

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 62-50

Ю.С. Боримський, П.І. Бідюк, А.В. Федоров

АЛГОРИТМИ ФОРМУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОК АКТИВІВ В ІНВЕСТИЦІЙНОМУ КАПІТАЛІ

Вступ

Згідно із загально визнаною думкою, нинішній етап розвитку економіки має інноваційно-інвестиційний характер в умовах неперервного розвитку процесу глобалізації. Цьому сприяє розвиток інтернету та інших глобальних комунікаційних мереж. З'являються нові можливості торгівлі на валютному, фондовому та товарному ринках за допомогою високорозвинутого комп'ютерного інструментарію [1]. Однак дані тенденції позначені як позитивними, так і негативними складовими. Негатив пов'язаний, як правило, з великою залежністю між економіками різних країн, зокрема їх фінансовими секторами. При цьому слабкі економіки істотно залежать від розвинених з відповідними, не завжди позитивними, наслідками. Зокрема, присутність на світових фінансових біржах компаній із слаборозвинених країн – досить рідкісне явище. Найактуальнішою темою в торгівлі на світових біржах є розробка прогресивних та виграшних інвестиційних стратегій, особливо з використанням портфельної теорії інвестування.

Основи портфельної теорії інвестування були закладені Г. Марковіцем і його послідовниками [2]. Згідно з нею, оптимальний портфель забезпечує найбільшу доходність на одиницю ризику [3]. Або при заданій (очікуваній) доходності оптимального портфеля йому відповідає найменший ризик, тобто модель Марковіца пов'язує два фактори: доходність і ризик. Кожному активу, претенденту на включення в портфель, відповідають прогнозовані доходність і ризик, які залежать від інвестиційного періоду. Слід зазначити, що існує кілька методичних підходів до визначення доходності [4]. Доходність активів з часом випадково змінюється, тобто траєкторія доходності активу являє собою реалізацію випадкового процесу. Як правило, це процес із змінною дисперсією, іншими словами, гетероскедастичний процес [5]. Надійність прогнозу доходності на інвестицій-

ний період вимірюється волатильністю (стандартним відхиленням) прогнозованого значення в кінці цього періоду. Для прогнозування волатильності, як відомо, застосовуються моделі авторегресії з умовною гетероскедастичністю (АРУГ), узагальненої авторегресії з умовною гетероскедастичністю (УАРУГ) та їх модифікації, зокрема експоненціальна УАРУГ (ЕУАРУГ). Базова модель УАРУГ неперервно розвивається, забезпечуючи адекватний математичний опис дисперсії та високоякісного прогнозу [6].

Прогнозування волатильності з використанням моделей АРУГ і УАРУГ має свої особливості. Базовий процес доходності повинен відповідати певним припущенням. Крім того, синтез моделей прогнозування доходності і волатильності здійснюється на двох різних, хоч і залежних, вибірках, тобто вибірка для прогнозування волатильності є похідною від вибірки для прогнозування доходності. Однак існують й інші підходи для випадку, коли прогнозування доходності та волатильності тісно пов'язані.

По-перше, це підхід, не пов'язаний з аналізом сценаріїв [3]. Згідно з цим підходом, розробляється (прогнозується експертами) перелік сценаріїв із відзначенням розподілу ймовірностей здійснення кожного з них. Кожному сценарію відповідає певна доходність [3]. Стандартне відхилення або волатильність ототожнюються з відповідним фінансовим ризиком і використовуються в процесі прийняття рішень щодо виконання торговельних операцій.

По-друге, це підхід, який реалізований у методах прогнозування часових рядів або випадкових процесів (у тому числі і процесів доходності), які подають результат прогнозування у вигляді гістограми (частотного розподілу) [7–10]. Після перетворення частотного розподілу в ймовірнісну форму доходність і волатильність обчислюються за подальшими формулами (1) і (3). Гістограми, які визначаються за вказаними методами, можуть об'єднувати сотні або тисячі окремих прогнозованих значень залежно від потрібної точності та робастності результатів. Завдяки існуванню принципової можливості розпаралелювання кожного з методів [7–10] їх можна реалізувати на швидкодіючих паралельних обчислювальних системах.

По-третє, це підхід, який частково ґрунтується на думці експертів, а частково на формалізмах та логіці теорії нечітких множин [11]. При використанні цього підходу експерт формує розрахунковий коридор для кожного активу, в якому, на його думку, буде знаходитись

очікувана доходність. Вважається, що найбільш очікуване значення доходності буде знаходитись всередині коридора, а найменш очікуване (нульове) значення буде на його краях. Іншими словами, експерт прогнозує доходність активів у вигляді нечітких чисел з трикутними функціями належності. Доходність інвестиційного портфеля визначається операціями теорії нечітких множин. Ризик портфеля визначається залежно від прийнятого критичного значення доходності портфеля і розраховується за спеціальними формулами. Такий ризик іменується ризиком неефективності портфельних інвестицій на відміну від інтерпретації ризику в класичній портфельній теорії, де за міру ризику береться стандартне відхилення доходності.

За даними, розміщеними в мережі інтернет, на сьогодні налічується більше 150 методів прогнозування, тобто існує велика кількість методів прогнозування, що дає можливість вибрати серед них найбільш придатний для прогнозування доходності активів. Також необхідно зазначити, що прогнозування дисперсії і стандартного відхилення доходності активів необхідне не тільки для формування оптимального портфеля, але і для оцінювання вартості опціонів за формулою Блека—Шоулза [3]. Опціони (зокрема “захисений” опціон “пут”) та ф’ючерсні контракти застосовуються для страхування (хеджування) ризиків портфеля.

Інвестиції в деривативи (опціони та ф’ючерси) здійснюють не тільки з метою страхування ризиків, але і з метою одержання підвищеного прибутку. Як правило, акції хеджфондів, які інвестують значною мірою в деривативи, приносять більший доход, ніж акції інвестиційних фондів, але при цьому існує більша ймовірність виникнення вищого рівня ризику. Необхідно зауважити, що інколи є безпечніше та вигідніше індексне інвестування [12]. Наприклад, у праці [13] наведена інформація про те, що в 2007 році індекс ПФТС зріс на 135,3 процента. Однак цього не можна сказати про 2008 рік, коли індекс ПФТС падав. Для індексного прогнозування існують відповідні методи, наприклад такі, як у [14]. Особливо велике значення при інвестуванні капіталу в пенсійні та страхові фонди має фактор ліквідності активів, оскільки ці фонди мають зобов’язання перед клієнтами і вони потребують швидкої конвертації активів у гроші [15, 16].

Постановка задачі

Мета даної статті полягає у критичному огляді методів формування інвестиційного портфеля і виявленні в рамках цієї проблеми таких задач, розв’язки яких можна покращити за рахунок запропонованих авторами альтернативних алгоритмів формування портфеля.

Задача та алгоритм попереднього відбору активу до інвестиційного портфеля

Постановка вказаної задачі сформульована в [17]. Скористаємось моделлю задачі Маркова [18]:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \mu_i = \bar{\mu}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (3)$$

де σ_p — міра ризику (стандартне відхилення) портфеля; x_i — частка від усього капіталу, яка інвестується в i -й актив; σ_{ij} — коваріація між активом i -го та j -го виду; μ_i — доходність i -го активу; $\bar{\mu}$ — очікувана доходність портфеля. Фактично вибір значення $\bar{\mu}$ характеризує відношення інвестора до ризику: чим більше $\bar{\mu}$, тим більший ризик портфеля і тим толерантніше інвестор ставиться до ризику.

Зазвичай, задача (1)–(3) розв’язується методом множників Лагранжа. Введення обмеження типу

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \quad (4)$$

означає, що не допускаються операції типу short sale (продаж без покриття). Задача (1)–(4) розв’язується методами квадратичного програмування.

Якщо розглянути формулу $\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$, де ρ_{ij} — коефіцієнт кореляції, σ_i та σ_j — стандартні відхилення доходності (ризиків) відповідно i -го та j -го активів, то стане зрозумілим, що ризик портфеля частково залежить від ризиків його компонентів і від коефіцієнтів парної ко-

реляції між цими компонентами. Ми говоримо, що ризик “частково залежить”, тому що не беремо до уваги залежність ризику портфеля від множників x_i та x_j .

Алгоритм попереднього відбору активів до портфеля складається з таких кроків.

1. Обчислити матрицю коваріацій з елементами σ_{ij} за відомими формулами, користуючись багатовимірною вибіркою доходностей активів.

2. Визначити суму елементів для кожного стовпця матриці коваріацій. Кількість таких сум буде дорівнювати кількості всіх активів, з множини яких надалі буде відібрано задану кількість.

3. Нормувати доходності активів до інтервалу (0,1). Позначити нормовану доходність i -го активу r_i . Таке ж нормування виконати і для сум, визначених в п.2. Позначити нормовану суму, яка відповідає i -му активу, s_i .

4. Для кожного i -го активу знайти відношення $\frac{r_i}{s_i}$.

5. Упорядкувати ряд чисел $\frac{r_i}{s_i}$ за незростанням.

6. Відібрати задану кількість активів з початку рядка, сформованого в п.5.

7. Кінець алгоритму.

Зазначимо, що в алгоритмі попереднього відбору активів до портфеля, як його описано в [17], береться до уваги тільки доходність та ризик-активів, але не враховується коефіцієнт парної кореляції між ними.

Задача і алгоритм розподілу інвестиційного капіталу між активами із врахуванням факторів доходності, диверсифікаційного ризику та ліквідності

Згідно з [15], найбільш тонким моментом інвестування пенсійних коштів, як, мабуть, і всіх інших інвестицій, є баланс між доходністю і ризиком. Хоча в балансі інвестування пенсійних коштів доходність не повинна бути меншою рівня інфляції, все ж фактор ризику залишається більш важливим. При керуванні інвестиціями пенсійних фондів також важливо враховувати фактор ліквідності, притримуючись принципів надійності, ліквідності, доходності та диверсифікації [15].

Задача, про яку йде мова, розглядалась в [19]. Нижче буде вказано на відмінність підходу до її розв'язання, що пропонується в нашій статті, від підходу, прийнятого в [19].

Пропонується розглянути задачу в два етапи. На першому етапі розв'язується задача (1)–(4), в результаті чого будуть знайдені значення змінних x_1, x_2, \dots, x_n . У зв'язку з тим, що модель Марковіца (1)–(4) не враховує фактора ліквідності активів, то знайдені за цією моделлю частки інвестиційного капіталу, призначені для вкладання в активи x_1, x_2, \dots, x_n , необхідно скорегувати відповідно до ліквідності кожного активу. Таке корегування відбувається на другому етапі. Далі буде показано, що корегування не змінює цільову доходність (бенчмарк) $\bar{\mu}$ (2), але збільшує спільний ризик портфеля (1), оскільки до диверсифікаційного ризику ще додається ризик ліквідності. Однак співвідношення між спільним ризиком та його складовою частиною – ризиком ліквідності, досить просто може бути відрегульовано. Запишемо алгоритм корегування покроково.

1. Обчислити коефіцієнти ліквідності $K_i, i = 1, 2, \dots, n$, для кожного i -го активу [18].

2. Обчислити суму $\sum_{i=1}^n K_i$.

3. Визначити ряд чисел $z_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$,

$i = 1, 2, \dots, n$, який буде задовольняти обмеження

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1. \quad (5)$$

4. Скласти рівняння

$$(\delta z_i + (1 - \delta)x_i = y_i) \quad \forall i, \quad (6)$$

де δ – міра наявності ризику ліквідності у спільному ризикові портфеля, яка задається множиною дискретних значень, наприклад, так:

$$\{0,01; 0,02; \dots; 0,09; 0,1; 0,2; \dots; 0,5\}.$$

З обмежень (2), (5) та рівняння (6) випливає обмеження $\sum_{i=1}^n y_i = 1$. А це означає, що при заміні x_i на y_i в обмеженні (2) його права частина

$\bar{\mu}$ не зміниться, тобто рівняння $\sum_{i=1}^n x_i \mu_i = \bar{\mu}$ буде виконуватись.

5. За допомогою вибраного значення δ з ряду можливих дискретних значень можна знайти, згідно з рівнянням (6), $y_i, i = 1, 2, \dots, n$. Підставивши значення y_i (для кожного i) замість x_i у функціонал (4), знайдемо дисперсію σ_p^2 , тобто обчислимо рівень ризику портфеля σ_p , який буде являти собою поєднання диверсифікаційного ризику і ризику ліквідності.

6. Побудувати графік в координатах (σ_p, δ) . На цьому графіку особа, що приймає рішення (ОПР) стосовно управління інвестиціями, має змогу вибрати те співвідношення між підвищенням спільного ризику портфеля і зниженням його ризику ліквідності, яке на його думку є компромісним.

7. Кінець алгоритму.

Наведена процедура дає можливість звести суб'єктивну складову у прийнятті рішення ОПР інвестиціями до мінімуму з точок зору доходності, диверсифікаційного ризику та ризику ліквідності. У статті [19] портфельна оптимізація ґрунтується на моделі скоринга цінних паперів. А це означає, що кожному з факторів цінних паперів — доходності, ризику та ліквідності — залежно від оцінки інвестора надаються відповідні вагові коефіцієнти.

Враховуючи величини факторів разом з наданими їм ваговими коефіцієнтами, за формулою згортки визначають показник інвестиційної привабливості паперу, а потім його рейтинг. Залежно від рейтингу цінного паперу для нього виділяють відповідну частку інвестиційного капіталу.

Із сказаного вище зрозуміло, що в підході статті [19] суб'єктивна складова при прийнятті інвестиційних рішень значно вища, ніж в авторському. Іншими словами, якщо в [19] суб'єктивно визначаються три параметри, то в нашому підході — один.

Задача розподілу інвестиційного капіталу між активами при умові, що кожна операція купівлі-продажу відбувається лотами визначеної величини

Постановка названої задачі міститься в роботі [20], наведемо її дослівно. Нехай відомий перелік лотів, в які входять цінні папери одного виду, об'єм яких (кількість акцій кожного виду) заданий числами v_1, v_2, \dots, v_n . Відома

початкова вартість кожної акції α_i в момент часу $t = 0$ та ймовірний розподіл майбутньої вартості акцій кожного виду в момент часу $t = T$. Припустимо, що задані так звані β (бета)-коефіцієнти для кожного виду фінансових активів, які позначимо $\beta_i, i = 1, 2, \dots, n$. Ці коефіцієнти задають кількісну оцінку ризику для кожного виду цінних паперів [3]. В цих умовах інвестор, маючи обмежений об'єм інвестиційних ресурсів F , хотів би придбати ті лоти, продавши які в момент часу $t = T$, він одержить максимальний очікуваний приріст фінансових ресурсів ΔF .

Сформулюємо оптимізаційну задачу визначення структури інвестиційного портфеля із врахуванням наведених припущень. Нижче будемо вважати, що майбутня вартість i -го активу задається розподілом $\gamma_i^1, \gamma_i^2, \dots, \gamma_i^m$ з ймовірностями p_1, \dots, p_m . Тоді математичним очікуванням майбутньої вартості i -го активу є величина

$$\bar{\gamma}_i = \sum_{j=1}^m \gamma_i^j p_j.$$

У цих позначеннях відповідна оптимізаційна задача вибору інвестиційного портфеля може бути сформульована в такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i (\bar{\gamma}_i - \alpha_i) + F \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i \alpha_i \leq F, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i \alpha_i \frac{\beta_i}{F} \leq \beta_{\text{гр}}, \quad (9)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

де $\beta_{\text{гр}}$ — максимальне допустиме значення ризику інвестиційного портфеля.

В задачі (7)–(10) $x_i = 0$, якщо лот v_i не ввійшов до інвестиційного портфеля, і $x_i = 1$, якщо лот v_i входить в інвестиційний портфель.

Для знаходження оптимального розв'язку задачі (7)–(10) необхідно вибрати такі лоти з множини v_1, v_2, \dots, v_n , які б не порушували обмежень (8)–(10) максимізувати цільову функцію (7).

Для розв'язання задачі (7)–(10) у статті [20] застосовується метод гілок та границь. Виникає питання: чи дійсно метод гілок та гра-

ниць є найкращим для застосування в даному випадку? Аналіз задачі (7)–(10) показує, що ця задача є добре відомою задачею “про ранець”. Для наочності введемо нові позначення коефіцієнтів і правих частин моделі (7)–(10):

$$v_i(\bar{\gamma}_i - \alpha_i) = c_i, \quad v_i \alpha_i = \alpha'_i, \quad v_i \alpha_i \frac{\beta_i}{F} = \alpha''_i, \quad F = b', \\ \beta_{гр} = b''.$$

Зауважимо, що доданок F в лівій частині цільової функції (7) ніяк не впливає на шуканий розв'язок, тому його можна просто відкинути. Беручи до уваги нові позначення та зауваження відносно F зведемо задачу (7)–(10) до такого вигляду:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha'_i x_i \leq b',$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha''_i x_i \leq b'',$$

$$x_i \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n.$$

У цьому вигляді задача (7)–(10) відповідає моделі задачі “про ранець” [21].

Задача розв'язується за допомогою існуючих пакетів програм. Також розроблена оригі-

нальна авторська програма, ефективність якої багаторазово перевірена на задачах даного класу [22].

Висновки

Виконаний огляд праць стосовно формування та керування інвестиційним портфелем дав змогу визначити основні напрями наукового дослідження, необхідного для успішного розвитку інвестиційної діяльності. Серед цих напрямів: 1) розробка та застосування нових моделей і методів прогнозування гетероскедастичних процесів; 2) формалізація можливою мірою “важко формалізованих” задач з метою мінімізації суб'єктивної складової в їх розв'язку; 3) створення точніших та більш швидкодіючих алгоритмів для розв'язання як відомих, так і нових інвестиційних задач великої вимірності.

З розвитком інтернет-трейдингу на ринках цінних паперів з швидкоплинною зміною ситуацій перевагу будуть мати інвестори, в розпорядженні яких є якісний інструментарій для аналізу та прогнозування ситуацій на ринку.

Подальший розвиток нинішньої роботи спрямовано на поглиблення теоретичного дослідження задачі формування портфеля і програмну реалізацію розробленого методу та його практичне застосування.

Ю.С. Боримский, П.И. Бидюк, А.В. Федоров

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛЕЙ АКТИВОВ В ИНВЕСТИЦИОННОМ КАПИТАЛЕ

Статья посвящена разработке новых алгоритмов формирования инвестиционного портфеля. Предложен новый алгоритм решения задачи предварительного отбора активов для инвестиционного портфеля и задачи распределения инвестиционного капитала между активами с учетом таких факторов: доходность, диверсификационный риск и ликвидность.

Yu.S. Borymsky, P.I. Bidiuk, A.V. Fedorov

THE ALGORITHMS FOR SELECTING THE PORTFOLIO STOCKS AND DETERMINING THEIR SHARES IN THE INVESTMENT CAPITAL

The article considers the development of new algorithms for selecting the portfolio stocks. A new algorithm is proposed for solving the problem of stock selection for the investment portfolio and the problem of the investment capital distribution between the stocks taking into consideration returns, diversification risk and liquidity.

1. Поленок С. Электронный рынок стае реальностью // Финансовые риски. – 2008. – № 1 (50). – С. 79–81.
2. Шарп У.Ф., Александер Г.Дж., Бейли Дж.В. Инвестиции. – М: ИНФРА–М, 1999. – 1028 с.

3. Боди З., Кейн А., Маркус А.Дж. Принципы инвестиций. – М.; СПб.; К., 2004. – 982 с.
4. Долінський Л., Павленко Ю. Деякі аспекти кількісного аналізу ефективності управління активами інститутів

- спільного інвестування // Ринок цінних паперів України. – 2007. – № 3-4. – С. 53–58.
5. *Моделювання та прогнозування нелінійних динамічних процесів* / Під ред. П.І. Бідюка. – К.: ЕКМО, 2004. – 120 с.
 6. *Романенко В.Д., Билый А.В.* Синтез и адаптивная настройка GARCH для прогнозирования дисперсий гетероскедастических процессов с разнотемповой дискретизацией // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – № 1. – С. 114–126.
 7. *Боримський Ю.С., Кондратова Л.П.* Метод прогнозування часових рядів колективом лінійних регресійних моделей // Наукові вісті НТУУ "КПІ." – 2004. – № 4. – С. 71–77.
 8. *Боримський Ю.С., Любащенко Н.Д.* Адаптивний, мультимодельний метод для робастного та уточнюючого прогнозування випадкових процесів // Наукові вісті НТУУ "КПІ." – 2007. – № 1. – С. 42–48.
 9. *Боримський Ю.С., Любащенко Н.Д.* Метод робастного прогнозування багатовимірних часових рядів з використанням послідовально-паралельних чисельних // Сб. 7-й Міжнарод. конф. "Інтелектуальний аналіз інформації", ІАІ-2007, Київ, 15–18 мая 2007г. – К.: Просвіта, 2007. – С. 21.
 10. *Боримський Ю.С., Копычко С.Н., Балабан Р.Н.* Метод двусторонних соседей и его применение к задаче прогнозирования временных рядов // Сб. 8-й Міжнарод. конф. "Інтелектуальний аналіз інформації", ІАІ – 2008, Київ, 14–17 мая 2008 г. – К.: Просвіта, 2008. – С. 117–122.
 11. *Недосекин А.О.* Нечеткие множества в задачах управления финансами // Аудит и финансовый анализ. – 2000. – № 2. – С. 140–160.
 12. *Рив С.* Индексное инвестирование и фонды, обращающиеся на бирже // Рынок ценных бумаг. – 2007. – № 9 (336). – С. 20–21.
 13. *Василенко И., Задерей Н.* Заманчивые и опасные // Фондовый рынок. – 2008. – № 5. – С. 8–11.
 14. *Armano G., Murru A., Roli F.* Stock market prediction by a mixture of genetic-neural experts // International journal of pattern recognition and artificial intelligence. – 2002. – 16, N 5. – P. 501–526.
 15. *Минкина П.* О путях повышения эффективности инвестирования средств пенсионных фондов // Рынок ценных бумаг. – 2008. – № 5 (356). – С. 77–80.
 16. *Назарчук М.* Оценка ликвидности ценных бумаг по результатам биржевых торгов // Рынок ценных бумаг. – 2008. – № 8 (359). – С. 68–72.
 17. *Недосекин А.О.* Монотонные фондовые портфели и их оптимизация // Аудит и финансовый анализ. – 2002. – № 2. – С. 68–72.
 18. *Артемяева Е.С.* Учет отношения инвестора к риску в задаче оптимизации инвестиционного портфеля // Там же. – 2007. – № 3. – С. 287–296.
 19. *Синявская О.А.* Модели и методики многокритериальной портфельной оптимизации // Там же. – № 1. – С. 418–427.
 20. *Мищенко А.В., Виноградова Е.В.* Оптимизация портфеля финансовых активов при ограничении на их целочисленность // Финансовый менеджмент. – 2006. – № 5. – С. 66–77.
 21. *Результаты Всесоюзного конкурса "Ранец-85"* // Экономика и математические методы. – 1988. – 24, вып. 1. – С. 177–181.
 22. *Боримський Ю.С.* Приближенный метод решения многомерной задачи о ранце // Р308.00019-01: Акт № 429 экспертной комиссии СМОФАП Киевского ПКБ АСУ. – 1984. – 2 с.

Рекомендована Радою
Навчально-наукового комплексу
"Інститут прикладного системного
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
9 березня 2009 року