

2. Тимашова, Л. Економіко-математичні моделі оцінки діяльності підприємства в ринковій економіці [Текст] / Л. Тимашова, О. Степаненко // Вісник Академії праці і соціальних відносин Федерації профспілок України. — Київ, 2004. — № 3(27). — С. 79–90.
3. Кухарев, В. Н. Экономико-математические методы и модели в планирование и управлении [Текст] / В. Н. Кухарев, В. Н. Салли, А. М. Эрперт. — К.: Вища школа, 1991. — 328 с.
4. Козадаев, А. С. Прогнозирование временных рядов с помощью аппарата искусственных нейронных сетей. Краткосрочный прогноз температуры воздуха [Текст] / А. С. Козадаев, А. А. Арзамасцев // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. — 2006. — № 3, Т. 11. — С. 299–304.
5. Орлова, И. В. Прогнозирование выдачи ипотечных кредитов с помощью модели Брауна [Текст] / И. В. Орлова, М. А. Махвытов // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 7–3. — С. 22–24.
6. Снитюк, В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми [Текст]: навч. посіб. / В. Є. Снитюк. — К.: «Маклаут», 2008. — 364 с.
7. Матвійчук, А. В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки [Текст] / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2007. — 264 с.
8. Мендель, А. С. Метод аналогов в прогнозировании коротких временных рядов: экспертно-статистический подход [Текст] / А. С. Мендель // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 4. — С. 143–152.
9. Зайченко, Ю. П. Нечіткі нейронні мережі і генетичні алгоритми в задачах макроекономічного прогнозування [Текст] / Ю. П. Зайченко, Моамед Мухамед, Н. В. Шаповаленко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2002. — № 4. — С. 20–30.
10. Kasabov, N. K. DENFIS: dynamic evolving neural-fuzzy inference system and its application for time-series prediction [Text] / N. K. Kasabov, Qun Song // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. — 2002. — Vol. 10, № 2. — P. 144–154. doi:10.1109/91.995117
11. Chatfield, C. The analysis of time series: an introduction [Text] / C. Chatfield. — CRC Press, 2013. — 352 p.
12. Van Gestel, T. Financial time series prediction using least squares support vector machines within the evidence framework [Text] / T. Van Gestel, J. A. K. Suykens, D.-E. Baestaens, A. Lambrechts, G. Lanckriet, B. Vandaele, B. De Moor, J. Vandewalle // IEEE Transactions on Neural Networks. — 2001. — Vol. 12, № 4. — P. 809–821. doi:10.1109/72.935093
13. Транспорт і зв'язок України 2013 рік [Текст]: статистичний збірник / Державна служба статистики. — К., 2013. — 552 с.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ПРОГНОЗНОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Предлагается схема прогнозирования временных рядов, которая синтезируется с помощью базовых прогнозирующих моделей на заданном промежутке времени. Оптимальный шаг предьстории определяется при минимизации функционала среднеквадратичного отклонения при оптимальных параметрах модели авторегрессии. При синтезе прогнозирующей схемы для каждой базовой модели определяется весовой коэффициент, с которым она входит в конечную прогнозирующую схему.

**Ключевые слова:** тренд, модель прогнозирования, временной ряд, функционал, шаг прогноза, авторегрессия, обучение.

*Гече Федір Елемірович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: fgeche@hotmail.com.*

*Мулеца Оксана Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: mulesa.oksana@gmail.com.*

*Гече Сандра Федорівна, кандидат економічних наук, викладач, кафедра економічної теорії, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: bonatia666@mail.ru.*

*Вашкеба Михайло Михайлович, аспірант, кафедра кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: vashkebam1991@gmail.com.*

*Гече Федор Елемірович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Мулеца Оксана Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Гече Сандра Федорівна, кандидат економічних наук, преподаватель, кафедра економічної теорії, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Вашкеба Михайл Михайлович, аспірант, кафедра кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Geche Fedir, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: fgeche@hotmail.com.*

*Mulesa Oksana, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: mulesa.oksana@gmail.com.*

*Geche Sandra, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: bonatia666@mail.ru.*

*Vashkeba Mykhailo, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: vashkebam1991@gmail.com*

УДК 004.021

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44992

Мочалин А. Е.

## БИНАРНО-ВЕЩЕСТВЕННОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕШЕНИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМАХ

Проанализированы основные достоинства и недостатки наиболее распространенных способов кодирования решений в генетических алгоритмах: бинарного и вещественного. Представлен новый бинарно-вещественный метод кодирования. Проведены исследования эффективности использования нового метода кодирования в генетических алгоритмах, показано в каких ситуациях он имеет преимущества над бинарным кодированием и над кодированием действительными числами.

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, бинарное кодирование, вещественное кодирование, оптимизация.

### 1. Введение

При расчете различных задач очень часто возникает проблема поиска оптимальных решений. Более того,

можно утверждать, что большинство задач науки и техники относятся к обширному классу проблем поиска оптимальных решений, то есть к оптимизационным задачам [1]. Таким образом, задачи оптимизации играют

очень важную роль в науке и технике. Первые математические методы решения оптимизационных задач возникли уже в XVIII веке (вариационное исчисление, численные методы и др. [2]), однако по-настоящему широкое применение методы оптимизации получили во второй половине XX века (этому способствовало бурное развитие ЭВМ).

Одним из перспективных методов оптимизации являются генетические алгоритмы (ГА) [3, 4]. Генетические алгоритмы — это поисковые алгоритмы, основанные на селекции и генетике, предложенные американским ученым Джоном Холландом в конце 60-х годов XX столетия [5]. Генетические алгоритмы оперируют хромосомами (закодированными решениями), которые в свою очередь состоят из ген (отдельных параметров искомого решения). Для эффективной работы ГА используются различные методики кодирования решений в хромосомах. Одним из главных преимуществ генетических алгоритмов является то, что они могут эффективно применяться для решения сложных неформализованных задач, для которых не разработано специальных методов. Так же можно получить очень интересные результаты при сочетании различных существующих методов оптимизации и генетических алгоритмов.

Таким образом, можно смело утверждать, что генетические алгоритмы — это современный метод решения оптимизационных задач, а исследования способов кодирования решений в хромосомах являются актуальной научной задачей, решение которой может значительно повысить эффективность работы ГА.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Генетические алгоритмы оперируют с решениями оптимизационной задачи в закодированном виде (хромосомами) [4]. В настоящее время, в зависимости от представления генов в хромосомах принято выделять: двоичные хромосомы, числовые хромосомы, векторные хромосомы [6]. Каждый из перечисленных типов хромосом используют различные типы кодирования ген.

За более чем сорокалетнюю историю развития теории ГА были разработаны различные способы эффективного кодирования ген. И в настоящее время продолжается разработка новых подходов к кодированию решений в ГА, например весовое кодирование [7]. Большинство известных способов кодирования можно разделить на следующие классы [8]:

- бинарное кодирование;
- кодирование действительными числами (вещественное кодирование);
- целочисленное кодирование;
- кодирование общей структуры данных.

Каждый из указанных типов кодирования имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее распространенными способами кодирования являются: бинарное кодирование и кодирование действительными числами. Остальные типы кодирования не получили такого массового распространения в ГА и используются только в редких случаях.

В настоящее время существует огромное количество работ посвященных сравнению бинарного и действительного кодирования [9]. Считается, что двоичный алфавит, который используется в бинарном кодировании, позволяет обрабатывать максимальное количество ин-

формации по сравнению с другими схемами кодирования [10]. Один из существенных недостатков бинарного кодирования заключается в существовании хеммингова сдвига для пары закодированных значений, имеющих большое хеммингово расстояние, в то время, как эти величины принадлежат к точкам с минимальным расстоянием в фенотипическом пространстве [8]. Чтобы преодолеть указанный недостаток обычно используют для кодирования код Грея, в котором соседние числа отличаются друг от друга только на один бит. Более подробно с использованием кода Грея в ГА можно ознакомиться в работе [11].

Главная проблема двоичного представления решений в хромосомах состоит в том, что оно влечет за собой определенные трудности при оптимизации функций в непрерывных пространствах, которые связаны с большой размерностью пространства поиска. Частично эта проблема решается за счет использования специального приема, в котором весь интервал допустимых значений признака объекта разбивается на участки с требуемой точностью [10].

При кодировании действительными числами гены представляют собой вещественные числа. Применение вещественного кодирования в хромосомах может повысить точность найденных решений [10]. Так же отпадает необходимость в преобразовании битовых строк, представляющих решения задачи, в вещественные числа [12]. Однако скорость работы ГА с вещественным кодированием может сильно уступать ГА с бинарным кодированием из-за увеличения области поиска решений (в бинарном кодировании область поиска можно значительно сузить, разбив её на интервалы с требуемой точностью).

Таким образом, можно констатировать тот факт, что в настоящее время наиболее распространенные способы кодирования решений в ГА: бинарное и вещественное, имеют как свои достоинства, так и недостатки. Поэтому разработка нового подхода к кодированию решений в генетических алгоритмах, который вберет в себя самое лучшее из бинарного и вещественного кодирования и при этом попытается нивелировать недостатки этих методов, является важной научной задачей.

## 3. Объект, цели и задачи исследования

*Объектом исследования* являлся новый способ кодирования решений в генетических алгоритмах, основанный на совместном использовании бинарного и вещественного кодирования.

*Целью исследований* было проанализировать преимущества и недостатки предложенного метода кодирования, и предоставить рекомендации по его использованию в тех или иных случаях.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- была проведена сравнительная характеристика оптимизации сложной функции большого числа параметров генетическим алгоритмом с использованием бинарного кодирования (применялся код Грея) и с использованием нового способа кодирования решений;
- была проведена сравнительная характеристика оптимизации сложной функции большого числа параметров генетическим алгоритмом с использованием вещественного кодирования и с использованием нового способа кодирования решений.

#### 4. Материалы и методы исследования эффективности бинарно-вещественного кодирования в генетических алгоритмах

**4.1. Бинарно-вещественное кодирование в генетических алгоритмах.** Бинарно-вещественное кодирование подразумевает последовательное использование двоичного кодирования и кодирования действительными числами возможных решений задачи. На начальном этапе работы генетического алгоритма используется бинарное кодирование, при этом интервал допустимых значений  $[a_i, b_i]$  оптимизируемого параметра разбивают на небольшие участки. Для преобразования целочисленного значения хромосомы  $g_i$ , из множества  $\{0, \dots, 2^K\}$ , в вещественное число  $r_i$ , из интервала допустимых решений, пользуются формулой:

$$r_i = g_i \frac{(b_i - a_i)}{2^K - 1} + a_i. \quad (1)$$

После того, как генетический алгоритм с бинарным кодированием отработал, можно получить популяцию особей на последней итерации. На основе этих решений автор в данной работе создает исходную популяцию для ГА с вещественным кодированием. Далее необходимо продолжить поиск решений оптимизационной задачи ГА с использованием кодирования хромосом действительными числами.

Таким образом, после первого этапа получаем приближенные решения. При этом скорость получения данных решений заведомо быстрее, чем при использовании ГА с вещественным кодированием, в силу того, что автор статьи значительно сужает область поиска, разбивая интервал возможных решений на небольшие участки. Далее, используя ГА с вещественным кодированием, автор может добиться требуемой точности решений. В тоже время, используя только ГА с вещественным кодированием, без предварительного поиска приближенных решений, необходимо было бы потратить значительно большее время для достижения результатов с той же точностью, что и при использовании ГА с бинарно-вещественным кодированием.

**4.2. Методика определения эффективности использования различных способов кодирования решений.** Что бы оценить эффективность того или иного способа кодирования исследовались такие параметры работы ГА, как точность полученного решения и время работы генетического алгоритма, потраченное на его нахождение.

Точность работы генетического алгоритма оценивалась абсолютной погрешностью полученных результатов:

$$\Delta = |X_{ГА} - X|, \quad (2)$$

где  $X_{ГА}$  — решение, полученное генетическим алгоритмом;  $X$  — истинное решение задачи.

Что бы оценить время работы ГА, подсчитывалось количество итераций (поколений), затраченных на получения конечного решения. Чем больше требовалось итераций, тем большее время работал алгоритм. Экспериментальные данные показали, что время расчета одной итераций остается постоянной величиной.

Обычно ГА тестируют на сложных многоэкстремальных функциях, зависящих от большого числа параметров [3]. Именно при оптимизации таких функций можно увидеть все преимущества генетических алгоритмов над классическими методами оптимизации, которые очень часто принимают локальные экстремумы за глобальный. Одной из таких сложных функций является инвертированная функция Растргина, зависящая от 10 переменных:

$$f(x) = 100 - \sum_{i=1}^{10} (10 \cos(2\pi x_i) - x_i^2), \quad (3)$$

которая на интервале  $-5,12 < x < 5,12$  имеет один глобальный и  $10^{10} - 1$  локальных экстремумов. Данная функция использовалась в качестве тестовой для оценки эффективности различных вариантов ГА.

При оптимизации функции Растргина использовался классический генетический алгоритм [3], в который был добавлен элитный отбор особей переходящих на следующую итерацию, что бы ускорить скорость сходимости алгоритма.

Сравнивалась эффективность использования нового бинарно-вещественного кодирования и наиболее известных способов кодирования: бинарного (с использованием кода Грея) и вещественного. Длина одного гена при бинарном кодировании составляла 8 бит.

В классическом генетическом алгоритме с кодированием действительными числами применялся один из наиболее распространенных операторов скрещивания — кроссовер Bin2 [10]. Вещественный оператор мутации менял значения случайного гена из хромосомы на случайное число из множества допустимых решений.

При бинарно-вещественном кодировании ГА отработывал половину итераций с бинарным кодированием и половину итераций с кодированием действительными числами.

Известно, что генетические алгоритмы обладают вероятностными характеристиками и используют стохастичность. Поэтому, чтобы определить эффективность каждого из рассматриваемых способов кодирования, учитывались усредненные по 100 запускам параметры работы ГА.

#### 5. Результаты исследования эффективности бинарно-вещественного кодирования решений

На рис. 1 представлены результаты сравнения бинарного и бинарно-вещественного способов кодирования решений при оптимизации инвертированной функции Растргина 10 переменных.

Из рис. 1 видно, что абсолютная погрешность ГА с бинарным кодированием меньше абсолютной погрешности ГА с бинарно-вещественным кодированием при числе поколений меньше 100, с дальнейшим увеличением числа поколений наблюдается обратная ситуация. При числе поколений 3000 абсолютная погрешность ГА с бинарно-вещественным кодированием на порядок ниже, чем у ГА с бинарным представлением решений в хромосомах.

На рис. 2 представлены результаты использования вещественного и бинарно-вещественного кодирования решений в ГА при оптимизации тестовой функции.

Основываясь на графиках, представленных на рис. 2, видно, что точность ГА с бинарно-вещественным кодированием превышает точность ГА с кодированием действительными числами при числе поколений меньше 3000.

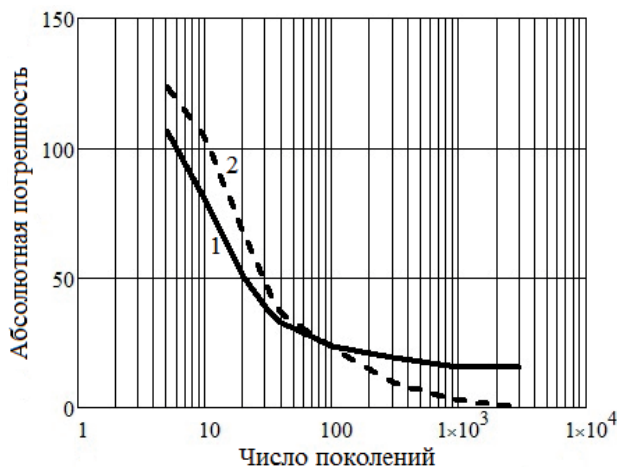


Рис. 1. Зависимость абсолютной погрешности найденных ГА решений при оптимизации инвертированной функции Растригина от числа поколений: 1 — бинарное кодирование решений; 2 — бинарно-вещественное кодирование решений

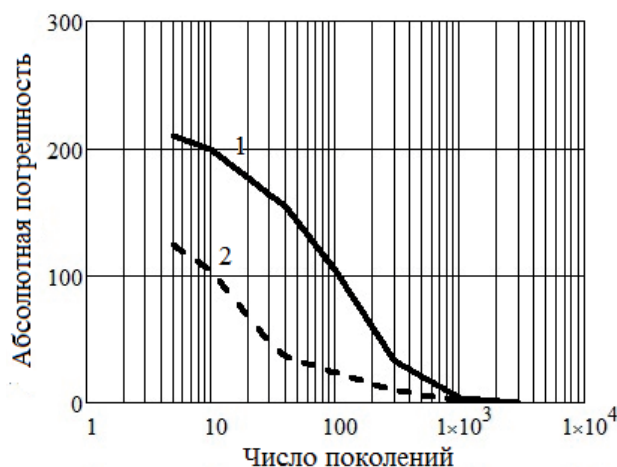


Рис. 2. Зависимость абсолютной погрешности найденных ГА решений при оптимизации инвертированной функции Растригина от числа поколений: 1 — вещественное кодирование решений; 2 — бинарно-вещественное кодирование решений

## 6. Обсуждение результатов исследования эффективности применения в генетических алгоритмах бинарно-вещественного кодирования решений

На эффективность работы генетических алгоритмов может влиять способ кодирования решений задачи. Предложенный автором метод бинарно-вещественного кодирования в ГА сочетает в себе лучшие стороны бинарного кодирования и кодирования действительными числами.

Из экспериментальных данных (рис. 2) видно, что бинарно-вещественное кодирование позволяет получать более точные результаты, чем вещественное кодирование, за меньшее время, и только при больших вычислительных затратах точность найденных решений с использованием вещественного кодирования превышает точность решений найденных с использованием бинарно-вещественного.

При сравнении бинарного и бинарно-вещественного кодирования в ГА (рис. 1) можно утверждать, что эффективность бинарно-вещественного кодирования проявляется при средних и больших вычислительных затратах. В этом случае использования бинарного кодирования целесообразно только тогда, когда вы имеете очень ограниченные вычислительные ресурсы и хотите получить лишь очень приближенные решения.

К ограничениям экспериментов можно отнести использование только одной тестовой функции, поэтому в дальнейшем планируется провести исследования на большем количестве тестовых функций. Так же, еще одним направлением дальнейших исследований является поиск оптимального соотношения итераций с бинарным кодированием и итераций с кодированием действительными числами при использовании бинарно-вещественного кодирования в ГА.

В целом практическое использование бинарно-вещественного кодирования решений в ГА оправдано в том случае, если необходимо получить результаты высокой (но не максимальной) точности за приемлемое время. В иных случаях лучше воспользоваться другими способами кодирования.

## 7. Выводы

В работе был представлен новый метод бинарно-вещественного кодирования решений в генетических алгоритмах, который сочетает в себе достоинства, как бинарного кодирования, так и кодирования действительными числами. В результате проведенных исследований эффективности бинарно-вещественного метода кодирования решений можно сделать следующие выводы:

1. Использование нового способа кодирования в ГА позволяет получать более точные решения оптимизационных задач, чем при использовании бинарного кодирования.
2. Генетические алгоритмы с бинарно-вещественным методом кодирования позволяют получать решения той же точности, как и при использовании кодирования действительными числами, но за меньшее количество итераций.

В целом, можно утверждать, что использование бинарно-вещественного кодирования в генетических алгоритмах позволяет решать задачи оптимизации с достаточно высокой точностью при умеренных вычислительных затратах.

## Литература

1. Гилл, Ф. Практическая оптимизация [Текст]: пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. — М.: Мир, 1985. — 509 с.
2. Калиткин, Н. Н. Численные методы [Текст] / Н. Н. Калиткин. — М.: Наука, 1978. — 512 с.
3. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы [Текст] / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с.
4. Whitley, D. A genetic algorithm tutorial [Text] / D. Whitley // Statistics and Computing. — 1994. — Vol. 4, № 2. — P. 65–85. doi:10.1007/bf00175354
5. Holland, J. H. Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence [Text] / J. H. Holland. — Cambridge: A Bradford Book, 1992. — 211 p.
6. Курейчик, В. В. Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах [Текст] / В. В. Курейчик, П. В. Соколов // Известия ЮФУ. — 2008. — № 9. — С. 7–12.
7. Raidl, G. R. Weight — codings in a genetic algorithm for the multiconstraint knapsack problem [Text] / G. R. Raidl // Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation. — 1999. — Vol. 1. — P. 596–603. doi:10.1109/cec.1999.781987

8. Курейчик, В. В. О правилах представления решений в эволюционные алгоритмах [Текст] / В. В. Курейчик, С. И. Родзин // Известия ЮФУ. — 2010. — № 7. — С. 13–22.
9. Belea, R. A new method of gene coding for a genetic algorithm designed for parametric optimization [Text] / R. Belea, L. Beldiman // The Annals of University «Dunarea de Jos» of Galati. — 2003. — № 3. — P. 66–71.
10. Тенеев, В. А. Применение генетических алгоритмов с вещественным кроссовером для минимизации функций большой размерности [Текст] / В. А. Тенеев // Интеллектуальные системы в производстве. — 2006. — № 1(7). — С. 93–107.
11. Chakraborty, U. K. An analysis of Gray versus binary encoding in genetic search [Text] / U. K. Chakraborty, C. Z. Janikow // Information Sciences. — 2003. — Vol. 156, № 3–4. — P. 253–269. doi:10.1016/s0020-0255(03)00178-6
12. Wright, A. Genetic algorithms for real parameter optimization [Text] / A. Wright // Foundations of Genetic Algorithms. — 1991. — Vol. 1. — P. 205–218. doi:10.1016/b978-0-08-050684-5.50016-1

#### БІНАРНО-ДІЙСНЕ КОДУВАННЯ РІШЕНЬ В ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМАХ

Проаналізовано основні переваги і недоліки найбільш поширених способів кодування рішень в генетичних алгоритмах:

бінарного і дійсного. Представлено новий бінарно-дійсний метод кодування. Проведено дослідження ефективності використання нового методу кодування в генетичних алгоритмах, показано в яких ситуаціях він має переваги над бінарним кодуванням і над кодуванням дійсними числами.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, бінарне кодування, дійсне кодування, оптимізація.

*Мочалин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных технологий, Киевская государственная академия водного транспорта им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Украина, e-mail: a.y.mochalin@gmail.com.*

*Мочалин Олександр Євгенович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій, Київська державна академія водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Україна.*

*Mochalin Oleksandr, Kyiv State Maritime Academy named after hetman Petro Konashevich-Sahaydachniy, Ukraine, e-mail: a.y.mochalin@gmail.com*

УДК 005.8:658.15

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.45023

Пшінько О. М.,  
Климова Т. В.,  
Гродецька С. М.

## РОЗРАХУНОК ДОХОДНОСТІ І РИЗИКУ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ШАРПА

*Раніше в практиці формування портфеля проектів модель Шарпа не використовувалась. Актуальною науково-прикладною задачею є розробка методів і моделей формування та планування реалізації портфеля інвестиційних проектів з урахуванням можливостей підприємства та впливу різних ризиків. Застосування даної моделі дозволяє оптимізувати оцінку ризику і прибутковості, як окремих проектів, так і всього портфеля на основі аналізу ринкового індексу, за умовою стабільності та прогнозованості ринку.*

**Ключові слова:** модель Шарпа, ризик, проектні та портфельні ризики, безризикові цінні папери, прибутковість.

### 1. Вступ

Через скрутну економічну та політичну ситуацію в країні, успішна реалізація проектів набуває рівня особливо складної та комплексної задачі. Тому пріоритетними стають методи, що дають змогу оцінити ризик і прибутковість, як окремих проектів, так і всього портфеля на основі аналізу ринкового індексу.

Раніше в практиці формування портфеля проектів модель Шарпа не використовувалась. Застосування даної моделі дозволить оптимізувати розрахунок ризику і прибутковості портфеля проектів.

Актуальною науково-прикладною задачею є розробка методів і моделей формування та планування реалізації портфеля інвестиційних проектів з урахуванням можливостей підприємства та впливу різних ризиків.

За допомогою процесів управління ризиками проекту, керівники проектів досягають підвищення

ймовірності здійснення та впливу сприятливих ризикових подій на проект і знижують вірогідність виникнення і впливу небажаних ризикових подій, які в свою чергу можуть негативно вплинути на дохідність проекту [1]. На ранніх стадіях виконання проекту є можливість мінімізувати вплив ризику або уникнути його.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз літературних джерел показав, що модель Шарпа використовується для складання оптимального портфеля цінних паперів та ніколи раніше не використовувалась для формування портфелів інвестиційних проектів [2, 3]. Вперше практика використання методу Шарпа була запропонована в дисертаційній роботі Климової Т. В. [4].