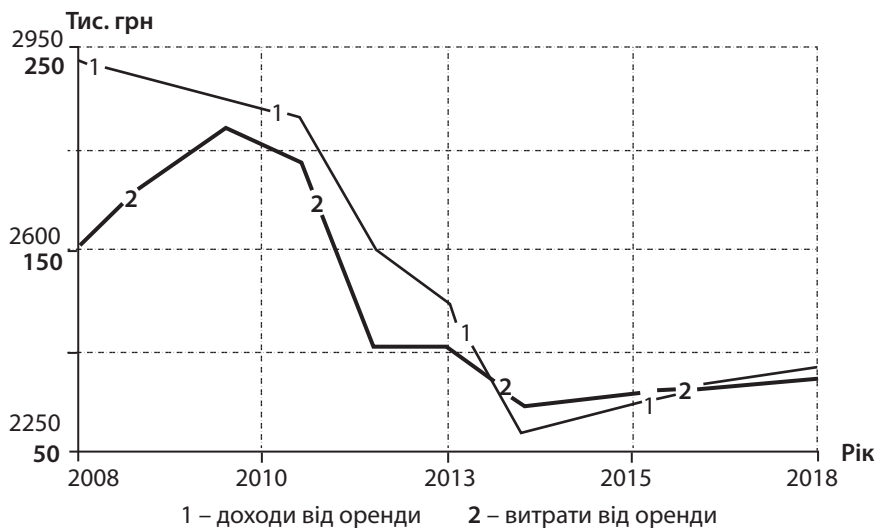


Рис. 11. Прогнозна динаміка доходів/витрат від оренди флоту (тис. грн)

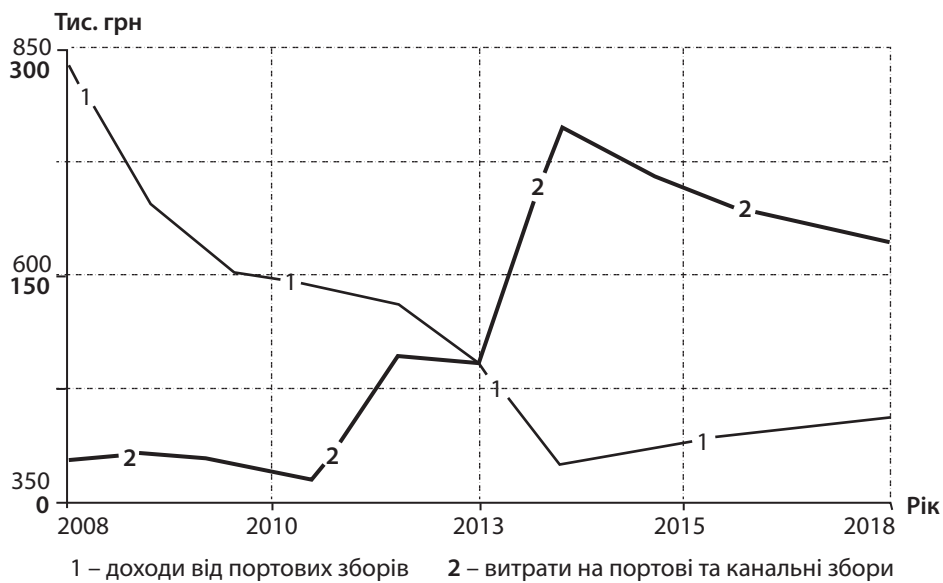


Рис. 12. Песимістичний прогноз динаміки доходів і витрат від портових і канальних робіт (тис. грн)

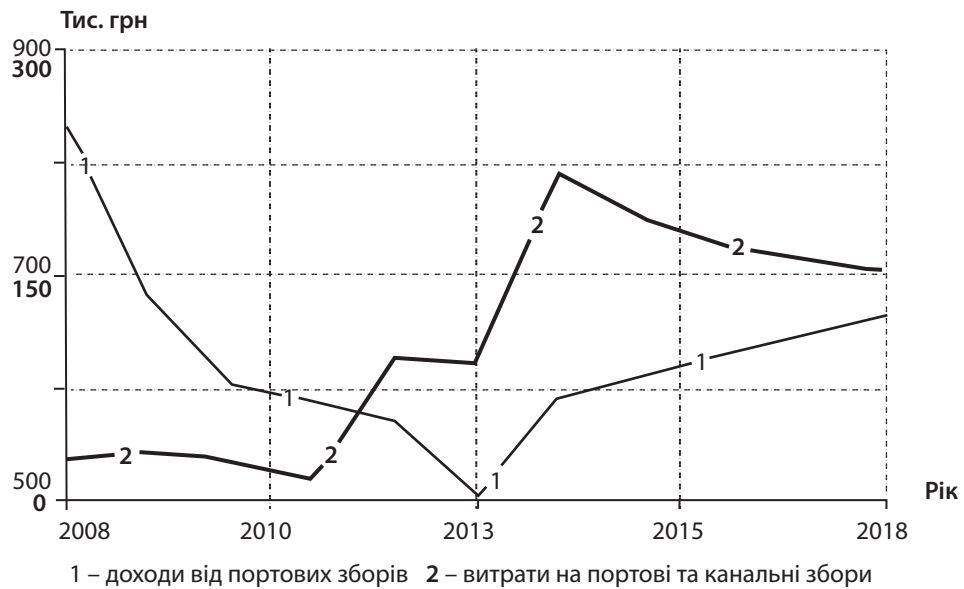


Рис. 13. Оптимістичний прогноз динаміки доходів і витрат від портових і каналних робіт (тис. грн)

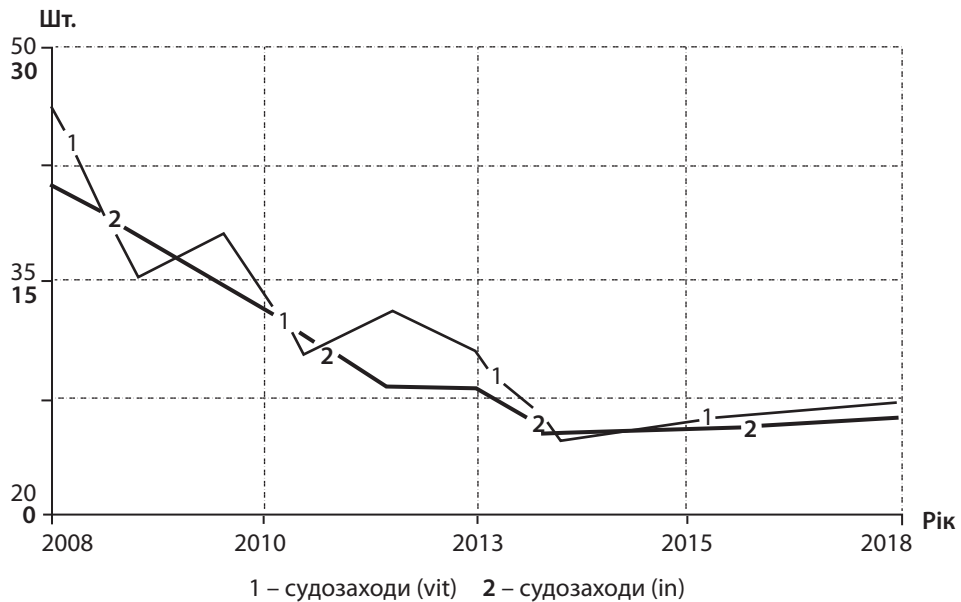


Рис. 14. Песимістичний прогноз динаміки судозаходів вітчизняних (vit) та іноземних (in) суден (шт.)

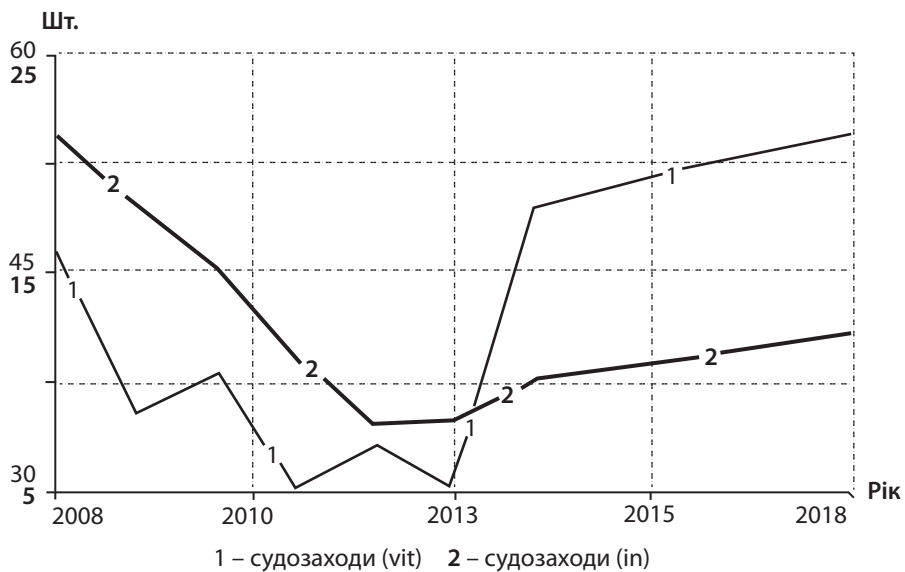


Рис. 15. Оптимістичний прогноз динаміки судозаходів вітчизняних (vit) та іноземних (in) суден (шт.)



Рис. 16. Песимістичний прогноз динаміки доходів і витрат від діяльності порту (тис. грн)



Рис. 17. Оптимістичний прогноз динаміки доходів та витрат від діяльності порту (тис. грн)

ЛІТЕРАТУРА

1. **Девятков В. В.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем / В. В. Девятков. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 448 с.
 2. **Каталевский Д. Ю.** Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении / Д. Ю. Каталевский. – М.: МГУ, 2011. – 304 с.
 3. **Кобелев Н. Б.** Большие системы и их имитационное моделирование / Н. Б. Кобелев. – М.: ПРИНТ-СЕРВИС, 2011. – 260 с.
 4. **Соколовська З. М.** Комп'ютерне моделювання складних економічних систем : монографія / З. М. Соколовська, О. А. Клепікова. – Одеса : Астропринт, 2011. – 502 с.
 5. **Цисарь И. Ф.** Моделирование экономики в Ithink_Stella. Кризисы, налоги, информация, банки / И. Ф. Цисарь. – М.: ДИАЛОГ_МИФИ, 2009. – 224 с.
 6. **Oren T. I.** Zeigler Concepts for Advanced Simulation Methodologies, Simulation / T. I. Oren, B. P. Zeigler. – North-Holland Publishing company, 2009. – Pp. 78 – 88.

7. **Sterman J.** Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World / J. Sterman. – Boston : McGraw-Hill Companies, 2000. – 276 p.
 8. **Борщев А.** Как построить простые, красивые и полезные модели сложных систем / А. Борщев // Имитационное моделирование. Теория и практика : материалы конф. ИММОД-2013. – Т. 1. – Казань : Изд. «ФЭН» АН РТ, 2013. – С. 21 – 34.
 9. **Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 765 с.
 10. **Лычкина Н. Н.** Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития / Н. Н. Лычкина // Имитационное моделирование. Теория и практика : материалы конф. ИММОД-2009. – Т. 1. – С-Пб : ОАО «ЦТСС», 2009. – С. 48 – 56.
 11. **Плотников А. М.** Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации / А. М. Плотников, Ю. И. Рыжиков, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов // Имитационное моделирование. Теория и практика : материалы конф. ИММОД-2013. – Вып. № 2 (25). – С-Пб : Тр. СПИИРАН, 2013. – С. 42 – 112.

12. Борщев А. От системной динамики и традиционного имитационного моделирования – к практическим агентным моделям: причины, технологии, инструменты / А. Борщев [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.xjtek.com>

13. Многоподходное имитационное моделирование в AnyLogic. XJ Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.xjtek.ru>

14. Киндинова В. В. Имитация сложных систем и логистический реинжиниринг / В. В. Киндинова, Е. О. Кринецкий, Е. В. Кузнецова, Ю. А. Шебеко // Имитационное моделирование. Теория и практика : материалы конф. ИММОД-2013. – Казань : Изд. «ФЭН» АН РТ, 2013. – С. 170 – 172.

15. Семёнов К. М. Методика систематизации процессов в дискретно-событийной имитационной модели морского порта / К.М. Семенов // Вестник АГТУ. – Серия «Морская техника и технология». – 2013. – № 2. – С. 184 – 192.

16. Martagan T. A simulation model of port operations during crisis conditions / T. Martagan, B. Eksioglu, S. Eksioglu, A. Greenwood // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. – P. 2832 – 2843.

REFERENCES

Borshchev, A. "Kak postroit proste, krasivye i poleznye modeli slozhnykh sistem" [How to build a simple, interesting and useful models of complex systems]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika*. Kazan: FEN AN RT, 2013.21-34.

Borshchev, A. "Ot sistemnoy dinamiki i traditsionnogo imitatsionnogo modelirovaniia – k prakticheskim agentnym modeliam: prichiny, tekhnologii, instrumenty" [Of system dynamics simulation and traditional – to practical agent model : causes, technologies and tools]. <http://www.xjtek.com>

Deviatkov, V. V. *Metodologiia i tekhnologiia imitatsionnykh issledovaniy slozhnykh sistem* [Methodology and technology of simulation studies of complex systems]. Moscow: INFRA-M, 2013.

Forrester, Dzh. *Osnovy kibernetiki predpriiatiia* [Fundamentals of Cybernetics enterprise]. Moscow: Progress, 1971.

Kobelev, N. B. *Bolshie sistemy i ikh imitatsionnoe modelirovanie* [Large systems and their simulations]. Moscow: PRINT-SERVIS, 2011.

Katalevskiy, D. Yu. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniia i sistemnogo analiza v upravlenii* [Fundamentals of simulation and analysis system to manage]. Moscow: MGU, 2011.

Kindinova, V. V., Krinetskiy, E. O., and Kuznetsova, E. V. "Imitatsiia slozhnykh sistem i logisticheskiy reinzhiniring" [Simulating complex systems and logistics reengineering]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika*. Kazan: FEN AN RT, 2013. 170-172.

Lychkina, N. N. "Retrospektiva i perspektiva sistemnoy dinamiki. Analiz dinamiki razvitiia" [Retrospect and prospect of the system dynamics. Analysis of the dynamics of development]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika*. SPb: TsTSS, 2009. 48-56.

"Mnogopodkhodnoe imitatsionnoe modelirovanie v AnyLogic. XJ Technologies" [Simulation with many approaches in AnyLogic. XJ Technologies]. <http://www.xjtek.ru>

Martagan, T., Eksioglu, B., and Eksioglu, S. "A simulation model of port operations during crisis conditions". *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*: 2832-2843.

Oren, T. I., and Zeigler, B. P. *Concepts for Advanced Simulation Methodologies, Simulation*: North-Holland Publishing company, 2009.

Plotnikov, A. M., Ryzhikov, Yu. I., and Sokolov, B. V. "Analiz sovremennogo sostoiianiia i tendentsii razvitiia imitatsionnogo modelirovaniia v Rossiyskoy Federatsii" [Analysis of the current status and development trend of simulation in the Russian Federation]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika*. SPb: Tr. SPI-IRAN, 2013. 42-112.

Sokolovska, Z. M., and Klepikova, O. A. *Komp'iuterne modeliuvaniia skladnykh ekonomichnykh system* [Computer modeling of complex economic systems]. Odesa: Astroprint, 2011.

Sterman, J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill Companies, 2000.

Semenov, K. M. "Metodika sistematizatsii protsessov v diskretno-sobytiynoy imitatsionnoy modeli morskogo porta" [Technique systematization processes in discrete event simulation model of the seaport]. *Vestnik AGTU. Seriya «Morskaia tekhnika i tekhnologiia»*, no. 2 (2013): 184-192.

Tsisar, I. F. *Modelirovanie ekonomiki v Ithink_Stella. Krizisy, nalogi, informatsiia, banki* [Modelling economy Ithink_Stella. Crises, taxes, information banks]. Moscow: DIALOG_MIFI, 2009.