

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ім. В.М. ГЛУШКОВА
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

№ 2 (6), квітень-червень 2016 р.

Міжнародний науковий журнал

Заснований у липні 2014 р.
Виходить 4 рази на рік

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата наук за напрямом фізико-математичні, технічні та
економічні науки
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 09.03.2016. № 241)

КИЇВ 2016

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор – **С.О. Довгий**, д-р фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАНУ
Заступник головного редактора – **О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук,
чл.-кор. НАНУ

Члени редколегії:

В.П. Вишневський, д-р екон. наук,
акад. НАНУ
В.М. Геєць, д-р екон. наук, акад. НАНУ
Л.Ф. Гуляницький, д-р техн. наук
Ю.І. Калюх, д-р техн. наук
Ю.Г. Кривонос, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
С.І. Левицький, д-р екон. наук
Р.М. Лепа, д-р екон. наук
О.О. Любич, д-р екон. наук
В.О. Романов, д-р техн. наук

В.А. Пепеляєв, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Петрухін, д-р техн. наук
С.К. Полумієнко, д-р фіз.-мат. наук
О.Г. Рогожин, д-р екон. наук
І.В. Сергієнко, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
М.І. Скрипниченко, д-р екон. наук,
чл.-кор. НАНУ
Д.В. Стефанишин, д-р техн. наук
П.І. Стецюк, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Устименко, д-р фіз.-мат. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

О.М. Ведута, д-р екон. наук, проф., Росія
М. Вохозка, проф., Чеська Республіка
Р. Еспехо, проф., Великобританія
А. Крайка, проф., Польща
А. Леонард, проф., Канада
П. Миколайчак, проф., Польща
С.О. Нурмінський, д-р фіз.-мат. наук,
проф., Росія

В.М. Полтерович, д-р екон. наук,
проф., акад. РАН, Росія
В.І. Суслов, д-р екон. наук, проф.,
чл.-кор. РАН, Росія
Ю.С. Харін, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
чл.-кор. НАНБ, Білорусь
Г. Ширз, проф., Великобританія

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (**протокол № 4 від 16.03.2016 р.**)

Журнал публікує оригінальні та оглядові статті, матеріали проблемного та дискусійного характеру, науково-практичні матеріали з питань математичного моделювання в різних сферах господарювання, інформаційного забезпечення процесу моделювання і прогнозування, розвитку кібернетичної складової і застосування сучасних програмно-апаратних засобів для математичного моделювання.

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

- Інформаційні технології в економіці
- Математичні та інформаційні моделі в економіці
- Аналіз, оцінка та прогнозування в економіці
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62
E-mail: economconsult@gmail.com

Свідоцтво про реєстрацію
КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

Електронна версія журналу в Інтернеті
www.mmejournal.in.ua українською,
російською та англійською мовами

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

Васянин В.А., Трофимчук А.Н., Ушакова Л.П. Економико-математические модели задачи распределения потоков в многопродуктовой коммуникационной сети.....	5
Кряжич О.О., Коваленко О.В., Іванченко В.В. Спосіб опису забрудненої території: програмна реалізація.....	22

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

Венгерський П.С., Трофимчук О.М. Аналіз різних підходів для опису математичних моделей фільтрації рідини в насиченій зоні ґрунту.....	36
Макаренко І.П. Системне макроекономічне середовище і економічний розвиток.....	52

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

Полумієнко С.К., Горда С.Є. Індикативний аналіз процесів національного розвитку.....	65
Стефанишин Д.В. Екстраполяційне прогнозування за даними рядів динаміки з використанням ситуаційних та індуктивних моделей	99
Романчук К.Г. Метод оцінки значущості за Фусселем – Веслі модельних сценаріїв системних аварій на потенційно небезпечних об'єктах.....	107
РЕФЕРАТИ.....	116
ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ.....	120

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

Trofymchuk O.M., Vasyanin V.A., Ushakova L.P.	
Economic-mathematical models of flows distribution problem in multicommodity communication network.....	5
Kryazhych O.O., Kovalenko O.V., Ivanchenko V.V.	
The method to describe contaminated areas: software realization.....	22

MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

Venherskyi P.S., Trofymchuk O.M.	
Analysis descriptions of the approaches mathematical models in filtering liquids of saturated soil zone.....	36
Makarenko I.P.	
System macroeconomic environment and economic development.....	52

ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

Polumiienko S., Gorda S.	
Indicative analysis of the national development processes.....	65
Stefanyshyn D.V.	
Extrapolation forecasting on base of time series data with using of situational and inductive models.....	99
Romanchuk K.G.	
A method of evaluation of importance of the model scenarios of system accidents by Fussell and Vesely at potentially dangerous structures.....	107
ABSTRACTS	116
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	120

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.854.3

В.А. ВАСЯНИН, А.Н. ТРОФИМЧУК, Л.П. УШАКОВА

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В МНОГОПРОДУКТОВОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

***Аннотация.** В работе рассматриваются формулировки задач оптимизации распределения потоков с нелинейными функциями затрат и построением маршрутов транспортировки потоков и с заданными тарифами на дугах и в узлах на транспортировку и обработку потоков в многопродуктовой коммуникационной сети. Доказано, что задача с тарифами в сетевой постановке может быть за полиномиальное время преобразована к задаче целочисленного линейного программирования с блочной структурой и связывающими ограничениями. Отмечаются особенности решения преобразованной задачи при использовании известных методов целочисленного программирования и пакетов прикладных программ.*

***Ключевые слова:** экономико-математические модели, распределение целочисленных потоков, многопродуктовые сети, задачи оптимизации.*

Введение

В Национальной программе информатизации Украины одними из приоритетных областей экономики определены транспорт и связь, повышение эффективности функционирования которых требует создания комплекса автоматизированных систем обработки данных и управления разного уровня и назначения, взаимосвязанных на принципах технологической, организационной, документационной, программной и информационной совместимости. Эффективность работы транспортных сетей и сетей передачи данных во многом определяет экономические и социальные показатели функционирования хозяйствующих субъектов, поэтому оптимизация и автоматизация процессов управления транспортными потоками в этих коммуникационных сетях являются актуальными и перспективными направлениями в достижении качественно нового уровня управления транспортом и связью, интенсификации рыночных преобразований в Украине и ее интеграции в Европейское Сообщество.

Для того, чтобы возможные инвестиции, выделенные на развитие коммуникационных сетей, были использованы наиболее эффективно, нужен строгий технико-экономический расчет, охватывающий основные

альтернативные схемы их развития и функционирования при различных функциях затрат на обработку и транспортировку потоков. Необходимо выполнить оценку и отбор различных вариантов совершенствования коммуникационных сетей на основе процедур оптимизации и системного анализа эффектов, возникающих внутри сетей, а также вне их, опосредованно влияющих на развитие и состояние экономики отдельных территориальных регионов и страны в целом. В настоящее время для существующих коммуникационных сетей в различных отраслях хозяйства характерно то, что на всех уровнях управления уже введены различные автоматизированные и информационные системы. Предусматривается дальнейшее их развитие с использованием новейших информационных технологий; современного методического, технического и математического обеспечений; систем поддержки принятия решений, рационально сочетающих формальные и неформальные методы и интерактивный режим анализа и выбора оптимальных решений [1, 2]. Поскольку физическая пространственная структура большинства существующих сетей уже сложилась, в первую очередь, наибольший интерес представляет решение задач тактического (текущего) планирования и оперативного управления, нацеленных главным образом на оптимизацию их функционирования при имеющихся ресурсах.

В большинстве случаев существующие и проектируемые территориально-распределенные коммуникационные сети являются многоуровневыми и состоят из децентрализованной распределенной сети (магистральной) и низовых фрагментарных сетей (зональных и внутренних) на нижних уровнях иерархии. В данной работе рассматриваются транспортные многопродуктовые сети и магистральные сети передачи данных, для которых характерно наличие множества источников и стоков мелкопартионных потоков корреспонденций (продуктов или требований). Под корреспонденцией понимается пара различных узлов сети, между которыми имеется направленный дискретный поток элементов заданной величины, например, неделимых грузов унифицированного размера, бит или символов в передаваемых данных (сообщениях). В многопродуктовой сети каждый узел может обмениваться корреспонденциями со всеми остальными узлами. Корреспонденции могут быть заданы, например, матрицей мелкопартионных дискретных потоков, в которой строки соответствуют узлам-источникам, столбцы – узлам-стокам, а элементы матрицы определяют величину корреспонденций. В магистральной сети и зональных сетях все корреспонденции должны транспортироваться в транспортных средствах или передаваться по каналам связи в транспортных блоках (контейнерах) заданного размера. Размер транспортного блока измеряется количеством вмещающихся в него единиц корреспонденций. Перед транспортировкой мелкопартионные грузы в магистральных узлах транспортной сети рассортировываются по адресам их доставки в сортировочных центрах, а затем упаковываются в транспортные блоки. В сетях передачи данных в магистральных узлах также выполняются похожие технологические операции сортировки информационных потоков, а роль «сортировочной машины» выполняют мультиплексоры передачи данных, которые объединяют отдельные информационные потоки в виртуальные контейнеры, объем которых кратен пропускной способности линий связи.

В [3, 4] рассматривается обобщенная задача упаковки и распределения мелкопартионных корреспонденций в иерархической сети, решение которой осуществляется в несколько этапов. На первом этапе решается задача выбора иерархической структуры магистральной коммуникационной сети и схемы сортировки корреспонденций в узлах сети и упаковки их в транспортные блоки [5]. На втором этапе возникает задача распределения и маршрутизации потоков транспортных блоков со смешанными вложениями, которые были сформированы при решении первой задачи [6]. Под смешанными вложениями понимаются объединенные в один транспортный блок (контейнер) мелкопартионные тарно-штучные грузы или сообщения с разными адресами назначения, которые могут не совпадать с адресом назначения транспортного блока. Смешанные потоки образуются для максимального сокращения количества транспортных блоков, необходимых для упаковки и транспортировки мелкопартионных корреспонденций.

Как правило в математических моделях, описывающих процессы обработки и транспортировки многопродуктовых потоков затраты связываются с величиной потока по дугам сети или путям передачи потока. Для сетей передачи данных, где дуги ассоциируются с каналами связи, такие постановки оказываются достаточно приемлемыми. В случае же транспортных сетей очень трудно адекватно определить функции транспортных затрат, а значит, и получить в результате решения задачи достоверный ответ. В математической модели задачи распределения и маршрутизации потоков транспортных блоков, приведенной в работе [6], объемы и пути распределения потоков связываются с множеством искомым «оптимальных» маршрутов транспортных средств или каналов связи. Такая постановка задачи характерна при проектировании новой или реконструкции существующей сети перевозок или сети передачи данных. В этом случае для каждого определенного в результате решения маршрута легко рассчитать требуемые затраты (например, среднегодовые приведенные затраты) и получить более достоверную оценку транспортных затрат для всей сети. Если транспортные услуги предоставляются сторонними транспортными предприятиями (компаниями) или провайдерами сети передачи данных, то задача распределения потоков упрощается, так как в качестве функций транспортных затрат можно использовать тарифы на перевозку или передачу одного транспортного блока от отправителя к получателю.

Целью настоящей работы является построение математической модели задачи распределения транспортных блоков со смешанными вложениями при использовании заданных тарифов на транспортировку и обработку потоков. Рассматриваются общая сетевая формулировка задачи с нелинейными функциями затрат и построением маршрутов транспортировки потоков и постановка с заданными тарифами на дугах и в узлах в виде задачи целочисленного линейного программирования (ЦЛП) с блочной структурой, связывающими ограничениями и дополнительными ограничениями на время доставки мелкопартионных корреспонденций получателю. Отмечаются особенности решения задачи при использовании известных методов ЦЛП и пакетов прикладных программ.

1. Общая постановка задачи с нелинейными функциями затрат и построением маршрутов транспортировки потоков

При практическом проектировании и анализе коммуникационных сетей должны использоваться реальные стоимостные показатели, например, среднегодовые приведенные затраты на процессы обработки и транспортировки потоков. На практике существует множество различных функций затрат, используемых при описании таких процессов. По мере организационно-технического совершенствования коммуникационной сети эти функции постоянно подвергаются изменениям и уточнениям. Затраты определяются необходимыми капитальными вложениями и эксплуатационными расходами, зависящими от себестоимости и тарифов на отдельные технологические операции. Для транспортных сетей капитальные вложения зависят от рабочего парка транспортных средств (с различной грузоподъемностью) и контейнеров, необходимых для обеспечения нормального функционирования сети перевозок; оборудования, устанавливаемого в узлах сети для непрерывной автоматизированной сортировки и накопления грузов по адресам назначения; рабочего парка автопогрузчиков и, возможно, для крупных узлов – количества автоматизированных контейнерных терминалов, осуществляющих сортировку и группирование исходящих, входящих и транзитных контейнеров по маршрутам следования транспортных средств. Эксплуатационные расходы состоят из нескольких компонентов и включают расходы, связанные с движением (механической работой по транспортировке грузов); объемами обрабатываемых и перевозимых грузов; расстоянием перевозок; временем доставки грузов получателю; обслуживанием и ремонтом сортировочного оборудования, контейнерных терминалов, рабочего парка транспортных средств, контейнеров и автопогрузчиков; содержанием штата административно-управленческого, инженерно-технического и рабочего персонала; внедрением и освоением новых информационных технологий и средств автоматизации и механизации производства; различными организационными мероприятиями и др. В сетях передачи данных капитальные вложения зависят от суммарной стоимости используемых каналов связи и коммутационного оборудования (аппаратных шлюзов, коммутаторов, мультиплексоров, маршрутизаторов, концентраторов, мостов, повторителей, сетевых адаптеров и пр.). Обычно на практике стоимость каналов определяется как произведение стоимости одного канала-километра выбранного типа на длину канала с учетом рельефа местности. В качестве эксплуатационных расходов часто используется арендная плата за каналы связи, которая в свою очередь зависит от множества факторов.

В каждом случае определение адекватных функций затрат является сложной задачей, которая должна быть решена отдельно перед проведением численного моделирования. Ясно, что при решении задач оптимизации в целевую функцию должны быть включены только наиболее важные составляющие затрат, зависящие от искомым переменных. В сформулированной ниже задаче предполагается использование во всех составляющих целевой функции капитальных и эксплуатационных затрат, приведенных к сопоставимому виду. Отметим также, что в модели

принимается сепарабельность и аддитивность всех видов функций затрат по переменным и элементам сети. Для реальных коммуникационных сетей такие условия не всегда выполняются и поэтому фактические понесенные затраты на функционирование сети за определенный период времени могут отличаться от расчетных затрат, полученных при моделировании.

Содержательная постановка задачи заключается в выборе такой схемы распределения и маршрутизации потоков транспортных блоков, сформированных при решении задачи выбора иерархической структуры магистральной сети и схемы сортировки мелкопартионных корреспонденций в узлах сети, при которой максимально снижаются приведенные затраты на обработку и транспортировку потоков. Решение задачи должно осуществляться в интерактивном режиме и определять основные технико-экономические показатели функционирования магистральной сети при изменении исходных данных, параметров и ограничений транспортной модели. Поскольку не всегда удается формализовать все факторы, влияющие на выбор наилучшего решения, для окончательного выбора схемы распределения и маршрутизации потоков может использоваться практический опыт диспетчеров транспортных сетей и администраторов сетей передачи данных, а также базы знаний в автоматизированной информационно-аналитической системе поддержки принятия решений [1].

В [6] предложена математическая модель NP-трудной задачи распределения и маршрутизации транспортных блоков с упакованными в них мелкопартионными грузами или сообщениями. Следуя этой работе, рассмотрим математическую модель задачи в такой постановке.

Пусть $G(N, P)$ – иерархическая магистральная сеть с множеством неориентированных дуг P , $p = |P|$ и множеством узлов $N = N_1 \cup N_2 \cup N_3$, $n = |N|$, где N_1, N_2, N_3 – множества узлов первого, второго и третьего типа соответственно, \cup – знак объединения множеств, $|\cdot|$ – знак мощности множества. Узлы сети соответствуют пунктам сортировки, отправления, назначения и перегрузки потоков, а дуги – участкам дорог для транспортных сетей или каналам связи для сетей передачи данных, связывающим узлы сети. Узлы второго и третьего типа отличаются от узлов первого типа функциональными возможностями, уровнем технической оснащенности, числом обслуживающего персонала (а значит и функциями затрат на обработку потоков) и пр. В узлах третьего типа запрещена обработка транзитных потоков транспортных блоков.

Мелкопартионные потоки корреспонденций заданы исходной целочисленной матрицей $A = \|a_{ij}\|_{n \times n}$ и преобразованной целочисленной матрицей $A' = \|a'_{ij}\|_{n \times n}$, полученной после решения задачи упаковки транспортных блоков [7]. Элементы матрицы A' определяются следующим образом:

$$a'_{ij} = \begin{cases} a_{ij} + \sum_{rs \in \Omega_{ij}} a_{rs}, & \text{если потоки } \{a_{rs}\} \text{ объединены с потоком } a_{ij}, \\ 0, & \text{если поток } a_{ij} \text{ объединен с каким-либо другим потоком или } i = j, \end{cases}$$

для $ij \in S$, где S – множество индексов ij потоков, а Ω_{ij} – множество индексов rs потоков $\{a_{rs}\}$, объединенных с потоком a_{ij} . С матрицей A' связана справочная матрица объединения потоков $C = \|c_{ij}\|_{n \times n}$, элементы которой определяются так:

$$c_{ij} = \begin{cases} k, & \text{если поток } a_{ij} \text{ объединяется с потоком } a_{ik}, \\ j, & \text{если поток } a_{ij} \text{ направляется в узел } j, \\ 0, & \text{если } i = j. \end{cases}$$

Матрица C используется для восстановления последовательности узлов сети, в которых выполняется транзитная сортировка мелкопартионных корреспонденций a_{ij} , $ij \in S$ [8].

Кроме того на вход задачи поступает матрица предварительных оценок времени доставки мелкопартионных корреспонденций получателям $T = \|T_{ij}\|_{n \times n}$, элементы которой выступают в качестве начальных ограничений на время доставки при решении задачи распределения и маршрутизации потоков транспортных блоков.

Пусть $\tilde{A} = \|\tilde{a}_{ij}\|_{n \times n}$, $\tilde{a}_{ij} = \left\lceil \frac{a'_{ij}}{\omega} \right\rceil$ – матрица потоков транспортных блоков,

где ω – размер транспортного блока, $\lceil \cdot \rceil$ – знаки округления числа до большего целого. Размер транспортного блока измеряется количеством вмещающихся в него единиц мелкопартионных корреспонденций. Потоки \tilde{a}_{ij} из источников i в стоки j должны перевозиться в транспортных средствах или передаваться по каналам связи с заданной периодичностью.

Пусть $\{m_k\}$, $k = \overline{1, l}$, – заданное множество проектируемых маршрутов транспортных средств или каналов связи, каждый из которых состоит из последовательности узлов и дуг сети G , соединяющей начальный и конечный узлы маршрута или канала связи. Предполагается, что множество $\{m_k\}$ для каждой неориентированной дуги сети G содержит прямой и обратный маршруты, и в процессе решения задачи во множество $\{m_k\}$ могут включаться новые маршруты, генерируемые по определенным правилам. Множество $\{m_k\}$ может содержать несколько маршрутов, соединяющих любую пару узлов. С каждым маршрутом транспортной сети связаны его характеристики: функция среднегодовых приведенных затрат на эксплуатацию и содержание маршрута или тарифы за перевозку единицы груза на маршруте; грузоподъемность и периодичность движения

транспортных средств; время прибытия и отправления транспортного средства для каждого узла в маршруте и др. Для каждого маршрута в сети передачи данных заданы функция среднегодовых приведенных затрат на эксплуатацию и содержание канала связи, его длина и пропускная способность.

Определим маршрутную мультисеть $G_M(N, P_M)$, построенную транзитивным замыканием узлов всех маршрутов из $\{m_k\}$, где N – множество узлов сети, P_M – множество ее ориентированных маршрутных дуг. Между любыми узлами α и β сети G_M существует маршрутная дуга, если они связаны хотя бы одним маршрутом транспортного средства или каналом связи из $\{m_k\}$. Введем переменные: $u_{ij,k}^{\alpha\beta}$ – неизвестный поток транспортных блоков из i в j , проходящий по дуге $p_{\alpha\beta} \in P_M$, полученной из маршрута m_k ($u_{ij,k}^{\alpha\beta}$ определяют дуговые потоки в транспортных блоках на маршрутной сети G_M); $u_{ij,k}^{\eta\xi}$ – неизвестный поток транспортных блоков из i в j , проходящий по дуге $p_{\eta\xi} \in P$ на маршруте m_k .

Требуется минимизировать функцию

$$F = \sum_{k=1}^l C_{tr}^k \left(\left(\sum_{\eta\xi \in q_k} \sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\eta\xi} \right), d_k \right) + \sum_{\beta=1}^n C_{load}^\beta \left(\sum_{\alpha=1}^n \sum_{k=1}^l \sum_{ij \in S} (u_{ij,k}^{\alpha\beta} + u_{ij,k}^{\beta\alpha}) \right) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{\beta=1}^n \sum_{k=1}^l u_{ij,k}^{\alpha\beta} - \sum_{\beta=1}^n \sum_{k=1}^l u_{ij,k}^{\beta\alpha} = \begin{cases} \tilde{a}_{ij} & \text{при } i = \alpha, \\ 0 & \text{при } i \neq \alpha, j \neq \alpha, \\ -\tilde{a}_{ij} & \text{при } j = \alpha, \text{ для } \alpha = \overline{1, n}, ij \in S; \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{\alpha=1}^n \sum_{k=1}^l \sum_{ij \in S} (u_{ij,k}^{\alpha\beta} + u_{ij,k}^{\beta\alpha}) - \sum_{j=1}^n (\tilde{a}_{\beta j} + \tilde{a}_{j\beta}) \leq 2b_\beta, \quad \beta = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$\sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\eta\xi} \leq W_{\eta\xi}^k \text{ для всех } \eta\xi \in q_k, k = \overline{1, l}; \quad (4)$$

$$\sum_{\beta=1}^n \sum_{ij \in S} (u_{ij,k}^{\alpha\beta} + u_{ij,k}^{\beta\alpha}) \leq b_\alpha^k, \quad \alpha \in v_k, k = \overline{1, l}; \quad (5)$$

$$t_{av} = 1 / \tilde{a}_\Sigma \sum_{k=1}^l \sum_{\eta\xi \in q_k} f_{\eta\xi}^k / (W_{\eta\xi}^k - f_{\eta\xi}^k) \leq T_{del}, \text{ где } \tilde{a}_\Sigma = \sum_{ij \in S} \tilde{a}_{ij}, f_{\eta\xi}^k = \sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\eta\xi}; \quad (6)$$

$$u_{ij,k}^{\alpha\beta} \geq 0, u_{ij,k}^{\eta\xi} \geq 0 - \text{целые числа.} \quad (7)$$

Предполагается также, что учитываются ограничения на время доставки корреспонденций получателю $t_{ij} \leq T_{ij}$, $ij \in S$.

В конкретных случаях решения задачи к указанным ограничениям могут быть добавлены ограничения на запрет разветвления потоков:

$$u_{ij,k}^{\alpha\beta} = \begin{cases} \tilde{a}_{ij}, & \text{если поток проходит по дуге } \alpha\beta \in m_k, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (8)$$

В формулах (1)-(8) введены обозначения: C_{tr}^k – нелинейная функция, определяющая зависимость транспортных затрат от количества транспортных блоков, передаваемых по маршруту m_k , и от длины маршрута d_k ; q_k – упорядоченное множество дуг из P , составляющих маршрут m_k ; C_{load}^β – нелинейная функция затрат на обработку транспортных блоков в узле β ; b_β , $\beta = \overline{1, n}$ – максимальная пропускная способность β -го узла в транспортных блоках, пропускная способность задается для транзитных потоков, так как исходящие и входящие потоки для каждого узла должны быть обработаны безусловно. Для узлов третьего типа $b_\beta = 0$; $W_{\eta\xi}^k$ – грузоподъемность транспортного средства или пропускная способность канала связи на маршруте m_k на дуге $\eta\xi \in P$ в транспортных блоках, $W_{\eta\xi}^k \in \{w_1, w_2, \dots, w_v\}$, где w_1, w_2, \dots, w_v – целые, упорядоченные по возрастанию положительные числа; b_α^k – ограничения на максимальное суммарное число транспортных блоков, которое можно обработать в транзитном узле α на маршруте m_k ; v_k – упорядоченное множество узлов из N на маршруте m_k ; t_{av} , T_{del} – расчетная средняя и заданная максимальная задержка в передаче транспортных блоков в сети; t_{ij} , T_{ij} , $ij \in S$ – расчетное и заданное время на доставку корреспонденций a_{ij} из i в j .

Первая составляющая функции определяет транспортные затраты, вторая – затраты на обработку транспортных блоков. Условия (2) обеспечивают неразрывность потока, а условия (3)-(6) представляют собой соответственно ограничения на пропускные способности узлов; пропускные способности маршрутов; объемы обработки транспортных блоков в узлах следования транспортных средств или в коммутированных узлах сети передачи данных; среднюю задержку в передаче транспортных блоков.

В связи со сложностью сформулированной задачи в [6] предложен метод ее преобразования к некоторой совокупности более простых линейных многомерных задач о ранце со связывающими ограничениями. Метод основывается на предположении о том, что уменьшение значения функции

(1) может быть достигнуто при максимальном увеличении значений $u_{ij,k}^{\eta\xi}$ на всех топологических дугах (участках) $\eta\xi$ маршрутов $\{m_k\}$. При этом исходная задача на минимум целевой функции заменяется на, в некотором смысле, двойственную к ней задачу на максимум загрузки участков маршрутов транспортных средств или каналов связи при исключении из явного рассмотрения нелинейных функций затрат. Для решения преобразованной задачи разработаны алгоритмы, существенно использующие специфику структуры задачи, абстрактные типы данных [9] и приемы, характерные для эвристических алгоритмов решения многомерной задачи о ранце. Алгоритмы позволяют за приемлемое время получить рациональные, с точки зрения проектировщика сети, решения задачи.

2. Постановка задачи на мультисети с заданными тарифами на дугах и в узлах

Рассмотрим постановку задачи, когда транспортные услуги предоставляются Q сторонними транспортными предприятиями (компаниями). В этом случае в качестве функций транспортных затрат C_{tr}^k можно использовать тарифы на транспортировку одного транспортного блока (физического или виртуального контейнера). Без потери общности предположим, что все транспортные компании могут оказывать услуги по транспортировке потоков между всеми парами узлов в сети. Тогда задачу (1)-(8) можно рассматривать на транспортной мультисети $G(N, P)$ с $|P| = l \leq Q(n^2 - n)$ ориентированными дугами, когда маршрутная сеть $G(N, P_M)$ полностью совпадает с $G(N, P)$, так как все маршруты представлены одной дугой. Получаем, что $l = |\{m_k\}| \leq Q(n^2 - n)$, а индексы дуг $\eta\xi \in P$ совпадают с индексами дуг $\alpha\beta \in P_M$. Для всех Q предприятий, занумерованных индексом $k = 1, 2, \dots, Q$ заданы тарифы $C_{tr,k}^{\alpha\beta}$ на транспортировку единицы потока и ограничения $W_{\alpha\beta}^k$ на провозные возможности из узла α в узел β , $\alpha, \beta = \overline{1, n}$, $\alpha \neq \beta$. Для узлов сети заданы тарифы C_{load}^α на обработку единицы потока и ограничения b_α на величину транзитного потока в узле α , $\alpha = \overline{1, n}$. Задача (1)-(7) упрощается, так как проектировать маршруты не нужно и можно не учитывать ограничения (5) и (6). Транспортные тарифы $C_{tr,k}^{\alpha\beta}$ и тарифы на обработку транспортных блоков в узлах сети C_{load}^α должны быть приведены к одной шкале и определять, например, среднегодовые приведенные затраты. Пусть $u_{ij,k}^{\alpha\beta}$ – неизвестный поток транспортных блоков из i в j , проходящий по дуге $\alpha\beta \in \{q_k\}$, где $\{q_k\}$ – множество дуг k -го предприятия $|\{q_k\}| \leq n^2 - n$.

Исходная задача преобразуется к следующему виду: требуется найти минимум функции

$$\sum_{k=1}^Q \sum_{\alpha\beta \in \{q_k\}} C_{tr,k}^{\alpha\beta} \cdot \left(\sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\alpha\beta} \right) + \sum_{\alpha=1}^n C_{load}^{\alpha} \cdot \left(\sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n \sum_{ij \in S} (u_{ij,k}^{\alpha\beta} + u_{ij,k}^{\beta\alpha}) \right) \quad (9)$$

при ограничениях

$$\sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n u_{ij,k}^{\alpha\beta} - \sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n u_{ij,k}^{\beta\alpha} = \begin{cases} \tilde{a}_{ij} & \text{при } i = \alpha, \\ 0 & \text{при } i \neq \alpha, j \neq \alpha, \\ -\tilde{a}_{ij} & \text{при } j = \alpha, \text{ для } \alpha = \overline{1, n}, ij \in S, \end{cases} \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n \sum_{ij \in S} (u_{ij,k}^{\alpha\beta} + u_{ij,k}^{\beta\alpha}) - \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq \alpha}}^n (\tilde{a}_{\alpha j} + \tilde{a}_{j\alpha}) \leq 2b_{\alpha}, \quad \alpha = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$\sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\alpha\beta} \leq W_{\alpha\beta}^k \quad \forall \alpha\beta \in \{q_k\}, k = \overline{1, Q}, \quad (12)$$

$$u_{ij,k}^{\alpha\beta} \geq 0 \text{ - целые числа,} \quad (13)$$

и ограничениях на время доставки мелкопартионных корреспонденций получателю $t_{ij} \leq T_{ij}, ij \in S$.

Дополнительные ограничения (8) запишутся в виде

$$u_{ij,k}^{\alpha\beta} = \begin{cases} \tilde{a}_{ij}, & \text{если поток проходит по дуге } \alpha\beta \in \{q_k\}, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (14)$$

Задача (9)-(13) максимально содержит до $n(n^2 - n) + n + Q(n^2 - n) + Q(n^2 - n)^2 = Q(n^2 - n)[(n^2 - n) + 1] + n(n^2 - n) + n$ ограничений (10) + (11) + (12) + (13) и до $Q(n^2 - n)^2$ переменных. Нетрудно видеть, что ограничения

(10) можно записать в виде
$$\sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n \sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\alpha\beta} - \sum_{\substack{m=1, \\ m \neq \alpha}}^n \tilde{a}_{\alpha m} = \sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n \sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\beta\alpha} - \sum_{\substack{m=1, \\ m \neq \alpha}}^n \tilde{a}_{m\alpha},$$

$\alpha = \overline{1, n}$, а для ограничений (11) упростить запись:

$$\sum_{k=1}^Q \sum_{\substack{\beta=1, \\ \beta \neq \alpha}}^n \sum_{ij \in S} u_{ij,k}^{\alpha\beta} - \sum_{\substack{m=1, \\ m \neq \alpha}}^n \tilde{a}_{\alpha m} \leq b_{\alpha}, \quad \alpha = \overline{1, n}.$$

Тогда максимальное количество

ограничений задачи сократится до $Q(n^2 - n)[(n^2 - n) + 1] + 2n$.

Сведем задачу с тарифами (9)-(13) в целочисленную задачу линейного программирования с блочной структурой и связывающими ограничениями,

когда в качестве матрицы коэффициентов ограничений выступает матрица инцидентий узлы-дуги ориентированного графа. Для этого рассмотрим расширенную сеть $\tilde{G}(\tilde{N}, \tilde{P})$, в которой каждый узел сети G заменен двумя – левым и правым, причем каждая пара узлов «левый - правый» в сети \tilde{G} имеют номера i и $i+n$, где i – номер узла в сети G (рис. 1). Все дуги, входящие в узел сети G , заменяются на дуги, входящие в левый узел сети \tilde{G} ; дуги, выходящие из узла сети G , заменяются на дуги, выходящие из правого узла сети \tilde{G} .

Каждый левый и правый узлы сети \tilde{G} , соединяются фиктивной дугой, стоимость транспортировки единицы потока по которой является стоимостью обработки единицы потока в расщепленном узле. На сети \tilde{G} в качестве источников потоков выступают левые узлы, а в качестве стоков – правые. Пусть $\tilde{n} = n + n$ – число узлов расширенной сети, $\tilde{l} \leq Q(n^2 - n) + n$ – число ее дуг.

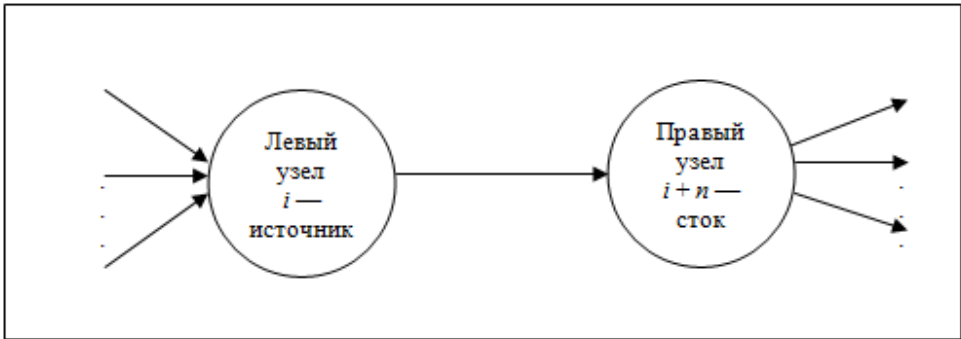


Рисунок 1 – Фрагмент расширенной сети \tilde{G}

Для формулировки задачи определим следующие матрицы и векторы. Составим матрицу инцидентий $E = \|e_{ij}\|_{\tilde{n} \times \tilde{l}}$ узлы-дуги для расширенной сети таким образом, чтобы первые n ее строк соответствовали номерам узлов источников (левым узлам), а первые n столбцов – фиктивным дугам. Остальные n строк матрицы E соответствуют узлам стокам (правым узлам), а $\tilde{l} - n$ столбцов – заданным дугам. Матрица E имеет вид, показанный на рис. 2. Эту матрицу будем использовать для записи условий сохранения потоков в узлах сети. Элементы матрицы

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если дуга } j \text{ направлена к узлу } i, \\ -1, & \text{если дуга } j \text{ направлена от узла } i, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пусть $V^i = (v_1^i, v_2^i, \dots, v_n^i)^T$ – векторы-столбцы потребностей узлов в потоках \tilde{a}_{ij} , $j = \overline{1, n}$, $i \neq j$, исходящих из узлов $i = \overline{1, n}$, где знак « T » означает транспонирование, а

$$v_{\xi}^i = \begin{cases} -\sum_{m=1}^n \tilde{a}_{im}, & \text{если } \xi = i, \\ \tilde{a}_{ij}, & \text{если } \xi = j + n, \\ 0 & \text{в противном случае,} \\ i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, \xi = \overline{1, \tilde{n}}. \end{cases}$$

Введем переменные $X^i = \|x_{\mu}^i\|_{\tilde{l}}^T$ – векторы-столбцы неизвестных потоков $x_1^i, x_2^i, \dots, x_{\tilde{l}}^i$ по дугам сети от исходящих потоков из узлов i , $i = \overline{1, n}$. Тогда условия сохранения потоков для всех потоков, исходящих из узла i запишутся в виде $E[\tilde{n}, \tilde{l}]X^i[\tilde{l}] = V^i[\tilde{n}]$, $i = \overline{1, n}$.

Для записи ограничений на пропускные способности узлов и дуг сети определим векторы-столбцы $B = \|b_i\|_{\tilde{l}}^T$ и $F = \|f_i\|_{\tilde{l}}^T$, где b_i и f_i , $i = \overline{1, \tilde{l}}$ – суть целые неотрицательные числа. В векторе B первые n элементов содержат значения ограничений на обработку транзитных потоков в узлах сети, а в остальных $\tilde{l} - n$ элементах записаны значения ограничений на провозные возможности транспортных предприятий. Вектор F формируется следующим образом: $F = (\sum_{j=1}^n (\tilde{a}_{1j} + \tilde{a}_{j1}), \dots, \sum_{j=1}^n (\tilde{a}_{nj} + \tilde{a}_{jn}), 0, \dots, 0)^T$ и содержит n первых ненулевых значений и $\tilde{l} - n$ нулей с позиции $n + 1$.

Дуги		1	n	$n+1$...	\tilde{l}
Узлы источники	1	-1	0	...	0	{1,0}	...	{1,0}
	...	0	-1	...	0	{1,0}	...	{1,0}
	...	0	...	-1	0	{1,0}	...	{1,0}
	n	0	...	0	-1	{1,0}	...	{1,0}
Узлы стоки	$n+1$	1	0	...	0	{-1,0}	...	{-1,0}
	...	0	1	...	0	{-1,0}	...	{-1,0}
	...	0	...	1	0	{-1,0}	...	{-1,0}
	$2n$	0	...	0	1	{-1,0}	...	{-1,0}

Рисунок 2 – Структура матрицы инцидентий. В каждом столбце матрицы имеется только два ненулевых элемента с противоположными знаками, а фигурные скобки означают, что элемент матрицы может принимать только одно из двух значений

Пусть $C^i = \|c_j^i\|_{\tilde{l}}$, $i = \overline{1, n}$ – векторы-строки, в которых первые n элементов c_1^i, \dots, c_n^i определяют тарифы на обработку единицы потока в узлах сети с номерами $1, \dots, n$, а остальные элементы $c_{n+1}^i, \dots, c_{\tilde{l}}^i$ определяют тарифы на транспортировку единицы потока по дугам с номерами от $n+1$ до \tilde{l} . Без потери общности предположим, что тарифы на транспортировку одного транспортного блока не зависят от источника потока (все потоки однородны, т.е. все транспортные блоки имеют одинаковый размер) и для данного транспортного предприятия k , $k = \overline{1, Q}$ определяются только узлом отправления i и узлом назначения j . Примем $C^i = C$, $i = \overline{1, n}$ и будем формировать только одну вектор-строку тарифов. Тарифы на обработку одного транспортного блока не связаны с транспортными предприятиями и могут отличаться для разных типов узлов сети.

Окончательно сформулированная задача примет вид:

найти

$$\min C[\tilde{l}] \cdot \sum_{i=1}^n X^i[\tilde{l}] \tag{15}$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n X^i[\tilde{l}] - F[\tilde{l}] \leq B[\tilde{l}], \tag{16}$$

$$E[\tilde{n}, \tilde{l}] X^i[\tilde{l}] = V^i[\tilde{n}], \quad i = \overline{1, n}, \tag{17}$$

$$X^i[\tilde{l}] \geq 0, \quad i = \overline{1, n} \text{ и целые,} \tag{18}$$

и дополнительных ограничениях на время доставки мелкопартионных корреспонденций получателю

$$t_{ij} \leq T_{ij}, \quad \forall ij \in S. \tag{19}$$

и на запрет разветвления потоков

$$x_{\mu}^i = \begin{cases} \sum_{ij} \tilde{a}_{ij}, \text{ где суммируются потоки из } i \text{ в } j, \quad j = \overline{1, n}, \\ \text{которые проходят по дуге } \mu, \quad i = \overline{1, n}, \quad \mu = \overline{1, \tilde{l}}, \\ 0 \text{ в противном случае.} \end{cases} \tag{20}$$

Задача (15)-(18) содержит $2n+1$ векторных ограничений и до $(Q(n^2 - n) + n) \cdot n$ переменных. Векторно-матричная запись задачи позволяет использовать программно-аппаратную архитектуру CUDA (Compute Unified Device Architecture) параллельных вычислений на графических процессорах GPU (Graphics Processing Unit) и значительно (в перспективе в десятки и сотни раз) сократить время ее решения [10]. Задача (15)-(18) по сравнению с задачей (9)-(13) максимально содержит до $n + Q(n^2 - n) + n(n + Q(n^2 - n)) + n(n + Q(n^2 - n)) = Q(n^2 - n)(2n + 1) + 2n^2 + n \ll Q(n^2 - n)[(n^2 - n) + 1] + 2n$ нелинейных ограничений (16) + (17) + (18). Так, например, при $Q=10$ и $n=100$ в задаче (9)-(13) может быть до $980100000 \sim 10 \times 10^9$ переменных и до $980199200 \sim 1 \times 10^9$ ограничений, а в задаче (15)-(18) – до $9910000 \sim 10 \times 10^6$ переменных и до $19919100 \sim 20 \times 10^6$ ограничений.

Известно, что обе задачи (9)-(13) и (15)-(18) являются NP-трудными, так как их соответствующие задачи распознавания NP-полные [11, 12]. Покажем, что любая индивидуальная задача (9)-(13) может быть преобразована в индивидуальную задачу (15)-(18) за полиномиальное время. Для этого приведем один из возможных способов формирования по входным данным задачи (9)-(13) матрицы инцидентий $E[\tilde{n}, \tilde{l}]$, векторов сохранения потоков $V^i[\tilde{n}]$, $i = \overline{1, n}$, вектора тарифов C и векторов $F[\tilde{l}]$ и $B[\tilde{l}]$ для записи ограничений (16).

Пусть $A = \|a_{ij}\|_{n \times n}$ и трехмерная $D = \|d_{ijk}\|_{n \times n \times Q}$ – целочисленные матрицы потоков и тарифов Q предприятий. Подматрица $D = \|d_{ijk}\|_{n \times n \times 1}$ на главной диагонали содержит тарифы на обработку единицы потока в соответствующем узле, главные диагонали подматриц для $k = 2, 3, \dots, Q$ содержат нули. Все остальные элементы d_{ijk} матрицы D содержат тарифы на транспортировку единицы потока из i в j предприятия k , $i, j = \overline{1, n}$, $i \neq j$, $k = \overline{1, Q}$. Если предприятие k не оказывает услуги по транспортировке из i в j , то $d_{ijk} = 0$, а соответствующая дуга из i в j для предприятия k отсутствует. Задана также трехмерная целочисленная матрица $W = \|w_{ijk}\|_{n \times n \times Q}$ провозных возможностей Q предприятий в тех же единицах измерения потока – транспортных блоках. Подматрица $W = \|w_{ijk}\|_{n \times n \times 1}$ на главной диагонали содержит заданные значения ограничений на пропускные способности узлов по обработке транзитных потоков, главные диагонали подматриц для $k = 2, 3, \dots, Q$ содержат нули. Остальные элементы w_{ijk} матрицы W содержат заданные значения ограничений на провозные возможности предприятий из i в j , $i, j = \overline{1, n}$, $i \neq j$, $k = \overline{1, Q}$. Все ненулевые и нулевые элементы матрицы W строго

соответствуют ненулевым и нулевым элементам матрицы D и наоборот. Таким образом, матрицы D и W полностью определяют структуру ориентированной мультисети $G(N, P)$ с $|N| = n$ узлами и $|P| = l \leq Q(n^2 - n)$ дугами.

Приведем алгоритм формирования входных данных для индивидуальной задачи (15)-(18).

Алгоритм 1. Формирование $E[\tilde{n}, \tilde{l}]$, $V^i[\tilde{n}]$, $i = \overline{1, n}$, C , $F[\tilde{l}]$, $B[\tilde{l}]$.

1. $E \leftarrow 0$; $V \leftarrow 0$; $F \leftarrow 0$; $l \leftarrow 0$.

2. Для $\{ i \mid i = \overline{1, n} \}$ выполнить пп. 3-17.

3. $s \leftarrow 0$.

4. Для $\{ j \mid j = \overline{1, n} \}$ выполнить пп. 5-16.

5. $f_i \leftarrow f_i + a_{ij} + a_{ji}$.

6. Если $i \neq j$, то перейти к п. 7, иначе перейти к п. 12.

7. $v_{j+n,i} \leftarrow a_{ij}$.

8. Для $\{ k \mid k = \overline{1, Q} \}$ выполнить пп. 9-11.

9. Если $d_{jik} \neq 0$, то перейти к п. 10, иначе перейти к п. 11.

10. $l \leftarrow l + 1$; $e_{i,n+l} \leftarrow 1$; $e_{j+n,n+l} \leftarrow -1$; $c_{n+l} \leftarrow d_{jik}$; $b_{n+l} \leftarrow w_{jik}$.

11. Перейти к п. 8. *** Конец цикла по k

12. Для $\{ m \mid m = \overline{1, n} \}$ выполнить пп. 13-14.

13. $s \leftarrow s + a_{im}$.

14. Перейти к п. 12. *** Конец цикла по m

15. $v_{i,i} \leftarrow -s$; $e_{i,j} \leftarrow -1$; $e_{i+n,j} \leftarrow 1$; $c_i \leftarrow d_{ijl}$; $b_i \leftarrow w_{ijl}$.

16. Перейти к п. 4. *** Конец цикла по j

17. Перейти к п. 2. *** Конец цикла по i

18. Конец алгоритма.

В записи алгоритма векторы $V^i[\tilde{n}]$, $i = \overline{1, n}$ представлены матрицей $V = \parallel v_{ij} \parallel_{\tilde{n} \times n}$, знак \leftarrow означает операцию присваивания, а знаком *** отделяются комментарии.

Из алгоритма видно, что временная сложность преобразования любой индивидуальной задачи (9)-(13) в индивидуальную задачу (15)-(18) составляет в худшем случае $O[n((n-1)Q+n)] = O[(Q+1)n^2 - Qn]$.

Сформулируем основной результат в виде следующей теоремы.

Теорема. Любая индивидуальная задача вида (9)-(13) может быть за полиномиальное время $O[(Q+1)n^2 - Qn]$ преобразована в индивидуальную задачу целочисленного линейного программирования вида (15)-(18).

Доказательство теоремы непосредственно следует из корректности работы алгоритма 1 преобразования входных данных экземпляра задачи (9)-(13) во входные данные задачи (15)-(18).

Следствие. Если существует допустимое (не обязательно оптимальное) решение исходной задачи (9)-(13), то оно совпадает с решением преобразованной задачи (15)-(18).

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы и определить направления дальнейших исследований задач распределения потоков в многопродуктовых коммуникационных сетях.

Выводы

Общая задача распределения потоков с нелинейными функциями затрат и построением маршрутов транспортировки потоков может быть сведена к решению некоторой совокупности линейных многомерных задач о ранце со связывающими ограничениями. Для решения задачи могут быть использованы предложенные авторами эвристические методы и алгоритмы.

При формулировке задачи с заданными тарифами на дугах и в узлах она может быть за полиномиальное время преобразована к задаче целочисленного линейного программирования. В этом случае при учете ограничений на время доставки мелкопартионных корреспонденций получателю существующие методы и пакеты программ не могут быть непосредственно применены – требуется проведение дополнительных исследований по возможной их модификации и доработке с учетом новых ограничений.

Если ограничения на время доставки не являются критическими, то задачу с заданными тарифами на дугах и в узлах в виде задачи ЦЛП можно решать с применением известных методов и пакетов программ, однако для установления границ их эффективности и анализа получаемых решений необходимо проведение обширного вычислительного эксперимента на общедоступных серверах, таких как NEOS, GAMS и др. с программами Gurobi, Linear Program Solver, Simplex OPTIMA, CPLEX, MINTO и пр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васянин В.А., Трофимчук А.Н. Автоматизация процессов принятия решений в многопродуктовых коммуникационных сетях с мелкопартионными дискретными потоками // *Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць.* – Київ, 2010. – Вип. 5. – С. 172-213.
2. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. – К.: Логос, 2014. – 419 с.
3. Васянин В.А. Обобщенная задача упаковки и распределения мелкопартионных потоков в многопродуктовых иерархических сетях и ее последовательная декомпозиция // *Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць.* – Київ, 2012. – Вип. 11. – С. 136-154.
4. Трофимчук А.Н., Васянин В.А. Моделирование упаковки, распределения и маршрутизации мелкопартионных потоков в многопродуктовой сети // *Проблемы управления и информатики.* – 2015. – № 4. – С. 132-146.
5. Васянин В.А., Трофимчук А.Н. Задача выбора иерархической структуры многопродуктовой коммуникационной сети с мелкопартионными дискретными

- потоками // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – Київ, 2012. – Вип. 10. – С. 182-204.
6. Васянин В.А. Задача распределения и маршрутизации транспортных блоков со смешанными вложениями и ее декомпозиция // Проблемы управления и информатики. – 2015. – № 1. – С. 144-156.
7. Трофимчук А.Н., Васянин В.А., Кузьменко В.Н. Алгоритмы оптимизации упаковок мелкопартионных корреспонденций в коммуникационных сетях // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Том 52. – № 2. – С. 93-106.
8. Васянин В.А. Справочная матрица слияния потоков в задачах оптимизации упаковок на многопродуктовых сетях // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2014. – № 3. – С. 42-49.
9. Васянин В.А., Ушакова Л.П. Структуры данных и процедуры редукции маршрутов в задачах распределения потоков в коммуникационных сетях // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – Київ, 2014. – Вип. 14. – С. 192-205.
10. <http://www.nvidia.ru/>, <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>.
11. Even S., Itai A., Shamir A. On the complexity of timetable and multicommodity flow problems // SIAM J: Comput. – 1976. – 5. – P. 691-703.
12. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 416 с.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2016

УДК 004.421

О.О. КРЯЖИЧ, О.В. КОВАЛЕНКО, В.В. ІВАНЧЕНКО

СПОСІБ ОПИСУ ЗАБРУДНЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ: ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

***Анотація.** У статті представлено програмну реалізацію способу опису забрудненої території для визначення зон ураження незначних за площею місцевостей при техногенних аваріях з викидами небезпечних речовин в оточуюче середовище. Розроблено алгоритм та програмний продукт, що знаходиться на стадії тестування. Зроблені висновки з означенням практичної цінності представлених розробок.*

***Ключові слова:** алгоритм, спосіб, обмеження, крок, базисна точка.*

Вступ

В сучасній практиці підтримки прийняття рішень із забезпечення техногенної безпеки є актуальною проблема дотримання вимог своєчасності, несуперечності і повноти інформації. Для реалізації можливої практичної задачі виникає потреба в попередньому експерименті та моделюванні ситуації. Навіть враховуючи, що більшість фізико-хімічних властивостей небезпечних речовин вивчені досконально, важко зрозуміти, як відбудеться розвиток ситуації з розповсюдження забруднення у разі техногенної аварії на конкретній ділянці простору. Проте особливо важливим завдання отримання інформації із забезпеченням вимог до її повноти, постало при активізації досліджень радіонукліду водню тритію, механізми міграції якого в оточуючому середовищі є маловивченими.

Неоднорідність території за різними ознаками з погляду визначеної мети дослідження чи практичної діяльності, зумовлюють потребу поділу території на певні частини. Кожна територія відрізняється від сусідніх та має свої характеристики, що є важливою для дослідника, перед яким постає задача дослідити розповсюдження техногенного забруднення як на глобальному рівні, так і на локальній території (у конкретному лісі, на полі сільського господарства, на луках або за течією річки).

Основними антропогенними джерелами розростання екологічної кризи в Україні є, перш за все, великі підприємства та промислові комплекси – споживачі сировини, енергії, води, повітря, земельного простору, транспорту й водночас забруднювачі довкілля практично всіма видами забруднень (механічних, хімічних, радіаційних, фізичних, біохімічних). Сконцентровані вони навколо родовищ корисних копалин, великих міст і водних об'єктів: Донеччина, Центральне Придніпров'я, Криворіжжя, Прикарпаття, Маріуполь, більшість обласних центрів. Проте є багато невеликих підприємств, які, проте, можуть нанести значну шкоду довкіллю в межах окремого населеного пункту або області. Як правило, ці підприємства мають санітарно-захисні зони, проте моделювання виходу аварійної ситуації за межі санітарно-захисної зони здійснюється поверхнево, обмежуючись моніторингом контрольних точок замірів.

Враховуючи те, що активне розростання міст захопило межі промислових зон і підприємства стали центрами постійного перебування великої кількості населення, зростає актуальність дослідження та опису можливого і дійного розповсюдження забруднення від цих підприємств. Такий опис повинен реалізовувати вирішення наступних задач:

- швидко визначити рівень забруднення будь-якої за обсягом території;
- враховувати той фактор, що на деякі території дослідник з метою взяття проб потрапити не зможе, а також те, що досліджувана територія є пересіченою місцевістю;
- використовувати для аналізу і прогнозування ті дані, які важливі дослідникам на момент вирішення завдань;
- візуалізувати отримані результати для прийняття рішень за проблемою ліквідації аварійної ситуації.

Існує багато програмних продуктів, націлених на реалізацію задач моделювання забруднень водного середовища, ґрунту, повітря. Найбільш використовуваними є різноманітні геоінформаційні системи, що дозволяють поєднувати зображення територій з табличною інформацією щодо цієї території (GRASS GIS, ArcGIS, Quantum GIS та інш.). Моделювання забруднення територій у таких системах дозволяє наносити на карти і схеми зони можливого забруднення у вигляді кола, півкола або сектора. Часто така візуалізація не дає картини, наближеної до реальності, адже природна система, де відбулася аварія, має свої особливості. І якщо у разі аварій підприємствах із значними викидами і загрозою забруднення великих територій, окремими осередками з підвищеною концентрацією небезпечної речовини можна знехтувати, то у разі аварії з невеликим викидом речовини, окремі точки і плями забруднення на відстані від основного сектору ураження матимуть вагомe значення при прийнятті рішень щодо ліквідації наслідків.

Метою роботи є представлення можливого підходу до автоматизації роботи дослідника – програмної реалізації способу опису забрудненої території.

Завдання роботи:

- визначити проблеми взаємодії підприємства та оточуючого середовища з метою означення кроків, що повинні бути виконані з метою опису території;
- навести математичний апарат для реалізації досягнення поставленої мети;
- обґрунтувати алгоритм та представити особливості програмної реалізації способу опису забрудненої території.

В основу способу опису території покладено метод можливих напрямків Дж. Зойтендейка [1], але саме те твердження, що базисна точка може бути невідома і взята довільно. Деякі аспекти алгоритмізації з використанням цього підходу були вже описані [2 – 5]. У даній статті представлені підсумки випробування способу опису забрудненої території та результати практичної реалізації у вигляді програмного продукту «Випадкова точка».

1. Проблеми взаємодії підприємства та оточуючого середовища

В Україні функціонує майже дві тисячі об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності майже 300 тис. тонн сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), поряд з якими проживає майже половина населення країни. Існують підприємства, що у своїй діяльності використовують радіаційно небезпечні матеріали та прилади, які у разі безконтрольного потрапляння в оточуюче середовище можуть нанести значну шкоду довкіллю.

Для порівняння, – в Росії налічується понад 3,6 тисяч хімічно небезпечних об'єктів, а 146 міст із населенням більше ста тисяч чоловік розташовані в зонах підвищеної хімічної безпеки. Лише за п'ять років – 1992-1996 рр. – відбулося більше 250 аварій з викидом СДОР, під час яких постраждали понад 800 і загинули 69 осіб. Причому 25% аварій відбулося через експлуатацію устаткування понад нормативний строк, корозії устаткування й непрацездатності контрольно-виміральної апаратури [6].

В сучасних умовах кількість небезпечних речовин на виробництві розглядається як основний, але не єдиний критерій небезпечності об'єкта. Небезпека виникає тоді, коли СДОР потрапляють в оточуюче середовище, отруюючи через повітря, воду та їжу живі організми та людину. Найбільш об'ємним та неконтрольованим є потрапляння СДОР у навколишнє середовище при вибухах та пожежах на підприємствах хімічного та енергогенеруючого комплексу, що відносить їх до категорії потенційно небезпечних об'єктів.

Потенційно небезпечний об'єкт – об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії [7].

Слід зазначити, що істотну роль під час визначення статусу небезпечності конкретного виробництва відіграють такі показники, як зношеність основних промислово-виробничих фондів, зона можливого ураження, кількість непорогових значень небезпечних речовин більше двох. Вихідною величиною є кількість населення, яке проживає в зоні можливого масового ураження внаслідок техногенних аварій, характеру дії небезпек. Для прийняття рішення відносно запобігання, локалізації та локалізації аварійної ситуації слід також враховувати інформацію про наявність будівель, насаджень, рухомих конструкцій на шляху ураження, зміни місцевості техногенного характеру, ресурсної, як спеціалізованої, так і неспеціалізованої бази для недопущення поширення виходу аварії за межі робочої площадки, а також для ліквідації можливих наслідків у випадку розвитку надзвичайної ситуації [8].

Безпека будь-якого об'єкту, що використовує у технологічному процесі або зберігає СДОР, залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних властивостей сировини, напівпродуктів і продуктів, від характеру технологічного процесу і надійності обладнання, умов зберігання і транспортування речовин, стану контрольно-вимірвальних приладів і засобів автоматизації, ефективності засобів протиаварійного захисту тощо. Крім того, безпека виробництва, використання, зберігання і перевезення СДОР значно залежить від рівня організації профілактичної роботи,

своєчасності та якості планових попереджувальних робіт, підготовленості і практичних навичок персоналу, системи нагляду за станом технічних засобів протиаварійного захисту.

Останнім часом все частіше використовується поняття потенційно небезпечної території. Індикатором віднесення адміністративно-територіальних одиниць до потенційно небезпечних територій може слугувати рівень масового ураження території на випадок аварії або на території адміністративно-територіальної одиниці більше 10% населення потрапляє у зону масового ураження у результаті пожежі чи вибуху на потенційно небезпечному чи небезпечному підприємстві.

Але введення до об'єкту дослідження власне території, додає невизначеності у зв'язку з необхідністю опису ряду додаткових факторів. При розповсюдженні небезпечних речовин територія, на відміну від підприємства, не обмежується виробничою площадкою, вона не є ідеально рівною місцевістю, не має сталих кліматичних показників та руху потоків вітру, на ній присутній рослинний покрив, який може всмоктувати, акумулювати та виділяти небезпечні речовини, а також мешкають представники тваринного світу, які можуть переносити деякі види небезпеки на значну відстань. І саме тут постає найбільш актуальне питання – в який спосіб отримати необхідні дані у максимально можливому обсязі, щоб мати змогу описати територію з врахуванням перелічених факторів?

Припустимо, що маємо для дослідження територію X довкола деякого підприємства, єдина інформація про яку є зображення на Google-картах. Підприємство працювало з незначними, але постійними викидами небезпечної речовини (НР) в оточуюче середовище. Поставлена задача вивчити, на яку територію і як було розповсюджено НР.

Звичайно, у разі відсутності надзвичайної ситуації можна просто провести багато статистичних вимірів території і зробити певні висновки. Проте поставлене завдання можна вирішити з економією часу і засобів наступним чином:

– 1-й крок: умовно обмежуємо територію X , що досліджується, прямокутником, що поділений на зручну для дослідника кількість клітин;

– 2-й крок: обираємо довільно базисну точку x_k , обираємо базовий об'єкт для досліджень (рослини або рослина певного виду, ґрунт, роса, тала вода снігового покриву і т. інш.);

– 3-й крок: робимо замір концентрації НР, що потрапила в оточуюче середовище в результаті викиду, без врахування того, перевищена чи ні гранично припустима концентрація;

– 4-й крок: обираємо від точки x_k напрями від 1 до n та робимо довільно будь-який малий крок $\alpha_k > 0$. Щоб квадрати ділянок для наступного дослідження не дублювалися, обираємо напрям та квадрат за методом генерації випадкових чисел;

– 5-й крок: в отриманих квадратах збираються проби з базового об'єкта для досліджень, отримуються виміри небезпечної речовини, дані заносяться до таблиці вимірів і будується графік;

– 6-й крок: обирається точка, за якою отримане найбільше значення концентрації небезпечної речовини, вона стає базисною точкою, за якою повторюються перелічені кроки.

Приклад реалізації способу опису забрудненої території наведено за підсумками досліджень розповсюдження радіонуклідів водною тритією на території Інституту ядерних досліджень НАН України (рис. 1).

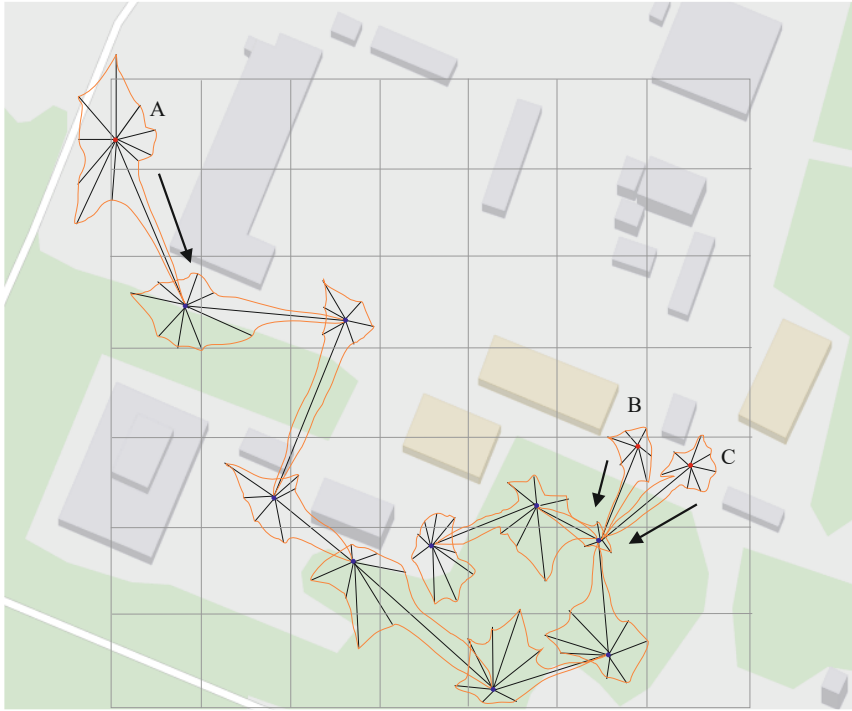


Рисунок 1 – Приклад реалізації способу опису забрудненої території з виділенням місць дослідження. Стрілками показано напрям руху при відборах проб

З рис. 1 видно, що дослідження триває покровоково з базисної точки А за напрямом, де отримується найбільше значення вимірів. Це необов'язково повинне бути перевищення концентрації речовини, а просто поступове збільшення результатів. Виміри за наведеним способом проводяться до тих пір, поки базисна точка перестане належати ділянці, що досліджується ($x_k \notin X$), або всі отримані результати вимірів будуть від'ємними. Для достовірності досліджень можна також обирати базисною точкою будь-яку іншу точку (на рис. 1. – точки В і С) або високе значення вимірів за полюсними точками на кінцях променів при реалізації кроку 5.

2. Математичне представлення способу опису забрудненої території

Для прикладу візьмемо невелику за площею, дуже пересічену, ділянку в декілька гектарів, через яку вірогідно пройшла хмара викиду від аварії на деякому підприємстві N. На ділянці існують споруди, є пагорби, багато листяних дерев і кущів. Стоїть задача виявити, чи була забруднена місцевість. Зазначена ділянка настільки невелика, що у розповсюджених геоінформаційних системах зможе бути представлена частиною загальної

На місцевості це може бути просто випадкова точка у довільно обраному квадраті на території, що досліджується, тобто, повинна виконуватися умова $x \in C_i(a, b)$.

Позначимо цю точку обмеження $X^0 = (x_1^0, \dots, x_k^0)$. Тоді для X^0 :

$$\sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0 \leq b_i$$

$$x_j^0 \geq 0 \quad i = \overline{1, P}; \quad j = \overline{1, k}.$$

Як було вище зазначено, X^0 може й не бути базисною точкою, а також, що ця точка є невідомою. Тоді процедура знаходження рішення задачі (2) за наведеними вище кроками зводиться до наступного:

а) з точки X^0 обирається напрямок S , за яким величина $\sum_{j=1}^k d_j S_j$ має найбільше значення і вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$ задовольняє обмеження $\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0, i = \overline{1, P_1} (P_1 \leq P + K)$, де матриця $P = (P_{ij})$ складена з умов матриці обмежень (2), які для точки X^0 виконуються як рівняння. Для матриці P маємо: $\sum_{j=1}^k P_{ij} x_j^0 = b_i; i = \overline{1, P_1}$.

На цьому ж етапі враховується умова невід'ємного невідомого. Після обрання напрямку S , обираємо довжину кроку λ для переходу у наступну точку X^1 , виходячи з умови, що X^1 повинна задовольняти (3);

б) вибір величини довжини кроку λ здійснюємо з відношення:

$$\lambda = \left\{ \min \frac{b_i - \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0}{\sum_{j=1}^k a_{ij} S_j} \mid \sum_{j=1}^k a_{ij} S_j > 0, \quad i = \overline{1, P} \right\}.$$

Для того, щоб не охоплювати рівновіддалену територію від X^0 , довжина кроку за кожним напрямком збільшується або зменшується у n разів. Враховуючи, що вся дослідна ділянка за наведеним способом розбивається на клітини-прямокутники, цього можна досягти за допомогою генерації випадкових чисел на шляху кожного кроку за номером (або координатами) квадрату;

в) будуємо полюсну точку $X^1 = X^0 + \lambda S$, яка задовольняє умови (3).

Величина, на яку збільшилася лінійна форма задачі (2), дорівнює $\lambda \sum_{j=1}^k d_j S_j$;

г) повторюються пункти а) і б) відносно точки X^1 , та отримується X^2 . Це повторюється до того випадку, поки не буде існувати напрям, для якого значення $\sum d_j S_j$ стає від'ємним, або базисна точка опиниться за межами ділянки, що досліджується.

Для побудови алгоритму та програмної реалізації необхідно також приділити увагу вибору напрямку S . Знаходження вектора $S = (S_1, \dots, S_k)$ зводиться до знаходження рішення наступної задачі математичного програмування:

$$\sum_{j=1}^k d_j S_j \rightarrow \max$$

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0; \quad (i = \overline{1, P_1})$$

до якої, як правило, додають ще одне обмеження (нормалізацію) на вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$. Для дослідження за наведеним способом обрано обмеження:

$$\sum_{j=1}^k S_j^2 \leq 1.$$

Такий вибір для програмної форми реалізації обумовлено тим, що розміри задачі (4) – (6) відносно невеликі, кількість ітерацій для її рішення відносно незначне, а це доводить непотрібність громіздких прийомів нормалізацій інших типів [9].

На практиці дуже важко буде вибрати деяку точку X^0 , яка задовольнятиме (3), то замість задачі (2) можна вирішити задачу, яка у деякому сенсі є еквівалентною, тобто застосувати метод можливих напрямків до вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^k d_j x_j - M_\xi \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j + \beta_i \xi \leq b_i & i = \overline{1, P} \\ x_j \geq 0, \quad \xi \geq 0 & j = \overline{1, K} \end{cases}$$

де M є великим невід'ємним числом, а величини визначаються системою

$$\beta_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } b_i \geq 0 \\ -1, & \text{якщо } b_i < 0, \quad i = \overline{1, P} \end{cases}$$

Припустімо, значення невідомої ξ дорівнює $\xi_0 = \{\max(-b_i)/b_i < 0, i = \overline{1, P}\}$. У зазначеному випадку вектор $X_\xi^0 = (O_1 O, \dots, O_1 \xi_0)$ стане початковим вирішенням задачі (7). А якщо область умов, що задана у (3), є не порожньою, то задача (7) матиме оптимальне рішення, а невідома ξ дорівнюватиме 0. Саме тому, у разі отримання від'ємного рішення задачі (7) $X_\xi^{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}, O\}$ можна отримати і оптимальне рішення задачі (2) з необхідного для опису забрудненої території набору полюсних точок $X_{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}\}$.

Наведене математичне представлення способу опису забрудненої території має дещо спрощене представлення деяких етапів на відміну від [2-3] для полегшення програмування. Зазначене не впливає на точність вирішення поставленої задачі.

3. Алгоритм та особливості програмної реалізації способу опису забрудненої території

Програмний продукт «Випадкова точка» для реалізації способу опису забрудненої території передбачений як інструмент для польових досліджень. Остаточна реалізація програмного продукту утримуватиме варіант для роботи як на комп'ютері під операційною системою Windows, так і на планшетах та смартфонах під операційною системою Android.

Початком дослідження території є вибір терену та обмеження його координатами. Для цього в програмі передбачено імпортування карти або схеми території у графічному форматі з розширенням .jpeg, на яку накладається сітка з поділом на квадрати або прямокутники від 1 x 1 до 30 x 30 з зазначенням координати кожного квадрату за його місцем по вертикалі і горизонталі (рис. 2).

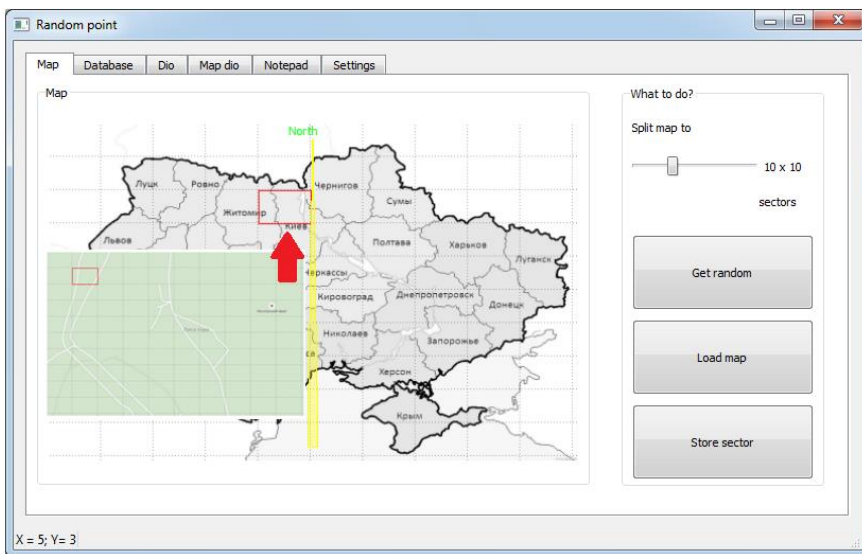


Рисунок 2 – Вибір місцевості дослідження та означення початкової точки.

За допомогою функції «get random» отримується випадкова точка на деякому заданому інтервалі $[\alpha, \beta] \subset [a, b]$ з побудовою поліному $f_s(x)$ ступеня n . Далі вирішується задача лінійного програмування, що представлена вище, та реалізується спосіб опису території від точки до точки з фіксацією координат точок та результатів в таблиці та наступною побудовою графіку, що окреслює досліджену територію за даними вимірів.

В алгоритмі програми використані наступні параметри:

P_1 – кількість полюсних точок на $[a, b]$, включаючи й кінці інтервалу апроксимації;

P_2 – кількість базисних точок на $[a, b]$.

NO – кількість точок на відкритому інтервалі дослідження (O, E_1) .

Φ_1 – кількість пар $(x_i, f(x_i))$, які задають таблицю функції $f(x)$, $x \in [a, b]$.

E_1 – довжина підінтервалів апроксимації (кроки перебирання $[a, b]$).

Якщо виконується умова, що отримане значення в базисній точці невід'ємне, то число підінтервалів апроксимації буде більшим, ніж це передбачено вектором полюсних точок. Цим будуть введені нові базисні точки. Тобто, можна почати дослідження з будь-якої раніше визначеної точки, що задовольняє дослідника за результатами отриманих вимірів.

D_2 – задана точність апроксимації.

$C[1: P_1]$ – масив полюсних точок, записаних у порядку зростання й включає точки a й b .

$Z[1: P_1]$ – масив базисних точок, записаних у порядку зростання.

$Y[1: NO]$ – масив точок з відкритого інтервалу (O, E_1) , який необхідний для побудови нових точок.

$XX, FF[1: \Phi_1]$ – масиви відповідних полюсних точок

$x_j \in [a, b]$ и $f(x_j)$, $j = 1, \dots, \Phi_1$

$(f(XX[J]) = FF[J], J = 1, \dots, \Phi_1)$.

Узагальнений алгоритм програмного продукту «Випадкова точка» для роботи під операційною системою Windows є наступним:

1. Запуск програми SectorMap.exe.
2. Експортування карти місця дослідження, накладання сітки – розбиття на необхідну кількість комірок зони дослідження.
3. Обрання «випадкової» базисної точки X . Введення необхідних параметрів. Лічильники і перший елемент масиву $XX[0]$ (на інтерфейсі користувача – вкладка «Database», рис. 3) представляють первісні значення.

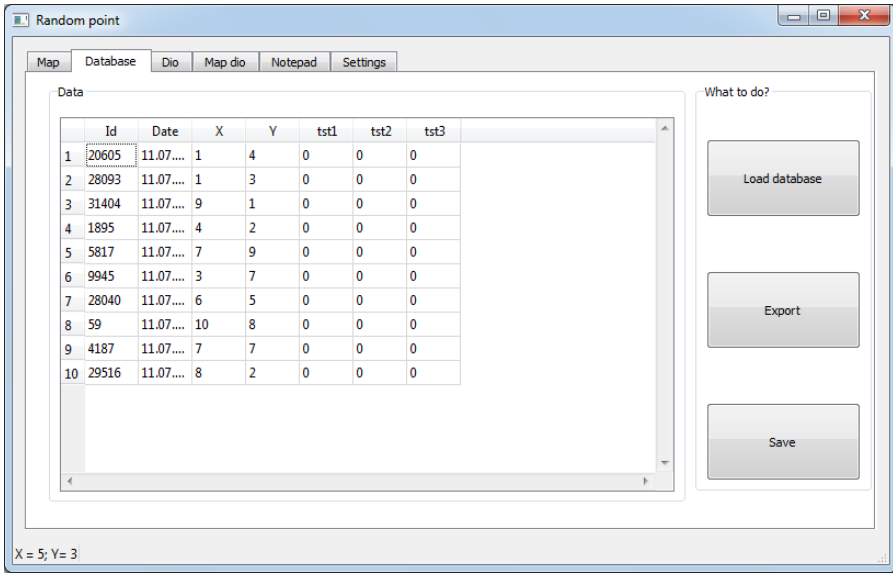


Рисунок 3 – Вкладка «Database»: табличне представлення результатів експерименту

Одночасно починається побудова графіку (рис. 4). Збір і обробку результатів можна зупинити на будь-якому етапі та експортувати отримані результати для подальшої обробки у Excel або архівування до бази даних наукового спостереження чи експерименту [10].

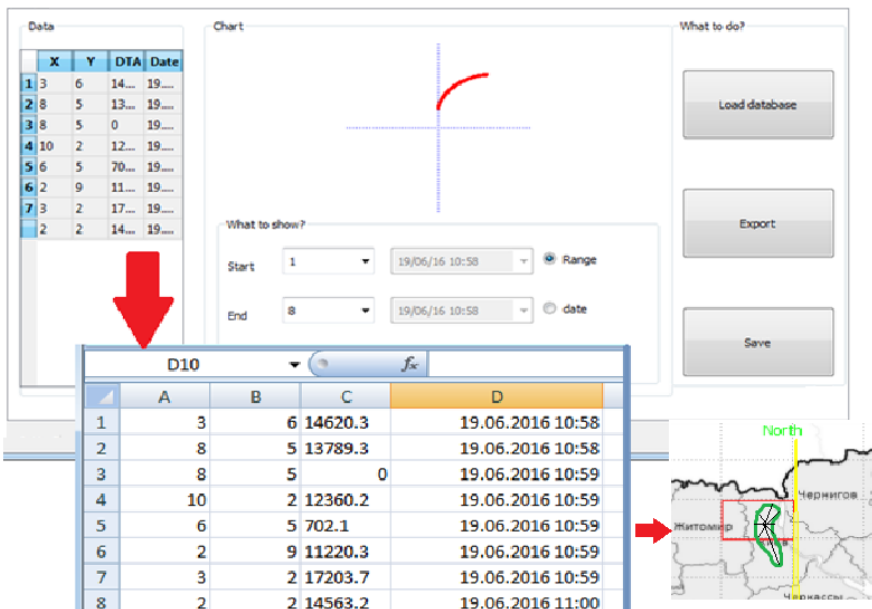


Рисунок 4 – Обробка результатів дослідження

4. Вибір фактичних параметрів і визначення величин, потрібних для подальшої роботи.

5. Побудова масивів C , D , масиву результатів ДТА, масиву часового інтервалу.

6. Визначення попереднього ступеня N_2 полінома апроксимації за допомогою масивів.

7. Отримується нова полюсна точка.

8. Здійснюється зменшення довжини D підінтервалу на половину $D: = D/2$ й відновлення лічильників.

9. Будується матриця обмежень. Повторюються пункти 6 – 8.

10. Формується масив полюсних точок C з базисною точкою X .

11. Фіксація результатів і перехід до нового підінтервалу апроксимації.

12. Будується новий напрям S_1 від найбільшого значення полюсної точки, якій присвоюється ім'я X_1 .

13. Обчислення довжини кроку для побудови нового вектора X_1 .

14. Побудова нового вектора X_1 .

15. Блок коригування ступеня.

16. Зниження ступеня. Побудова нових обмежень задачі лінійного програмування.

17. Підвищення ступеня. Побудова обмежень задачі лінійного програмування.

18. Фіксація результатів і перехід до нового підінтервалу апроксимації.

19. «СТОП» – задається користувачем за при отриманні необхідної кількості результатів. Автоматично задається при виході довжини кроку для побудови нового вектора X_n за межі ділянки, що досліджується, або при отриманні від'ємного результату.

20. Збереження результатів з формуванням бази даних у форматі таблиці Excel.

21. Експортування результатів по завершенні роботи.

Тестові випробування програмного продукту «Випадкова точка» з реалізації способу опису забрудненої території тритієм, довели ефективність даного інструментарію дослідника, а також показали необхідність реалізації деяких додаткових функцій та модулів, зокрема:

– введення в таблицю масиву даних додаткових полів щодо температури повітря, напрямку і швидкості вітру, вологості тощо або експортування цих даних в нотатки до таблиці масиву даних з Інтернету на момент досліджень;

– фіксації квадрату базисної точки з метою отримання можливості побудови іншого шляху з тієї ж самої точки;

– нанесення зони вимірів безпосередньо на карту за глибиною ураження (градація кольорів у зоні забруднення);

– експортування карт з Google-карт або Яндекс.

Необов'язковим але дуже зручним модулем може стати записничок, який реалізовано в якості додаткової вкладки програмного продукту з прив'язкою до конкретного рядка таблиці масиву даних (рис. 5). У зв'язку з тим, що в процесі досліджень виникає необхідність зазначити деякі аспекти відбору проб, або позначити конкретний об'єкт, така функція програми є дуже доречною.

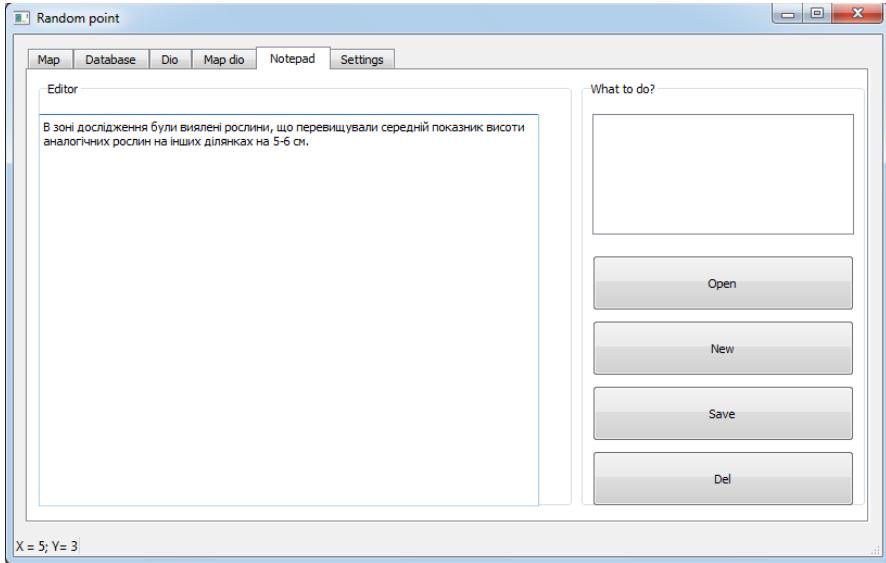


Рис. 5. Вбудований записник програми «Випадкова точка».

За підсумками тестового випробування програмного продукту «Випадкова точка» було уточнене розташування зони концентрації радіонуклідів водню – тритію. Спосіб опису забрудненої території дозволив визначити чіткі межі розташування цієї плями, що знаходилася від попередньо зазначених меж на відстані майже у 150 м. За результатами вимірів наявності органічно зв'язаного тритію у соку рослин було встановлено, що гранично допустима концентрація не перевищена.

Висновки

За результатами досліджень був остаточно відпрацьований спосіб опису забрудненої території. Цей спосіб може бути використаний при дослідженні територій що є, або можуть бути забруднені, при виникненні техногенних аварій хімічними, радіаційними, біологічними небезпечними речовинами.

Тестове випробування програмного продукту «Випадкова точка», який створено для автоматизації способу опису забрудненої території, дозволило уточнити розташування зони концентрації радіонуклідів водню – тритію на території Інституту ядерних досліджень НАН України. За результатами вимірів наявності органічно зв'язаного тритію у соку рослин було встановлено, що гранично допустима концентрація не перевищена, показники вимірів занесені до бази даних досліджень, що формується.

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості розширення інструментарію дослідників та осіб, що приймають рішення, для опису зон ураження незначних за площею територій при техногенних аваріях з викидами небезпечних речовин в оточуюче середовище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1963. – 178 с.
2. Трофимчук О.М. Апроксимація функцій для створення алгоритму опису пересіченої місцевості / Олександр Миколайович Трофимчук, Ольга Олександрівна Кряжич // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – № 1. – С. 134–141.
3. Кряжич О.О. Апроксимація складних функцій для опису розвитку локальної надзвичайної ситуації / О.О. Кряжич // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 148 – 157.
4. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Моделювання події радіаційного забруднення локальних територій в умовах невизначеності // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол. О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2015. – Вип. (3) 19. – С. 100-112.
5. Коваленко О.В. Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм / О.В. Коваленко // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 199-205.
6. Владимиров В.А., Лукьянчиков В.Г. Химические аварии: реальность и тенденции. – [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.chem.msu.su/rus/journals/xr/avarii.html>
7. Наказ МНС України «Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів» від 18.12.2000 № 338.
8. Сонько С.П. Надзвичайні ситуації та цивільний захист населення. – [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://udau.edu.ua/library.php?pid=1426>
9. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.
10. Коваленко О.В. Концептуальні основи створення бази даних наукового експерименту та спостереження / О.В. Коваленко // Математичні машини і системи. – 2016. – №2. – С. 91-101.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2016

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 532.543

П.С.ВЕНГЕРСЬКИЙ, О.М.ТРОФИМЧУК

АНАЛІЗ РІЗНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ОПИСУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ФІЛЬТРАЦІЇ РІДИНИ В НАСИЧЕНІЙ ЗОНІ ҐРУНТУ

***Анотація.** В даній роботі для опису процесу фільтрації розглянуто два підходи: гідравлічний і гідродинамічний. Показано, на основі яких припущень отримуються системи диференціальних рівнянь для цих двох підходів. Сформульовано початково-крайові задачі, що описують процеси фільтрації для цих підходів. Побудовано варіаційні задачі, які розв'язувались методом скінченних елементів з використанням схеми лінеаризації при дискретизації по часу та схеми Гальоркіна для дискретизації по просторових змінних. Побудовано і проаналізовано чисельну схему розв'язку нелінійного рівняння фільтрації при гідравлічному підході, якщо коефіцієнт п'єзопровідності залежить від невідомої величини. Особливістю гідродинамічної моделі є врахування густини фільтруючої рідини, що важливо при дослідженні фільтрації стисливих рідин, а також при напірній фільтрації води з великими значеннями тиску.*

***Ключові слова:** основні рівняння фільтрації, напірний рух, рівняння Бусінеска, густина, тиск, потік рідини, п'єзометричний напір, швидкість фільтрації, схема Гальоркіна, метод скінченних елементів, однокрокова рекурентна схема, лінеаризація.*

Вступ

Важливим питанням для життя та діяльності людини є ефективне використання водних ресурсів планети. Для передбачення імовірних наслідків використання та управління водними ресурсами, необхідно вивчати та моделювати цикл кругообігу води в природі. Важливу роль в вивченні кругообігу води в природі відіграють гідрологічні системи. Гідрологічні системи складаються з багатьох взаємопов'язаних між собою етапів кругообігу води на планеті. В загальному дослідження цілої такої системи з врахуванням всіх факторів впливу є складною і не завжди доцільною задачею для вивчення, тому досліджується лише певну частину області, що бере участь в кругообігу води. Важливим процесом для дослідження є етап фільтрації [13-15], оскільки він вагомо залежить від решти етапів гідрологічної системи, таких як випадання опадів, русловий стік, потік в

озерах і водоймах, тощо. Також процес фільтрації безпосередньо залежить від діяльності людини (меліорація, будівля гідроспоруд та інше), тому його вивчення дає можливість зрозуміти процес формування ґрунтових вод і передбачувати наслідки діяльності людини. Моделі для опису фільтрації води в різних шарах ґрунту відрізняються одна від одної забезпеченістю даними, можливістю перевірки на адекватність в реальних умовах. Для опису процесу фільтрації пропонується два основних підходи: гідравлічний та гідродинамічний [1-5].

При гідравлічному підході в області фільтрації виділяють елементарний об'єм, для якого записують рівняння балансу притоку та відтоку води [6-9]. Для отримання рівняння, що описує процес фільтрації використовують граничний перехід, коли виділений об'єм ґрунту прямує до нуля. Отримане рівняння називають рівнянням Буссінеска. За допомогою даного рівняння можна знайти скалярну характеристику потоку фільтрації – п'єзометричний тиск. Для опису часткових видів фільтрації на основі рівняння Буссінеска будують його спрощені формулювання, які відомі в літературі під назвами рівнянь планової та профільної фільтрації.

Використовуючи гідродинамічний підхід для отримання рівнянь, що описують процес фільтрації, застосовується підхід механіки суцільного середовища до опису руху середовища [2,6]. Отримані рівняння називають основними рівняннями фільтрації. Невідомими величинами, що входять в дані рівняння є п'єзометричний тиск, швидкість та густина потоку фільтрації. Важливо, що в цій моделі враховується густина фільтруючої рідини, яка є невідомою величиною при дослідженні фільтрації стисливих потоків.

З огляду на те, що для багатьох задач фільтрації є характерна наявність вільної поверхні [1,3,5], наводиться побудова та дискретизація варіаційної задачі фільтрації. Для побудови дискретизованої задачі використовувалась схема Гальоркіна та однокрокова рекурентна схема інтегрування в часі [14]. Отриману дискретизовану задачу можна розв'язати методом скінченних елементів [12,16], який дозволяє знаходити вигляд змінної області визначення задачі в часі без її перерозбиття на скінченні елементи [16].

Розглянемо основні рівняння двох різних підходів, які використовуються для побудови математичних моделей процесу фільтрації рідини в ґрунті.

1. Геометрична модель ґрунтового шару

Проведемо вертикальну декомпозицію області задачі – ця область розбивається на шари: приземний шар атмосфери, поверхня землі, ненасичена зона, насичена зона, зона напірного руху (рис.1). В кожному шарі для опису руху води використовуються моделі різної розмірності, їх розв'язки з'єднуються за допомогою граничних умов.

На рис.1 введено наступні позначення:

$\eta = \eta(x, y)$, $\eta_0 = \eta_0(x, y)$ – відмітки поверхні землі та поверхні водопідпору;

$M = M(x, y)$ – потужність водоносного пласту для напірного руху;

$H = H(x, y)$ – рівень ґрунтової води (для напірного руху – п'єзометричний напір).

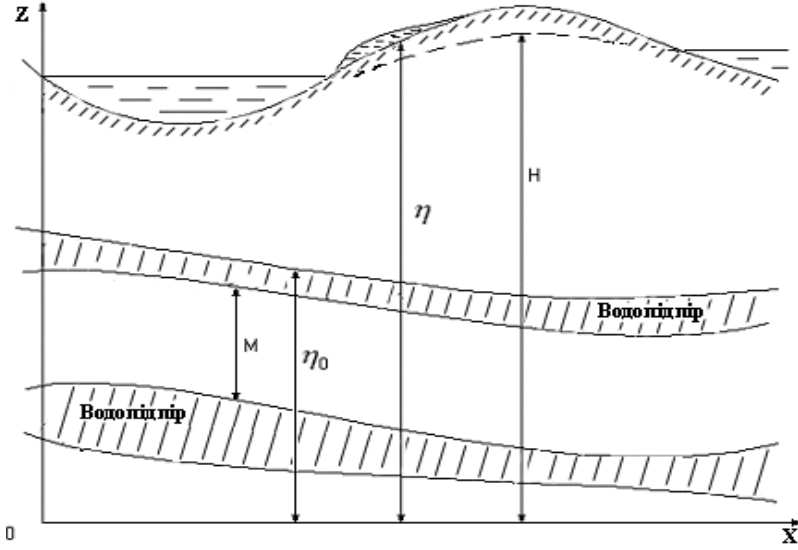


Рисунок 1 – Вертикальний розріз розглядуваної області задачі

2. Опис задачі фільтрації при гідравлічному підході

Спочатку сформулюємо рівняння отримані при гідравлічному підході. Це так звані рівняння планової або профільної фільтрації. Опишемо для них постановку початково-крайової та варіаційної задач.

2.1 Формулювання початково-крайової задачі фільтрації

Рух ґрунтової води описується моделлю, основою на рівнянні Буссінеска[4,5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial H}{\partial y} \right) + E, \text{ в області } \Omega \times (0; T] \\ H|_{t=0} = H_0(x, y); \\ -K \nabla H \cdot \vec{n} = \bar{q}, \text{ на } \Gamma = \partial \Omega \end{array} \right. \quad (1)$$

де

$$K = K(x, y, t) = \begin{cases} k_s(\eta(x, y) - \eta_0(x, y)), & H(x, y, t) \geq \eta(x, y) \\ k_s(H(x, y, t) - \eta_0(x, y)), & \eta_0(x, y) < H(x, y, t) < \eta(x, y) \\ 0, & H(x, y, t) \leq \eta_0(x, y) \end{cases}$$

де $H = H(x, y)$ – рівень ґрунтової води (для напірного руху – п’єзометричний напір);

$\mu = \mu(x, y)$ – коефіцієнт питомої водовіддачі;

$K = K(x, y, t)$ – коефіцієнт рівнепровідності для безнапірного руху або п’єзопровідності для напірного руху;

$k_s = k_s(x, y)$ – коефіцієнт фільтрації, залежить від типу ґрунту;

$E = E(x, y, t)$ – відома функція джерел притоку води;

$q^* = q^*(x, y)$ – відома функція розходу потоку.

Для коефіцієнтів задачі виконуються наступні включення:

$$\begin{cases} \mu, \eta, \eta_0, k_s \in L^\infty(\Omega); H_0 \in L^2(\Omega); \\ E \in L^2(0, T; H^{-1}(\Omega)) \end{cases}$$

Невідомою величиною в (1) виступає функція $H = H(x, y, t)$.

Рівняння задачі (1) запишемо так:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_s (\Psi - \eta_0(x, y)) \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_s (\Psi - \eta_0(x, y)) \frac{\partial H}{\partial y} \right) + E,$$

де

$$\Psi = \begin{cases} \eta(x, y), & H(x, y, t) \geq \eta(x, y) \\ H(x, y, t), & \eta_0(x, y) < H(x, y, t) < \eta(x, y) \\ \eta_0(x, y), & H(x, y, t) \leq \eta_0(x, y) \end{cases}$$

Якщо $\Psi = \eta(x, y)$ або $\Psi = \eta_0(x, y)$, то рівняння є параболічного типу, коли $\Psi = H(x, y, t)$, то рівняння стає нелінійним відносно функції H .

2.2 Варіаційне формулювання задачі фільтрації

Прийmemo такі позначення

$$\begin{aligned} m(H', v) &= \iint_{\Omega} \mu H' v d\Omega; \\ a(\Psi, H, v) &= \iint_{\Omega} k_s (\Psi - \eta_0(x, y)) \nabla H \cdot \nabla v d\Omega; \\ K(H) &\equiv K(x, y), \quad \forall (x, y) \in \Omega \\ \langle l(t), v \rangle &= \iint_{\Omega} E v d\Omega - \int_{\Gamma} q^* v d\gamma, \end{aligned}$$

тоді варіаційна задача запишеться так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Задано } H_0 \in L^2(\Omega), l \in L^2(0, T; V'); \\ \text{знайти функцію } H \in L^2(0, T; V) \text{ таку, що} \\ m(H', v) + a(\Psi, H, v) = \langle l(t), v \rangle; \quad \forall v \in V \\ m(H(0) - H_0, v) = 0 \end{array} \right.$$

Де

$$\Psi = \begin{cases} \eta(x, y), & H(x, y, t) \geq \eta(x, y) \\ H(x, y, t), & \eta_0(x, y) < H(x, y, t) < \eta(x, y); \\ \eta_0(x, y), & H(x, y, t) \leq \eta_0(x, y) \end{cases}$$

$V := \{v \in H^1(\Omega)\}$; $V' := \{v \in H^{-1}(\Omega)\}$ є простір допустимих функцій та спряжений до нього простір.

2.3 Напівдискретизація Гальоркіна

Виберемо послідовність скінченновимірних просторів $\{V_h\}$ із простору V таку, що

$$\left\{ \begin{array}{l} \dim V_h = N(h) \rightarrow \infty, \text{ при } h \rightarrow 0 \\ \bigcup_{h>0} V_h \text{ щільно вкладене в } V, \text{ тобто:} \\ \forall v \in V \forall \delta > 0 \exists h > 0, v_h \in V_h : \|v - v_h\| \leq \delta \\ \{\varphi_i\}_{i=1}^N \text{ - базис простору } V_h \end{array} \right.$$

тоді напівдискретизована задача запишеться так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Задано } h > 0, H_0 \in L^2(\Omega), l \in L^2(0, T; V'); \\ \text{знайти функцію } H_h \in L^2(0, T; V_h) \text{ таку, що} \\ m(H_h'(t), v) + a(\Psi_h, H_h(t), v) = \langle l(t), v \rangle; \quad \forall v \in V_h \\ m(H_h(0) - H_0, v) = 0 \end{array} \right.$$

де

$$\Psi_h = \begin{cases} \eta(x, y), & H_h(t) \geq \eta(x, y) \\ H_h(t), & \eta_0(x, y) < H_h(t) < \eta(x, y) \\ \eta_0(x, y), & H_h(t) \leq \eta_0(x, y) \end{cases}$$

Оскільки ми прийняли, що $H_h \in L^2(0, T; V_h)$, то функцію H_h ми можемо розкласти за базисом цього простору:

$$H_h(t) = \sum_{k=1}^N H_k(t) \varphi_i(x, y).$$

Тепер задача звелась до відшукання коефіцієнтів

$$H(t) = \{H_k(t) \in L^2(0, T)\}_{k=1}^N$$

2.4 Дискретизація за часовою змінною

Розіб'ємо відрізок часу $[0, T]$ на $(N_T + 1)$ рівних частин

$$[t_j, t_{j+1}], j = 0, \dots, N_T + 1.$$

Для дискретизації по часу використаємо однокрокову рекурентну схему

$$H_{h\Delta t}(t) = H_h^j + \Delta t \omega(t_j, t) \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}}; \quad t \in [t_j, t_{j+1}], j = 0, \dots, N_T \quad (2)$$

$$\text{де } \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}} = \frac{H_h^{j+1} - H_h^j}{\Delta t};$$

Тут невідомими в (2) виступають значення дискретизованої за просторовими змінними функції H_h в моменти часу t_j, t_{j+1} , тобто H_h^j, H_h^{j+1} .

Для апроксимації лінійного функціоналу використаємо кусково-постійні апроксимації:

$$\langle l_{\Delta t}, v \rangle = \langle l_{j+\frac{1}{2}}, v \rangle = \langle l(t_{j+\frac{1}{2}}), v \rangle, \quad t_{j+\frac{1}{2}} = t_j + \frac{1}{2} \Delta t, \quad \forall t \in [t_j, t_{j+1}] \quad (3)$$

Отже, тепер приймаємо, що $H_h(t) \cong H_{h\Delta t}(t), \langle l(t), v \rangle = \langle l_{j+\frac{1}{2}}, v \rangle$ і (2)

підставляємо ці апроксимації в напівдискретизовані рівняння та початкову умову. Після підстановки ми отримаємо рівняння з залежністю від часу. Для того, щоб позбутись цієї залежності з отриманих рівнянь будемо проєкційні рівняння.

Початкова умова дає нам рівняння для знаходження початкового наближення H_h^0 :

$$m(H_h^0 - H_0, v) = 0, \quad \forall v \in V_h,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{задано параметри } \Delta t > 0, \theta > 0 \text{ та } H_h^0 \in V_h; \\ \text{знайти } H_h^{j+1} \in V_h \text{ таку, що} \\ m(\dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}}, v) + \theta \Delta t \tilde{a}(\Psi_h, \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}}, v) = \langle l_{j+\frac{1}{2}}, v \rangle - a(\Psi_h, H_h^j, v); \forall v \in V_h, \\ H_h^{j+1} = H_h^j + \Delta t \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}}; j = 0, \dots, N_T - 1 \end{array} \right.$$

тут

$$\tilde{a}(\Psi_h, \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}}, v) = \left\{ \begin{array}{l} \iint_{\Omega} \Psi_h \nabla \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}} \cdot \nabla v d\Omega, \quad H(x, y, t) \geq \eta(x, y) \\ \iint_{\Omega} H_h^{j+\frac{1}{2}} \nabla \dot{H}_h^{j+\frac{1}{2}} \cdot \nabla v d\Omega, \quad H(x, y, t), \eta_0(x, y) < H(x, y, t) < \eta(x, y) \\ 0, \quad H(x, y, t) \leq \eta_0(x, y) \end{array} \right.$$

$$\theta = \frac{(\xi, \omega(t_j, t))}{(\xi, 1)},$$

де $\xi(t) \in L^2((t_j, t_{j+1}))$, (\cdot, \cdot) скалярний добуток в $L^2((t_j, t_{j+1}))$ і функція задовольняє умові $(\xi, 1) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \xi(t) dt \neq 0$.

2.5 Аналіз властивостей варіаційної задачі

Варіаційні задачі виду (1) та (3) є варіаційними задачами побудованими для рівнянь параболічного типу, тому вони є коректно поставлені [16]. Варіаційна задача у виді (2) є побудована для нелінійного диференціального рівняння. Для цієї задачі виведена нерівність

$$\|H(t)\|_H \leq \|H(0)\|_H + \int_0^t \left\{ \|E\|_H + \|q^*\|_{L^2(\Gamma)} \right\} dt$$

яка показує існування розв'язку та його залежність від початкових даних задачі.

3. Гідродинамічний підхід для отримання рівнянь фільтрації

Для отримання рівнянь, що описують процес фільтрації, застосовується підхід механіки суцільного середовища до опису руху середовища. Отримані рівняння називають основними рівняннями фільтрації [6-11].

3.1 Побудова математичної моделі

Для побудови математичної моделі використаємо основні рівняння фільтрації:

– рівняння збереження енергії [5,6]:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v} + \frac{1}{k} \mathbf{v} + \nabla h = \mathbf{0} \quad (4)$$

де $h = \frac{p}{\rho g} + z$ - п'єзометричний тиск,

та

– рівняння збереження маси:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho n) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (5)$$

Рівняння (4) та (5) утворюють систему чотирьох скалярних рівнянь з п'ятьма невідомими v_x, v_y, v_z, h, ρ , тому для замикання цієї системи рівнянь їх необхідно доповнити рівнянням стану рідини. Загальний вид рівняння стану виберемо у вигляді (6), в якому задається залежність густини рідини фільтрації від тиску:

$$\rho = \rho(p). \quad (6)$$

Одним з прикладів аналітичного вигляду рівняння стану рідини [6] може бути

$$\rho = \rho_0 e^{\beta(p - p_0)}, \quad (7)$$

де ρ_0, p_0 - деякі початкові значення густини та тиску відповідно, β - певна задана функція яка залежить від типу рідини.

Використавши (7) виразимо залежність тиску та п'єзометричного напору від густини рідини. Ці залежності мають вигляд (8) та (9) відповідно

$$p = p_0 + \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right), \quad (8)$$

$$h = \frac{1}{\rho g} \left(p_0 + \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) \right) + z. \quad (9)$$

Виключивши з (4) та (5), тиск та п'єзометричний тиск приходимо до замкнутої системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v} + \frac{1}{k} \mathbf{v} + f(\rho) \nabla \rho + \vec{i}_3 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho n) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \end{cases} \text{ в } \Omega \times [0, T], \quad (10)$$

де

$$f(\rho) = \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{1}{\beta g} - \frac{p_0}{g} - \frac{1}{\beta g} \ln \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) \right).$$

3.2 Постановка початково-крайової задачі

Розглянемо (10) в певній області $\Omega \subset R^3$ на проміжку часу $(0; T]$.

В (10) шуканими величинами виступають швидкість $\mathbf{v} = \mathbf{v}(x, y, z)$ та густина $\rho = \rho(x, y, z)$.

Доповнимо (10) початковими та крайовими умовами:

$$\begin{cases} \mathbf{v}|_{t=0} = \mathbf{v}^* \\ \rho|_{t=0} = \rho^* \end{cases} \text{ в } \Omega. \quad (11)$$

Крайову умову виберемо у вигляді

$$\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} = q^* \text{ на } \Gamma_1 \subset \partial \Omega, \quad \Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 = \partial \Omega. \quad (12)$$

В загальному випадку область фільтрації Ω є трьохвимірною областю. Приймаючи, що параметри фільтраційного потоку є незмінні вздовж

горизонтального виміру, будемо розглядати двохвимірну область фільтрації $\tilde{\Omega}$, що є вертикальним перерізом області Ω (див. рис.2).

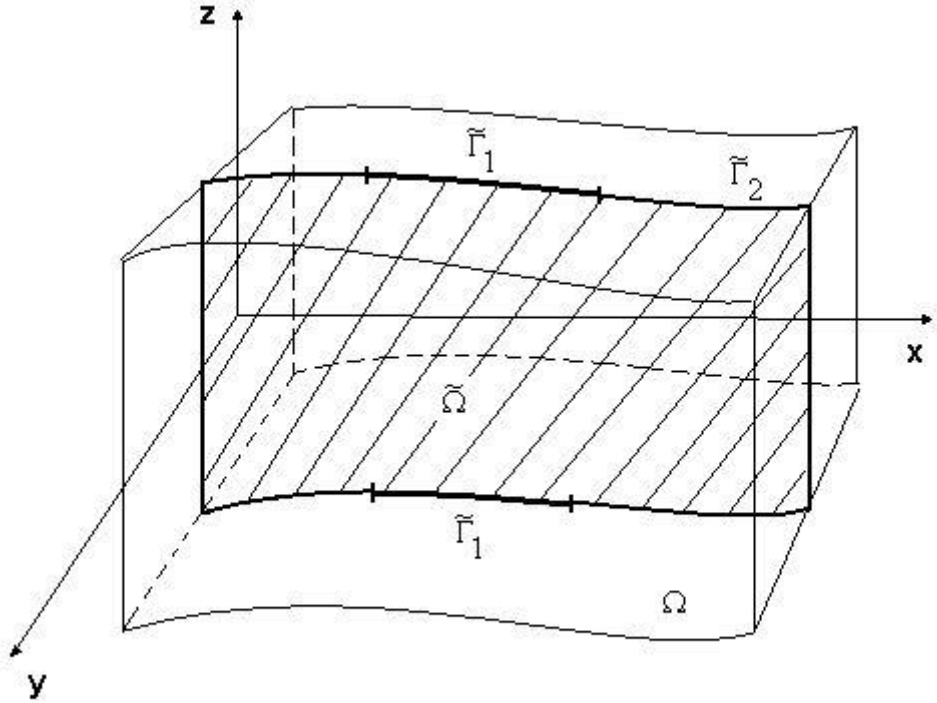


Рисунок 2 – Область фільтрації Ω

Запишемо математичну постановку задачі для області $\tilde{\Omega} \subset R^2$:

$$\begin{cases} \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v} + \frac{1}{k} \mathbf{v} + f(\rho) \nabla \rho + \vec{i}_2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho n) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \end{cases} \quad \text{в } \tilde{\Omega} \times [0, T) \quad (13)$$

$$f(\rho) = \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{1}{\beta g} - \frac{p_0}{g} - \frac{1}{\beta g} \ln\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \right)$$

Початкові умови:

$$\begin{cases} \mathbf{v}|_{t=0} = \mathbf{v}^* \\ \rho|_{t=0} = \rho^* \end{cases} \quad \text{в } \tilde{\Omega}. \quad (14)$$

Крайові умови:

$$\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} = q^* \text{ на } \tilde{\Gamma}_1 \subset \partial\tilde{\Omega}, \quad \tilde{\Gamma} = \tilde{\Gamma}_1 \cup \tilde{\Gamma}_2 = \partial\tilde{\Omega}. \quad (15)$$

3.3 Варіаційне формулювання задачі

Варіаційна постановка задачі (13)-(15) має формулювання:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Задано } \mathbf{v}_0, \rho_0 \in L^2(\tilde{\Omega}), l \in L^2(0, T; V_2'). \\ \text{Знайти } \mathbf{v} \in L^2(0, T; V_1), \rho \in L^2(0, T; V_2) \text{ такі, що} \\ \frac{1}{g}(\mathbf{v}', \varphi) + \frac{1}{k}(\mathbf{v}, \varphi) + (\mathbf{i}_2, \varphi) + b(f(\rho), \nabla \rho, \varphi) = 0; \quad \forall \varphi \in V_1 \\ ((\rho n)', \psi) - b_n(\rho; \mathbf{v}, \psi) = -\langle l, \psi \rangle; \quad \forall \psi \in V_2 \\ (\mathbf{v}(0) - \mathbf{v}_0, \phi) = 0, \\ (\rho(0) - \rho_0, \psi) = 0, \end{array} \right. \quad (16)$$

де V_2' – спряжений до V_2 простір.

Форми, що входять в (16), мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \langle l, u \rangle &= \int_{\Gamma_1} \{q^* u\} d\gamma, \\ b(c; \mathbf{u}, \mathbf{v}) &= \int_{\tilde{\Omega}} \{c \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}\} d\tilde{\Omega}, \\ b_n(c; \mathbf{u}, v) &= b(c; \mathbf{u}, \nabla v) - \int_{\Gamma_2} \{c \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}\} d\gamma, \\ (\mathbf{u}, \mathbf{v}) &= \int_{\tilde{\Omega}} \{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}\} d\tilde{\Omega}. \end{aligned}$$

3.4 Напівдискретизація Гальоркіна

Виберемо послідовність щільно вкладених скінченновимірних просторів $\{V_h^1\} \subset V_1$ та $\{V_h^2\} \subset V_2$ таких що $\dim V_h^i = N(h) \xrightarrow{h \rightarrow 0} \infty$, $i = 1, 2$.

Розкладемо шукані величини за базисом вибраних відповідних скінченновимірних просторів:

$$\mathbf{v}_h(t) = \sum_{k=1}^N \mathbf{v}_k(t) C_i(x, y), \quad (17)$$

$$\rho_h(t) = \sum_{k=1}^N \rho_k(t) L_i(x, y),$$

тоді напівдискретизована варіаційна задача задачі (16) запишеться наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Задано } h > 0, \mathbf{v}_0, \rho_0 \in L^2(\tilde{\Omega}), l \in L^2(0, T; V'_2). \\ \text{Знайти } \mathbf{v}_h \in L^2(0, T; V_h^1), \rho_h \in L^2(0, T; V_h^2) \text{ такі, що} \\ \frac{1}{g}(\mathbf{v}_h', \varphi) + \frac{1}{k}(\mathbf{v}_h, \varphi) + (\mathbf{i}_2, \varphi) + b(f(\rho_h), \nabla \rho_h, \varphi) = 0; \quad \forall \varphi \in V_1. \\ ((\rho_h^n)', \psi) - b_n(\rho_h; \mathbf{v}_h, \psi) = -\langle l, \psi \rangle; \quad \forall \psi \in V_2 \\ (\mathbf{v}_h(0) - \mathbf{v}_0, \phi) = 0, \\ (\rho_h(0) - \rho_0, \psi) = 0, \end{array} \right. \quad (18)$$

Враховавши (17) очевидно, що розв'язання задачі (16) звелось до відшукування коефіцієнтів $\mathbf{v}_h(\mathbf{t}), \rho_h(t)$ з (18).

3.5 Дискретизація задачі за часовою змінною

Розіб'ємо відрізок часу $[0, T]$ на $(N_T + 1)$ рівних частин $[t_j, t_{j+1}]$, $j = 0, \dots, N_T + 1$.

Застосувавши до (18) однокрокову рекурентну схему дискретизації в часі, метод побудови проекційного рівняння [16] та знехтувавши нелінійними доданками порядку $O(\Delta t^2)$, перейдемо до дискретизованої рекурентної системи рівнянь.

Задано параметри $\Delta t > 0, \theta > 0$ та $h > 0, \mathbf{v}_h^0, \rho_h^0 \in L^2(\tilde{\Omega}), l \in L^2(0, T; V_2')$.

Знайти $\mathbf{v}_h^{j+\frac{1}{2}} \in L^2(0, T; V_h^1), \rho_h^{j+\frac{1}{2}} \in L^2(0, T; V_h^2)$ такі, що

$$\left. \begin{aligned} & \Delta t \frac{1}{g} v_m^{j+\frac{1}{2}}(\mathbf{i}_m, \varphi) + \frac{1}{k} v_m^{j+\frac{1}{2}} \Delta t \theta(\mathbf{i}_m, \varphi) + \rho_i^{j+\frac{1}{2}} \Delta t \theta b(f(\rho), L_i, \varphi) = \\ & -(\mathbf{i}_2, \varphi) - \frac{1}{k} v_m^j(\mathbf{i}_m, \varphi) - \rho_i^j b(f(\rho), L_i, \varphi); \quad \forall \varphi \in V_1 \\ & \rho_i^{j+\frac{1}{2}} (n_m^{j+1} + \theta \Delta t n_m^{j+\frac{1}{2}})(L_i L_m, \psi) - \\ & \Delta t \theta (\rho_i^{j+\frac{1}{2}} v_m^j + v_m^{j+\frac{1}{2}} \rho_i^j) b_n(L_i; C_m, \psi) = \\ & \langle l_{j+\frac{1}{2}}, \psi \rangle - \rho_i^j n_m^{j+\frac{1}{2}}(L_i L_m, \psi) + \rho_i^j v_m^j b_n(L_i; C_m, \psi); \quad \forall \psi \in V_2 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\mathbf{v}_h^{j+1} = \mathbf{v}_h^j + \Delta t \mathbf{v}_h^{j+\frac{1}{2}}; j = 0, \dots, N_T - 1;$$

$$\rho_h^{j+1} = \rho_h^j + \Delta t \rho_h^{j+\frac{1}{2}}; j = 0, \dots, N_T - 1$$

де

$$\mathbf{v}_{h\Delta t}(t) = \mathbf{v}_h^j + \Delta t \omega(t_j, t) \mathbf{v}_h^{j+\frac{1}{2}}; \quad t \in [t_j, t_{j+1}], j = 0, \dots, N_T,$$

$$\mathbf{v}_h^{j+\frac{1}{2}} = \frac{\mathbf{v}_h^{j+1} - \mathbf{v}_h^j}{\Delta t},$$

$$\rho_{h\Delta t}(t) = \rho_h^j + \Delta t \omega(t_j, t) \rho_h^{j+\frac{1}{2}}; \quad t \in [t_j, t_{j+1}], j = 0, \dots, N_T,$$

$$\rho_h^{j+\frac{1}{2}} = \frac{\rho_h^{j+1} - \rho_h^j}{\Delta t},$$

$$\langle l_{\Delta t}, v \rangle = \langle l_{j+\frac{1}{2}}, v \rangle = \langle l(t_{j+\frac{1}{2}}), v \rangle, \quad t_{j+\frac{1}{2}} = t_j + \frac{1}{2} \Delta t, \quad \forall t \in [t_j, t_{j+1}].$$

Невідомими в (19) виступають значення дискретизованої за просторовими змінними функцій \mathbf{v}_h, ρ_h в момент часу t_{j+1} , тобто $\mathbf{v}_h^{j+1}, \rho_h^{j+1}$. Значення

v_h^{j+1}, ρ_h^{j+1} знаходяться за допомогою рекурентної формули, стартові значення для якої v_h^{j+1}, ρ_h^{j+1} ми отримуємо з початкових умов задачі (18).

Висновки

Результати застосування побудованих чисельних схем апробовувалися на тестових прикладах[1-5]. Спочатку в задачі планової фільтрації вибиралася поверхня, яка завжди знаходиться над рівнем поверхні ґрунту. В цьому випадку рівняння вихідної задачі перетворюється в параболічне рівняння. Праву частину було підібрано так, що можна знайти аналітичний розв'язок вихідного рівняння. Було досліджено в [1] норму абсолютної похибки в $L^2(\Omega)$. Також було досліджено квадратичний порядок збіжності апроксимаційної схеми по простових змінних. Далі дані тестової задачі було підібрано так, що б точки поверхні ґрунтових вод лежали між поверхнею землі та водопідпором. Для цього випадку проаналізовано норму зміни відносної похибки і було показано, що також витримується квадратична збіжність для наближення розв'язку по простових змінних. Побудовані чисельні схеми апробовувалися на класичному тестовому прикладі фільтрації ґрунтової води через насипну дамбу. Цей приклад поєднує в собі два види руху напірний та безнапірний, бо на одній частині області відбувається рух під поверхнею, а на іншій - рух з вільною поверхнею. Межі області напірної та безнапірної фільтрації змінювалися з часом. Швидкість протікання процесу фільтрації залежить від типу ґрунту. Порівняння отриманих результатів підтверджує фізичне трактування коефіцієнта фільтрації. Видно, що фільтрація води в ґрунті з більшим коефіцієнтом фільтрації відбувається скоріше, а ніж в ґрунті з меншим. При тестуванні чисельних схем ми знаходимо невідому величину, яка в області напірного руху характеризує п'езометричний напір, а в області безнапірного руху - вільну поверхню ґрунтової води. У випадку лінійної фільтрації для визначення швидкості фільтраційного потоку було використано закон Дарсі і було показано, що критерій застосування закону Дарсі визначається числом Рейнольдса, яке змінюється від 0 до 7.9. Також було перевірено виконання закону збереження для об'єму рідини в області фільтрації. Нехтуючи змінами потоку рідини в розглядуваній області можемо стверджувати про наближену рівність значень п'езометричного тиску і глибини.

Таким чином, в даній роботі розроблено уточнені постановки початково-крайових та варіаційних задач фільтрації ґрунтової води, виходячи з рівняння Буссінеска. Показано і обґрунтовано постановку задачі у випадку залежності коефіцієнта фільтрації від невідомої величини п'езометричного тиску. Для цієї задачі доведена нерівність, яка показує існування розв'язку та його залежність від початкових даних задачі. Проведено лінеаризацію дискретизованої задачі в часі і використано ефективні методи для розв'язування системи лінійних рівнянь.

Авторами виведено систему основних рівнянь фільтрації ґрунтової води із загальних законів збереження енергії, маси і стану рідини відносно невідомого вектора швидкості і густини потоку. Сформульовано постановки

початково-крайової та варіаційної задач. Особливістю цієї гідродинамічної моделі є врахування густини фільтруючої рідини, що важливо при дослідженні фільтрації стисливих рідин, а також при напірній фільтрації води з великими значеннями тиску.

Перспективи дослідження таких постановок можна очікувати у чисельному порівнянні розглянутих різних підходів фільтрації рідини. Також необхідно враховувати зміни нахилів поверхонь водопідпору та ґрунтового покриву. Цікавим було дослідити підвищення порядку апроксимацій в апроксимаційних схемах за часом та просторовими змінними, це привело б до уточнення значень рівня ґрунтової води та зменшенні норми похибки обчислень. Також точність обчислень суттєво збільшилася б у використанні ефективних інтервальних ітераційних методів розв'язування систем нелінійних проекційних рівнянь. Дослідження динаміки зміни глибини ґрунтової води необхідно було б апробувати на тестових прикладах, близьких до реальних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Венгерський П.С. Чисельне дослідження задач фільтрації ґрунтової води в насиченій зоні / П.С. Венгерський, О.Р. Демкович // Вісн. Льв. ун-ту. Сер. прик. матем. та інф. Вип. 6. - Львів, 2003. - С. 106 - 116.
2. Венгерський П.С. Побудова математичної моделі процесу фільтрації рідини в ґрунті / П.С. Венгерський, О. Р. Демкович // Вісн. Льв. ун-ту. Сер. прик. матем. інформ. Вип. 15- 2009. - С. 170-177.
3. Венгерський П.С. Чисельне дослідження математичної моделі сумісного стоку поверхневих і ґрунтових вод з території водозбору / П.С. Венгерський // Математичне та комп'ютерне моделювання. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський нац. ун-т ім. І.Огієнка. Вип. 10. - 2014. - С. 33-42.
4. Венгерський П.С. Чисельне розв'язування задач руху ґрунтової води в насиченій зоні. / П.С. Венгерський, О.Р. Демкович // Восьма Всеукраїнська наукова конференція 25-27 вересня 2001р. "Сучасні проблеми прикладної математики". Львів, 2001.- С. 19.
5. Венгерський П.С. Використання гідродинамічного підходу для моделювання задач руху рідини в ґрунті. / П.С. Венгерський, О.Р. Демкович // Конференція молодих учених із сучасних проблем механіки і математики імені академіка Я.С. Підстригача. Львів, 2005.-С. 125.
6. Картвелишвили Н.А., Галактионов Ю.И. Идеализация сложных динамических систем с примерами из электроэнергетики.- М.; 1976.
7. Коржавов П.П. Проблемы замыкания системы гидрологических моделей речного бассейна. //Вод.ресурсы. 1981. № 3 - С.54-64.
8. Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока.- Ленинград; 1980.
9. Ляшко И.И., Демченко Л.И., Мистецкий Г.Е. Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах.-Киев; 1991.
10. Ляшко И.И., Сергиенко И.В., Мистецкий Г.Е., Скопецкий В.В. Вопросы автоматизации решения задач фильтрации на ЭВМ.-Киев; 1977.
11. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод.- М.; 1977.
12. Савула Я.Г., Шинкаренко Г.А. Метод скінченних елементів.- Львів; 1999.
13. Сеймов В.М., Трофимчук А.Н., Савицкий О.А. Колебания и волны в слоистых средах. - К.:Наукова думка - 1990 - 222 с.
14. Сергиенко И.В., Скопецкий В.В., Дейнека В.С. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах, АН УССР, Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова.-Киев; 1991.

15. Трофимчук А.Н., Гомилко А.М., Савицкий О.А. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред. – К.:Наукова думка – 2003. – 232 с.
16. Шинкаренко Г.А. Проекційно-сіткові методи розв'язування початково-крайових задач. – Київ: НМК ВО, 1991 – 87 с.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2016

УДК 316.334.2;338.12

І.П. МАКАРЕНКО

СИСТЕМНЕ МАКРОЕКОНОМІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ І ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК

***Анотація.** У статті здійснено спробу обґрунтування категорії «системне макроекономічне середовище» (СМС) національної економіки як суб'єкта та об'єкта економічних процесів. Обґрунтування подається у форматі позитивної економіки. Поняття СМС полегшує розуміння того, чому для визначення результативності антикризової політики достатньо опису переважно монетарних, фіскальних та валютних інструментів. Їх вплив відбувається у «полі» передаточних трансмісійних та адаптивних механізмів національної економіки, для яких передусім важливо функціонування ринків вищого рівня (фінансового, грошового, валютного), що розглядаються у рамках обмежень макроекономічних моделей і функцій. Внаслідок високої чутливості СМС до змін відсоткових ставок, цін на волатильну і інші групи товарів, та до валютного курсу, вплив на зазначене середовище з боку інструментів макроекономічної політики (бюджетно-фінансової, грошово-кредитної і валютної) спричиняє потужну реакцію у всій економічній системі, що не обходить жодного з економічних суб'єктів.*

***Ключові слова:** макроекономіка, макроекономічне моделювання, макроекономічні трансмісії, макроекономічні інструменти, системне макроекономічне середовище, індикатор зрілості, еволюційні процеси.*

Вступ

Традиційно вважається, що національну економіку регулюють два інститути – центральний банк та уряд (міністерство фінансів). Монетарні, фіскальні, валютні інструменти цих інститутів є інструментами реалізації соціально-економічних та політичних функцій держави. Сила впливу цих двох інститутів надзвичайно велика.

Але все чіткіше виявляється дія системного макроекономічного середовища (СМС), регулюючий вплив на економіку якого не менш потужний, ніж дії двох згаданих інститутів. У цьому середовищі відбуваються всі економічні процеси й виникають усі реакції національної економіки, її трансмісії [1, с.132-136; 2; 3] – і позитивні, і негативні. Реакції системного макроекономічного середовища спричиняються економічними механізмами, функціонування яких залежить від законодавчих і адміністративних дій, правового поля і інститутів як зовнішніх для нього чинників, так і внутрішніх чинників, що сприяють або пригнічують розвиток макроекономічного середовища, роблять його сприятливим або несприятливим для економічної діяльності на макрорівні.

Для успішного макроекономічного регулювання ці реакції важливо постійно досліджувати і враховувати у практичній діяльності.

Серед іншого це потребує введення відповідної наукової категорії, розкритої у системі понять, які характеризують СМС в контексті

макроекономічної теорії для ефективного використання його реакцій (трансмисій) на зовнішні впливи як складного фінансового інструмента цілеспрямованого впливу на інноваційний розвиток економіки та її еволюцію.

1. Актуальність проблеми

Формування сучасного СМС є актуальною проблемою в країнах з ринками, що розвиваються. Їм у край потрiбно реформувати застарілу економічну структуру, проте недостатня розвиненість СМС значно ускладнює це завдання, спричиняючи зростання відсоткових ставок та волатильність на валютно-фінансових і товарних ринках. Тому важливо визначити й забезпечити умови успішного розвитку зазначеного середовища.

Для розвинених країн удосконалення СМС також актуальне в контексті зменшення ризиків фінансових криз.

Під час фазових перехідних періодів [4, с. 218, 235], які виникають при зміні парадигм розвитку [5] і супроводжуються формуванням нових технологічних укладів [6], системному макроекономічному середовищу досі немає альтернативи в процесі визначення майбутнього вектору економічного розвитку і для розвинених країн, і для країн, що розвиваються [4, с. 229-231].

Метою цієї статті є обґрунтування наукової категорії «системне макроекономічне середовище». Для цього висвітлені питання: ідентифікації СМС в історичному та в еволюційному контекстах; визначення компонентів системного макроекономічного середовища; обґрунтування індикаторів розвитку і стану зрілості СМС.

2. Аналіз досліджень і публікацій

СМС та його складові вивчаються у складі фундаментальних досліджень з макроекономіки як економічні закони і механізми, а також інструменти макроекономічної політики. Прикладні дослідження складових СМС спрямовані на поліпшення макроекономічних прогнозів, обґрунтування проектів бюджетів і основ монетарної та валютної політик.

Макроекономічні дослідження розпочав Дж. М. Кейнс [7]. Вони стали поштовхом для потужного потоку досліджень і дискусій у складі «Кейнсіанської революції». Математизація теоретичних напрацювань та перша систематизація результатів цього «мейнстріму» була зроблена П. Сауельсоном у «Економікс» [8]. До найзначніших публікацій також належать роботи Дж. Хікса [9] і Р. Маделла [10].

Варто уваги, що в контексті циклічності економічної динаміки роль грошей та ставки відсотка ще до Дж. Кейнса розглядали М. Туган-Барановський [11], К. Віксель [12] та І. Фішер [13], але творцем сучасної монетарної політики з позицій неокласичного підходу став нобелівський лауреат Мілтон Фрідман [14].

Роль валютного курсу як макроекономічного інструмента, розглянута в працях П. Кругмана [15], Р. Манделла [10] та М. Обстфельда [16]. Створення ними моделей рівноваги економіки та валютно-фінансових криз наблизило до трактування валютного курсу як важливого індикатора СМС.

Важливими є дослідження макроекономічних проблем економічного зростання Р. Хародом [4, с. 198], Є. Домаром [4, с. 196], Р. Солоу [4, с. 199].

У 1993 році потік макроекономічних досліджень завершився другою хвилею систематизації результатів – переходом країн світу на обліковий макроекономічний стандарт Систему національних рахунків (SNA) [4, с. 26-32], затверджений статкомісією ООН і взятий до реалізації майже всіма розвиненими країнами світу та країнами із ринками, що розвиваються. Доопрацьований МВФ, він склав основу сучасної методичної бази платіжного балансу [17; 18].

В Україні вагомий внесок у макроекономічні дослідження мають проф. А. Гальчинський, акад. В. Геєць, проф. Б.Кваснюк, д.е.н. І. Крючкова, проф. С. Кораблін, проф. О. Савченко тощо.

3. Виклад основного матеріалу

Системне макроекономічне середовище визначається нами (рис. 1) як:

– середовище, що формується грошовою, валютною і фінансовою системами та їхніми ринками, а також цінами товарних ринків та ринку праці;

– середовище опосередкованого впливу інструментів макроекономічної політики (монетарних, фінансових, валютних) на суб'єктів господарювання;

– середовище прискорення розвитку економіки шляхом активізації процесів самоорганізації суб'єктів економічних відносин на основі соціального капіталу, відсоткових ставок, наявних доходів і валютних курсів.

«Держава» впливає інструментами макроекономічної (бюджетної і фіскальної) політики: дохідної та видаткової частин державного бюджету, державного боргу (борговими інструментами). «Центральний банк» впливає інструментами монетарної політики: обліковою ставкою, нормою резервування, операціями на відкритому ринку, операціями на валютному ринку тощо. «Системне макроекономічне середовище» сформоване грошми, фінансами інституційних одиниць, валютою як носіями грошових, фінансових та товарних потоків (а також ринками грошей, фінансів, валюти), у яких відсоткові ставки, наявні доходи та валютний курс є підставою для прийняття рішень суб'єктами господарювання, а також – для управління й передачі керівного впливу.

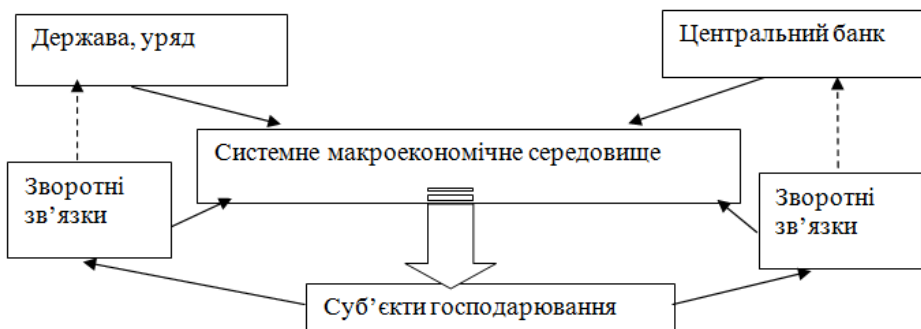


Рисунок 1 – Системне макроекономічне середовище як проміжна передавальна ланка впливу держави та центрального банку на економіку

Відповідно, важливими складовими структури СМС є: носії, ринки носіїв, ціни носіїв. Зворотні зв'язки відбуваються через ринок праці і товарні ринки (відображені показниками безробіття та інфляції), фінансову систему. Недостатність впливу зворотних зв'язків (недостатня розвиненість СМС) має компенсуватися інструментами макроекономічної політики (інструментами центрального банку та уряду).

Формування СМС у складі національних економік було тривалим еволюційним процесом. Його першим результатом стало відокремлення центральних банків, потім фіскальних (бюджетних) органів від «монарших» інститутів, наступним кроком – формування валютно-фінансових інструментів, нарешті – розвиток реального сектора економіки до стану здатності витримувати посилений монетарний тиск та формування ємного ринку праці. На жаль, процеси формування СМС ще недостатньо досліджені.

Уряд та центральний банк, виконуючи свої функції, не можуть не впливати на ринки інструментів, а також на ринки грошей, фінансів та валюти, без зміни відсоткових ставок, доходів та валютного курсу на них. Але ці відсоткові ставки та інші параметри є складовими СМС. Беремо до уваги ті змінні та їх коливання, що не встановлюються законодавчими актами, а є результатом дії економічних механізмів. Розглядаємо ті аспекти їхнього впливу, що стосується ринкових відсоткових ставок, валютних курсів та зміни доходів, які формують умови для прийняття раціональних рішень економічними агентами.

Зазначене середовище є «системним» з огляду на те, що до 2009 р. воно склалося у цілісну самодостатню систему впливу на національну економіку (поки що тільки країн-лідерів), певною мірою мінімізувавши залежність від традиційних макроекономічних інструментів, особливо тих, що використовують центральні банки. В ньому сформувалися та по'єдналися фінансові ринкові структури в систему управління економікою. Їх антикризові та керівні функції досі не стали цілком самодостатніми, але набрали достатньої потужності. Це зробило СМС важливим макроекономічним суб'єктом впливу на процеси самоорганізації зростання та розвитку. В цьому середовищі встановилися системні зворотні зв'язки, хоч їх формування ще не завершилося, індикатором чого є необхідність періодичного втручання держави.

СМС здатне генерувати власні трансмісії між суб'єктами господарювання, тобто не лише передавати «імпульси» від впливу інструментів макроекономічної політики [4, с. 262]. Це виявляється у явищі волатильності певних показників та, відповідно, поліпшення/погіршення фінансових умов, зокрема, внаслідок циклічності економічної динаміки.

В останні роки триває зростання ролі СМС у світовій економічній системі як суб'єкта управління. Воно стало третім суб'єктом управління економічними процесами, але дотепер також виконує функції проміжної ланки між урядами та центральними банками. Це стосується в першу чергу країн-лідерів, якими сьогодні є США, ЄС та Японія.

На нашу думку, розвинене системне макроекономічне середовище характеризується станом, що описується сукупністю показників і характеристик:

– економіка не реагує зростанням інфляції на збільшення грошової пропозиції;

- рівень доходів на душу населення понад \$12,6 тис/рік;
- грошова пропозиція (M2) перевищує 80% від ВВП;
- рівень безробіття стійко знаходиться на відмітці менше за 6%;
- працюють всі класичні інструменти збільшення грошової пропозиції у вільному режимі; грошові, валютні та фінансові ринки розвинені й немає необхідності стримувати кризові процеси рестриктивною політикою;
- державний борг не перевищує 60%; сукупний борг – 100% від ВВП.
- річні темпи економічного зростання понад 2,2% (\pm);
- базова інфляція не перевищує значення 2% на рік;
- державний бюджет становить до 30% від ВВП;
- дефіцит державного бюджету не перевищує 2% від ВВП;
- платіжний баланс зводиться до нуля;
- технологічний баланс зовнішньоекономічних відносин – понад нуль [4, с. 24].

Значення цих характеристик в реальних економіках, особливо боргового навантаження навіть у розвинених країнах, часто відрізняється від наведених. Наприклад, державний борг Японії становить 230% від ВВП, сукупний – 400%. Це сигналізує про недосконалість економічних систем, усунення якої є драйвером економічного розвитку.

СМС складається не тільки з грошових та фінансових ринків, воно неможливе без певного стану реального сектора та системних показників, що на нього впливають, зокрема фінансування на рівні понад 2% від ВВП науки, оборони та безпеки тощо.

Становлення СМС стало підсумком тривалої еволюції економічних систем. На нашу думку, його зародки виникли із появою грецьких міст-держав, разом із формуванням грошово-товарного обороту між ними. СМС довгий час існувало у нерозвиненому стані, коли всі функції управління державою (фінансові, квазі-монетарні та квазі-валютні) були в руках єдиного інституту монархії. Лише згодом у ході процесів, започаткованих у XVII ст. Голандською та Англійською буржуазними революціями, розпочався невпинний розвиток розвитку СМС, особливо у протестантській частині Європи та Північної Америки, що стартував із делегування монархами монетарної і частини фіскальної функції банкірам і парламантам. У ході цього процесу створювалося нове законодавство, що сприяло відокремленню монетарної, фіскальної та валютної функцій від «монархічних» інститутів. Розвивалася торгівля, підштовхуючи розвиток промислового та фінансового капіталів (відповідно, валютних та фінансових ринків), реформувалася християнська релігія як важливий інститут сприяння накопиченню соціального капіталу взаємної довіри.

У цьому контексті Тридцятирічна війна, що закінчилася мирною Вестфальською угодою і взаємним визнанням протестантських та католицьких країн на основі визначення їх національних суверенітетів, може розглядатися як утворення на теренах християнської культури двох альтернативних, конкурентних інститутів формування СМС. Саме після неї і в континентальній Європі розпочався поступовий процес відокремлення монетарних, фіскальних і валютних інструментів в окремі підсистеми, що створило перші можливості для саморегулювання цих економік. Важливо, що після Вестфальської угоди державна влада перейшла у нову якість, вона стала

головним двигуном усього суспільного життя країни, а ведення міжнародної політики від імені нації стало виключною її прерогативою.

Найшвидшими темпами зміни у СМС відбувалися протягом останніх 300 років. Велику роль у цьому процесі зіграли:

- реформація християнства і розвиток соціального капіталу, а також економічних інститутів на цій основі – формування соціальної системи довіри, що запустило процеси самоорганізації економіки;
- зростання кругообігу товарів і капіталів, розвиток торгівлі, як передумови для утворення та розвитку ринку капіталів;
- створення на основі соціальної системи довіри фінансових інструментів (1100-1304 рр.), без яких неможливі тривалі інвестиційні та інноваційні процеси, тобто сучасної банківської системи (1304-1640 рр., 1694-1991 рр.);
- формування сучасної фінансової та податкової систем (1800-1991 рр.);
- формування сучасної валютно-фінансової системи: Золотого стандарту – Бреттон-Вудської системи – Ямайської системи (1792-1947-1976 рр.).

Наведений перелік не є вичерпним, але він відобразив основні тенденції зазначеного еволюційного процесу.

Швидкість формування СМС в різних країнах була не однаковою. Відбувався конкурентний процес, в якому країни-лідери змінювали одна одну. Певні країни були ініціаторами початку ключових процесів, що потім поширювався іншими країнами. Певні країни були ініціаторами гальмування розвитку. Тобто процес відбувався нелінійно, поштовхами, іноді відкочуючись назад. І в наш час не всі країни завершили еволюційне формування СМС. Лише в двох-трьох країнах воно наближається до стадії зрілості (США, Японія, ЕС).

Країни, які першими завершили створення зрілого системного макроекономічного середовища у 2008 р., стали економічними лідерами світу. Це, на нашу думку, є дороговказом для економік усіх країн щодо необхідності формування СМС. У певному сенсі ключем до сучасного світового лідерства є саме побудова СМС.

Активна стадія формування СМС тривала приблизно 300 (+40) років. У цей час в реальному та фінансовому секторах економіки сформувалися нові підсистеми, необхідні для досягнення СМС стадії зрілості. Відбувалися три взаємопов'язані еволюційні процеси.

1) Пусковим імпульсом створення фінансової системи стало створення центрального банку сучасного типу у Великобританії в 1691-1694 рр. Другим – перехід Банку Великобританії на Золотий стандарт у 1794 році та його інституціоналізація розвинутими країнами Європи у 1816-1836 рр. (Японією – в 1871 р., Російською імперією – у 1895-1897 рр.). Третім – відміна Золотого стандарту (1938 р.) і створення Бреттон-Вудської (1947 р.) та Ямайської (1972 р.) валютних систем. Четвертим – завершення процесу створення центральних банків нового типу (в країнах колишнього СРСР у 1991 р.) [4, с. 288]. Результатом цього еволюційного процесу було формування валютно-фінансового ядра СМС, що дозволяє відсотковим ставкам та валютним курсам включитися у процеси саморегулювання економічних систем.

2) Формування технологічних укладів в рамках британської та американської (1808-1847 рр.), дещо пізніше – континентальних європейських (1850-1926-2009 рр.) та азійських економік (1860-1914-1945-

1996-2009 рр.) [6; 11]. Цей еволюційний процес сформував інноваційне ядро реального сектора СМС, яке дає змогу придушити інфляційні процеси надвисокою пропозицією товарів та послуг, що забезпечило реалізацію потенціала самоорганізації ринкових ставок та валютних курсів.

3) Еволюційне поєднання окремих складових СМС певної країни у єдину цілісну систему: грошової, фінансової, валютної систем, а також відповідних ним технологічних укладів. Цей процес тривав приблизно 200 років та інтегрував результати чотирьох промислових революцій (1792-1991 рр.) з еволюцією грошової та фінансової систем. Тоді відбулося відділення монетарної та фіскальної функцій від «монархічних» інститутів та поєднання їх у самоорганізовану системну цілісність СМС.

Політекономічний зміст зазначених процесів полягає у: переході від «монархічних» форм правління до демократичних («макроекономічних»); посиленні впливу реального сектору на розвиток валютно-фінансових та макроекономічних систем; витіснені з історичної арени «монархічних» інститутів.

Заключна фаза формування СМС тривала майже 200 років (рис. 2).

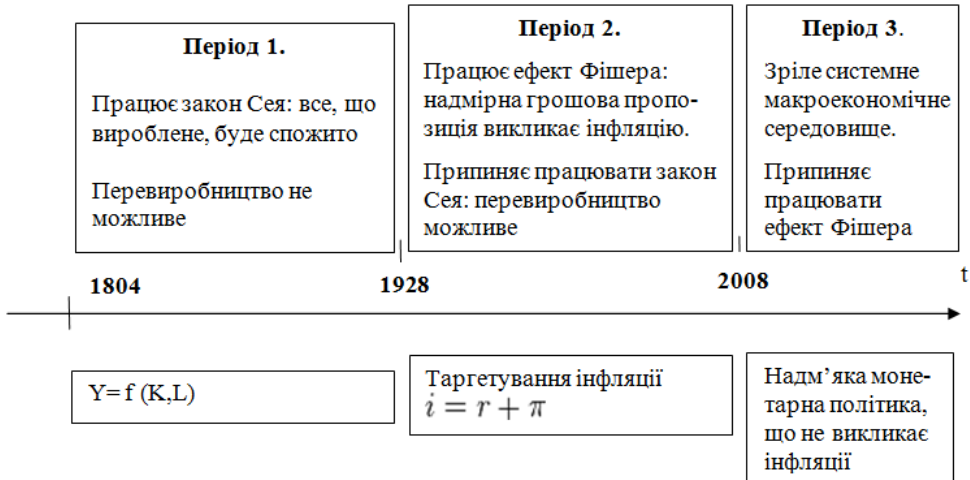


Рисунок 2 – Періоди еволюційного формування системного макроекономічного середовища

Як індикатори динаміки формування СМС на заключних етапах його еволюційного розвитку, на нашу думку, можуть бути використані періоди дії закону Сея [18] та ефекту Фішера [4, с.104; 13]. Оскільки саме вони відображають зміни системних характеристик стану розвитку СМС та відповідних ним базових умов для виникнення певних політичних інститутів (монархічних/демократичних).

Перший період (1691-1804-1928 рр.) доцільно умовно поділити на два півперіоди 1804-1859 рр. та 1860-1928 рр., що відрізняються за якісними характеристиками. У першому сформувалися основи для індустріалізації, «текстильний» технологічний уклад, нові інструменти суспільного інвестування (особливо в США), що підготувало економіки до розвитку важкої індустрії, нової інфраструктури. Завершився він кризами,

громадянськими війнами, світовими збройними конфліктами (Кримська війна). Моделлю економічної ситуації цього періоду є класична виробнича функція $Y = f(K, L)$ [4, с.157]).

У першому півперіоді в розпалі була перша промислова революція, головним еволюційним результатом якої стало нарощування виробництва. Про фінансові системи саморегулювання розвитку виробництва тоді ще не йшлося, але на міжнародному рівні такі механізми вже виникли через комплекс умов, що супроводжували Золотий стандарт. Цей стандарт оптимізував внутрішній і зовнішній товаро-фінансовий обіг, заклав основу платіжного балансу як інструмента самоуправління фінансовими потоками та прискорив міжнародну торгівлю. Тоді ж відбулося взаємне прискорення економік Великої Британії та США.

У другий півперіод сталися потужний поштовх індустріалізації та взаємне прискорення економік Західної Європи та США. Наприкінці цього періоду економіка США виходить у світові лідери. У цьому півперіоді завершилася перша промислова революція та формувалася нова інфраструктури. Зростання обороту потоків товарів і капіталів дало можливість здійснити проекти величезного масштабу, в першу чергу, залізниці та відповідні ним ресурсні уклади (виробництво чорних металів, нафтохімія). На інвестиційні процеси в реальній економіці починає активно впливати фінансовий, зокрема фондовий ринок, особливо яскраво на прикладі США (до цього фінансовий ринок активно впливав на торгівлю). Тут потужно виявилось значення СМС для досягнення технологічного лідерства.

Результатами першого періоду були:

- зростання виробничо-технологічної бази (перша промислова революція, 1804-1928 рр.);
- періодичні промислові та валютно-фінансові кризи (1804-1928 рр.);
- соціальні та військові конфлікти міжнародного масштабу;
- функціонування Золотого стандарту (1816-1936 рр.).

Не без впливу Золотого стандарту послідовно сформувалися два технологічні уклади, що забезпечили матеріальну базу для економічного зростання і прискорення радикальних інновацій, потужні транспортна інфраструктура, енергетика та ресурсна база (зокрема чорна і кольорова металургія, університети дослідницького типу), фінансова інфраструктура.

Цей період завершився накопиченням виробничого потенціалу та потужною кризою перевиробництва – Великою депресією (1928 р.). Але він все ще відзначався недостатнім розвитком продуктивних сил, виробничих потужностей, слабкою товарною пропозицією, коли діє закон Сея (все, що вироблено, буде спожито [18]).

Головним його підсумком стало створення потужного виробничого потенціалу, достатнього для появи ефекту перевиробництва в певних макорегіонах, без якого системне макроекономічне середовище було б неможливим. Високий рівень розвитку промисловості створив надійний фундамент для побудови «верхніх поверхів» економіки, тобто фінансових ринків як основи СМС.

Виникнення ефекту перевиробництва і вичерпання можливостей для моделювання економіки класичною виробничою функцією, завершення дії закону Сея сформувало нові виклики й необхідність створення нової методології, що отримала назву макроекономічної. Її становлення та

опанування (так звана «Кейнсіанська революція») тривали приблизно 40 років. В нових умовах науково-методологічний апарат класичної економічної теорії став невідповідним новим викликам та вимогам часу. Зросла роль держави та валютно-фінансових методів в управлінні національною економікою, що вимагало перегляду економічної політики.

Другий період (1928-2008 рр.) є часом другої промислової революції. Виробництво в країнах, що забезпечили в першому періоді створення «першого поверху» системного макроекономічного середовища стало спроможним забезпечити весь попит: все, що вироблено, може бути спожите. Припинив діяти закон Сея. Але на початку періода ще давалися ознаки недостатній розвиток грошової, фінансової та валютної систем.

Перша половина періоду (1928-1945 рр.) відзначилася потужним зростанням ролі держави у: збалансуванні внутрішнього попиту; стимулюванні масштабних інновацій; посиленні попиту на продукцію науки; зростанні військових конфліктів; поширенні кейнсіанства та економік з сильним державним впливом.

Друга половина періоду (1946-1991 рр.) характеризувалася потужним зростанням ролі центральних банків. Виникла проблема «зачарованого кола». Монетарне стимулювання економіки збільшувало інфляцію (ефект Фішера). А боротьба з інфляцією викликала зростання відсоткових ставок, зниження ділової активності й інвестицій та зростання на цій основі безробіття.

Тому друга половина періоду супроводжувалася:

- пошуком оптимальних монетарних правил для поєднання боротьби з інфляцією і безробіттям із одночасним стимулюванням інвестицій;
- зростанням ролі центральних банків та фінансових центрів світу;
- крахом і розпадом економічних систем, що стримували розвиток сучасної банківської системи, створенням на їх місці нових, із центральними банками сучасного типу та сучасними банківськими системами;
- стрімким зростанням економічних систем, що використовували потужну й агресивну монетарну політику (Японія, Китай);
- переходом країн на плаваючі валютні курси.

Наслідками цього періоду стали:

- зниження відсоткових ставок та зростання доходів, що стимулювало інвестиційну та інноваційну активність;
- прискорена спеціалізація макрорегіонів;
- зростання транснаціональних корпорацій;
- зростання попиту на інновації;
- зростання продуктивності економічних систем;
- поява нових видів зв'язку, комунікацій, інформаційних технологій;
- зростання цін на ресурси внаслідок збільшення попиту на них.

В результаті відбулося зростання ролі СМС в управлінні економікою. СМС увійшли у фазу зрілості, що прискорило розвиток економік на основі інновацій. На цьому тлі відбулося зменшення ефективності впливу держави і центрального банку на розвиток економіки. Водночас у здійсненні антикризової політики їх роль залишається безальтернативною.

Моделлю для умовного опису ситуації цього періоду є основна тотожність національних рахунків, а також макроекономічні моделі та функції кожного інституційного сектора економіки, фінансові моделі, наприклад, ефекта Фішера. Настав час, коли реакції системного

макроекономічного середовища (трансмисії) стали доступними для вивчення і систематизації [4].

Кінець періоду відзначився:

- створенням зрілого системного макроекономічного середовища;
- завершенням формування монетарних, фіскальних та валютних його складових («другого поверху» СМС);
- системним поєднанням виробничого («першого поверху»), валютно-фінансового («другого поверху») та наукового потенціалів в єдину систему управління саморозвитком, що й структурувало макроекономічне середовище.

В країнах-лідерах, які досягли цього рівня, відбулося пригнічення ділової активності через насиченість економіки капіталом, товарами і послугами (внаслідок чого ті втратили здатність реагувати навіть на посилене зростання грошової пропозиції). Це стало результатом:

- високої інвестиційної активності малого, середнього та крупного бізнесу у попередні періоди (завдяки низьким відсотковим ставкам, великій грошовій пропозиції та, головне, – зростаючій товарній пропозиції інноваційних товарів, спричиненій високою інвестиційною активністю у реальному секторі економіки);
- високої інноваційної активності у широкому спектрі діяльності та зростаючим попитом на наукові результати і креативність;
- зростання цін на традиційні ресурси.

Настав час для переходу на нову парадигму економічного розвитку і нових випробувань, які мають відбутися по закінченні третього періоду.

Третій період (почався із світовою кризою 2008-2009 рр.)

Ефект Фішера припинив діяти. Зростання грошової пропозиції не викликає ні інфляції, ні суттєвого прискорення економічного зростання. Економічна система досягає максимальних значень обсягу ВВП. Монетизація економіки також досягає максимальних значень. Економічна динаміка не відрізняється різкими коливаннями.

Системне макроекономічне середовище набуває рис найефективнішого суб'єкту управління інноваційним розвитком через реалізацію функцій:

- визначення векторів інноваційного розвитку та напрямів використання результатів наукових досліджень, зростання самоорганізації в економіці;
- формування напрямів і способів забезпечення збалансованого розвитку економіки в майбутньому;
- формування викликів для монетарної та фіскальної політики держави.

Стає очевидним те, що соціально-економічні умови, комфортні для розвитку СМС, вигідні для всіх суб'єктів економічної діяльності. Згладжуються економічні, соціальні і політичні протиріччя. Національна економіка, що досягла цього рівня розвитку, стає привабливою для всіх нерезидентів.

Значення категорії СМС. Поняття СМС важливе для ілюстрації механізму реалізації взаємних впливів підсистем національної економіки та її реакції на дію інструментів макроекономічної політики. Дослідження таких реакцій дає можливість встановити причини прискореного економічного зростання і розвитку одних економік та гальмування інших. Одним із головних фундаментальних чинників цього є сформованість та ступінь зрілості СМС, яке ми тут розглядаємо в якості головного прискорювача інноваційних та

інвестиційних процесів, що потребують прискореного поглинання результатів наукової діяльності. Це прискорення виникає за рахунок сприяння активності малого та середнього бізнесу, активізації самоорганізаційних процесів в економіці.

В рамках нормативної економіки акцентується на системності середовища функціонування національної економіки. Воно описується макроекономічними моделями, головним чином, грошової та фінансової системи національної економіки. Цим визнається, що головну роль в системному макроекономічному середовищі відіграють грошовий, фінансовий та валютний ринки, а також інструменти управління ними – бюджетно-фінансова, грошово-кредитна, валютна та зовнішньоекономічна політики. Тобто поняття СМС включає основні макроекономічні категорії, аргументи та фундаментальні функції. У складі СМС не розглядаються інституційно-правові і регуляторні, культурні та політичні особливості розвитку конкретної країни, вони вважаються екзогенними чинниками.

Саме через системне середовище національної економіки: отримують конкурентні переваги або пригнічення ділової активності; захищаються від зовнішньоекономічної експансії або уражаються нею та експансією зовнішніх інновацій; отримують допомогу під час криз. Уражене кризою або зовнішньоекономічною агресією інфіковане СМС здатне «інфікувати» фінанси навіть у благополучних фірм. Врахування цього важливо з огляду на те, що саме в межах конкретного СМС здійснюються всі без виключення трансакції.

Через високу чутливість СМС до змін відсоткових ставок, цін на волатильну і інші групи товарів, до валютного курсу, вплив на зазначене середовище з боку інструментів макроекономічної політики (бюджетно-фінансової, грошово-кредитної і валютної) викликає потужну реакцію у всій економічній системі, що поширюється на всі без виключення економічні суб'єкти.

Висновки

1. Категорія «системне макроекономічне середовище» національної економіки (СМС) має полегшити формування заходів антикризової політики та політики економічного розвитку з використанням переважно монетарних, фіскальних та валютних інструментів.

2. Вплив зазначених інструментів відбувається у «полі» передаточних трансмісійних та адаптивних механізмів національної економіки, для яких важливо передусім функціонування ринків вищого рівня (фінансового, грошового, валютного), що розглядаються у рамках обмежень макроекономічних моделей і функцій.

3. Обґрунтування категорії системного макроекономічного середовища тут подано у контексті позитивної економіки. Його розгляд у форматі нормативної економіки та рекомендацій для політиків значною мірою здійснений нами у попередніх публікаціях [1; 4].

4. Поняття системного макроекономічного середовища особливо корисно для визначення стратегічних цілей розвитку країн з ринками, що розвиваються. Оскільки за певних умов, характерних для цих країн, саме

удосконалення СМС може стати самодостатнім фактором розвитку їх економічних систем.

5. Математичне моделювання СМС відкриває нові можливості для створення програмно-апаратних комплексів прогнозування економічної динаміки, призначених для оптимізації процесів управління національними економіками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сценарно-поетапна модель валютно-фінансових криз: системи індикаторів: Монографія / І.П. Макаренко, В.С. Найдюнов, О.Г. Рогожин, Я.В. Петраков. – К.: ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 184 с.
2. Унковська Т.Є. Трансмісійний механізм монетарної політики в контексті економічного зростання // Економіка і прогнозування. – 2004. – №2. – С. 89-100.
3. Міщенко В.І. Особливості дії трансмісійного механізму грошово-кредитної політики в умовах кризи / В.І. Міщенко, А.В. Сомик, Р.С. Лисенко / Науково-аналітичні матеріали. – К.: Центр наукових досліджень НБУ, УБС НБУ, 2010. – Вип. 16. – 96 с.
4. Макаренко І.П. Макроекономічні умови формування та управління розвитком національних інноваційних систем / Макаренко І.П. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 320 с.
5. Кун Т. Структура научних революцій. М.: Мысль, 1977.
6. Глазьев С.Ю. Экономическая теория технического развития. М.: Наука, 1990. – 232 с.
7. Кейнс, Дж. Избранные произведения. – М., 1993. – С. 224–518.
8. Samuelson P. Economics: An Introductory Analysis, 1948; Самуэльсон П. Экономика. – М.: НПО «АЛГОН» ВНИИСИ. – 1992, т.1. – 333 с.; Самуэльсон П. Экономика. – М.: НПО «АЛГОН» ВНИИСИ. – 1992, т.2. – 416 с.
9. Хикс Дж.Р. Стоимость и капитал. – М.: 1980. – 488 с. ; Блауг М. Хикс, Джон Р. // 100 великих экономистов после Кейнса = Great Economists since Keynes: An introduction to the lives & works of one hundred great economists of the past. – СПб.: Экономикс, 2009. – С. 345-349. – 384 с. – (Библиотека «Экономической школы», вып. 42).
10. Mundell, R. Monetary Theory: Interest, Inflation and Growth in the World Economy, 1971.
11. Туган-Барановский М.И. Избранное. Периодические промышленные кризисы. История английских кризисов / М.И. Туган-Барановский. – М. : Наука, РОССПЭН, 1997. – 574 с.
12. Wicksell, K. Interest and Prices, – Ludwig von Mises Institute, 2007; Wicksell K. Value, Capital and Rent, – Ludwig von Mises Institute, 2007; Wicksell K. Lectures on Political Economy, and v.2, Ludwig von Mises Institute, 2007.
13. Блауг, М. Теория процента Фишера // Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect. – М.: Дело, 1994. – С. 488-499. – XVII, 627 с.; Блауг М. Фишер, Ирвинг // 100 великих экономистов до Кейнса = Great Economists before Keynes: An introduction to the lives & works of one hundred great economists of the past. – СПб.: Экономикс, 2008. – С. 317-322. – 352 с. – (Библиотека «Экономической школы», вып. 42).
14. Friedman, M. The Role of Monetary Policy. 1967.
15. Krugman, P. A Model of Balance of Payments Crises / Paul Krugman // Journal of Money, Credit and Banking. – 1979. – Vol.11. № 3. – pp. 311–325.
16. Obstfeld, M. Models of Currency Crises with Self-Fulfilling Features / Maurice Obstfeld // NBER Research Paper Series. – 1995. – № 5285. – 19 p.; Obstfeld, M.

Monetary and Fiscal Remedies for Deflation / Maurice Obstfeld, Alan J. Auerbach // NBER Research Paper Series. – 2004. – № 10290. – 11 p.; Obstfeld, M. Peso Problems, Bubbles, and Risk in the Empirical Assessment of Exchange Rate Behavior / Maurice Obstfeld // NBER Research Paper Series. – 1987. – № 2203. – 23 p.; Obstfeld, M. The Mirage of Fixed Exchange Rates / Maurice Obstfeld, Kenneth Rogoff // NBER Research Paper Series. – 1995. – № 5191. – 35 p.

17. Руководство по платежному балансу и международной инвестиционной позиции (6 изд.), Вашингтон, округ Колумбия, МВФ. 2012. Режим доступа: <http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/bop/2007/bopmanbr.pdf>; Методологічний коментар до платіжного балансу// Національний банк України. Режим доступу: <http://bank.gov.ua/doccatalog/document?id=19138166>

18. Блауг, М. Закон рынков Сэя // Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect. – М.: Дело, 1994. – С. 136-150. – XVII, 627 с.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2016

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 621.37-39

С.К. ПОЛУМІЄНКО, С.Є. ГОРДА

ІНДИКАТИВНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ НАЦІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

***Анотація.** Проводиться огляд систем індикаторів та індексів сталого розвитку та оцінки рівня національної безпеки. Розглядаються соціальні, економічні, екологічні та інші фактори цих процесів.*

***Ключові слова:** індикатор, індекс, збалансований розвиток, національна безпека.*

Вступ

Затверджений ООН «Порядок денний XXI століття», який ініціював проблематику сталого розвитку людства, стимулював безліч досліджень, в яких в сукупності почали розглядатися соціальні, економічні та екологічні фактори розвитку [1, 2]. Останнім часом такі дослідження додатково обумовлюються швидким розвитком інформаційного суспільства. Необхідність вирішення цих завдань затверджується й Указом Президента України «Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» №5/2015 від 12.01.2015 р.

Реалізація сталого розвитку неможлива без забезпечення належного рівня національної безпеки, що особливо актуальне для України в поточній ситуації. Закон України «Про основи національної безпеки України» визначає: «Національна безпека – захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства і держави, за якої забезпечуються сталий розвиток суспільства, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз національним інтересам...».

Ключовими факторами оцінки індивідуального та суспільного розвитку є рівень доходів на душу населення, охорони здоров'я, тривалість життя, вплив довкілля на людину та ін. Але вони є тільки основою [3]. Вибір людиною певної життєвої стратегії залежить від об'єктивних умов, які може надати держава, від належності до тієї або іншої соціальної спільноти [4]. Але все починається з вкладених в дитину батьками цінностей, освіти, які разом з її характером, здатностями та іншими якостями, впливають на поведінку людини та її взаємини з іншими людьми. Вирішальним є не «скільки», а «як»

використовуються наявні ресурси. Передові у виробництві та експорті високих технологій країни, починали саме з державних інвестицій в освіту, науку, медицину, витрачаючи на людський капітал в 2 - 5 разів більше, ніж країни, що розвиваються.

Будь-яка соціальна група прагне, щоб особистість поводитися ідентично прийнятим нормам, регулює поведінку людини та визначає можливості та шляхи реалізації її потреб. В суспільстві однією з головних якостей особистості є вміння кооперувати з іншими [5]. В той же час, чим слабкіше зовнішній контроль і регуляція поведінки, тим міцніше повинні бути внутрішні регулятори поведінки, орієнтовані на власні моральні цінності. Якщо такі регулятори не сформовані, то надання надмірної свободи може привести до соціального хаосу [6, 7]. Сталість розвитку взагалі вимагає узгодження власних інтересів з інтересами суспільства [8].

Соціальний розвиток обумовлюється й економічною нерівністю. З однієї сторони, економічна нерівність - об'єктивна. З іншої - вона може сягати дуже високого рівня. Якщо відмінності у доходах значні, то це веде до соціально-економічних та політичних конфліктів, в основі яких лежить несумісність інтересів сторін [9]. Чим бідніше суспільство, тим частіше й гостріше в ньому конфлікти.

Оточення суспільства, виходячи з власних інтересів, створює обмеження для досягнення його цілей та може діяти конструктивно, ґрунтуючись на узгодженні інтересів, або деструктивно, базуватися на позиціях сили. В першому випадку процеси розвитку можна вважати захищеними та, при відповідній політиці, сталими, в іншому – вони вимагають заходів з їх захисту, тобто заходів з забезпечення суспільних інтересів або, на рівні країни, забезпечення національної безпеки.

Не менш важливі національні, релігійні протиріччя та конфлікти, протиріччя світових ринків, розвинених країн та країн, що розвиваються, держав та транснаціональних корпорацій. Економічна могутність ставить таких гравців поза межі національного контролю. Часто нав'язуються рішення, які не відповідають національним інтересам. Таке суспільство на довгому проміжку часу не може бути стійким [8, 10].

Таким чином, суспільний розвиток вимагає узгодження інтересів різних соціальних груп, країн та корпорацій, а, в проекції на забезпечення національної безпеки, – досягнення такої узгодженості та збереження її стабільності, включаючи на відміну від процесів сталого розвитку й застосування більш широких заходів. Тобто, загальною метою є досягнення багаторівневої кооперативної взаємодії різнобічних за інтересами та стратегіями учасників системи, яка забезпечує національну безпеку суспільного сталого розвитку в суперечливому (конфліктному) середовищі.

Відпрацювання стратегій забезпечення національної безпеки, без якої про стратегії сталого розвитку навряд чи можна говорити взагалі, потребує повноцінного опису вихідної системи та процесів її розвитку з урахуванням внутрішніх та зовнішніх впливів, які можуть мати як негативні, так і позитивні наслідки. Метою цієї роботи якраз і є огляд існуючих методів формування систем індикаторів рівня сталого розвитку, національної безпеки та їх використання для оцінки стану розвитку країни.

1. Індикатори та індекси рівня сталого розвитку

Індикатори, тобто показники, що характеризують стан системи, розробляються та використовуються міжнародними організаціями – ООН, Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), Світовий банк, Світовий економічний форум тощо. Їх створення, особливо, подальша підтримка вимагають значних витрат та зусиль, що пов'язане і з міжнародним використанням одержаних результатів.

Найбільш детальними та відомими є системи індикаторів та індексів, розроблені Департаментом зі сталого розвитку ООН (ДСР) спільно з ОЕСР та Євростат.

Система індикаторів сталого розвитку ДСР включає біля 100 основних показників (див. табл. 1), згрупованих по темах та підтемах, за якими проводиться аналіз [11].

Таблиця 1 – Індикатори сталого розвитку ДСР

Тема	Підтема	Ключовий індикатор
Бідність	Бідність за доходами	Частка населення, що мешкає за національною межею бідності
	Нерівність по доходах	Відношення доходів 20% найбагатших та 20% найбідніших верств населення
	Санітарія	Частка населення, що користується покращеними санітарними умовами
	Питна вода	Частка населення, забезпечена якісною питною водою
	Доступ до енергії	Частка домогосподарств без електроенергії або інших сучасних енергетичних послуг
	Умови проживання	Частка міського населення, що мешкає у нетрях
Управління	Корупція	Відсоток населення, що давало хабарі
	Злочинність	Кількість навмисних вбивств
Здоров'я	Смертність	Смертність у віці до 5 років
		Очікувана тривалість життя при народженні
	Охорона здоров'я	Відсоток населення, що має доступ до первинної медичної допомоги
		Відсоток дітей, імунізованих проти інфекційних хвороб
	Харчування	Харчування дітей
Рівень захворюваності та ризику	Захворюваність небезпечними хворобами (ВІЛ/СНІД, туберкульоз, малярія)	
Освіта	Рівень освіти	Частка осіб, які поступили до школи у відношенні до їх загальної кількості
		Частка шкільного віку осіб, які навчаються в школі
		Відсоток дорослих з середньою освітою
Грамотність	Грамотність дорослих	
Демографія	Населення	Зростання населення за рік

		Рівень залежності
	Туризм	
Природні лиха	Підверженість природним лихам	Відсоток населення, що мешкає в регіонах із загрозою лиха
	Готовність до подолання наслідків природних лих	
Атмосфера	Зміна клімату	Викиди діоксиду вуглецю
	Зменшення озонного шару	Споживання речовин, що руйнують озонний шар
	Якість повітря	Концентрація забруднюючих речовин у повітрі міських територій
Земля	Використання землі	
	Опустелювання	
	Сільське господарство	Площа ораних та оброблюваних земель
	Ліси	Частка землі під лісами
Океани, моря та узбережжя	Узбережжя	Відсоток населення, що мешкає у 100 км до узбережжя та 50 м вище рівня моря
	Рибальство	Відношення вилову риби в межах її біологічних лімітів
	Екологія моря	Частка морської акваторії під захистом
Свіжа вода	Кількість води	Частка сумарних водних ресурсів, що використовуються на рік Інтенсивність використання води за видами економічної діяльності
	Якість води	Присутність кишкової палички в прісній воді
Біорізноманіття	Екосистеми	Частка територій під захистом, загальна та по екологічних регіонах
	Види	Зміни загроз для видів
Економічний розвиток	Макроекономіка	ВВП на душу населення
		Частка інвестицій у ВВП
	Сталість державних фінансів	Відношення боргу до ВВП
	Зайнятість	Рівень зайнятості
		Продуктивність праці та вартість одиниці праці
		Частка найнятих жінок не у сільському господарстві.
	Інформаційно-комунікаційні технології	Частка Інтернет-користувачів серед населення
Дослідження та розробки		
Туризм	Частка доходів від туризму у ВВП,	
Глобальне економічне співробітництво	Торівля	Дефіцит поточного рахунку як відсоток ВВП
	Зовнішнє	Чиста офіційна надана або одержана

тво	фінансування	допомога на розвиток як частка валового національного доходу
Споживання та виробництво	Споживання матеріальних ресурсів	Матеріалоемність економіки
	Використання енергії	Річне споживання енергії
		Енергоємність.
	Генерація відходів та управління ними	Генерація небезпечних відходів
Утилізація відходів		
Транспортування	Розподіл за видами пасажирського транспорту	

Незважаючи на віднесення індикатора до тієї або іншої теми, вони взаємозв'язані з іншими темами [11]. З точки зору системності аналізу, найбільш важливими є наступні завдання зі створення та використання індикаторів:

- запобігання зведення проблеми збалансованого розвитку до її окремих секторів;
- врахування регіональних, національних та локальних ініціатив;
- створення зваженої системи індикаторів для оцінки можливих варіантів розвитку.

Індикатори стратегії сталого розвитку Євростат [12] відповідають 10 цілям стратегії сталого розвитку ЄС, для моніторингу якої вони власно й призначені (табл. 2).

Таблиця 2 – Категорії систем індикаторів

Цілі стратегії сталого розвитку ЄС	Категорії індикаторів ОЕСР	Категорії індикаторів Світового банку
Соціально-економічний розвиток Стале споживання та виробництво Соціальна інтеграція Демографічні зміни Охорона здоров'я Зміна клімату та енергія Сталий транспорт Природні ресурси Глобальне партнерство Гарне управління	Населення та міграції Дохід і багатство домашніх господарств Ціни Наука та технології Освіта Здоров'я Продукція та продуктивність Глобалізація Енергія та транспорт Навколишнє середовище Уряд Гендерна рівність	Сільське господарство і розвиток сільських районів Ефективність допомоги Зміна клімату Економічна політика та зовнішній борг Освіта Енергія та видобуток Фінансовий сектор Охорона здоров'я Інфраструктура Праця та соціальний захист Бідність Приватний сектор Державний сектор Наука і технології Соціальний розвиток Урбанізація

Система індикаторів, за допомогою яких робляться відповідні оцінки, дуже близька до системи ДСР та системи індикаторів сталого розвитку ОЕСР

[13], яка включає біля 50 індикаторів основного набору та використовується для моніторингу саме стану навколишнього середовища, інтеграції екологічних інтересів в політичні процеси та включає дещо інші категорії (табл. 2). Введені категорії лежать в основі моделі «тиск-стан-реакція», яка відображає зв'язки між економічною діяльністю та екологічними й соціальними умовами. Найбільш детальною характеристикою розвитку суспільства є система індикаторів Світового банку [14], що включає більше 300 показників, розподілених по 16 категоріях (табл. 2).

Незважаючи на найбільшу повноту наведених систем, в їх межах проблема знаходження шляхів сукупного сталого розвитку не розглядається, хоча детально вивчаються окремі задачі - ефективного енергоспоживання, бідності, шляхи «зеленого» розвитку тощо [8]. До зазначених систем слід додати й систему індикаторів [15].

Світовим банком також розраховуються декілька інтегральних індексів, які створюються на основі певної сукупності базисних індикаторів. Індекс дійсних (внутрішніх) заощаджень (Genuine (Domestic) Savings) GS:

$$GS = (GDS - CFC) + EDE - DPNR - DMGE,$$

де GDS – валові внутрішні заощадження, CFC - величина знецінення вироблених активів, EDE - величина витрат на освіту, DPNR - величина виснаження природних ресурсів, DMGE - збиток від забруднення навколишнього середовища. Всі показники беруться у відсотках від ВВП [16]. Як зауважується в [17], має місце істотна зміна результатів розвитку після їх екологічного коригування за цим індексом.

Достатньо близьким до індексу GS є індекс екологічно скоригованого внутрішнього продукту (Environmentally Adjusted Net Domestic Product, EDP):

$$EDP = (NDP - DPNA) - DGNA,$$

де NDP – чистий внутрішній продукт, DPNA – вартісна оцінка виснаження природних ресурсів, DGNA - вартісна оцінка екологічного збитку (розміщення відходів, забруднення атмосфери, водойм тощо).

Для розрахунку індексу економіки знань [18] використовуються чотири субіндекси:

1. економічного стимулювання та інституціонального режиму;
2. ступінь освіченості населення;
3. інноваційність;
4. інформаційно-комунікаційна інфраструктура.

Індекс економіки знань утворюється як середнє арифметичне всіх чотирьох субіндексів, а індекс знань - як субіндексів 2, 3 і 4.

Індикатор дійсного прогресу (Genuine Progress Indicator, GPI), створено як альтернатива ВВП, на відміну від якого він враховує екологічні та соціальні аспекти розвитку. На сьогодні індикатор використовується в 17 країнах світу, які мають 53% населення світу та виробляють 59% світового ВВП [19]. У спрощеному вигляді GPI розраховується таким чином [20]:

- + особисте споживання, зважене за індексом розподілу доходів;
- + вартість домашньої роботи і виховання дітей;
- + вартість вищої освіти;

- + вартість волонтерської роботи;
 - + послуги на основі споживчих товарів тривалого користування;
 - + послуги на основі автомобільних доріг і вулиць;
 - вартість злочину;
 - втрата часу відпочинку;
 - вартість безробіття;
 - вартість споживчих товарів тривалого користування;
 - вартість поїздок;
 - вартість зниження забруднення домогосподарствами;
 - вартість автомобільних аварій;
 - вартість забруднення води;
 - вартість забруднення повітря;
 - вартість шумового забруднення;
 - втрата водно-болотних угідь;
 - втрата сільгоспугідь;
 - /+ втрата площі лісів і збиток від лісовозних доріг;
 - виснаження невідновлюваних енергетичних ресурсів;
 - шкода від викидів двоокису вуглецю;
 - вартість виснаження озонового шару;
 - +/- чисті інвестиції капіталу;
 - +/- чисті іноземні запозичення
- = GPI¹.

В [20] зазначається, що, починаючи з 1978 р., GPI тільки зменшується.

Індекс розвитку людського потенціалу (Human Development Index) відображає три аспекти добробуту: здоров'я та довголіття, які вимірюються очікуваною тривалістю життя; освіта, яка вимірюється грамотністю дорослого населення та охоптом населення початковою, середньою та вищою освітою; матеріального рівня життя, який вимірюється реальним ВВП на душу населення. Індекс ґрунтується на відсотковому відношенні цих показників до ідеальної величини: для тривалості життя - 85 років; грамотності та освіти - 100%; реального ВВП на душу населення - 40000 дол. США. Після цього обчислюється середнє значення одержаних величин [16]. Слід додати, що в [21] розглядається проблема «заміни» одного капіталу іншим, наприклад, як значний приріст людського капіталу може зрівелювати відсутність приросту природного або виробленого капіталу.

Також широко використовуються й інтегральні індекси.

Криві Лоренца відображають відсотковий розподіл ВВП країни за групами населення, наприклад, «15% відсотків населення одержують 10% доходу». Більш популярним є пов'язаний з кривими Лоренца індекс Джині, який характеризує таке ж співвідношення тільки по 10% чи 20% самих багатих та бідних верствах населення.

Агрегований індекс «живої планети» (Living Planet Index) – показник, розроблений для моніторингу стану біологічного різноманіття [22]. Його поточна база даних містить понад 10000 трендів популяцій більш, ніж 2500 видів тварин.

Індекс екологічного сліду (The Ecological Footprint) - міра впливу людини на середовище існування, яка дозволяє розрахувати розміри території,

¹ Знак «+» та «-» - вказує на компоненти, що додаються чи віднімаються до індексу

необхідної для виробництва та споживання ресурсів і зберігання відходів. За допомогою індексу можна виміряти тиск на навколишнє середовище людини, підприємства, організації, населеного пункту, країни і населення всієї планети[23].

Індекс якості життя, розроблений Economist Intelligence Unit, включає наступні дев'ять факторів якості життя [24].

Здоров'я: очікувана тривалість життя.

Сімейне життя: рівень розлучень.

Громадське життя.

Матеріальне благополуччя: ВВП на душу населення, паритет купівельної спроможності, який може бути визначений на основі Бигмак-індексу - ціни Бигмаку в різних країнах.

Політична стабільність і безпека.

Клімат і географія: Широта, для розрізнення холодних і жарких кліматів.

Гарантія роботи: рівень безробіття.

Політична свобода: середній індекс політичної та громадянської свободи.

Гендерна рівність: вимірюється діленням середньої зарплати чоловіків та жінок.

Індекс щасливої планети» (Happy Planet Index) відображає результати аналізу відчуття рівня щасливого життя населенням різних країн світу [25]. Для розрахунку індексу використовуються три індикатори: задоволення життям, очікувана тривалість життя та «екологічний слід».

Аналіз систем індикаторів сталого розвитку (див. детальний огляд в [2]) дозволяє зробити такий висновок. На жаль, незважаючи на привабливість та перспективність цієї концепції, вона є занадто складною для своєї реалізації, якщо взагалі не є новою Утопією. На то є багато причин, серед яких, перш за все, можна виділити наступні:

концепція необмеженого зростання, яка підтримується ринковою економікою та вимагає відносно стабільного зростання курсу акцій компаній – припинення або хоча б гальмування цього процесу, чого потребує сталий розвиток через обмеження доходів, практично рівноцінній загибелі цих компаній або поглинанню їх іншими;

істотно різний рівень та умови життя населення, обсяги доходів, які сприймаються людиною, як достатні щоб вважати себе задоволеною та й щасливою, наприклад, населенням Шрі-Ланки та Німеччини;

відсутні законодавчі, суспільні, морально-етичні та інші норми та правила, за якими людина була б зацікавленою не тільки в своєму добробуті, сталому існуванні та розвитку, а й в тих же умовах для хоча б найближчого оточення;

справедливість розподілу доходів, рівень достатності особистих статків, що, наприклад, відображається й в тім, що в Норвегії [26], яка займає одне з передових місць у світі з видобутку нафти та газу, немає мільярдерів, все населення, а не окрема особа одержує прибутки від видобутку нафти, яка за законом належить всім. До речі в Україні, Росії природні ресурси теж належать громадянам країни, але звідки беруться створені на їх основі багатомільярдні паливо-енергетичні корпорації? Зауважимо, що за даними Вікіпедії в Україні більше 20, а в Росії – більше 100 мільярдерів. Іншою стороною цієї медалі є значна частина пенсіонерів, які живуть на межі бідності. ООН за рівень бідності прийнято дохід у 2 дол. США на добу.

Нескладними множеннями легко одержати, що це більше, ніж мінімальна зарплата та пенсія в Україні...

Сьогодні практично всіма фахівцями та керівниками вищого рівня вже визнається, що основою для подальшого розвитку є високі технології, насамперед, інформаційні технології та створені на цій основі інші універсальні наукомісткі технології, без яких неможливо займати достойне місце в світовій економіці, що й забезпечує добробут населення.

Виходячи з зазначених та інших причин, в [2, 27] замість парадигми сталого розвитку запропоновано парадигму збалансованого технологічного розвитку, яка полягає в максимізації створених суспільством ресурсів за беззаперечної умови їх збалансованого використання. При цьому до ресурсів відноситься все, що належить суспільству або його індивідуумам, тобто природні, економічні, людські та інші ресурси.

2. Індикатори та індекси рівня національної безпеки

В «Стратегії національної безпеки України» у відповідності з Законом «Про основи національної безпеки України» визначені головні напрями державної політики з питань національної безпеки. Ці напрями є сукупністю взаємопов'язаних завдань. Наприклад, економічна безпека, залежить від енергетичної, енергетична – від інформаційно-технологічної, яка в свою чергу залежить від рівня кваліфікації спеціалістів з інформаційних технологій в енергетиці, їх відповідності належному рівню кіберзахисту. Все це впливає на економічну та екологічну безпеку, тобто відображає якість державного управління, рівень національної безпеки, що підтримується в країні.

Не менш важливим є об'єктивне визначення стану кожної з сфер національної безпеки, потенційної шкоди від реалізації різнобічних загроз, ймовірностей їх реалізації, їх сукупного впливу на окремі та системні складові національної безпеки, що виражаються в зрозумілих і здатних для порівняння оцінках. Тобто, необхідна система показників, що характеризує стан напрямів національної безпеки, надає підґрунтя для відпрацювання стратегій управління та подальшого розвитку країни та її регіонів. Розглянемо різні підходи до формування такої системи.

Перш за все, судячи, зокрема, з підручників [28, 29], проблема аналізу рівня національної безпеки в цілому не розглядається. Обидві книги, хоча й дають визначення основних понять національної безпеки, не визначають яких-небудь конструктивних підходів до створення методів аналізу її рівня, мають суто вербальний виклад. В [28], зокрема, викладається детальніший, ніж наведений в Законі «Про основи національної безпеки України», опис загроз національній безпеці, який, проте, не відрізняється більшою конструктивністю, маючи до того ж плутанину в класифікації факторів загроз. Наприклад, як зазначається, «...впливу загроз національній безпеці України у сфері економіки найбільш піддані .. системи бухгалтерського обліку підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності...». Як системи бухгалтерського обліку ПІДПРИЄМСТВ, могли стати фактором НАЦІОНАЛЬНОЇ безпеки?

На жаль, в розглянутій національній літературі з точки зору системності розгляду проблеми рівня національної безпеки можна відзначити лише роботи [30, 31]. В [30] на основі визначення єдиного понятійного апарату, як і

іншими дослідниками, пропонується визначити граничні значення параметрів сфер безпеки, які слугуватимуть для оцінки відхилення від стану динамічної рівноваги, в якому людина, суспільство, екосистема та держава знаходяться в умовах безпеки. Але, для визначення таких значень параметрів спочатку треба визначити їх перелік, взаємозалежності, звести до величин, які можна порівняти та зважити у відповідності з критеріями національної безпеки. Запропонований в [30] перелік таких показників є недостатнім, хоча б тому, що не відображає, наприклад, наявність питної води. При цьому зазначається, що частково граничні значення законодавчо закріплені та використовуються на практиці, зокрема, наступні (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Граничні значення розвитку суспільства, що вважаються катастрофічними у світовій практиці [32]

Назва показника	Граничне значення	Ймовірнісні соціально-політичні наслідки
Рівень промислового виробництва	30–40 %	Деіндустріалізація країни
Частка імпортованих продуктів харчування	30 %	Стратегічна залежність країни від імпорту
Частка в експорті продукції обробної промисловості	45 %	Колоніально-сировинна структура економіки
Частка в експорті високотехнологічної продукції	10–15 %	Технологічне відставання економіки
Частка у ВВП державних асигнувань на науку	2 %	Руйнування науково-технічного потенціалу
Співвідношення доходів 20 % найбагатших і найбідніших громадян	10:1	Антагонізація соціальної структури
Частка населення, яка живе за межею бідності	10 %	Люмпенізація населення
Співвідношення мінімальної і середньої заробітної плати	1:3	Декваліфікація і пауперизація робочої сили
Рівень безробіття	8–10 %	Зростання соціально-знедоленого населення
Умовний коефіцієнт депопуляції	1	Перевищення смертності народжуваності
Сумарний коефіцієнт народжуваності населення	2,14–2,15	Відсутність простої зміни
Середня тривалість життя населення країни	75–79	Зниження життєздатності
Частка осіб, старших за 65 років, у загальній чисельності населення	7 %	Старіння населення
Надходження для екологічної безпеки, % від ВВП	5 %	Загроза екологічної катастрофи
Екологічні втрати, % до ВВП	5 %	Життєбезпека довкілля
Природоохоронні витрати	5 %	Деградація екології

Кількість злочинів на 100 осіб	5–6	Криміналізація суспільних відносин
Рівень споживання алкоголю, л. абс. на людину за рік	8	Фізична деградація населення
Кількість суїцидів на 100 тис. осіб		Фрустрація масової свідомості
Рівень розповсюдженості психічної патології на 1 тис. осіб	360 (2010 р.)	Руйнування особистості
Частка громадян, які виступають за кардинальну зміну політичної системи	40 %	Делегітимізація влади
Рівень довіри населення до центральних органів влади	25 %	Відторгнення влади народом

В [31] наводяться окремі моделі оцінки рівня безпеки. Як зазначається деякі з них є надмірно синтетичними, можна додати, що взагалі виглядають неспроможними через нехтування важливими параметрами могутності держави. В [31] вказується, що для оцінки могутності держави має використовуватися множина показників, яка не повинна мати баласту надлишковості та не мати «інформаційних» вад. Тобто, система індикаторів має бути повною з точок зору опису внутрішньої динаміки вихідної системи та зовнішніх впливів, та, навпаки, відображати вплив системи на внутрішнє середовище та її оточення.

В [33, 34] також робляться суперечливі визначення ключових понять національної безпеки – потенційний та реальний виклик та загроза. В [34] на основі цих понять пропонується вважати, що «коли на деякий момент часу t очікувані загрози Україні в i -тій сфері національної безпеки перевищують величину максимально-допустимих для неї збитків, або коли очікувані збитки держави, яка є суб'єктом загроз національним інтересам України в i -тій сфері її національної безпеки, не досягають величини недопустимих для цієї держави збитків, внаслідок проведених Україною контрзаходів, то така ситуація має бути оцінена як наявність потенційної загрози національним інтересам України у сфері, яка розглядається». Тобто, загроза національним інтересам України трактується як потенційно шкідливі дії, нанесені проти України, так і навпаки. З однієї сторони, це підкреслює миролюбство нашої країни, з іншої – виходить, що нанесення Україною в поточній ситуації шкоди Росії є загроза національним інтересам (?).

Це представляється у вигляді співвідношення:

$$U_{o,i}(t) > U_{pd,i}(t) \text{ або } A_{o,i}(t) < A_{nd,i}(t)$$

де відповідно $U_{o,i}(t)$ та $U_{pd,i}(t)$ – очікувані (прогнозовані) та максимально-допустимі збитки України в i -тій сфері її національної безпеки на момент часу t ; $A_{o,i}(t)$ – очікувані (прогнозовані) та $A_{nd,i}(t)$ - недопустимі збитки в i -тій сфері національної безпеки суб'єкта загроз національним інтересам України в разі проведення Україною контрзаходів на момент часу t . Якщо при цьому потенційну загрозу в i -тій сфері національної безпеки України

неможливо компенсувати наявним потенціалом системи забезпечення національної безпеки шляхом його перерозподілу або залучення додаткових ресурсів і забезпечити:

$$A_{o,i}(t) > A_{nd,i}(t),$$

то можна стверджувати про переростання потенційної загрози в реальну.

Проте, зроблені в [33, 34] визначення ґрунтуються на певних показниках, які не даються в цих роботах, а саме в цьому полягає проблема, яка навряд чи знайшла підходи до вирішення на заході, частково представленому цими роботами.

Таке ж вербальне дослідження проблеми має місце і в російських публікаціях. В [35] розглядається підхід до формування критеріїв оцінки політичного аспекту національної безпеки. Індикатори ґрунтуються на характеристиці збройних конфліктів та служать для оцінки військово-економічних і науково-технічних можливостей держави, рівня бойової готовності, кількості та якості озброєнь, морально-психологічної стійкості населення країни й збройних сил, рівня підготовленості командних кадрів, розробленості військової доктрини та теорії тощо.

Також на основі зробленої оцінки зазначається, що при збереженні кризових явищ, які виникли в результаті соціально-політичних і економічних реформ, політична стабільність Російської Федерації є малостійкою внаслідок ситуативної підтримки населенням існуючого політичного режиму та неефективності апарата державного управління. Територіальна цілісність Росії в цілому зберігається й забезпечується на задовільному рівні, хоча небезпека розпаду країни по сценаріях етнічного та регіонального сепаратизму, розриву господарських, культурних і політичних зв'язків західних і східних регіонів Росії не виключена (робота датована 2002 р.). Захист економічного суверенітету не забезпечений повною мірою через залежність національної економіки від закордонних інвестицій, деяких видів продовольства, технологій тощо. Умовами виходу Росії з кризи вбачається згода значимої більшості населення та еліт із цілями та засобами урядової політики, ефективність держапарату, встановлення контролю державного центра над окремими найважливішими сторонами життя регіонів тощо.

Загалом, як фактори національної безпеки розглядаються ті ресурси та дії, що усувають загрози розгортання негативних дій для цілісності, збереження та розвитку процесів або зупиняють ці процеси взагалі. Побудова системи показників політичної безпеки ґрунтується на методі «дерева цілей» за трьома категоріями: політична стабільність; територіальна цілісність; національний суверенітет [35].

Показниками політичної стабільності є чисельність населення з доходами нижче прожиткового мінімуму у відсотках до загальної чисельності населення країни, децильний коефіцієнт диференціації населення, соціальні індикатори, засновані на опитуванні населення про довіру центральним інститутам влади, про підтримку політичних цінностей, чисельність громадян, що виступають за кардинальні політичні зміни, показники ефективності державної влади та боротьби з корупцією, ефективність роботи спецслужб з захисту конституційного ладу.

Як інтегральний показник політичної стабільності пропонується розглядати рівень підтримки населенням інститутів влади.

Показники територіальної цілісності характеризуються наступними умовами:

- політичними, які базуються на організаційній єдності державної системи, важливою вважається наявність сильного державного центра, а також здатність центральних органів припинити сепаратизм, який часто користується терористичними методами;

- економічними, – сполучення єдності внутрішнього ринку, виробничої, торгівельної взаємозалежності та кооперації регіонів, охоплення більшості регіонів природними монополіями, системами транспорту, зв'язку з симетричністю соціально-економічного розвитку територіальних одиниць;

- соціальними, – переважно стабільні міжетнічні та міжрегіональні відносини, наявність найбільшого за чисельністю, утворюючого державу етносу, чия культура та мова поєднують населення країни, конфесіональна однорідність населення;

- правовими умовами виступають єдність і несуперечливість системи правових норм;

- територіальна зв'язність держави, безперешкодне транспортне сполучення між регіонами, мінімум територій-анклавів.

В якості показників територіальної цілісності пропонуються індекси централізації держави та дисгармонії, продуктивність органів правопорядку та військ по боротьбі зі збройним сепаратизмом, соціально-економічна диференціація регіонів по прожитковому мінімуму, система індикаторів потенціалу сепаратизму регіонів, охоплення регіонів транспортними мережами природних монополій, спектр соціальних індикаторів, що вимірюють суспільну думку.

Інтегральним показником територіальної цілісності може служити рівень здатності державного центра реалізовувати власні рішення на регіональному та місцевому рівнях управління країни.

Основною загрозою національному суверенітету в інформаційній сфері є інформаційна війна, яка має дві основні складові інформаційної зброї - інформаційно-психологічну та технічну, які відповідно полягають у захисті від загроз психіки особового складу Збройних Сил і населення конфронтуючих сторін, системи формування суспільної думки, прийняття рішень, а також різнобічних інформаційно-технічних систем.

Можливими кількісними параметрами збереження суверенітету в інформаційній сфері є: рівень захисту критичної інформаційної інфраструктури; інформаційного забезпечення державної політики; захищеності національних інформаційних ресурсів; ефективність інформаційно-психологічної протидії. Показниками інформаційної невразливості є державні стандарти в галузі захисту інформації та інформаційних систем, ефективність роботи інформаційних відомств, розвідувальних організацій тощо.

Показники в оборонній сфері. Першою умовою захисту суверенітету у військовій сфері є ударні сили та засоби завдання неприйнятних збитків, що перебувають у встановленому ступені боєздатності в мирний час або використовуються в період загрози для поразки збройних сил, економіки,

екологічно небезпечних об'єктів та інших цілей-заручників, що представляють для нападаючої сторони найбільшу цінність.

Друга умова – наявність розгорнутих і готових до бою оборонних сил і засобів, що забезпечують прикриття сил стримування, систем державного та військового управління, баз постачання та комунікацій, об'єктів військового та цивільного виробництва, екологічно небезпечних підприємств від ймовірних ударів агресора, маючих і характер обеззброєння, обезголовлення, пошкодження цінностей.

Третя умова – зниження військових загроз політико-дипломатичними методами та заходами щодо інформування держави, що почала або готується до агресивних дій, про можливі наслідки цього нападу, тобто про розміри еventуального неприйняттого збитку.

Показники в економічній сфері. Першу групу умов становлять внутрішні ресурси нейтралізації економічного тиску. Це – сприятливий клімат, можливість безперешкодного виходу на основні транспортні комунікації регіонального та глобального значення, володіння багатими запасами різноманітних природних ресурсів. Сюди ж відноситься й наявність у держави достатніх золотовалютних запасів. Ще однією умовою можна вважати незалежність національної економіки в розробці необхідних високих технологій.

Друга група умов включає вміння уряду диверсифікувати ввезення ресурсів, товарів, послуг і технологій і вивіз власної продукції, не створюючи монокультурного експорту, залежності окремих галузей від попиту нечисленних закордонних партнерів.

Третя група - це вигоди, які приносить участь у міжнародних економічних утвореннях, об'єднаннях і системах економічної безпеки.

Як загальний показник рівня національного суверенітету пропонується ступінь самостійності держави в реалізації національних інтересів.

Вище були наведені приклади підходів до загального опису рівня національної безпеки, розгляд яких не дав його певного повного однозначного визначення.

3. Індикатори та індекси рівня складових національної безпеки

Економічна безпека. В російських дослідженнях, як і в [35], значна увага приділяється граничним значенням індикаторів. Зокрема, в [36] вказується, що запропоновано більше 150 показників, які характеризують соціально-економічний розвиток, а також, що аналіз загроз економічній безпеці вимагає знаходження «больових точок», на які ці загрози впливають найбільше, та які відображають відповідність ним стану країни. Початковий перелік мав 50 індикаторів, здебільшого економічного плану.

В [37] запропоновані індикатори піддаються критиці, зокрема, вказується, що у світі взагалі немає країни, яка відповідала хоча б 16 з 20 індикаторів, але в той же час ці індикатори дозволяють Росії потрапити в третину самих економічно безпечних країн, випередивши наприклад, Естонію, Кувейт та ін. Також пропонується інший комплекс індикаторів стану економічної безпеки. Незважаючи на критику, індикатори та їх граничні значення викладаються в більш новому підручнику [38].

Також виділяються наступні макроекономічні показники економічного та соціального плану, близькі до переліку [39].

1. Рівень і якість життя, розраховуючи на душу населення.
2. Рівень інфляції.
3. Рівень безробіття.
4. Економічне зростання.
5. Темп зростання продукції промисловості та сільського господарства.
7. Індекс цін продукції промисловості та сільського господарства.
9. Рівень цін.
10. Дефіцит або профіцит бюджету.
11. Частка «тіньової економіки» та ін.

Крім перелічених додатково виділяються базові макроекономічні індикатори.

В [40, 41] розглядаються системи фінансових показників економічної безпеки, в [41] та інших роботах авторів вони аналізуються й з точки зору розвитку соціального капіталу.

Слід зазначити, що наведені переліки наближаються до системи індикаторів сталого розвитку, наприклад, ООН [11], але далекі від неї, зокрема, за повнотою та збалансованістю та викликають багато питань щодо вимірювання та порівняння різних за змістом та одиницями виміру, структурою індикаторів. На відміну від зазначених систем індикаторів в наступній таблиці наведені індикатори (табл. 4), які можна відносно легко порівняти між собою, до того ж вони характеризують різні складові розвитку та демонструють певну повноту та збалансованість їх системи.

Таблиця 4 – Показники інтегрального індексу якості життя [42, 43]

Блоки показників	Локальні показники
Соціально-економічний розвиток	валовий регіональний продукт на душу населення; видатки консолідованого бюджету на соціальну політику; інвестиції в основний капітал; частка заробітної плати в структурі доходів населення.
Матеріальне благополуччя та рівень споживання	число автомобілів на 1000 населення; співвідношення середнього розміру пенсії із прожитковим мінімумом пенсіонера; співвідношення середньодушових доходів з величиною прожиткового мінімуму; обіг роздрібною торгівлі на душу населення; питома вага старого та аварійного житла; загальна житлоплоща на одного жителя; питома вага видатків на харчування.
Демографічна ситуація	тривалість життя; коефіцієнт смертності; коефіцієнт дитячої смертності; чисельність пенсіонерів на 1000 чоловік населення; коефіцієнт народжуваності.

Забезпеченість об'єктами соціальної інфраструктури	обсяг послуг зв'язку на одного жителя; число персональних комп'ютерів на 100 працівників; обсяг комунальних послуг на душу населення; чисельність глядачів у театрах; число відвідувань музеїв; число лікарняних ліжок; охоплення дітей дошкільними закладами.
Стабільність соціальної ситуації	рівень безробіття; коефіцієнт розлучень; рівень фактичного споживання домашніх господарств; частка бідного населення.
Здоров'я населення	загальна захворюваність населення; захворюваність системи кровообігу.

За такою ж системністю можна виділити систему індикаторів [44], хоча вона має суперечності, пов'язані з розглядом «економічної безпеки через економічну безпеку», занадто деталізовані окремі показники, наприклад, споживання риби, перебільшення показників з характеристики тінізації економіки, що викликає сумніви щодо збору даних, тощо. Як і в багатьох інших роботах, рівень безпеки оцінюється як відхилення від середньозваженого значення по регіонах країни з використанням показників - стимуляторів та дестимуляторів безпеки.

В [45] аналізуються різні підходи до визначення рівня економічної безпеки підприємства. Зазначається, що найбільш визнаним є ресурсно-функціональний підхід, який ґрунтується на оцінці ступеня використання необхідних корпоративних ресурсів підприємства за кожною функціональною складовою його економічної безпеки, а саме: фінансовою; інтелектуальною і кадровою; техніко-технологічною; політико-правовою; екологічною; інформаційною та силовою.

Екологічна безпека. В [46] виконана оцінка стану екологічної безпеки в Україні (табл. 5). До граничних кількісних значень додаються якісні оцінки за шкалою: критичний – суттєві негативні зміни в навколишньому середовищі, порушений (загрозливий) – незначні негативні відхилення від граничних значень, нормальний – в межах граничних значень, гармонізований – досягнення збалансованого функціонування.

Таблиця 5 – Граничні значення показників стану безпеки в екологічній сфері

Індикатор, одиниця виміру	Граничне значення	Оцінка
Атмосферне повітря		
Індекс забруднення атмосфери, од.	Не більше 2,5	Критичний
Індекс річних викидів шкідливих речовин в атмосферу, од.	Менше 1	Нормальний
Земельні ресурси		
Коефіцієнт екологічної стабільності, од.	В межах 0,51-0,67	Порушений
Коефіцієнт антропогенного навантаження, од.	В межах 3,1-3,5	Нормальний
Рівень розораності території, %	Не більше 60	Нормальний

Частка природних територій у загальній площі, %	Не менше 35	Критичний
Рівень відновлення ґрунтового покриву, од.	Не менше 1	Критичний
Ліси		
Рівень лісистості території держави, %	Не менше 20	Порушений
Коефіцієнт відтворення лісів відповідно до площі суцільних рубок (рівень відтворення лісів), %	Не менше 2	Порушений
Питома вага заповідного природного фонду, % від території країни	Не менше 10,3	Порушений
Водні ресурси		
Індекс забрудненості поверхневих вод, од.	Не більше 2,5	Нормальний
Інтегральний показник рівня трофності вод (індекс E-TRIX), од.	Менше 5	Порушений
Ступінь зносу водогінних та каналізаційних мереж	Не більше 35%	Критичний
Потужність споруд оборотного водопостачання об'єктів господарювання, тис. куб. метрів на добу	Не менше 80	Нормальний
Поводження з відходами		
Кількість утворених відходів на душу населення, т/	Не більше 6	Критичний
Темпи зростання накопичених відходів, разів	Не більше 1	Нормальний

В [47, 48] виконується порівняльний аналіз різних підходів до оцінки рівня екологічної безпеки. Зокрема, розглядається індекс екологічної безпеки ESfI (Environmental Safety Index), який розраховується за формулою

$$x - index = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)},$$

де як аргумент використовуються значення індикаторів, згрупованих за наступними категоріями (табл. 6).

Таблиця 6 – Індикатори індексу ESfI

Екологічні	Економічні	Соціологічні
Побутова якість повітря	ВВП на душу населення	Зайнятість населення
Забруднення повітря PM2.5	Чисті іноземні інвестиції	Очікувана тривалість життя
Доступ до питної води	Середня заробітна плата	Щільність населення
Очищення стічних вод	Доступ до електроенергії	Відсоток людей з вищою освітою
Сільськогосподарські субсидії	Державні витрати на охорону навколишнього середовища	Дитяча смертність
Використання пестицидів	Використання альтернативної енергії	
Зміна лісового покриву		
Рибні запаси		
Викиди CO2		

Як і у випадку досліджень з економічної безпеки, тут, навпаки, для визначення рівня екологічної безпеки розглядаються економічні та соціальні

фактори, при чому ці фактори мають дуже близький, якщо не однаковий вигляд для обох сфер аналізу.

В [48] для порівняльної оцінки регіонів за рівнем екологічної безпеки пропонуються інтегральні показники, оцінки шкоди життю, здоров'ю, а також економічним інтересам населення регіону. Зокрема, такий індекс використовується Євростат [49] та включає індикатори, що характеризують рівень забруднення повітря, використання природних ресурсів, зміну клімату, токсичність, втрати біорізноманіття, прибережні зони та переробку відходів. Оцінка збитку надається у відсотках від ВВП.

ООН також використовується система інтегрованого еколого-економічного обліку [50], що враховує вагу екологічного чинника у національних статистиках. В результаті одержано, що у середньому величина екологічно скоригованого внутрішнього продукту становить 60–70% «традиційного» ВВП. Близький підхід використовується і в методології індексу екологічної ефективності (Environmental Performance Index) [51] та в [44], де пропонується наступне співвідношення для визначення екологічної безпеки регіону щодо надзвичайних ситуацій (НС):

$$Y_j = \sum_{k=1}^6 \beta_k y_{kj}, \quad \sum_k \beta_k = 1, \quad j = 1, \dots, 25,$$

де y_{kj} – k -й показник небезпеки j -го регіону, β_k – ваговий коефіцієнт, який залежить від важливості певної загрози. Як індикатори розглядаються наступні показники: індивідуальний ризик загибелі населення від НС (y_1), ризик матеріальних збитків від НС (y_2), обсяг викидів в атмосферне повітря в розрахунку на душу населення (y_3), обсяг утворення відходів на душу населення (y_4), показник відтворення лісів на душу населення (y_5), смертність населення на 100000 осіб (y_6). В результаті зроблена оцінка регіонів України за інтегральним (річним) показником екологічної безпеки Y_j .

Індекс екологічної ефективності включає 20 показників (табл. 7), розподілених по дев'яти категоріях, оцінює вплив довкілля на здоров'я людини [51, 52].

Таблиця 7 – Індекс екологічної ефективності

Група	Екологічне здоров'я		
Категорії	Вплив на здоров'я людини	Забруднення повітря, яке впливає на здоров'я	Вода і санітарія
Індикатори	1. Дитяча смертність	2. Середня кількість твердих часток (ТЧ 2,5)	5. Доступ до санітарії
		3. Процент населення, що зазнає дію підвищеного ТЧ 2,5	6. Доступ до питної води
		4. Забруднення повітря у приміщеннях	
Група	Життєздатність екосистеми		

Категорії	Зміна клімату і енергетика	Водні ресурси (ефект на екосистему)	Біорізноманіття
Індикатори	7. Тенденція вуглецеємності	10. Очищення стічних вод	11. Охорона довкілля
	8. Зміна тенденції вуглецеємності		12. Захист національного біома
	9. Тенденція віднесення викидів діоксиду вуглецю до кВт·год		13. Захист міжнародного біома
			14. Морські райони, що охорогаються
Категорії	Сільське господарство	Ліс	Рибна ловля
Індикатори	15. Сільськогосподарські субсидії	17. Зміна площі лісів	18. Риболовля на прибережному шельфі
	16. Законодавство, що регулює використання пестицидів		19. Експлуатація рибних ресурсів

У 2014 р. був доданий індикатор, що оцінює ефективність водоочищення. Кліматичні індикатори ґрунтуються на успіхах країн в зменшенні викидів та вуглецеємності. Найменш розвинені держави в категорії «Зміна клімату і енергетика» не враховуються внаслідок їх незначних викидів.

Соціальна безпека. В [53] аналізуються наступні індикатори соціальної безпеки (табл. 8), які нагадують наведені в табл. 3 індикатори економічної безпеки.

Таблиця 8 – Індикатори соціальної безпеки України

Індикатор, одиниця виміру	Порогові значення
Частка населення із сукупними витратами, які нижче 75% медіанного рівня сукупних витрат, %	не більше 25
Частка населення із середніми сукупними витратами на одну особу на місяць, які нижче прожиткового мінімуму, %	не більше 40
Відношення середньої зарплати до прожиткового мінімуму, разів	не менше 3
Відношення мінімального розміру пенсії до прожиткового мінімуму, разів	не менше 1,5–2
Відношення індексу номінальних сукупних ресурсів домогосподарств до індексу споживчих цін, разів	не менше 1
Відношення сукупних витрат 10% найбільш забезпеченого населення до 10% найменш забезпеченого, разів	не більше 8
Частка витрат на харчування (продовольчі товари та харчування поза домом) у загальному обсязі споживчих грошових витрат домогосподарств, %	не більше 50
Рівень безробіття (за методологією МОП), %	не більше 10
Рівень тривалого безробіття у працездатному віці (відношення	не більше 25–

чисельності безробітних понад шість місяців до загальної чисельності безробітних), %	30
Наявність житлового фонду в середньому на особу, м ²	не менше 25
Кількість уперше зареєстрованих випадків захворювань на 100 осіб	не більше 60
Обсяг видатків зведеного бюджету на охорону здоров'я, відсотків до ВВП	не менше 4
Обсяг видатків зведеного бюджету на освіту, відсотків до ВВП	не менше 8,3
Охоплення випускників 9-х класів повною середньою освітою, %	не менше 100

Але, ці, саме соціальні індикатори, виглядають краще свого підґрунтя – «Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України» [54], де рівень економічної безпеки обчислюється через рівень макроекономічної та інших сфер безпеки (див. табл. 9, це ж має місце в [53] – табл. 8). Більш того, в рівні економічної безпеки макроекономічна безпека «тягне» тільки десь на 12%, проте займає друге місце після фінансової, а соціальні та демографічні фактори займають останні місця за вагою. Але все ж має робитися для населення, яке повинно мати більшу вагу...

Таблиця 9 – Інтегральний індекс економічної безпеки

Субіндекси інтегрального індексу економічної безпеки	Вагові коефіцієнта
Виробнича безпека	0,1218
Демографічна безпека	0,0913
Енергетична безпека	0,1148
Зовнішньоекономічна безпека	0,1095
Інвестиційно-інноваційна безпека	0,1089
Макроекономічна безпека	0,1224
Продовольча безпека	0,1007
Соціальна безпека	0,1013
Фінансова безпека	0,1294

В [55] з посиланням на цю ж методику, пропонується система демографічних індикаторів, яка використовується для формування інтегрального показника рівня демографічної безпеки (табл. 10).

Таблиця 10 – Індикатори демографічної безпеки та їх оптимальне значення

Найменування показника	Оптимальне значення
Коефіцієнт дитячої смертності, осіб	не більше 1-2 осіб
Коефіцієнт природного приросту (на 1 тис.), осіб	Не менше 2,8
Сумарний коефіцієнт народжуваності населення, осіб	2,2 дитини на одну жінку
Чистий коефіцієнт відтворення населення (брутто), осіб	Не менше 1,1
Коефіцієнт депопуляції	1
Загальний коефіцієнт міграційного приросту (скорочення) (на 1 тис. осіб наявного населення)	4,5
Очікувана тривалість життя при народженні, років	не менше 70
Середній вік населення, роки	36,5
Коефіцієнт старіння (станом на 1 січня), %	Не більше 18%
Демографічне навантаження працездатного населення на	Не більше 60

працевдатне, %	
----------------	--

Оптимальні значення визначалися виходячи з: коефіцієнту депопуляції, дорівнюючого 1 [56]; коефіцієнту міграційного приросту – прийнято дорівнюючим 4,5, – середнє по Україні за період 1990-2012 рр., середній вік населення – 36,5 років.

Серед розглянутих в цьому напрямку вітчизняних робіт слід відзначити огляд [41], де викладаються різні методи визначення соціального капіталу та його впливу на розвиток суспільства. Зазначається, що коли держава занадто втручається в суспільство, вона руйнує соціальний капітал взаємної довіри. З іншої сторони, відсутність дієвих державних інститутів, базових формальних правил, правового поля також знижує рівень позитивного соціального капіталу, стимулюючи деструктивну самоорганізацію у вигляді мафіозних структур, фінансової олігархії, зрощенні злочинності з великим капіталом тощо. Нерівність вважається одним з основних чинників, що визначає рівень позитивного соціального капіталу в населенні, ідеально рівний розподіл доходів, як і занадто нерівний [57], також є відхиленням від закономірності розвитку національних економічних систем [58]. Вони сприяють економічній стагнації, а не розвитку.

Цікавою є робота [59], де аналізується соціально-культурний вплив на ситуацію в країні, включаючи й аналіз військово-інформаційної політики. Зокрема, з посиланням на американських військових фахівців зазначається, що сучасні конфлікти більшою мірою пов'язані з протиборством в області ідей та управління, а не прямого збройного конфлікту.

Вважається, що на сьогодні державно-центричний аналіз вже не відповідає сучасній політичній обстановці, багато в чому через те, що етнічні групи і етноси, як субнаціональні актори, стали грати велику роль в політичному житті своїх країн. Це завдання спецслужби США пропонують вирішити за допомогою включення соціокультурного аналізу в структуру аналітичного супроводу політики національної безпеки, передбачаючи глибше вивчення культурних, соціальних та інших особливостей населення. Отримати інформацію про населення до виникнення конфлікту набагато дешевше і легше, оскільки норми і ментальність вкорінена в традиціях та історії, доступ до якої майже завжди відкритий. У відповідності з результатами соціокультурного аналізу, має бути збудована лінія «конфліктного континууму», на базі якої «розвідувальне співтовариство» може інформувати осіб, що приймають рішення, про найбільш ефективні дії з боку США, які не йтимуть врозріз зі світоглядом і ментальністю місцевого населення.

З цією роботою асоціюється російське дослідження [60]. Під математичною моделлю системи, що описує вплив культури на національну безпеку РФ, розуміється залежність виду: $M = f(I_c, I_s)$, де: I_c - індекс стану культури; I_s – індекс стану національної безпеки в сфері культури; f - показник кореляційної залежності між станом культури I_c і національною безпекою I_s . Ці індекси мають обчислюватися на основі різноманітних індикаторів, серед яких кількість кінофільмів, характеристика релігійного середовища, кількість самогубств тощо. Далі має визначатися кореляційна залежність між індексами I_c та I_s . Розроблена модель була апробована з використанням скороченого набору параметрів. Одержано, що залежність індексів стану культури I_c і національної безпеки I_s може бути описана

лінійною функцією. Незважаючи на явну сирість цієї «моделі», слід відзначити важливість розгляду соціокультурного аналізу в межах всієї проблеми національної безпеки.

Індекси та індикатори в сфері інформаційної безпеки спрямовуються на цілий спектр¹ її проблем: боротьба з вірусами, фішингом, кіберзлочинністю, захист інформаційних ресурсів та шифрування даних тощо².

ABI Research спільно з Міжнародним союзом електрозв'язку розробили глобальний індекс кібербезпеки (Global Cybersecurity Index)³, який дозволяє оцінити рівень участі держав у сфері кібербезпеки, що робиться по п'яти сферах: правові; технічні; організаційні заходи; розвиток потенціалу та міжнародне співробітництво. Оцінка виконується на основі показників, які відображають нормативно-правові аспекти та мають рівну вагу, за наступною шкалою: 0 балів присуджується, якщо дії відсутні; 1 бал – якщо виконуються часткові дії та 2 бали, якщо виконуються комплексні дії. Крім індексу формуються й характеристики кожної з країн щодо рівня розвитку кібербезпеки (cyberwellness profiles). В цих профілях додається категорія показників з онлайн-захисту дітей.

Інший індекс кібербезпеки – індекс ISE Cyber Security Index⁴ був створений для надання інвесторам продукту, що дозволяє швидко скористатися як новинами з поточних подій, так і інформацією з економічних тенденцій у довгостроковій перспективі.

Індекс кібербезпеки ICS (Index of Cyber Security)⁵ ґрунтується на мірі ризику для корпоративної, промислової та урядової інформаційної інфраструктури, що спричиняється спектром загроз кібербезпеці. Ця міра розпізнає швидкі зміни в галузі загроз кібербезпеці, її стан з урахуванням певного практичного мистецтва та ступеня невизначеності в різних шарах кібербезпеки. Інакше кажучи, індекс агрегує думки фахівців в галузі інформаційної безпеки, визначені шляхом щомісячного опитування (табл. 11).

Таблиця 11 – Питання індексу кібербезпеки ICS

1. сторони атак (загроз): 1.1. інсайдерська загроза; 1.2. стратегічні суперники; 1.3. активісти/хактивісти; 1.4 злочинці; 1.5. націоналістичні держави; 2. зброя (загроза з наступних способів атак):	4. цілі атак (ризик таких цілей для організації): 4.1. веб-застосування; 4.2. Інтернет-пристрої; 4.3. кінцева настільні ПК; 4.4. мобільні пристрої; 4.5. державні інфраструктури, на які ви покладаєтеся, в тому числі, хмари;
---	---

¹ <http://russia.emc.com/domains/rsa/index.htm>,
<http://www.mcafee.com/ru/products/siem/index.aspx>
<http://www.z-oleg.com/index.php>

² Журнал «Информационная безопасность» - <http://www.itsec.ru>;
<http://www.mcafee.com/ru/products/siem/index.aspx>, <http://www.z-oleg.com/index.php>,
https://debtindex.org/novosti/?ELEMENT_ID=354, <http://russia.emc.com/domains/rsa/index.htm>, Що цікаво, при відкритті останнього файлу система попереджує про можливу наявність вірусів або інших програм, що можуть зашкодити комп'ютеру.

³ The Global Cybersecurity Index - <http://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Pages/Publications.aspx>.

⁴ ISE Cyber Security Index - <https://www.ise.com/etf-ventures/index-data/ise-cyber-security-index-hxr/>.

⁵ The Index of Cyber Security - <http://www.cybersecurityindex.org/>.

2.1. ботнети; 2.2. шкідливе програмне забезпечення (mass malware); 2.3. вразлива експлуатація; 2.4. фішинг/соціальна інженерія; 2.5. атаки, налаштовані на вашу організацію 3. ефект, бажаний зловмисниками (ризик від нападу); 3.1. крадіжка інформації (конфіденційність); 3.2. модифікація даних (цілісність); 3.3. порушення бізнесу (наявність);	4.6. контрагенти, які мають доступ до даних; 5. захист: 5.1. вразливість наявного захисту від відомих загроз; 5.2. вразливість наявних засобів захисту від невідомих загроз; 6. загальне уявлення: 6.1. сприйняття кіберризиків засобами масової інформації та суспільством, їх вплив на населення; 6.2. ваш особистий ризик від діяльності в Інтернеті, включаючи торгівлю; 6.3. обмін інформацією у вашій галузі або регіоні.
---	--

Кожне з питань оцінюється за п'ятибальною шкалою, де респонденти впорядковують ризики за шкалою «швидко впав, упав, залишився стійким, піднявся або швидко піднявся» в порівнянні з попереднім місяцем.

Деякі міжнародні індекси. З точки зору рівня національної безпеки, методи формування та оцінки таких індексів слабо представлені у відкритих матеріалах, хоча індекси використовуються на міжнародному рівні, наприклад: індекс світової безпеки¹; індекс безпеки Центральної Азії; індекс безпеки медичних установ, який планується ввести й в Україні²; індекс продовольчої безпеки Economist Intelligence Unit³; індекс безпеки жінок⁴ тощо. Наприклад, індекс безпеки Центральної Азії ґрунтується на поквартальному експертному аналізі подій в регіоні по п'яти секторах – політичному, військовому, економічному, соціально-культурному та екологічному. Сукупний індекс визначається як сума результатів, одержаних по кожному з секторів з урахуванням їх значимості, економічний сектор оцінюється в 30%, військовий та політичний сектори – по 20%, соціально-культурний та екологічний – по 15%.

Розглянемо деякі з індексів детальніше (див. також Портал конкурентоспроможності України⁵).

Індекс кращого життя [61] включає наступні індикатори (табл. 12).

Таблиця 12 – Індикатори індексу кращого життя

Житлове забезпечення: житло без базових засобів; житлові витрати; кімнат на людину; дохід; чистий регульований дохід	Навколишнє середовище: забруднення повітря; якість води. Громадянська активність: консультації з нормотворчої діяльності; явка виборців.
---	---

¹ <http://www.pircenter.org/static/international-security-index-isi>

² http://censor.net.ua/news/111102/v_ukraine_vvedut_indeks_bezopasnosti_meduchrejdieniyi

³ <http://foodsecurityindex.eiu.com>

⁴ <https://www.facebook.com/pages/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D1%81-%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D1%89%D0%B8%D0%BD-SWI/303753166379121?fref=nf>

⁵ Портал конкурентоспроможності України - http://debaty.org.ua/cms/opisanie_indeksov.html.

домогосподарства чистий фінансовий добробут домогосподарства. Робота: рівень зайнятості; виробнича безпека; довгостроковий рівень безробіття; особисті доходи. Співтовариство – якість підтримки мережі. Освіта: рівень освіти; навички студентів; роки в освіті.	Здоров'я: очікувана тривалість життя; самооцінка здоров'я; Задоволеність життям - задоволеність життям. Безпека: рівень нападів; рівень вбивств; Баланс «робота – особисте життя»: робітники працюють дуже багато часу; час, присвячений відпочинку та особистим турботам.
--	---

На портал Намбео¹ користувачі можуть вносити дані з рівня життя по містах та країнах світу. Оцінки надаються по 6 категоріях ціна життя та нерухомості; злочинність; охорона здоров'я; забруднення та дорожній рух. За цими категоріями дані надаються по значній кількості окремих показників, наприклад, у категорії «Ціна життя» їх більше 60.

Глобальний індекс безпеки [62] включає показники в трьох ключових галузях: лідерство; культура; результати. Вимірюючи продуктивність у цих галузях, індекс спрямовується на допомогу організаціям в розробці стратегічного плану для негайних та довгострокових дій з покращення безпеки.

Індекс безпеки міст [63] розраховується Economist Intelligence Unit по 50 містах та базується на більш, ніж 40 кількісних і якісних індикаторах, які розподілені на чотири рівноважні категорії: цифрова безпека; безпека здоров'я; безпека інфраструктури; персональна безпека.

Одночасно з цим індексом розглядається «індекс індексів» [63], який додатково включає наступні індекси: впорядкованість; ціна життя; середовище бізнесу; індекс демократії; глобальний індекс продовольчої безпеки². «Індекс індексів» розраховується як середнє зазначених індексів. У відповідності з ним лідирує Торонто (8 балів – індекс безпеки, 17 – сукупний індекс), найближчими до нього є Монреаль (14 та 23 бали), Стокгольм та Амстердам (4 - 5 та 25 балів), Москва має відповідно 43 та 71 (з максимальних 80) балів. Київ в цьому аналізі участі не бере.

Існують різні підходи до визначення індексів світової безпеки, зокрема, Guardian [64] використовує глобальний індекс миру, який на відміну від інших індексів базується більше на індикаторах військового спрямування (табл. 13).

Таблиця 13 – Індикатори глобального індексу миру

сприйняття злочинності в суспільстві; поліція (на 100000); вбивство (на 100000);	терористичні акти; смертність від конфлікту (внутрішнього);
--	---

¹ Numbeo - <http://www.numbeo.com/cost-of-living/>.

²Global Food Security Index - <http://foodsecurityindex.eiu.com/Resources..>

<p>засуджені (на 100000); доступ до стрілецької зброї та легких озброєнь; рівень організованого конфлікту (внутрішнього); ймовірність бурхливих демонстрацій; рівень насильницьких злочинів; політична нестабільність; масштаб політичного терору; імпорту зброї (на 100000);</p>	<p>військові витрати (% від ВВП); персонал збройних сил (на 100000); дані з миротворчості ООН; наявність ядерної та важкої зброї; експорт зброї (на 100000); переміщених осіб (% населення); відносини з сусідніми країнами; всього конфлікти (внутрішніх і зовнішніх); смертність від конфлікту (зовнішнього).</p>
---	---

Зокрема, ще в 2013 р. відмічалось, що Україна, Єгипет та Південний Судан мають істотне зниження цього індексу...

Групою з аналізу ризиків на планеті запропоновано близький до індексу кращого життя (табл. 12) та національної методики [54] індекс безпеки Землі [65], що включає наступні категорії показників:

населення:

демографічний тиск – темпи зростання населення країни та його щільність;

безробіття – рівні безробіття та безробіття серед молоді в країні;

освіта – рівень та поширення освіти;

державне управління:

ефективність роботи уряду – якість і незалежність публічних послуг та ефективність реалізації політики;

підзвітність – рівень прозорості та підзвітності урядових рішень;

верховенство права – якість виконання контрактів, прав власності, поліції, судів, та ймовірність злочинів та насильства;

управління ресурсами – якість, прозорість і підзвітність управління в нафтовій, газовій та гірничодобувній промисловості;

енергія:

внутрішня пропозиція – здатність внутрішньої енергосистеми для задоволення попиту на енергію без урахування імпорту енергоносіїв;

відсутність доступу – частка населення, яке не має доступу до електроенергії;

вуглецева інтенсивність – викиди вуглецю від виробництва електроенергії та промисловістю;

фіскальні фактори:

нестабільність – стійкість державного боргу і ймовірність кризи суверенного боргу;

інфляція – зростання споживчих цін і зниження купівельної вартості грошей;

вода:

нестача води – наявність води в країні протягом року;

забруднення – відсоток очищених стічних вод в країні;

віртуальний імпорту – вода, яка імпортується в товарах і продуктах;

клімат:

інфраструктурний ризик – уразливість міст та інфраструктури до несприятливих кліматичних впливів;

вплив екстремальних умов – рівень незахищеності країни від екстремальних погодних умов, вимірних в людських та економічних втратах;

земля:

відсутність гарантій володіння – відсутність захисту земельних прав людини, їх визнання та захист;

деградація – зниження або втрата екосистемних послуг землі і родючості ґрунтів, в тому числі через ерозію ґрунтів, солоність та вирубки лісів;

вирубка лісу – втрата лісового покриву території країни;

їжа:

продовольчий дефіцит – наявність їжі для задоволення потреб населення, за рахунок внутрішнього виробництва та імпорту;

недоступність – здатність бідних домогосподарств на купівлю потрібних продуктів харчування;

харчування – доступ населення до безпечної та поживної їжі;

залежність від імпорту продовольства.

В [66] пропонується індекс соціального прогресу, який базується на суто соціальних факторах, оминаючи, наприклад, характеристики економічного впливу на суспільство. На відміну від багатьох близьких індексів він включає фактори динаміки, зокрема, категорію «Можливості» (табл. 14).

Таблиця 14 – Індикатори індексу соціального прогресу

Базисні потреби людини	Основи добробуту	Можливості
Харчування та базове медичне забезпечення: недоїдання; глибина дефіциту продовольства; коефіцієнт материнської смертності; дитяча смертність; смертність від інфекційних захворювань.	Доступ до основних знань: рівень грамотності дорослого населення; зарахування в початкові школи; охоплення дітей в молодших класах; охоплення дітей середньою освітою; гендерна рівність в середній освіті.	Особисті права: політичні права; свобода слова; свобода зібрань/об'єднань; свобода пересування; права приватної власності.
Вода та санітарія: доступ до водопроводу; сільський доступ до поліпшених джерел води; доступ до поліпшених санітарних засобів.	Доступ до інформації та комунікацій: абонентів мобільного зв'язку; Інтернет-користувачі; індекс свободи преси.	Особиста свобода та вибір: свобода вибору способу життя; свобода релігії; ранній шлюб; задоволений попит на контрацепцію; корупція.
«Дах»: наявність доступного житла; доступ до електрики; якість поставок	Здоров'я та добробут: очікувана тривалість життя; передчасна смертність від некомунікаційних	Толерантність і включення: толерантність до іммігрантів; толерантність до

електроенергії; побутові забруднення повітря, пов'язані з ними смерті.	хвороб; рівень ожиріння; смертні випадки через забруднення атмосферного повітря; рівень самогубств.	гомосексуалістів; дискримінація і насильство по відношенню до меншин; релігійна терпимість; безпека співтовариств.
Особиста безпека: рівень убивств; рівень насильницьких злочинів; сприйняття злочинності; політичний терор; смертність від ДТП.	Сталість екосистеми: викиди парникових газів; водозабір як відсоток ресурсів; біорізноманіття та проживання.	Доступ до підвищення рівня освіти: роки третинної освіти; середня кількість років жінок у школі; нерівність в одержанні освіти; університети з глобальним ранжуванням.

До розглянутих індексів слід додати наступні.

Перший з них – індекс безпеки енергетичного ризику [67], призначений для сприяння кращому розумінню глобальних енергетичних ринків. В 2015 р. цей індекс, де застосовується той же, що й для США, кількісний аналіз, було використано для ранжування провідних світових споживачів енергії на основі 29 показників.

Глобальний індекс оборони та безпеки через зміну клімату (The Global Security Defense Index on Climate Change), має ще більше, хоча й непряме військове спрямування. За результатами минулого року, визначається, що близько 70% країн світу визначають, що зміна клімату є проблемою національної безпеки [68]. Майже всі країни, які мають військове планування, вважають гуманітарну допомогу і ліквідацію наслідків стихійних лих одним з обов'язків своїх збройних сил. Також індекс спрямований на виховання у американської громадськості думки, що зміна клімату є фактором національної безпеки XXI століття.

В [69] розглядаються питання могутності США на основі індексу стратегічної безпеки, що аналізується за трьома розділами: загрози; глобальне операційне середовище та могутність збройних сил США. В цілому ситуація оцінюється як припустима, хоча виділяються посилені загрози життєвим інтересам США від Росії, Афгано-Пакистанських терористичних організацій, Китаю та, особливо, від Північної Кореї.

Там же проводиться аналіз того, що відноситься або не відноситься до завдань національної безпеки, а також відповідності цим завданням дій зі сторони урядових установ з підтримки безпеки в країні. Разом з традиційними окремо розглядаються фактори безпеки території, до якої відносять безпеку аеропортів та портів, кордонів, безпеку на транспорті, спричинені імміграцією фактори, а також інші пов'язані питання.

Також зазначається, що Сполучені Штати протягом десятиліть пробували відповісти на питання що таке є «офіційна стратегія національної безпеки (СНБ), але подібні офіційні документи мають погану репутацію. Вони швидше виглядають як вправи в сфері зв'язків з громадськістю, ніж як надійні цілі для стратегічного планування. СНБ повинна мати ясні, досяжні

цілі, які до того ж доповнюють одна одну». Зокрема, в порядку зниження важливості пропонуються такі цілі Стратегії національної безпеки.

Збереження безпеки американської території та цілісності внутрішніх інститутів і систем країни.

Підтримка глобального балансу сил на користь безпеки та інтересів Америки та її союзників і друзів.

Гарантія свободи морів, від яких залежать американська та світова комерція та економічна життєздатність.

Надання США якомога більшого впливу за кордоном через весь спектр інструментів могутності.

Вповноваження Америки для максимальної підтримки глобальної економіки, заснованої на економічній свободі, включаючи вільну торгівлю та відкритість енергетичних ринків і міжнародних фінансових систем, а також на верховенстві права.

Фокусування політики енергетичної безпеки США на розробці внутрішніх ресурсів і підтримці міжнародного енергетичного ринку якомога вільнішим від шкідливих політичних маніпуляцій.

Забезпечення того, що цінності, яким віддана Америка та просуває їх за кордоном, відобразатимуть не тільки її власну історію свободи, а й універсальні принципи свободи. Такі цінності повинні направляти та інформувати національні стратегії, а не управляти чи контролювати них.

Німецьким Інститутом глобальних та територіальних досліджень (GIGA) розроблено індекс національної безпеки (NSI), який будується як композитний індекс з декількох субіндексів та індикаторів [70]. Індекс розраховано за різними субіндексами по 30 – 50 країнах, значення по яких порівнювались для визначення стану національної безпеки Індії.

Індекс NSI робить акцент на технологічних і наукових можливостях, які не слід оцінювати тільки за кількісними показниками. «Не кількість вчених та інженерів, а їх якість і продуктивність, дають внесок в національні почини». Зауважується, що хоча індекс NSI є грубим та сирим, він є важливим кроком на шляху до виховання людей і політичного керівництва тому, що являє собою національна безпека, і як її можна забезпечити за рахунок політичного втручання.

Також відмічається, що цей індекс є варіантом індексу комплексної могутності (Comprehensive National Power - CNP), розробленого ще у 2000 р. Китайським інститутом сучасних міжнародних відносин [71], а також, що національна безпека країни забезпечується не стільки її збройними силами, скільки її комплексною могутністю.

Індекс CNP (табл. 15) відображає загальну суму всіх сил, якими володіє країна для виживання і розвитку як суверенна держава.

Таблиця 15 – Індекс комплексної могутності CNP

Тип ресурсів	Середня вага	Індикатор	Середня вага по індикаторах
Економічні ресурси	0.2	ВВП, ПКС (паритет купівельної спроможності)	1.0
Людський	0.1	А. Працездатне населення у віці 15-65	

капітал		В. Середній людський капітал. Кількість років, витрачених на навчання	
		С. Загальний людський капітал, $C=A*B$	1.0
Природні ресурси	0.1	Роялті та ліцензійні платежі (надходження) за виробництво електрики	0.25
		Комерційне використання енергоресурсів	0.25
		Посівні площі сільськогосподарських культур	0.25
		Витрати свіжої води	0.25
Ресурси капіталу	0.1	Валові внутрішні інвестиції	0.4
		Ринкова величина капіталу	0.3
		Чисті прямі іноземні інвестиції	0.3
Технологічні ресурси та ресурси знань	0.2	Кількість персональних комп'ютерів	0.2
		Користувачі Інтернету	0.2
		Патентні заявки, подані жителями-резидентами	0.2
		Науково-технічні журнальні статті	0.2
		Витрати на НДР	0.2
Урядові ресурси	0.1	Витрати центрального уряду	1.0
Військові ресурси	0.1	Військовослужбовці	0.4
		Військові витрати	0.6
Міжнародні ресурси	0.1	Експорт товарів і послуг	0.3
		Імпорт товарів і послуг	0.3
		Роялті та ліцензійні платежі, надходження	0.2
		Роялті та ліцензійні платежі, сплата	0.2

В [72], що є практично копією статті [71], додатково розглядається так звана «м'яка влада» (soft power), та зазначається, що раніше сила примусу багато в чому реалізовувалася через військову потужність. Зараз влада реалізується за допомогою таких нематеріальних чинників як культура, цінності та інститути (засоби масової інформації, церкви, школи та ін.). В інформаційному суспільстві потужність таких засобів стає майже настільки ж важливою, як і влада прямого примусу. «М'яка влада - є здатністю отримати те, чого ви хочете за рахунок переконання інших, які адаптуються до ваших цілей. Вказується, що для Китаю «м'яка влада» відображається значенням індексу CNP, тобто глибиною потенціалу і впливу на міжнародній арені, «м'яка влада» ґрунтується й на традиційній потужності країни.

Висновки

1. В світовій практиці індикативного аналізу процесів розвитку частіше використовується індикаторно-індексний підхід, який дозволяє узгодити різнобічні за властивостями об'єкти та процеси, які характеризують систему, зазвичай, національного рівня. У випадку достатньо повних систем оцінювання вихідні дані надають опис необхідних ресурсів, починаючи від природних та економічних і закінчуючи соціально-культурними та етичними нормами суспільства.

В національних дослідженнях, особливо, з оцінки рівня національної безпеки в основному розглядаються її окремі складові, опис яких не конкретизується у вигляді системи індикаторів всіх складових національної безпеки. Поширені методи аналізу, наприклад, економічної безпеки з включенням до них її екологічних, соціальних та інших факторів.

Тобто, одним з головних завдань при розробці методів оцінки рівня національної безпеки та відповідних систем індикаторів є розмежування її різних складових, виділення показників, що дозволяють їх спільне порівняння, опис та аналіз. Проблема оцінки рівня національної безпеки, а, головне, її забезпечення, крім такого повного опису та аналізу всіх її статичних ресурсних факторів потребує й аналізу дій або ж стратегій внутрішніх та зовнішніх учасників системи та їх впливу на неї.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Global Sustainable Development Report – Executive Summary: Building the Common Future We Want. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development. 2013, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport>.
2. Полумієнко С.К., Рибаків Л.О. Індикативний аналіз сталості технологічного розвитку // За редакцією член-кореспондента НАН України Довгого С.О. К.: Логос, 2015. 191 с.
3. Згуровский М. Украина в глобальных измерениях устойчивого развития // «Зеркало недели», №19, 2006.
4. Долгов Ю.Н., Смотров Т.Н. Типология жизненных стратегий личности // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития педагогики и психологии», 24 октября 2011 г.
5. Психология личности: личностью не рождаются? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://psydom.ru/articles/psihologiya-lichnosti/>.
6. Минеева О.И. Основы социологии и политологии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vtk34.narod.ru/mineeva_osn_soc_i_polit/book/book4.htm#3.
7. Кармадонов О.А. Престиж и пафос как жизненные стратегии социоэкономической группы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.irex.ru/press/pub/polemika/07/kar/>.
8. Боссель Х/ Показатели устойчивого развития: Теория, метод, практическое использование/ Международный институт устойчивого развития. - Тюмень: Издательство Института проблем освоения Севера СО РАН, 2001. – 121 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ipdn.ru/izdaniya-instituta/bossel/soderzhanie/>.
9. Социальные роли. Виды и характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rb.ru/inform/88227.html>.
10. Садовенко А., Масловська Л., Серета В., Тимочко Т. .Сталий розвиток суспільства: навчальний посібник. 2 вид. - К.; 2011. - 392 с.
11. Measuring Sustainable Development, United Nations Economic Commission for Europe New York and Geneva, 2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://unstats.un.org/unsd/broaderprogress/pdf/Measuring_sustainable_development%20%28UNECE,OECD,Eurostat%29.pdf.
12. Eurostat Sustainable Development Indicators [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/sdi/indicators>.
13. OECD Key Environmental Indicators. OECD, Paris, 2008. – 36 pp. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.oecd.org/env/indicators./37551205.pdf.
14. The World Development Indicators [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://data.worldbank.org/indicator>.

15. Сталий розвиток регіонів України / науковий керівник М.З. Згуровський. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. 197 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.activity.wdc.org.ua/ukraine/Isd_ukr-2400dpi-10.pdf.
16. Soubbotina T.P. Sheram K.A. Beyond economic growth : meeting the challenges of global development. World Bank, Washington D.C., 2000. - 162 pp. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldbank.org/depweb/beyond/beyond.htm>.
17. Мартюшева О.О. Щодо запровадження індикаторів сталого розвитку. Аналітична записка // Національний інститут стратегічних досліджень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1160>.
18. Knowledge Economy Index and Knowledge Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://info.worldbank.org/etools/kam2/KAM_page5.asp.
19. Резник Т.Е., Резник Ю.М. Жизненные стратегии личности: поиск альтернатив. Вып 2. М.: Деловое содействие, 1995.
20. Beyond GDP: Measuring and achieving global genuine progress [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com>.
21. Kasser T., Ryan R.M. Further examining the American dream: The differential correlates of intrinsic and extrinsic goals // Pers. Soc. Psychol. Bull. 1996. V. 22. P. 78 - 87.
22. World Wide Fund for Nature - [wwf.org](http://www.wwf.org).
23. Global Footprint Network [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.footprintnetwork.org>.
24. Показатели (индексы) социально-экономического развития (качества жизни) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kurs.znate.ru/docs/index-116940.html>.
25. New Economics Foundation - www.happyplanetindex.org.
26. Реальность Норвегии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.liveinternet.ru/tags>.
27. Полумієнко С.К., Рибаків Л.О. Теоретико-ігрова ресурсна модель збалансованого технологічного розвитку // Математичне моделювання в економіці, Київ, 2015, №1, с. 53 – 61.
28. Ліпкан В.А. Національна безпека України. Навчальний посібник. Кондор, 2006.– 552 с.
29. Жарков Я.М., Дзюба М.Т., Замаруєва І.В., ін. Інформаційна безпека особистості, суспільства, держави: Підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 274 с.
30. Качинський А. Б. Індикатори національної безпеки: визначення та застосування їх граничних значень. – К. : НІСД, 2013. – 104 с.
31. Качинський А. Б. Індикатор могутності як інтегральний показник безпеки держави // Математичне моделювання в економіці. - 2015. - № 2. - С. 75-91. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve_2015_2_9.
32. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика – М. : Наука, 2000. – 431 с.
33. Ситник Г.П. Ідентифікація загроз національним інтересам та моделювання переростання потенціальних загроз у реальні // Національні інтереси України: ступінь реалізації та загрози: матеріали круглого столу (Київ, 27 листопада 2013 р.) : у 2 частинах / за ред. Г. П. Ситника, Л. М. Шипілової. – К. : НАДУ, 2013. – Ч.2. С. 4 - 12.
34. Полякова Л.В. Загрози національним інтересам України у сучасних умовах глобалізації // Національні інтереси України: ступінь реалізації та загрози: матеріали круглого столу (Київ, 27 листопада 2013 р.) : у 2 частинах / за ред. Г. П. Ситника, Л. М. Шипілової. – К. : НАДУ, 2013. – Ч.2. – С. 107- 110.
35. Семченков А. С. Критерии национальной безопасности России. Политический аспект [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dissercat.com/content/kriterii-natsionalnoi-bezopasnosti-rossii-politicheskii-aspekt>.

36. Показатели (индикаторы) экономической безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.1mashstroi.ru/antikrizisnoe_upravlenie/sistema_upravlenia_bezопасnost_gosudarstva/pokazateli_ekonom_bezопасnosti/.
37. Илларионов А. Критерии экономической безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea.ru/publ.php?id=8>
38. Вечканов Г. С. Экономическая безопасность: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2007. – 384 с.
39. Глазьев С. Ю. Основа обеспечения экономической безопасности страны: альтернативный реформационный курс // Российский экономический журнал. 1997. № 1. С. 8–9.
40. Новикова И.В., Красников Н.И. Индикаторы экономической безопасности региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.km.ru/referats/335747-indikator-ekonomicheskoi-bezопасnosti-regiona>
41. Рогожин О.Г., Макаренко І.П. Інноваційно ефективний соціальний капітал: питання ідентифікації та вимірювання // Демографія та соціальна економіка, № 2(20), 2013, с. 82-92.
42. Кижикина В.В. Сравнительный анализ регионов Юга России по интегральному индексу качества жизни // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 2011. №36 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uecs.ru/uecs-36-122011/item/856-2011-12-16-06-17-06>.
43. Даурбеков С. С., Хадисов М.Б. Индекс качества жизни населения – индикатор экономической безопасности региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uecs.ru/ekonomicheskaya-bezопасnost/item/3485-2015-05-05-13-36-27>.
44. Харазішвілі Ю.М. Методологічні підходи до оцінки рівня економічної безпеки країни // Наука та наукознавство, 2014, № 4, с. 44 – 57.
45. Іванюта Т. М. Методичні підходи до аналізу економічної безпеки підприємств / Т. М. Іванюта // Вісник Одеського національного університету. Економіка. - 2013. - Т. 18, Вип. 1(1). - С. 137-141 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_econ_2013_18_1\(1\)_32](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_econ_2013_18_1(1)_32).
46. Екологічна складова національної безпеки: основні показники і шляхи їх досягнення. Аналітична доповідь// <http://www.niss.gov.ua/articles/1407/>
47. Харламова Г, Бутьковський В. Індекс екологічної безпеки України: концепція та оцінка://Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка,. 7(160),/2014 , с. 92 – 97/.
48. Іванюта С.П., Качинський А.Б. Екологічна безпека регіонів: порівняльні оцінки // Стратегічні пріоритети, №3 (28), 2013, с. 157 – 164.
49. Environmental pressure indicators for the EU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/status-of-marine-fish-stocks/eurostat-environmentalpressure-indicators-for>
50. System of Environmental-Economic Accounting (SEEA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea.asp>
51. Environmental Performance Index 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://epi.yale.edu/>.
52. Индекс экологической эффективности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gtmarket.ru/ratings/environmental-performance-index/info>.
53. Завора Т. М., Чепурний О. В. Анілз та оцінка індикаторів стану соціальної безпеки України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1365>
54. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України // Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 1277 від 29.10.2013 р.
55. Колмакова О.М., Смачило В.В., Білоус В.О. Оцінка рівня демографічної безпеки регіону Комунальне господарство міст, 2014, (113), с. 308-313.

56. Хомин О.Й. Методика розрахунку демографічної безпеки // Вісник економіки транспорту і промисловості, 2010, № 29, с. 188-191.
57. Caramuta Diego M. A Dynamic Approach to the Relationship between Inequality, Social Capital and Institutions. CONICET - Department of Economics, Universidad Nacional del Sur, June 21, 2005. - 20 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ideas.repec.org/p/wpa/wuwpdc/0506009.html>
58. Макаренко І.П. Макроекономічні умови формування та управління розвитком національних інноваційних систем / І.П. Макаренко / Інститут еволюційної економіки. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 320 с.
59. Маругян Р.Р. Соціокультурний аналіз у національній безпеці // Національні інтереси України: ступінь реалізації та загрози: матеріали круглого столу (Київ, 27 листопада 2013 р.) : у 2 частинах / за ред. Г. П. Ситника, Л. М. Шипілової. – К. : НАДУ, 2013. – Ч.2. С. 33 -38.
60. Разработка научно-теоретических основ и методик внедрения в практику деятельности федерального органа исполнительной власти, территориальных органов управления в сфере культуры подчета параметров и количественных индикаторов состояния отечественной культуры с точки зрения национальной безопасности Российской Федерации. Отчет о НИР // Министерство культуры Российской Федерации, «Компания МИС-информ», Москва, 2011
61. Better Life Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.oecdbetterlifeindex.org/ru/about/ru_what-your-better-life-index/
62. Global Safety Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.globalsafetyindex.com/the-global-safety-index>.
63. Safe Cities Hub [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://safecities.economist.com/whitepapers/safe-cities-index-white-paper/>
64. Global peace index 2014: every country ranked [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.theguardian.com/news/datablog/2014/jun/18/global-peace-index-2014-every-country-ranked>.
65. Earth Security Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://earthsecurity.org/earth-security-index>.
66. Social Progress Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.socialprogressimperative.org/data/spi/components/com4>.
67. Energy Security Risk Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.energyxxi.org/energy-security-risk-index>
68. The American Security Project [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.americansecurityproject.org.
69. U.S. Military Strength by Heritage Foundation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://index.heritage.org/military/2015/important-essays-analysis/national-security/>
70. Hwang K. Measuring Geopolitical Power in India: A Review of the National Security Index (NSI) GIGA Research Programme. Power, Norms and Governance in International Relations , 2010, No.136 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.giga-hamburg.de/content/publikationen/pdf/wp136_hwang.pdf.
71. Angang H., Honghua M. The Rising of Modern China: Comprehensive National Power and Grand Strategy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://myweb.rollins.edu/.../chigrandstrategy.p...>
72. Bajwa J S. Defining Elements of Comprehensive National Power [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.claws.in/...doc/1302263399_JSBJawa.pdf.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2016

УДК 004.942

Д.В. СТЕФАНИШИН

ЕКСТРАПОЛЯЦІЙНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА ДАНИМИ РЯДІВ ДИНАМІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИТУАЦІЙНИХ ТА ІНДУКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

***Анотація.** Запропоновано комбінований підхід до екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки з використанням ситуаційних та індуктивних моделей. Згідно з цим підходом підґрунтям для побудови індуктивних моделей є результати ситуаційного моделювання в межах вибіркового ряду динаміки, які характеризуються монотонністю або квазістаціонарністю поведінки змінних моделей на відповідних часових інтервалах. Встановлюються два основні види прогнозів-екстраполяцій: оперативні прогнози і строкові прогнози. Оперативне прогнозування (в режимі реального часу) здійснюється на основі ситуаційних моделей на обмежених часових інтервалах, де відповідні моделі вважаються адекватними. Строкове прогнозування виконується на основі індуктивних моделей, за допомогою яких відслідковується еволюція ситуаційних моделей минулих періодів та встановлюються ситуаційні моделі майбутніх періодів.*

***Ключові слова:** екстраполяція, індуктивні та ситуаційні моделі, моделювання та прогнозування за даними рядів динаміки, оперативні і строкові прогнози.*

Вступ

Прогнозування, як процес наукового передбачення майбутнього, лежить в основі більшості прикладних задач прийняття рішень, які розв'язуються в різних сферах та областях життєдіяльності людини [1, 2].

Розрізняють неформальні (якісні) і формальні (кількісні) методи прогнозування. Вважається, що кількісні прогнози, що ґрунтуються на математичному моделюванні, заслуговують на більшу довіру фахівців для прийняття зважених рішень [1-4]. Тому розробці формальних методів прогнозування, з використанням математичного моделювання та кількісних оцінок, приділяють особливу увагу.

Проблемами прогнозування займаються фахівці різних галузей знань (математики, економісти, інженери, геологи, екологи, політологи, соціологи), представники різних наукових напрямків та наукових шкіл. З 70-х років минулого століття знайшла свій розвиток і окрема наукова дисципліна – прогностика [4, 5], серед фундаторів якої були Д. Белл, Г.М. Добров, Г. Кан, В.О. Лисичкін, Дж. Мартіно, М.М. Мойсеєв, О. Хелмер. Значний вклад в розвиток кількісних методів прогнозування внесли також роботи вітчизняних фахівців в області математичного моделювання та системного аналізу, зокрема, роботи П.І. Бідюка, С.О. Довгого, О.Г. Івахненка, М.З. Згуровського, Н.Д. Панкратової, В.С. Степашка, О.М. Трофимчука та ін. [2, 3, 6-8].

Прикладні дослідження в області кількісного прогнозування в тій чи іншій мірі передбачають використання при моделюванні емпіричних даних. Принципово нові можливості для отримання необхідних емпіричних даних з метою прогнозування дає моніторинг [9]. Сучасні комп'ютеризовані й автоматизовані системи моніторингу дозволяють збирати необхідні для моделювання кількісні дані у вигляді рядів динаміки для визначених параметрів в будь-яких об'ємах, які можуть бути цілком достатніми для побудови адекватних математичних моделей для цілей прогнозування за емпіричними даними.

1. Принципові зауваження щодо ситуаційного та індуктивного моделювання

Під ситуаційним моделюванням, зазвичай, розуміють спосіб моделювання, в основу якого покладено відтворення певних ситуацій (збігів умов і обставин функціонування системи) з метою розв'язання задач, що можуть мати місце при управлінні складними системами [10, 11]. Основна ідея ситуаційного моделювання полягає в тому, що повний опис нескінченної множини всіх можливих ситуацій функціонування реальної системи за певними правилами замінюється певною кількістю (скінченною множиною) узагальнених ситуацій, кожна з яких з певною мірою вірогідності відтворює один з можливих її станів. Особливої популярності ситуаційне моделювання набуло в економіці, медицині, військовій справі, криміналістиці, політиці та в інших подібних сферах, а також в штучному інтелекті.

Зокрема, в штучному інтелекті розвиток логічного підходу до моделювання поведінки складних систем та процесів дав поштовх до створення ситуаційного числення – логічного формалізму, основними елементами якого є ситуації, дії та змінні [12]. Ситуаційне числення можна вважати математичною теорією ситуаційного моделювання. Найвагоміший вклад в розвиток ситуаційного числення внесли такі відомі вчені в області штучного інтелекту як Р. Рейтер, Дж. Маккарті, Р. Міллер і М. Шенехен. Згідно з цією теорією еволюція динамічної системи моделюється в розрізі її «пересування» по серії ситуацій, котрі є результатами різних дій. При цьому ситуації (Р. Рейтер) не зображають буквально стани системи, а відображають історію певних подій як завершених послідовностей дій в певні періоди часу. Оскільки ситуації неможливо описати повністю, а можливо говорити тільки про деякі їх аспекти, то для опису еволюції системи використовується правило немонотонного виводу. При моделюванні припускається (Дж. Маккарті), що на основі минулих фактів, якими описують минулі ситуації, і загальних законів (або припущень), які задають виконання дій і виникнення подій в межах ситуацій, можливо описати (передбачити) і деякі ситуації, що з'являться в майбутньому.

Під індуктивним моделюванням на разі насамперед розуміють новий напрямок в моделюванні складних процесів і систем, який пов'язують з роботами О.Г. Івахненка та його численних учнів та послідовників, що знайшов своє теоретичне та практичне відображення в методі групового урахування аргументів (МГУА) [6, 7]. Це оригінальний метод моделювання за експериментальними даними, який відрізняється від інших методів побудови моделей за емпіричними даними активним застосуванням

принципів автоматичної генерації варіантів структур моделей, яка імітує процес біологічної селекції з попарним урахуванням послідовних ознак, неостаточних рішень і послідовної селекції за зовнішніми критеріями для побудови моделей оптимальної складності. Для порівняння і вибору кращих моделей застосовуються зовнішні критерії, засновані на поділі вибірки на дві та більше частин, причому оцінювання параметрів і перевірка якості моделей виконується на різних підвибірках. Замість традиційного дедуктивного шляху структурно-параметричної ідентифікації моделей за емпіричними даними «від загальної теорії – до конкретної моделі» пропонується новий, індуктивний підхід «від конкретних даних – до загальної моделі». Згідно з цим підходом на основі наявних емпіричних даних висувається гіпотеза про можливий клас моделей, формується процедура автоматичної генерації тисяч і десятків тисяч альтернативних моделей у цьому класі та задається критерій вибору найкращої моделі з усіх генерованих. Оскільки при цьому найбільш трудомістка, рутинна робота виконується на ЕОМ, це дозволяє обійтись без обтяжливих апріорних припущень, з'являється можливість мінімізувати вплив суб'єктивних факторів, врахувати різні види апріорної невизначеності при побудові моделі. На разі МГУА розглядають як одну з найбільш передових інформаційних технологій отримання знань з даних спостережень, або як один з найбільш ефективних методів інтелектуального аналізу емпіричних даних.

2. Мета статті, об'єкт та предмет досліджень

На разі в більшості практичних випадків прогнозування за емпіричними даними здійснюється у формі екстраполяцій – з виявленням усталених тенденцій в розвитку системи або процесу та їх перенесенням на майбутнє методами, що ґрунтуються на аналізі часових рядів та казуальному (причинно-наслідковому, регресійному) моделюванні. Серед найбільш поширених математичних моделей, що використовуються при цьому, виділяються різного роду статистично-імовірнісні моделі-екстраполяції: тренди, регресії, функції розподілу ймовірності тощо [2, 3, 13-17]. Такий підхід до прогнозування за даними спостережень поведінки систем в умовах усталених, еволюційних, режимів розвитку, та за обмежень, що не допускають різких змін в поведінці системи, біфуркацій й катастрофічних сценаріїв, може вважатися цілком виправданим [16].

В той же час, як відомо, традиційні методи побудови моделей-екстраполяцій за емпіричними даними не завжди відповідають граничним обмеженням, які накладаються на модель. Практика показує, що зі збільшенням кількості накопичених емпіричних даних проблеми, пов'язані з рішенням оптимізаційної задачі можуть виникати навіть у випадках використання відносно простих моделей-екстраполяцій. При цьому ускладнення структури моделі за рахунок врахування додаткових факторів та параметрів, нелінійних ефектів тощо можуть покращувати її якість як інтерпретаційної моделі в межах спостережених даних, але погіршувати її якість як прогностичної моделі в області екстраполяції.

Метою статті, що пропонується, є презентація підходу до екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки, що ґрунтується на ідеї комбінованого ситуаційно-індуктивного моделювання. Об'єктом

досліджень у статті є прогнозування за даними рядів динаміки, предметом досліджень – ситуаційно-індуктивне моделювання за даними рядів динаміки з метою прогнозування.

3. Ситуаційно-індуктивний підхід до моделювання за даними рядів динаміки

Під ситуаційною моделлю надалі будемо розуміти модель, яка адаптована до певної ситуації (відповідні обставини адаптації назвемо прогнозним фоном) і яка може вважатися адекватною лише в цій ситуації, що розгортається протягом обмеженого періоду часу. Прогнозний фон характеризуватимемо як сукупність зовнішніх і/або внутрішніх умов, істотних для вибору структури відповідної ситуаційної моделі, яка розробляється за даними рядів динаміки з метою прогнозування.

Ситуаційні моделі будуються на основі вибіркового ряду динаміки даних спостережень для залежних і незалежних змінних моделей, де вибіркові ряди динаміки (кластери) відповідають деяким встановленим критеріям однорідності, які формулюються з врахуванням поведінки значень рядів динаміки змінних на відповідних часових інтервалах:

- монотонність зі зростанням; окремо можуть виділятися інтервали відносно повільного, помірного і відносно швидкого монотонного зростання;
- знакозмінне зростання;
- монотонність з убаванням; окремо можуть також виділятися інтервали відносно повільного, помірного і відносно швидкого монотонного убавання;
- знакозмінне убавання;
- випадкові стаціонарні коливання значень ряду.

Приймається, що побудовані на відповідних вибіркового рядів динаміки ситуаційні моделі, можуть відображати окремі фазові стани динамічної системи на різних інтервалах часу. При цьому перехід від однієї ситуаційної моделі до іншої, які визначають сусідні фазові стани системи, може відбуватися немонотонно (рис. 1, 2).

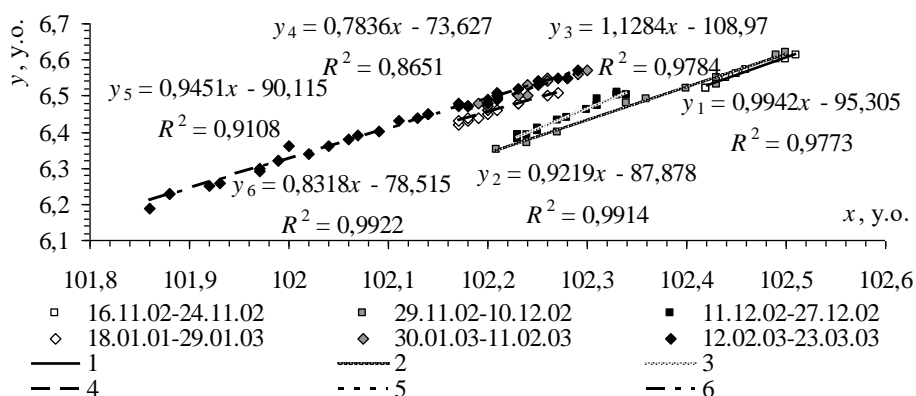


Рисунок 1 – Приклад побудови ситуаційних моделей у вигляді простих лінійних регресій (за даними [17])

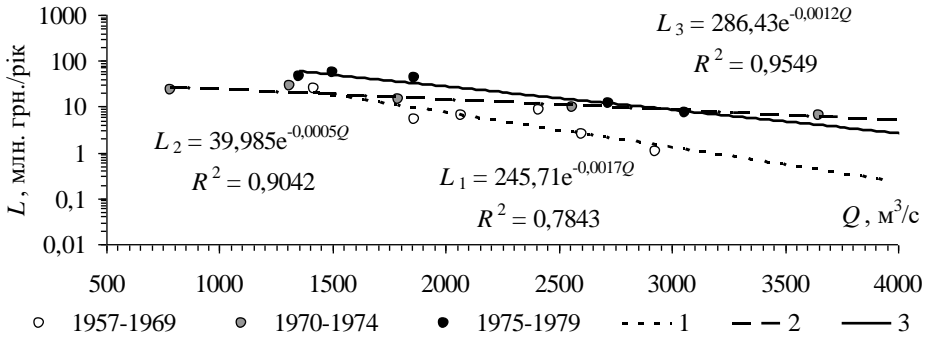


Рисунок 2 – Ситуаційні моделі ймовірних втрат L від максимальних витрат Q повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область) на інтервалі 1957-1979 р. р. (за даними [18])

При такій постановці задачі ситуаційного моделювання за даними рядів динаміки в якості рівнянь зв'язку можуть використовуватися відносно прості залежності, що легко адаптуються до змін в рядах динаміки, пов'язаних в тому числі і із змінами прогнозного фону, які можуть викликатися факторами, що з тих чи інших причин не враховуються в ситуаційній моделі безпосередньо. З метою побудови адекватних ситуаційних моделей, при необхідності, можуть враховуватися також транспортні лаги між змінними моделей.

Під індуктивною моделлю будемо розуміти модель, отриману з узагальнення (ансамблю) кількох моделей (ситуаційних або індуктивних). По суті, в нашому випадку, індуктивні моделі являють собою моделі «рівнів», які визначають поведінку залежних змінних при деяких фіксованих значеннях незалежних змінних. Індуктивні моделі будуються на основі рядів модельних даних, що являють собою результати статистичної обробки актуальних даних і/або результати ситуаційного моделювання. При цьому індуктивна модель, яка вибудовується на основі узагальнення сімейства ситуаційних моделей й охоплює кілька кластерів актуальних даних, може відображати еволюцію відповідних ситуаційних моделей як еволюцію фазових станів динамічної системи в часі (рис. 3).

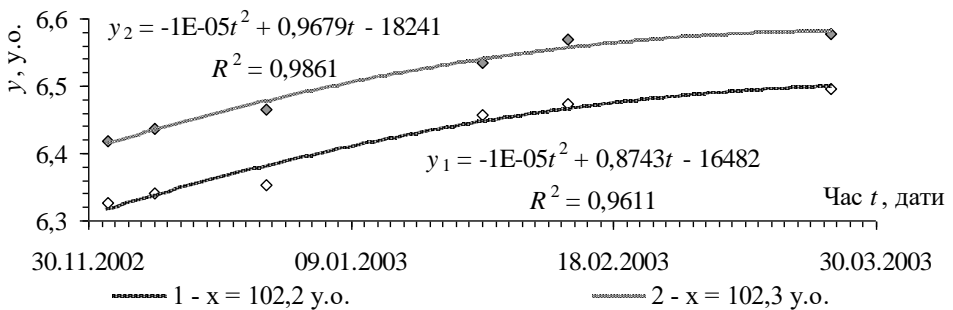


Рисунок 3 – Приклад побудови індуктивних моделей у вигляді трендів (за даними рис. 1)

Індуктивні моделі можуть будуватися за результатами ситуаційного моделювання за весь період спостережень, або за результатами ситуаційного моделювання на вибіркових кластерах одного виду, наприклад, сезонних кластерах, або кластерах з подібною поведінкою значень рядів динаміки змінних на відповідних часових інтервалах (зростання, убування значень ряду тощо).

Структура індуктивних моделей визначається властивостями рядів динаміки відповідних модельних даних – результатів ситуаційного моделювання, які в загальному випадку можуть являти собою нестационарні ряди динаміки [16]. При врахуванні лише кластерів, що характеризуються випадковими стаціонарними коливаннями значень рядів динаміки змінних, якими описуються ситуаційні моделі, результати ситуаційного моделювання зазвичай являють собою стаціонарні (квазістаціонарні) ряди динаміки. При цьому відповідні індуктивні моделі можуть виконуватися у вигляді регресій (рис. 4).

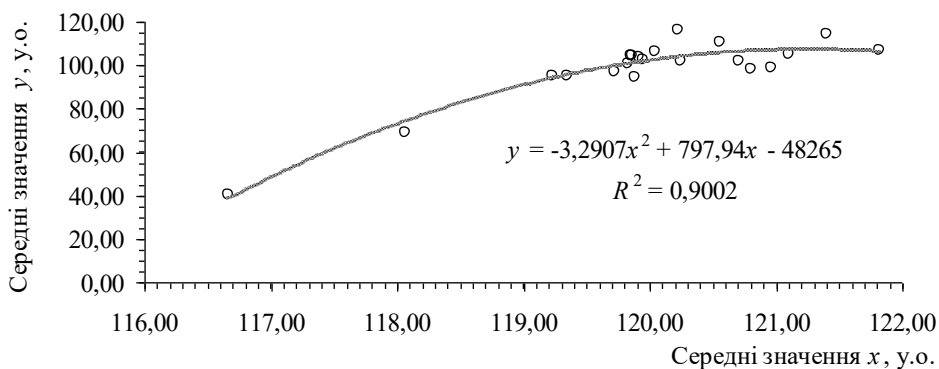


Рисунок 4 – Приклад побудови індуктивної моделі за даними ситуаційного моделювання у вигляді регресії

Задача побудови індуктивних моделей за результатами ситуаційного моделювання, що являють собою нестационарні ряди динаміки, найбільш просто вирішується у випадку високих коефіцієнтів детермінації трендів. Такі індуктивні моделі можуть виконуватися у вигляді трендів (рис. 3, 5).

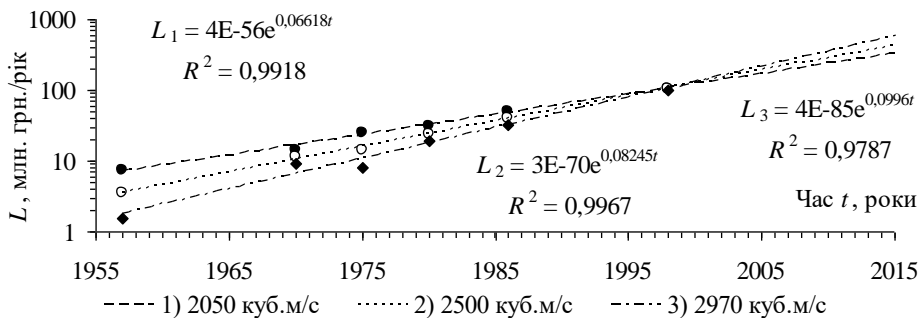


Рисунок 5 – Індуктивні моделі ймовірних втрат L від повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область) при різних витратах води за даними [18]

В більш складних випадках нестационарних рядів даних, якими описуються результати ситуаційного моделювання, індуктивні моделі, наприклад, можуть представлятися у вигляді композицій трендів і регресій «залишків» вилучення трендів [17].

4. Екстраполяційне прогнозування на основі ситуаційних та індуктивних моделей за даними рядів динаміки

Встановлюються два основні види прогнозів-екстраполяцій на основі результатів ситуативно-індуктивного моделювання за даними рядів динаміки: оперативні прогнози і строкові прогнози.

Оперативні (в режимі реального часу) прогнози-екстраполяції виконуються на основі нових даних, які зумовлюють необхідність суттєвого корегування попередніх ситуаційних моделей (моделей минулого періоду) (рис. 6). За потребою може виконуватися серія оперативних прогнозів по мірі надходження нових даних.

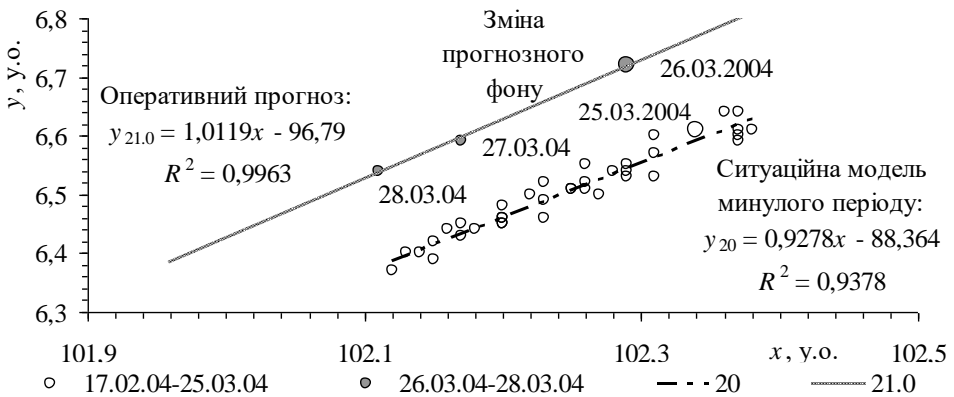


Рисунок 6 – Приклад побудови оперативного прогнозу з використанням ситуаційної моделі

Строкові прогнози-екстраполяції виконуються на основі індуктивних моделей. Прогнозування зводиться до встановлення ситуаційних моделей, що можуть відповідати очікуваним ситуаціям в майбутньому (на майбутніх періодах) (рис. 7). Точність побудови строкових прогнозів суттєво підвищується, якщо індуктивні моделі будуються на основі ситуаційних моделей минулих періодів, дані яких належать спорідненим кластерам даних (з врахуванням характеру поведінки вибіркового ряду динаміки тощо) [17].

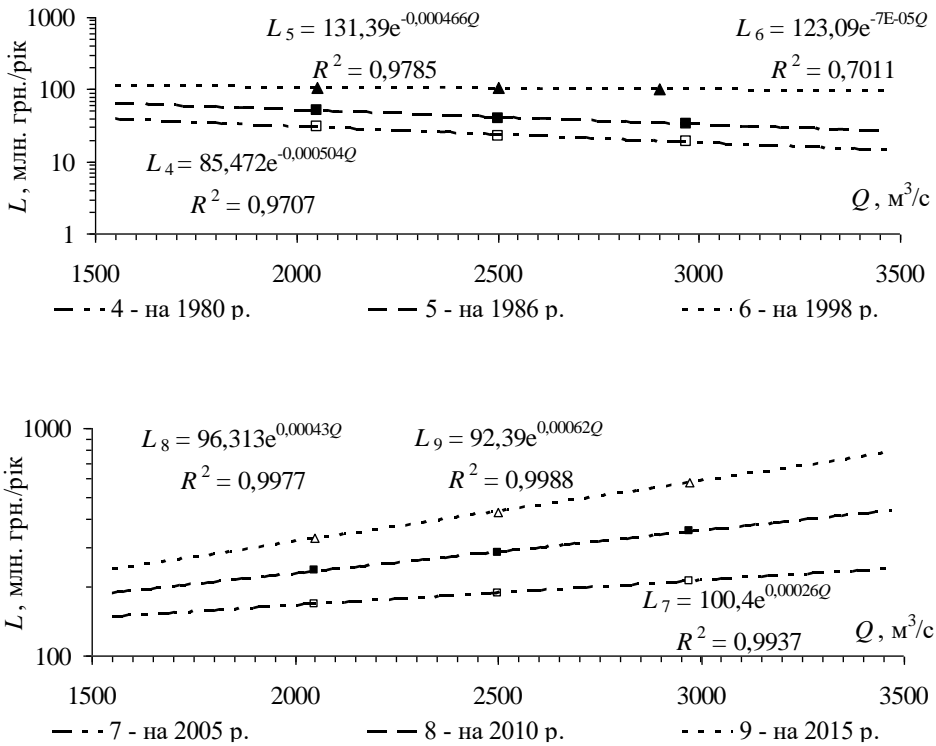


Рисунок 7 – Строкові прогнози у вигляді ситуаційних моделей ймовірних втрат L від максимальних витрат Q повеней в басейні р. Тиса (Закарпатська область), виконані за результатами індуктивного моделювання (див. рис. 5)

Розглянуті приклади вказують на принципову можливість екстраполяційного прогнозування за даними рядів динаміки на основі ситуаційних та індуктивних моделей, в тому числі з постійним їх корегуванням по мірі надходження нових даних.

Висновки

Запропоновано підхід до екстраполяційного прогнозування за емпіричними даними, що ґрунтується на ідеї ситуаційно-індуктивного моделювання, згідно з яким результати ситуаційного моделювання в межах вибірових рядів динаміки, які характеризуються монотонністю або квазістаціонарністю поведінки змінних моделей на відповідних часових інтервалах, формують підґрунтя для наступної побудови індуктивних моделей. Індуктивні моделі можуть виконуватися за результатами ситуаційного моделювання як моделі «рівнів». Показано, що на основі ситуаційних моделей в межах інтервалів часу, де ситуаційні моделі вважаються адекватними, може здійснюватися оперативне прогнозування, а на основі індуктивних моделей, за допомогою яких в межах спостережених даних відслідковується еволюція ситуаційних моделей, може здійснюватися строкове прогнозування зі встановленням ситуаційних моделей майбутніх періодів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бернштейн П. Против богов: Укрощение риска / П. Бернштейн // Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. – 400 с.
2. Довгий С.О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.
3. Довгий С.О. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук. – К.: Логос, 2014. – 419 с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
5. Горбатенко В.П. Еволюція прогностики як системи наукових знань про майбутнє / В.П. Горбатенко // Стратегічні пріоритети, № 1(2), 2007. – С. 11-17.
6. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – Киев: «Наукова думка», 1982. – 296 с.
7. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степанко. – К.: Наукова думка, 1985. – 216 с.
8. Згуровский М.З. Системный анализ / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2011. – 900 с.
9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Израэль Ю. А. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 376 с.
10. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыков. – М.: Энергия, 1974. – 134 с.
11. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
12. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2006. – 1410 с.
13. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. – К.: Азимут-Україна, 2009. – 104 с.
14. Kuhn M. Applied Predictive Modeling / M. Kuhn, K. Johnson. – New York: Springer Science+Business Media, 2013. – 600 p.
15. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Використання нечіткої міри для подолання невизначеності довгострокових прогнозів на основі екстраполяцій / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С. 99-110.
16. Stefanyshyn D.V. A Method of Forecasting of Indexes of Dynamic System that evolves slowly, based on Time Series Analysis / D.V. Stefanyshyn // ICIM 2013. Proc. of 4th Int. Conf. on Inductive Modelling. Kyiv, Ukraine, September 16-20, 2013. – P.P. 221-224.
17. Стефанишин Д.В. Прогнозування рівня води в п'єзометрі в тілі земляної греблі біля дренажу за даними регулярних п'єзометричних спостережень / Д.В. Стефанишин, А.В. Дем'янюк // Вісник НУВГП. Вип. 4 (68). Технічні науки. Рівне: 2014. – С. 90-99.
18. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Індуктивне моделювання ризиків збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса за емпіричними даними з використанням моделей регресійного типу / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин, О.М. Трофимчук // Математичне моделювання в економіці. – 2014. – №1. – С. 72-79.

Стаття надійшла до редакції 12.05.16.

УДК 004.942

К.Г. РОМАНЧУК

МЕТОД ОЦІНКИ ЗНАЧУЩОСТІ ЗА ФУССЕЛЕМ – ВЕСЛІ МОДЕЛЬНИХ СЦЕНАРІЇВ СИСТЕМНИХ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

***Анотація.** В рамках сценарного підходу до кількісної оцінки ризиків збитків від аварій в складних інженерних системах з використанням байєсівського перетворення ймовірностей аварійних подій запропоновано метод оцінки значущості модельних сценаріїв системних аварій за ймовірністю та ризиком збитків.*

***Ключові слова:** байєсівське перетворення ймовірностей, значущість, модельний сценарій, повна група подій, потенційно небезпечний об'єкт, ризик збитків, системна аварія, сценарний підхід.*

Вступ

В якості основного принципу управління безпекою потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), зокрема гідровузлів, при кількісній оцінці ймовірностей та ризику аварій на них, може прийматися принцип розумно досяжного низького рівня ризику (risk as low as reasonably practicable, ALARP). Згідно з цим принципом для особливо відповідальних об'єктів і систем з метою забезпечення їх надійності і техногенної безпеки оцінюються ймовірності аварій, які порівнюються з деякими допустимими величинами, які встановлюють межу терпимості техногенного ризику. Отримані при цьому ризики від аварій можуть вважатися прийнятними у всіх випадках, коли подальше їх зменшення стає або практично неможливим (за наявних економічних, технологічних та ін. умов), або коли ціна такого зменшення стає непропорційно великою порівняно з отриманим при цьому зменшенням ризику і, відповідно, підвищенням надійності й безпеки ПНО [1].

Оскільки не тільки ймовірності, але і наслідки аварій від різних причин на одному й тому ж об'єкті можуть різнитися, то управління ризиками збитків як комбінаціями ймовірностей аварійних подій і їх наслідків може бути значно гнучкішим, ніж управління ризиками лише за ймовірностями аварій [2-6]. Однак для того, щоб таке управління було ефективним, необхідно забезпечити можливість ранжирування аварійних подій за значущістю як за ймовірностями їх виникнення, так і за ризиками збитків.

При оцінці ймовірності техногенної аварії здійснюється агрегація (узагальнення) значення її ймовірності як системної аварії за різними можливими причинами її виникнення та умовами перебігу [7-10]. Сценарний підхід до оцінки ризику аварій на ПНО дозволяє формалізувати задачу кількісного оцінювання ризику збитків з врахуванням можливості виникнення системної аварії з довільних причин та її розвитку за різними модельними сценаріями [10-13]. В свою чергу ранжирування модельних сценаріїв системної аварії за значущістю забезпечить краще розуміння поведінки складної інженерної системи і дозволить контролювати ефективність заходів, направлених на підвищення її надійності і безпеки [2,

14, 15]. При цьому можуть виявлятися пріоритетні чинники аварійності й обґрунтуватись потреба в затратах на підвищення надійності і безпеки ПНО. Дослідження значущості аварійних подій подібне до аналізу чутливості і може також бути корисним при оптимізації структурного складу системи, діагностиці «слабких» ланок серед її компонентів, оптимізації їх надійності з врахуванням економічних показників тощо.

1. Загальна постановка задачі

Значущими прийнято називати окремі аварійні події, види або форми аварії, або ж сценарії аварії, які можуть безпосередньо спричинити системну аварію на ПНО [2]. Кількісні показники значущості аварійних подій в системах, що на разі розглядаються в літературі [2, 14, 15], ґрунтуються на імовірнісній мірі.

Серед показників значущості, що пропонуються різними авторами [2, 14, 15], виділяється значущість за Фусселем – Веслі, яка, зокрема, може встановлюватися для окремих базових аварійних подій та окремих перерізів аварійних подій (видів, форм аварій тощо) при оцінці ймовірностей техногенних аварій за допомогою логіко-імовірнісного методу дерев відмов і несправностей [2-7, 10, 11, 15, 16].

Наприклад, для окремої базової (початкової) аварійної події значущість за Фусселем – Веслі має визначатися як ймовірність того, що при виникненні системної відмови (аварії в системі) відбудеться відповідна базова подія, тобто встановлюється за умови, що системна відмова або аварія в системі відбулися. Для окремого перерізу аварійних подій (виду, форми аварій тощо), що призводять до системної аварії, значущість за Фусселем – Веслі має визначатися як ймовірність того, що при системній аварії (відмови системи в цілому) відбувається відповідний переріз аварійних подій (вид, форма аварії тощо). Також встановлюється за умови, що системна аварія відбулася.

Таким чином, значущість за Фусселем – Веслі для деякої базової аварійної події або для деякого перерізу аварійних подій (сценарію тощо) має визначатися як відносна «вага» відповідної аварійної події або відповідного перерізу аварійних подій за ймовірністю в повній ймовірності $P(A)$ системної аварії [2]. Відповідно, для оцінки значущості за Фусселем – Веслі необхідно не тільки здійснити імовірнісне моделювання техногенних аварій з врахуванням різних аварійних подій, що можуть призвести до аварії, в тому числі і з врахуванням гіпотетичних подій-припущень, з кількісною оцінкою ймовірностей їх реалізації формальними методами, а й здійснити їх «зважування» в групі повних подій. Однак, і при такому підході до оцінки значущості аварійних подій не враховується те, що різні події можуть бути обтяжені різними наслідками.

2. Моделювання та кількісна оцінка ризику збитків в рамках сценарного підходу

Вибір модельних сценаріїв аварій на ПНО при кількісній оцінці ризику збитків має ґрунтуватися на наступних принципах системного аналізу:

– альтернативності, що допускає використання різних підходів, методів та моделей (статистичних, імовірнісних, логічних тощо) при оцінці

ймовірностей аварійних подій, які здатні зумовлювати і обумовлювати системні аварії за різними сценаріями;

– системності, що виходить із необхідності оцінки ймовірностей техногенних аварій з врахуванням системних зв'язків між різними аварійними подіями на ПНО (на спорудах, в їх основах та фундаментах, в навколишньому середовищі, відмовами та несправностями окремих конструктивних елементів, пристроїв, устаткування і обладнання);

– комплексності, що передбачає врахування при оцінці ймовірностей системних аварій різних факторів (природних, проектно-конструкційних, будівельно-технологічних, експлуатаційних тощо), які можуть визначати надійність об'єктів, різних даних, зокрема, даних моніторингу навколишнього середовища, візуального й інструментального контролю стану споруд та конструкцій, результатів розрахунків їх стійкості і міцності традиційними методами, а також можливість реалізації як типових, так і нетипових сценаріїв аварії, наприклад, внаслідок відмов автоматики тощо [12];

– ієрархії, згідно з яким враховується причинно-наслідкова супідрядність аварійних подій і станів, відмов і несправностей окремих елементів ПНО як структурних одиниць єдиної природно-технічної системи; при цьому при надмірній складності ієрархічної структури може використовуватися системно-інтегруючий підхід (агрегація), коли більш деталізовані аварійні події й стани, що відповідають нижчим рівням ієрархії в причинно-наслідкових відношеннях інтегруються у більш загальні і менш деталізовані події й стани, які відповідають більш високим рівням ієрархії у причинно-наслідкових відношеннях;

– найменшої взаємодії, згідно з яким ієрархія розрахункових аварійних подій і станів, відмов і несправностей окремих структурних елементів і підсистем ПНО враховується таким чином, щоб мінімізувати причинно-наслідкові відношення між ними.

Такий підхід до імовірнісного моделювання техногенних аварій дозволяє забезпечити адекватність імовірнісних оцінок аварійності на техногенних об'єктах. Власне це і дало поштовх до оцінки значущості небезпечних аварійних подій за ймовірністю їх реалізації. Оцінка ймовірності аварії в цьому сенсі стала засобом для розкриття невизначеності та прийняття оптимальних рішень, направлених на підвищення рівня безпеки об'єкта.

Байєсівське перетворення ймовірностей [13, 16-18] в рамках сценарного підходу до оцінки узагальненого за різними модельними сценаріями (сумарного) ризику збитків від аварії в складній інженерній системі дозволяє розширити інтерпретацію значущості за Фусселем – Веслі і встановлювати значущість окремих модельних сценаріїв аварії як за ймовірністю їх реалізації, так і за ризиком збитків.

Назвемо сценарієм A_i можливої аварії A на ПНО деяку ідеалізовану аварійну подію-припущення, несумісну з іншими визначеними в якості модельних сценаріїв аварії A ідеалізованими аварійними подіями-припущеннями у складі повної групи подій [13]:

$$P(A_i) = P(A_i | A) \cdot P(A), \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = P(A), \sum_{i=1}^n P(A | A_i) = 1; (A | A_i) \wedge (A | A_k) = \emptyset; i \neq k; i, k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$$P(A_i | A) = \frac{P(A | A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A | A_i) \cdot P(A_i)}, \quad (3)$$

де $P(A_i)$ – ймовірність реалізації сценарію A_i системної аварії A ; $P(A_i | A)$ – умовна ймовірність аварії A за сценарієм A_i ; $P(A)$ – повна ймовірність виникнення системної аварії A ; $P(A | A_i)$ – умовна ймовірність аварії A за умови її реалізації за сценарієм A_i .

Сумарний (узагальнений за модельними сценаріями $A_i, i = \overline{1, n}$) ризик збитків $R(D, A)$ системної аварії A будемо оцінювати як [13, 17, 18]:

$$R(D, A) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot D(A_i), \quad (4)$$

де $D(A_i)$ – збиток, якщо аварія A відбувається за модельним сценарієм A_i .

3. Оцінка значущості модельних сценаріїв аварії за ймовірністю та ризиками збитків

Обумовимо кожен i -й модельний сценарій системної аварії деякою i -ю аварійною подією F_i (наприклад, формою аварії, безпосередньою причиною виникнення аварії, базовою аварійною подією тощо). В загальному випадку $F_i, i = \overline{1, n}$, можуть бути довільними подіями-наслідками реалізації довільних подій-причин $E_j \in \mathbf{E}, j = \overline{1, m}$.

Ймовірності $P(F_i)$ подій-наслідків $F_i \in \mathbf{F}, i = \overline{1, n}$, та ймовірність $P(A)$ аварії A на ПНО, в залежності від системної організації об'єкта, особливостей споруд і конструкцій, функціонування обладнання тощо, в загальному випадку як системи \mathbf{S} , можна визначити за допомогою відповідних структурних функцій її надійності (безпеки) [2-12, 14, 16, 19]:

$$\Psi(\mathbf{S} | F_i) : \mathbf{E} \rightarrow F_i, i = \overline{1, n}; \Psi(\mathbf{S}) : \mathbf{E} \rightarrow A. \quad (5)$$

Для кожного з модельних сценаріїв $A_i, i = \overline{1, n}$, згідно з однією з фундаментальних теорем теорії ймовірностей [20], можна записати:

$$P(A | A_i) \cdot P(A_i) = P(A_i | A) \cdot P(A). \quad (6)$$

Визначимо ймовірність $P(A|A_i)$ як «вагу» відповідного збитку, пов'язаного з реалізацією події F_i , за ймовірністю $P(F_i)$:

$$P(A|A_i) = \frac{P(F_i)}{\sum_{i=1}^n P(F_i)} . \quad (7)$$

Прирівнявши в формулах (3) і (6) ймовірність $P(A_i)$ до $P(F_i)$ маємо ймовірність реалізації модельного сценарію A_i аварії A :

$$P(A_i) = \frac{P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i)}{\sum_{i=1}^n \left(P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i) \right)} \cdot P(A) . \quad (8)$$

Тоді, значущість сценарію A_i згідно з Фусселем – Веслі за ймовірністю буде:

$$w_p(A_i) = \frac{P(A_i)}{P(A)} = \frac{P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i)}{\sum_{i=1}^n \left(P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i) \right)} , \quad (9)$$

або, у відсотках,

$$w_p(A_i)\% = \frac{P(A_i)}{P(A)} \cdot 100 = \frac{P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i)}{\sum_{i=1}^n \left(P^2(F_i) / \sum_{i=1}^n P(F_i) \right)} \cdot 100 , \quad (10)$$

де $P(A_i)$ – ймовірність реалізації модельного сценарію A_i за умови, що аварія A відбувається за цим сценарієм; $P(F_i)$ – ймовірність реалізації i -ї довільної форми аварії на об'єкті, з якою пов'язується виникнення сценарію A_i .

Відповідно, значущість сценарію A_i за ризиком буде:

$$w_R(A_i) = \frac{P(A_i) \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot D_i} , \quad (11)$$

або, у відсотках

$$w_R(A_i)\% = \frac{P(A_i) \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot D_i} \cdot 100, \quad (12)$$

де $D(A_i)$ – збиток, якщо аварія A відбувається за модельним сценарієм A_i .

4. Приклад оцінки значущості модельних сценаріїв аварії на гідровузлі за ймовірністю і ризиком збитків

Нижче наведено ілюстративний приклад оцінки значущості модельних сценаріїв аварії на напірних гідроспорудах гідровузла за ймовірністю і ризиком збитків. Оцінка значущості модельних сценаріїв аварії на гідроспорудах гідровузла здійснювалася за даними, які наведено в табл. 1. Окремі форми аварії, що враховувалися, розглядалися як сумісні незалежні події. Кожній з виділених форм аварії відповідав окремий модельний сценарій, несумісний с іншими модельними сценаріями.

Таблиця 1 – Чисельні характеристики форм аварії на гідровузлі

Чисельні характеристики	Форми аварії F_i					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Ймовірності подій, рік ⁻¹	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
Очікувані збитки, млн. грн.	40	250	1150	2000	2500	3000

Результати чисельних розрахунків ймовірностей модельних сценаріїв, ризиків збитків при їх реалізації та оцінки значущості модельних сценаріїв за ймовірністю та ризиками збитків, наведено в табл. 2. Повна ймовірність імовірність аварії $P(A) = 0,001859$, рік⁻¹ виникнення аварії на гідроспорудах гідровузла за різними розрахунковими формами F_i , $i = \overline{1,6}$, які розглядалися як сумісні незалежні події, визначалася за формулою логічного об'єднання (диз'юнкції) відповідних аварійних подій:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^6 [1 - P(F_i)], \quad (13)$$

де $P(F_i)$ – ймовірність реалізації i -ї форми аварії на гідровузлі.

Таблиця 2 – Чисельні характеристики модельних сценаріїв аварії на гідровузлі

Чисельні характеристики	Форми аварії F_i						Всього
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	
Ймовірності подій, рік ⁻¹	0,001427	0,000357	0,000057	0,000014	0,000004	$1,48 \cdot 10^{-7}$	0,001859
Ризики збитків, млн. грн. рік ⁻¹	0,05708	0,0892 5	0,06555	0,028	0,01	0,00044 4	0,250324
Значущість $w_P(A_i)\%$	76,754	19,20	3,07	0,753	0,215	0,008	100
Значущість $w_R(A_i)\%$	22,80	35,65	26,19	11,19	3,99	0,18	100

Повний (сумарний) ризик збитків за модельними сценаріями $A_1 \div A_6$ склав 0,250324 млн. грн. на рік. Сума ймовірностей модельних сценаріїв при цьому склала $P(A) = 0,001859$, рік⁻¹, що підтверджує коректність розрахунків апостеріорних ймовірностей реалізації модельних сценаріїв аварії як несумісних подій, та ризиків збитків – сумарного та за кожним з модельних сценаріїв. При цьому значущість за ймовірністю сценарію A_1 перевищила 76%, тоді як за ризиком склала лише 22,8%. Найбільш значимим за ризиком виявився сценарій A_2 , зі значущістю за ризиком 35,65% і за ймовірністю 19,2%.

5. Висновки

Ідентифікація найбільш значущих модельних сценаріїв аварії за ймовірністю та сценаріїв аварій, обтяжених найбільшими ризиками, дає можливість в короткостроковій перспективі обмежитися розглядом окремих форм аварії серед аварійних подій-наслідків або ж розглядом окремих аварійних подій-причин та умов, що можуть зумовлювати або обумовлювати найбільш ймовірні або найбільш тяжкі за ризиком аварійні процеси на ПНО.

В результаті ранжирування аварійних подій за значущістю з ідентифікацією найбільш ймовірних сценаріїв аварій і сценаріїв аварій, обтяжених найбільшими ризиками, може здійснюватися обґрунтування потреби в додатковій інформації й додаткових дослідженнях відповідних чинників аварійності. Більша мінливість, більша невизначеність факторів та параметрів, як відомо, здатні продукувати більші «внески» цих факторів та параметрів в загальну ймовірність аварії і загальний ризик збитків. Ідентифікація найбільш ймовірних та обтяжених найбільшим ризиком збитків сценаріїв аварій, вказують на області, де невизначеність може проявлятися найсильніше, причому в процесі ранжирування аварійних подій і ідентифікації відповідних сценаріїв аварій можуть розкриватися й шляхи подолання цих невизначеностей, а подальші дослідження й отримання нової інформації сприятимуть зниженню «внесків» окремих факторів, параметрів, форм аварії в повну ймовірність аварії на ПНО, сумарний ризик збитків від аварії, і, відповідно, їх ефективному зменшенню.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств / Маршалл В. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Хенлі Е.Дж. Надійніше проектування технічних систем і оцінка ризику / Е.Дж. Хенлі, Х. Кумамото [Пер з англ. за ред. Ю. Г. Зареніна]. – К.: Вища школа, 1987. – 543 с.
3. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. – Vol. 1. – Q. 76. Beijing-China, 2000. – 896 p.
4. Hartford D.N.D. Risk and Uncertainty in Dam Safety / D.N.D. Hartford, G.B. Baecher // Published by Thomas Telford, 2004. – 401 p.
5. Качинський А.Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи: монографія / А.Б. Качинський; Ін-т проблем національної безпеки. Нац. акад. служби безпеки України. – К.: [б. н.], 2004. – 470 с.
6. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, О.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К.: Наукова думка, 2008. – 544 с.
7. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ, 2002. – 591 с.
8. Буторин С.Л. Методы анализа безопасности АЭС при авиакатастрофах / С.Л. Буторин, Г.С. Шульман, С.Г. Шульман. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 327 с.
9. Бегун В.В. Метод решения проблемы расчета техногенных рисков / В.В. Бегун, С. А. Вахнин // Управляющие системы и машины, 2014. – №3. – С. 3-9.

10. Стефанишин Д.В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки / Д.В. Стефанишин // Гідроенергетика України, 2011. – № 3-4. – С. 52-60.
11. Стефанишин Д.В. Сценарний підхід к оцелке вероятностей аварий на плотинах / Д.В. Стефанишин // Мониторинг. Наука и безопасность. Устойчивость зданий и сооружений, 2013. – №1 (9). – С. 26-33.
12. Романчук К.Г. Імовірнісне моделювання сценаріїв двох нетипових аварій на гідроенергетичних об'єктах / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Гідроенергетика України, 2014. – № 2-3. – С. 20-25.
13. Стефанишин Д.В. Кількісна оцінка ризиків збитків від аварій на потенційно небезпечних об'єктах / Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 1. – С. 92-99.
14. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. Пер. с англ. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
15. Kumamoto H. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists / H. Kumamoto, E.J. Henley. New York. IEEE Press, 1996. – 597 p.
16. Стефанишин Д.В. Логіко-імовірнісна оцінка ризику збитків від аварійного виливу води з басейну добового регулювання Зарамагської ГЕС-1 / Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук // Системні дослідження та інформаційні технології, 2013. – №3. – С. 130-141.
17. Stefanyshyn D.V. Use of the Bayes' approach for assessment of damage risks of system failures / D.V. Stefanyshyn, K.G. Romanchuk // Proc. of Int. Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems». July 7-11, 2009. – Saint-Petersburg, Russia. – P.P. 165-169.
18. Романчук К. Г. Про застосування методу Байєса в задачах ідентифікації причин аварій в складних системах / К. Г. Романчук // Problems of decision making under uncertainties. Abstracts of XXII Int. Conf. September 23-27. Foros-Yalta. – К.: 2013. – С. 125.
19. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Изд-во С-ПбУ, 2007. – 276 с.
20. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения / Д. Пойа [Пер. с англ.]. – М.: Наука, 1975. – 462 с.

Стаття надійшла до редакції 11.05.16.

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ
INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

УДК 519.854.3

Економіко-математичні моделі задачі розподілу потоків в багатопродуктовій комунікаційній мережі / Трофимчук О.М., Васянін В.О., Ушакова Л.П. // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 2. – С. 5–21.

В роботі розглядаються формулювання задач оптимізації розподілу потоків з нелінійними функціями витрат і побудовою маршрутів транспортування потоків і з заданими тарифами на дугах і в вузлах на транспортування та обробку потоків в багатопродуктовій комунікаційній мережі. Доведено, що задача з тарифами в мережевий постановці може бути за поліноміальний час перетворена до задачі цілочисельного лінійного програмування з блочною структурою і зв'язуючими обмеженнями. Відзначаються особливості розв'язання перетвореної задачі при використанні відомих методів цілочисельного програмування і пакетів прикладних програм.

UDC 519.854.3

Economic-mathematical models of flows distribution problem in multicommodity communication network / Trofymchuk O.M., Vasyanin V.A., Ushakova L.P. // Mathematical modeling in economy. – 2016. – N 2. – P. 5–21.

The paper deals with the formulation of optimization problems of distribution flows with nonlinear functions of cost and building of transportation routes and with predetermined tariffs on the arcs and in nodes on the transportation and processing flows in multicommodity of communications network. It is proved, that the problem with tariffs in a networked formulation can be transformed at the polynomial time to a problem of integer linear programming with the block structure and binding constraints. Are noted the features of the solution of the transformed problem by using known methods of integer programming and application packages.

УДК 004.421

Способ описания загрязненной территории: программная реализация / Кряжич О.А., Коваленко А.В., Иванченко В.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2016. – №2. – С. 22–35.

В статье представлена программная реализация способа описания загрязненной территории для определения зон загрязнения небольших по площади территорий в случае возникновения техногенных аварий с выбросом опасных веществ в окружающую среду. Разработан алгоритм и реализована компьютерная программа, которая находится в стадии тестирования. Сделаны выводы с определением практической ценности представленных разработок.

UDC 004.421

The method to describe contaminated areas: software realization / Kryazhych O.O., Kovalenko O.V., Ivanchenko V.V. // *Mathematical modelling in economy*. – 2016. – №2. – P. 22–35.

The article presents a software implementation of a way of describing the contaminated area. To determine the areas of contamination small area territories in the event of industrial accidents with release of dangerous substances into the environment is intended. The algorithm developed. A computer program is implemented. It is in the testing phase. The practical value of the research that is described is determined. The conclusions are made.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

УДК 532.543

Анализ разных подходов описания математических моделей фильтрации жидкости в насыщенной зоне почвы / Венгерский П.С., Трофимчук А.Н. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2016. – №2. – С. 36–51.

В данной работе для описания процесса фильтрации рассмотрено два подхода: гидравлический и гидродинамический. Показано, на основе каких допущений получаются системы дифференциальных уравнений для этих двух подходов. Сформулированы начально-краевые задачи, которые описывают процессы фильтрации для этих подходов. Построены вариационные задачи, которые решались методом конечных элементов с использованием схемы линеаризации при дискретизации во времени и схемы Галеркина при дискретизации по пространственным переменным. Построены и проанализированы численные схемы решения нелинейного уравнения фильтрации при гидравлическом подходе, если коэффициент проницаемости зависит от неизвестной величины. Особенностью гидродинамической модели является учет плотности фильтрационной жидкости, что важно при исследовании фильтрации сжимающих жидкостей, а также в случае напорной фильтрации воды при больших значениях давления.

UDC 532.543

Analysis descriptions of the approaches mathematical models in filtering liquids of saturated soil zone / Venherskyi P.S., Trofymchuk O.M. // *Mathematical modelling in economy*. – 2016. – №2. – P. 36–51.

In this paper two approaches are considered to describe the filtration process: hydraulic and hydrodynamic. It is shown based on which assumptions we received a system of differential equations for the two approaches. The initial boundary problems, which describe process of filtration for these approaches are formulated.

The variational problems were constructed, which were resolved by finite element method, using linearization schemes for discretization at the time and Galerkin schemes for discretization in spatial variables. Construct and analyze numerical scheme for solving nonlinear equations of filtration in the hydraulic approach if piezo permeability coefficients depend on an unknown value. The feature in a hydrodynamic model is taking into account the density of liquid filtration that is important at research of filtration compressible fluids, as well as the pressure of water from filtration the high pressure.

УДК 316.334.2;338.12

Системная макроэкономическая среда и экономическое развитие / Макаренко И.П. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2016. – №2. – С. 52–64.

В статье осуществлена попытка обоснования категории «системная макроэкономическая среда» (СМС) национальной экономики как субъекта и объекта экономических процессов. Обоснование подается в формате позитивной экономики. Понятие СМС облегчает понимание того, почему для оценки результативности антикризисной политики достаточно описания в основном монетарных, фискальных и валютных инструментов. Их воздействие происходит в «поле» передаточных трансмиссионных и адаптативных механизмов национальной экономики, для которых критически важно функционирование рынков высшего уровня (финансового, денежного, валютного), и которые рассматриваются в рамках ограничений макроэкономических моделей и функций. Вследствие высокой чувствительности СМС к изменениям процентных ставок, цен на волатильную и другие группы товаров, к валютному курсу, воздействие на рассматриваемую среду со стороны инструментов макроэкономической политики (бюджетно-финансовой, денежно-кредитной и валютной) вызывает мощную реакцию во всей экономической системы, не минуя никого из экономических субъектов.

UDC 316.334.2;338.12

System macroeconomic environment and economic development / Makarenko I.P. // *Mathematical modelling in economy*. – 2016. – №2. – P. 52–64.

In the article is carried out the attempt of grounding the category of «system macroeconomic environment» (SMS) of national economy as a subject and object of economic processes. A grounding is given in the format of positive economy. The concept of SMS facilitate the understanding of why for the estimation of anti-crisis policy effectiveness there is enough description in terms of monetary, fiscal and currency instruments. Their influence takes place in the «field» of national economy transmission and adaptational mechanisms, for which is critically important the functioning of high level markets (financial, money, currency) are examined in the framework of macroeconomic models and functions. Due to high sensitiveness of SMS to the changes of interest rates, prices on commodities, exchange rates, the influence on this environment from the side of macroeconomic policy instruments (fiscal, money-and-credit, currency) causes powerful response of all of the economic system, passing nobody of economic subjects.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

УДК 621.37-39

Индикативный анализ процессов национального развития / Полумиенко С.К., Горда С.Е. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2016. – №2. – С. 65–97.

Проводится обзор систем индикаторов и индексов устойчивого развития и оценки уровня национальной безопасности. Рассматриваются социальные, экономические, экологические и другие факторы этих процессов.

UDC 621.37-39

Indicative analysis of the national development processes / Polumiienko S., Gorda S. // *Mathematical modeling in economy*. – 2016. – №2. – P. 65–97.

A review of indicators and indices of sustainable development and evaluation of national security. There are considered social, economic, environmental and other factors of these processes.

УДК 004.942

Экстраполяционное прогнозирование за данными динамических рядов с использованием ситуационных и индуктивных моделей / Стефанишин Д.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2016. – №2. – С. 98–106.

Предложен комбинированный подход к экстраполяционному прогнозированию за данными динамических рядов с использованием ситуационных и индуктивных моделей. В соответствии с этим подходом в качестве основания для построения индуктивных моделей используются результаты ситуационного моделирования в пределах выборочных динамических рядов, которым свойственна монотонность либо квазистационарность поведения переменных моделей на соответствующих интервалах времени. Устанавливаются два основных вида прогнозов-экстраполяций: оперативные прогнозы и срочные прогнозы. Оперативное прогнозирование (в режиме реального времени) осуществляется на основе ситуационных моделей в пределах ограниченных интервалов времени, где соответствующие модели считаются адекватными. Срочное прогнозирование осуществляется на основе индуктивных моделей, при помощи которых отслеживается эволюция ситуационных моделей прошедших периодов и устанавливаются ситуационные модели будущих периодов.

UDC 004.942

Extrapolation forecasting on base of time series data with using of situational and inductive models / Stefanyshyn D.V. // Mathematical modeling in economy. – 2016. – №2. – P. 98–106.

A combined approach to extrapolation forecasting on time series data with using of situational and inductive models is proposed. According to this approach, results of situational modelling within the samples time series, which are characterized by monotony or quasi stationary behaviour of variables of models at the appropriate time intervals, are used as the basis for construction of inductive models. Two of main types of extrapolation forecasts are set: operational forecasts and term forecasts. The operational forecasting (in real time) is carried out on the basis of situational models within limited intervals of time where corresponding models are considered adequate. The term forecasting is carried out on the basis of inductive models by means of which the evolution of situational models of past periods is controlled and situational models of future periods are established.

УДК 004.942

Метод оценки значимости по Фусселю - Уэсли модельных сценариев системных аварий на потенциально опасных объектах / Романчук К.Г. // Математическое моделирование в экономике. – 2016. – №2. – С. 107–115.

В рамках сценарного подхода к количественной оценке рисков убытков от аварий в сложных инженерных системах с использованием байесовского преобразования вероятностей аварийных событий предложен метод оценки значимости модельных сценариев системных аварий по вероятности и риску убытков.

UDC 004.942

A method of evaluation of importance of the model scenarios of system accidents by Fussell and Vesely at potentially dangerous structures / Romanchuk K.G. // Mathematical modeling in economy. – 2016. – №2. – P. 107–115.

In terms of the scenario approach to quantify the risk of losses from accidents in complex engineering systems with using Bayesian probability transformation of emergency events suggested was a method to assess the importance of model scenarios of system failures by the probability and risk of losses.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Васянін Володимир Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Венгерський Петро Сергійович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інформаційних систем Львівського національного університету імені Івана Франка (Україна, м. Львів).

Горда Сергій Євгенович – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Іванченко Віталій Віталійович – програміст-фрілансер (РФ, Таганрог).

Коваленко Олександр Васильович – кандидат технічних наук, в.о. завідувача відділом ядерної фізики, завідувач лабораторією ФТПДЯВ Інституту ядерних досліджень НАН України (Україна, м. Київ).

Кряжич Ольга Олександрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Макаренко Ігор Петрович – кандидат економічних наук, директор Інституту еволюційної економіки (Україна, м. Київ)

Полумієнко Сергій Костянтинович – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Романчук Катерина Геннадіївна – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Трофимчук Олександр Миколайович – член-кореспондент НАН України, професор, доктор технічних наук, в. о. директора Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Ушакова Людмила Павлівна – здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук, директор приватного підприємства «Архівна справа» (Україна, м. Київ).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту економіки і прогнозування НАН України.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Институту кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институту экономики и прогнозирования НАН Украины.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Institute for Economics and Forecasting of NAS of Ukraine. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу. Тематика журналу стосується математичного моделювання у всіх сферах господарської діяльності, тобто, економіки в її широкому розумінні.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті, які будуть розміщені в електронному варіанті журналу «Математичне моделювання в економіці» на сайті журналу.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Статті, що були представлені в редакцію і прийняті після рецензування, але не попали в поточний номер журналу, будуть надруковані в наступних номерах журналу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником.

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу, правила оформлення та вимоги до статей, зміни і доповнення до тематичних розділів будуть оперативно подаватися в Інтернеті на сайті журналу «Математичне моделювання в економіці» www.mmejournal.in.ua

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

Виконавчий редактор – О.О. Кряжич, канд. техн. наук.

Надруковано:

Видавничий дім «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.
Тел.: (044) 360-22-66
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

Підписано і здано до друку 24.03.2016. Формат 70X108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.2
Обл.-вид. арк. 11.6 Тираж 300 примірників Замовлення № _____

КИЇВ 2016