

УДК 004.891.2

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ЦЕННЫХ БУМАГ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНЫХ МЕР РИСКА

Арнаутов Руслан Сергеевич¹,

магистрант, e-mail: R.S.Arnautov@gmail.com

Пимонов Александр Григорьевич^{1,2},

доктор техн. наук, профессор, научн. сотр., e-mail: pag_vt@kuzstu.ru

Рейзенбук Кристина Эдуардовна¹,

старший преподаватель, e-mail: sunstroke99@mail.ru

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630000, Россия, г. Новосибирск, просп. Лаврентьева, 17

Аннотация. В статье представлена разработанная система поддержки принятия решений, предназначенная для управления портфелем ценных бумаг. Работа программного комплекса основана на использовании энтропийной меры риска и модифицированного эвристического оптимизационного алгоритма имитации отжига. Адаптированный авторами для подбора долей портфеля алгоритм позволяет формировать портфели ценных бумаг по двум критериям: критерию минимизации риска при фиксированной доходности и критерию максимизации доходности при уровне риске, не превышающем заданного. В работе предложено оценивать уровень риска в сравнении с энтропией индекса ММВБ как основного показателя поведения фондового рынка.

Проведены вычислительные эксперименты по формированию низкоэнтропийного и высокодоходного без учета энтропийного риска портфелей на основе котировок ценных бумаг за период 1.01.2013–1.01.2014 и выполнен ретроспективный анализ доходностей сформированных портфелей на период 1.01.2014–1.01.2015. В результате исследования подтверждено предположение о применимости энтропии в качестве меры риска в задачах формирования и управления инвестиционными портфелями, обосновано использование алгоритма имитации отжига для оптимизации структуры портфеля ценных бумаг.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, меры риска, энтропия, рынок ценных бумаг, алгоритм имитации отжига, портфель ценных бумаг, программирование

Введение

Инвестирование в финансовые инструменты является привлекательным способом сохранения и преумножения имеющихся активов для хозяйствующих субъектов, однако помимо потенциальных выгод оно несет и опасность потерь вследствие различных факторов неопределенности. Одним из способов снижения рисков является диверсификация вложений с помощью формирования портфеля – совокупности различных ценных бумаг, принадлежащих физическому или юридическому лицу, в определенных пропорциях. Формируемый портфель должен соответствовать критериям доходности и риска, которые удовлетворяют инвестора. В последнее время для анализа поведения рынка ценных бумаг все чаще используются интеллектуальные методы, алгоритмы и модели: методы фрактального анализа [1], нейросетевые модели [2] и модели теории детерминированного хаоса [3]. Одним из перспективных направлений исследования является энтропийный подход [4, 5] – применение энтропийных мер риска при формировании портфеля ценных бумаг. Этот подход представляет определенный интерес, так как опи-

рается на системную природу рынка ценных бумаг и позволяет сравнивать между собой портфели по степени устойчивости их поведения по отношению к деструктирующим воздействиям на рынок. Недостаток информации о поведении рыночной системы приводит к повышению общего хаоса на фондовом рынке вследствие разнонаправленной реакции инвесторов, и показатель энтропии портфеля на определенных периодах как индикатор качества портфелей позволит оценивать, насколько рисковыми являются вложения в те или иные активы.

Портфельное инвестирование

Ценная бумага – особая форма существования капитала, отличная от всех остальных форм, представляющая его в качестве рыночного товара и способная приносить доход [6]. Портфель ценных бумаг – специально подобранный совокупность ценных бумаг, сформированная инвестором для целей инвестирования. Перечень и соотношение входящих в портфель ценных бумаг называется структурой портфеля [7].

Согласно [8] управление инвестиционным портфелем направлено на:

- извлечение дохода в виде процента или дивиденда;
- приращение капитала за счет роста курсовой стоимости ценных бумаг;
- обеспечение финансовой безопасности;
- сочетание всех перечисленных интересов.

Энтропия в качестве меры риска

Система представляет собой определённое множество взаимосвязанных элементов, образующих устойчивое единство и целостность, обладающее интегральными свойствами и закономерностями [9]. В работе [10] в качестве причины обменных процессов между различными системами и внутри систем обсуждается наличие неравновесных состояний. Неравновесные состояния являются следствием воздействия множества разнонаправленных потоков энергии, приложенной совокупностью агентов межсистемного и внутрисистемного взаимодействия. Таким образом, рынок ценных бумаг обладает системными свойствами. Следствием этого является то, что энтропийные закономерности применимы для него, со пряженных подсистем и их функций. В частности, измерение энтропии может быть использовано при анализе динамики стоимости портфелей. Большой интерес для исследования представляют энтропийные меры риска [11], развивающие концепцию информационной энтропии, предложенную К. Шенноном.

В работе [12] под энтропийным риском понимается возможность потерять инвестора в силу воздействия различных факторов неопределенности (отсутствия необходимой информации). В [12 – 14] обосновывается возможность применения энтропийного подхода для портфельного инвестирования.

В [15] вводится понятие месячной энтропии фондового рынка, которая измеряется с использованием значений рыночного индекса ММВБ:

$$ENTROPY = \sum_i \frac{MCX_i(t)}{AVMCX(t)} \ln \frac{MCX_i(t)}{AVMCX(t)},$$

где $MCX_i(t)$ – значение индекса ММВБ в i -й день месяца t ; $AVMCX(t)$ – среднее значение индекса за месяц t ; а суммирование производится по всем дням месяца t . Отмечается [15], что этот показатель подобен волатильности, но более чувствителен к провалам рынка, нежели к его росту, что может обратить дополнительное внимание инвестора при наличии негативной конъюнктуры рынка. Особенно это имеет значение в кризисные периоды, когда наблюдается значительный рост энтропии. В моменты возникновения финансовых кризисов происходит разрушение сложившихся связей, приводящее к высвобождению энтропии в рыночной системе. В любой системе связи характеризуют структурную сложность.

Нами данный подход использован [16] для измерения энтропии портфеля ценных бумаг за определенный период времени как показателя, характеризующего риск. Тогда энтропия портфеля

определяется следующим образом:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{P_i(t)}{AVP(t)} \ln \left(\frac{P_i(t)}{AVP(t)} \right),$$

где $P_i(t)$ – стоимость портфеля в i -й день периода t ; $AVP(t)$ – среднее значение стоимости портфеля за период t ; n – количество дней в периоде.

Сопоставляя энтропию портфеля с энтропией фондового рынка, мы можем проанализировать, насколько риск портфеля отличен от риска в целом по рынку, и получить объективный показатель, с помощью которого инвестор может оценить степень риска.

Алгоритм подбора долей ценных бумаг

Естественным является желание инвестора свести риск к минимуму и при этом получить определенный уровень доходности, либо максимизировать доходность при риске, не превышающем значения порогового. Различные соотношения долей (весов) портфеля влияют на его итоговые характеристики. Для решения этой задачи разумным является использования специальных (эвристических) алгоритмов поиска.

Для подбора долей ценных бумаг в портфеле предложено использовать эвристический оптимизационный алгоритм *имитации отжига*, преимуществами которого являются меньшая вероятность получения локального решения и универсальность. В работах [17, 18] отмечается, что данный алгоритм является одним из наиболее эффективных алгоритмов стохастического поиска для решения различных оптимизационных задач.

Алгоритм моделирует некоторые особенности физического процесса кристаллизации вещества при отжиге металлов [19]. В данном процессе, проходящем при постепенно снижающейся температуре, происходит постепенное улучшение структуры металла за счет минимизации энергии атомов и формирования устойчивой кристаллической решетки. В алгоритме по аналогии с этим процессом используются такие понятия как энергия, температура, состояние. Энергия – параметр, для которого проводится оптимизация. Под состоянием понимается структура системы, которая изменяется в ходе выполнения алгоритма и относительно которой производится измерение энергии (в нашем случае в роли энергии выступает энтропия). Значение температуры используется в качестве критерия остановки процесса. Этот параметр влияет на вероятности изменения состояния. В алгоритме имитации отжига также фигурирует функция изменения температуры, значение которой уменьшается в процессе поиска. Алгоритм останавливается при достижении минимальной температуры. На каждой итерации вызывается функция изменения состояния. В случае портфелей под функцией изменения состояния мы понимаем случайное изменение соотношения пары бумаг. При изменении состояния в сторону уменьшения энергии новое состояние используется как текущее, в противном случае переход про-

изводится с определенной вероятностью, зависящей от изменения энергии и температуры. Разумно производить несколько попыток изменения состояния с оценкой энергии, прежде чем приступить к вероятностному переходу. Так как уменьшение энтропии в ходе процесса может привести к появлению структур с неприемлемой доход-

ностью, то лучшее решение запоминается для каждой итерации. Для повышения надежности поиска структуры с требуемыми параметрами может производиться неоднократный вызов алгоритма. Блок-схема адаптированного для решения нашей задачи алгоритма отжига Больцмана [20] приведена на рис. 1.

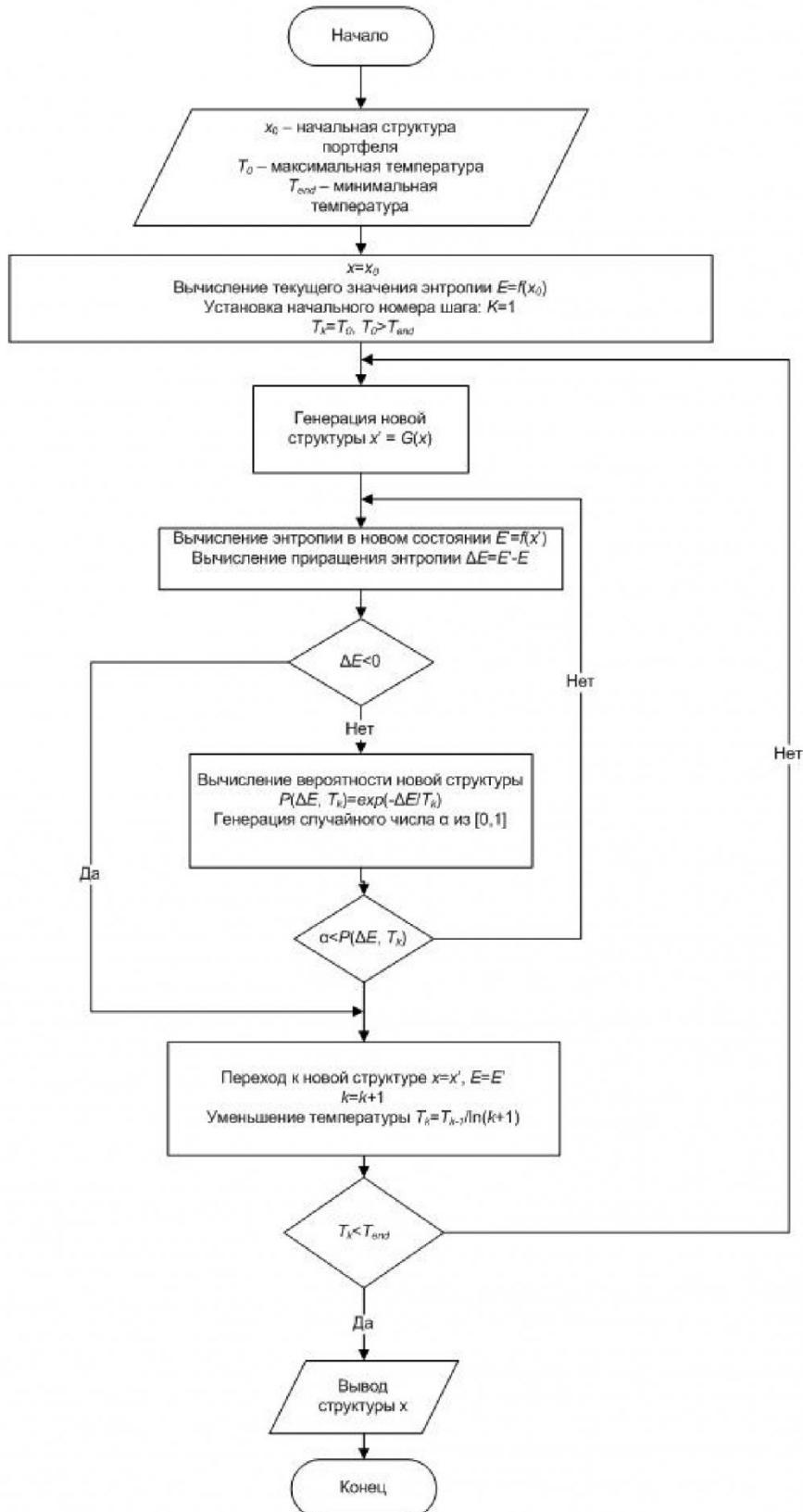


Рис. 1. Блок-схема алгоритма имитации отжига, адаптированного для подбора долей портфеля

Таблица 1. Сформированные портфели ценных бумаг

Портфель, состоящий из низкоэнтропийных бумаг				Портфель, состоящий из высокодоходных бумаг, без учета энтропии			
Эмитент	Энтропия	Доходность	Доля, %	Эмитент	Энтропия	Доходность	Доля, %
ОАО «Лукойл»	0,14109	0,00741	40	«Магнит» – ЗАО «Тандер»	3,31422	0,8543	20
ОАО «Банк Москвы»	0,21364	-0,02093	41	Аэрофлот	1,78549	0,80435	20
ОАО «Сбербанк России»	0,29253	0,03061	2	ОАО АФК «Система»	3,81245	0,69231	20
ОАО «Алроса»	0,438	0,16667	16	ОАО «Мегафон»	1,84045	0,47995	20
ОАО «Татнефть»	0,43899	-0,05882	1	ОАО «Камаз»	6,42852	0,37838	20
Весь портфель	0,04	0,02	100	Весь портфель	2,37	0,62	100
Контрольный период	0,18	0,13		Контрольный период	5,57	-0,53	

Система поддержки принятия решений

Для управления портфелем ценных бумаг разработана система поддержки принятия решений, целью которой является помочь людям, принимающим решение о формировании портфеля в сложных условиях финансового рынка на основе полного и объективного анализа предметной области.

В состав разработанной системы включены два основных модуля:

1) модуль работы с ценными бумагами, представляющий возможность импорта данных о котировках ценных бумаг, удаления и просмотра котировок;

2) конструктор портфелей (рис. 2), позволяющий формировать инвестиционные портфели на основе адаптированного эвристического алгоритма имитации отжига по двум критериям (критерию минимизации риска при фиксированной доходности и критерию максимизации доходности при фиксированном риске), редактировать состав портфеля ценных бумаг и осуществлять ручной подбор долей в его составе.

В системе поддержки принятия решений реализована возможность графической визуализации динамики энтропии сформированного портфеля ценных бумаг в сравнении с динамикой энтропии индекса ММВБ за выбранный временной период времени (рис. 3).

Апробация

Для оценки эффективности используемой меры риска было решено провести ретроспективный анализ доходности формируемых системой поддержки принятия решений портфелей. Для анализа использованы данные котировок, предоставленные компанией «Финам» [21], следующих эмитентов: ОАО «Алроса», ОАО «Аэрофлот – Российские авиалинии» (Аэрофлот), ОАО «Банк Москвы», «Группа ГАЗ», ОАО «Камаз», ОАО «Лукойл», «Магнит» – ЗАО «Тандер», «МВидео», ОАО «Мегафон», ОАО «Мобильные ТелеСистемы» (МТС), ОАО «Полюс Золото», ОАО «Распадская», ОАО «НК «Роснефть», ОАО «Русский

алюминий» (РусАл), ОАО «Сбербанк России», ОАО АФК «Система», ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Татнефть», ОАО «УАЗ», ОАО «Южный Кузбасс».

Период формирования портфеля: 1.01.2013 – 1.01.2014. Первый портфель (табл. 1) формируется из пяти самых низкоэнтропийных бумаг, выбранных из списка эмитентов, подбор весов осуществляется автоматически системой с требованием безубыточности. Второй портфель составляется из пяти наиболее доходных в период формирования бумаг, доли распределяются равномерно. Структуры портфелей, сформированные с помощью системы, приведены в табл. 1. На контрольном периоде 1.01.2014 – 1.01.2015 вычислены итого-

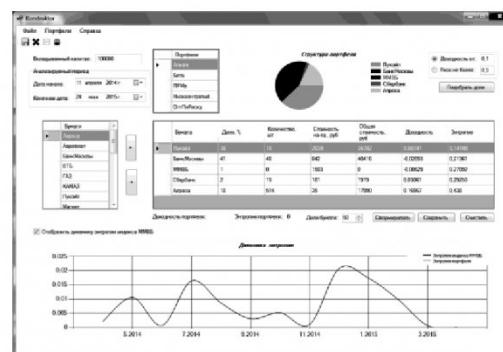


Рис. 2. Форма конструктора портфелей
и его характеристики

Для низкоэнтропийного портфеля (табл. 1) доходность составила 0,13, показатель энтропии – 0,18. Для портфеля, сформированного из прибыльных в прошлом бумаг (табл. 1), доходность оказалась отрицательной и составила -0,53, при этом энтропия – 5,57.

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что использование энтропии в качестве меры риска правомерно и отражает объективные системные закономерности функционирования фондового рынка. Формирование консервативных портфелей с низким риском позволяет получить не столько высокую, но стабильную доходность. Использование же при



Рис. 3. Динамика энтропии сформированных портфелей

инвестировании высокодоходных бумаг без учета энтропийного риска может приводить к нежелательным для инвестора последствиям. На рис. 3 представлена динамика энтропии на контролльном периоде времени для портфеля, составленного из ранее высокодоходных бумаг. Из графика видно, что риск для данного портфеля стабильно превышает общерыночный, что подтверждает высокую изменчивость поведения портфеля в зависимости от системных колебаний. Портфель же, который при формировании демонстрировал низкий уровень энтропии, на контролльном периоде времени также проявляет (рис. 3) устойчивость к колебаниям рынка, показывая уровень риска в целом ниже рыночного.

Заключение

В результате проведенного исследования обосновано применение энтропии в качестве меры риска при формировании и дальнейшем управлении портфелем ценных бумаг и предложен метод ее оценки. Адаптированный эвристический алгоритм имитации отжига позволяет решать оптимизационные задачи формирования портфеля ценных бумаг на основе критериев минимизации риска при фиксированном уровне доходности и максимизации доходности при заданном уровне риска. Разработанная система поддержки принятия решений обеспечивает инвестору возможность оперативно формировать и изменять состав портфелей ценных бумаг, предоставляя ему при этом достоверную оценочную информацию об объективных рыночных реалиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пимонов, И. А. Комплекс программ для оценки и анализа фрактальных свойств фондового рынка / И. А. Пимонов, А. И. Трегуб // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – № 4. – С. 105 – 110.
- Погорелов, Н. Е. Интеллектуальная информационная система для анализа и прогнозирования биржевых котировок акций / Н. Е. Погорелов, К. Э. Рейзенбук, А. Г. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 6. – С. 118 – 122.
- Рейзенбук, К. Э. Программный комплекс для технического анализа рынка ценных бумаг на основе моделей теории детерминированного хаоса / К. Э. Рейзенбук, И. А. Пимонов, Ю. В. Хараман // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – № 4. – С. 100 – 104.
- Логов, А. Б. Энтропийные модели в анализе состояния уникальных систем горного производства на фазовой плоскости / А. Б. Логов, Е. В. Онищенко // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – Т. 52, № 2. – С. 77 – 81.
- Логов, А. Б. Энтропийный метод анализа состава техногенных вод горнодобывающего региона // А. Б. Логов, В. Н. Опарин, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливцев, Н. И. Юкина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 1. – С. 168 – 179.
- Карташов, Б. А. Рынок ценных бумаг (фундаментальный анализ) / Б. А. Карташов, Е. В. Матвеева, Т. А. Смелова, А. Е. Гаврилов. – Волгоград: ВолГТУ, 2006. – 180 с.
- Батяева, Т. А. Рынок ценных бумаг / Т. А. Батяева, И. И. Столярова. – Москва: ИНФРА-М, 2006. – 304 с.
- Жуков, Е. Ф. Рынок ценных бумаг. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 567 с.
- Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2008. – 96 с.
- Хрусталев, В. И. Мера неопределенности информации в задаче выбора прогнозных решений: дис.

канд. техн. наук: 05.13.01. – Абакан, 2012. – 189 с.

11. Бронштейн, Е. М. Управление портфелем ценных бумаг на основе комбинированных энтропийных мер риска / Е. М. Бронштейн, О. В. Кондратьева // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 5. – С. 172 – 176.
12. Прангшивили, И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. – Москва: Наука, 2003. – 428 с.
13. Арнаутов, Р. С. Модели и методы управления портфелями ценных бумаг // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии (ИТСиТ-2014): Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2014. – С. 351 – 352.
14. Арнаутов, Р. С. Энтропия и использование энтропийных мер риска при управлении инвестиционным портфелем // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента. – 2014. – С. 307 – 308.
15. Дранев, Ю. Я. Влияние изменения индикаторов фондового рынка на привлечение средств в российские паевые фонды акций / Ю. Я. Дранев, Н. С. Ананьев // Корпоративные финансы. – 2010. – № 2. – С. 5 – 15.
16. Арнаутов, Р. С. Использование энтропийных мер риска при формировании портфеля ценных бумаг // Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 21 – 24 апреля 2015 г., Кемерово [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2015/RM15/pages/Articles/IITMA/5/3.pdf> (дата обращения: 23.08.2015).
17. Ingber, L. Simulated Annealing: Practice versus theory // Mathematical and Computer Modelling. – 1993. – № 18 (11). – P. 29 – 57.
18. Ingber, L. Genetic Algorithms and very fast simulated reannealing: a comparison / L. Ingber, B. Rosen // Mathematical and Computer Modelling. – 1992. – № 16 (11). – P. 87 – 100.
19. Robini, M. C. Theoretically Grounded Acceleration Techniques for Simulated Annealing //Handbook of Optimization – From Classical to Modern Approach. – 2013. – P. 311 – 335.
20. Савин, А. Н. Применение алгоритма оптимизации методом имитации отжига на системах параллельных и распределённых вычислений / А. Н. Савин, Н. Е. Тимофеева // Известия Саратовского университета. – 2012. – № 1. – С. 110 – 116.
21. Финам.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.finam.ru/> (дата обращения: 23.08.2015).

Поступило в редакцию 13.10.2015

UDC 004.891.2

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SECURITIES PORTFOLIO MANAGEMENT BASED ON ENTROPIC RISK MEASURES

Arnautov R. S.¹,

Master's Degree student, e-mail: R.S.Arnautov@gmail.com

Pimonov A. G.^{1,2},

D.Sc (Engineering), Professor, Researcher e-mail: pag_vt@kuzstu.ru

Reyzenbuk K. E.¹,

Senior lecturer e-mail: sunstroke99@mail.ru

¹T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university 28, st. Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russia.

²Institute of economics and industrial engineering, Siberian branch of the Russian academy of sciences, 17, avenue Lavrent'eva, Novosibirsk, 630000, Russia.

Abstract. The article presents decision support system developed for managing a portfolio of securities. The work of software is based on the entropy measure of risk-balanced, and modify the heuristic optimization algorithm simulated annealing. Algorithm, adapted by the authorы for the selection of the portfolio of shares, allows to create portfolios based on two criteria: the criterion of minimizing risk in the fixed income and the criterion maximize profitability at the level of risk not exceed the specified. In this paper proposed to assess the level of risk compared to the entropy of the MICEX index as the main indicator of stock market behavior.

Computational experiments on the formation of low-entropy and entropy high yield excluding the risk of portfolios on the basis of quotations of securities for the period 01.01.2013 - 01.01.2014 and performed a retrospective analysis of returns generated by the portfolios for the period 01.01.2014 - 01.01.2015. A result of research confirmed the assumption of the applicability of entropy as a measure of risk in the problems of formation and management of investment portfolios, justified the use of simulated annealing algorithm to optimize the structure of the securities portfolio.

Keywords: decision support system, risk measure, entropy, the stock market, simulated annealing algorithm, portfolio of securities, programming.

REFERENCES

1. Pimonov, I. A. Kompleks programm dlya otsenki i analiza fraktalnykh svoystv fondovogo rynka [Program complex (Software) for valuation and analysis of fractal properties of stock markets] / I. A. Pimonov, A. I. Tregub // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. No 4. P. 105 – 110. (rus)
2. Pogorelov, N. E. Intellektualnaya informatsionnaya sistema dlya analiza i prognozirovaniya birzhevyykh kotirovok aktsiy [Intelligent information system for analysis and forecasting of stock exchange quotations] / N. E. Pogorelov, K. E. Reyzenbuk, A. G. Pimonov Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. No 6. P. 118 – 122. (rus)
3. Reyzenbuk, K. E. Programmnny kompleks dlya tekhnicheskogo analiza rynka tsennykh bumag na osnove modeley teorii determinirovannogo khaosa [Program complex (Software) for technical analysis of stock markets base on the theory of deterministic chaos] / K. E. Reyzenbuk, I. A. Pimonov, Yu. V. Kharaman // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. No 4. P. 100 – 104. (rus)
4. Logov, A. B. Entropiynye modeli v analize sostoyaniya unikal'nykh sistem gornogo proizvodstva na fazovoy ploskosti [Entropy models in analysis of the state of unique system of mining in the phase plane] / A. B. Logov, E. V. Onishchenko // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii [Control Systems and Information Technologies]. 2013. Vol. 52, No 2. P. 77 – 81. (rus)
5. Logov, A. B. Entropiyny metod analiza sostava tekhnogennyykh vod gornodobyvayushchego regiona [Entropy analysis method for the composition of industrial waste waters in the mining region] / A. B. Logov, V. N. Oparin, V. P. Potapov, E. L. Schastlivtsev, N. I. Yukina // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Physicotechnical problems of mining]. 2015. No 1. P. 168 – 179. (rus)
6. Kartashov, B. A. Rynok tsennykh bumag (fundamental'nyy analiz) [The Securities Market (fundamental analysis)] / B. A. Kartashov, E. V. Matveeva, T. A. Smelova, A. E. Gavrilov. Volgograd: VolgGTU. 2006. 180 p. (rus)
7. Batyaeva, T. A. Rynok tsennykh bumag [The Securities Market] / T. A. Batyaeva, I. I. Stolyarova. Moscow: INFRA-M. 2006. 304 p. (rus)
8. Zhukov, E. F. Rynok tsennykh bumag [The Securities Market]. Moscow: YuNITI-DANA. 2009. 567 p. (rus)
9. Chernyshov, V. N. Teoriya sistem i sistemnyy analiz [Systems theory and systems analysis]. Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosu-darstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. 96 p. (rus)
10. Khrustalev, V. I. Mera neopredelennosti informatsii v zadache vybora prognoznykh resheniy: dis. kand. tekhn. nauk [A measure information indeterminacy of the choice of forecast decisions: Dis. cand. tehn. science]: 05.13.01. Abakan. 2012. 189 p. (rus)
11. Bronshteyn, E. M. Upravlenie portfelem tsennykh bumag na osnove kombinirovannykh entropiynykh mer risika [Securities portfolio management based on the combined entropy measures of risk] / E. M. Bronshteyn, O. V. Kondrat'eva // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya [Izvestiya RAN. Theory and control systems]. 2013. No 5. P. 172 – 176. (rus)
12. Prangishvili, I. V. Entropiynye i drugie sistemye zakonomernosti: Voprosy upravleniya slozhnymi sistemami [Entropy and other systemic regularities: management issues of complex systems]. Moscow: Nauka. 2003. 428 p (rus)
13. Arnautov, R. S. Modeli i metody upravleniya portfelyami tsennykh bumag [Models and methods of portfolios of securities management] // Informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy i tekhnologii (ITSiT-2014): Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2014. P. 351 – 352. (rus)
14. Arnautov, R. S. Entropiya i ispol'zovanie entropiynykh mer risika pri upravlenii investitsionnym portfelem [Entropy and use entropy measures of risk managing the investment portfolio] // Innovatsionnyy konvent «Kuzbass: obrazovanie, nauka, innovatsii»: materialy Innovatsionnogo konventa. 2014. P. 307 – 308. (rus)
15. Dranov, Y. Y. Vliyanie izmeneniya indikatorov fondovogo rynka na privlechenie sredstv v rossiyskie paevye fondy aktsiy [Impact of stock market's indicators changes on raise funds in the Russian mutual funds shares] / Y. Y. Dranov, N. S. Anan'ev// Korporativnye finansy [Corporate finances]. 2010. No 2. P. 5 – 15. (rus)
16. 11. Arnautov, R. S. Ispol'zovanie entropiynykh mer risika pri formirovaniyu portfelya tsennykh bumag [Using the entropy risk measures in the formation of a portfolio of securities] // Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya», 21 – 24 aprelya 2015. Kemerovo. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2015/RM15/pages/Articles/IITMA/5/3.pdf>. (accessed 23.08.2015). (rus)
17. Ingber, L. Simulated Annealing: Practice versus theory // Mathematical and Computer Modelling. 1993. No 18 (11). P. 29 – 57. (eng)
18. Ingber, L. Genetic Algorithms and very fast simulated reannealing: a comparison / L. Ingber, B. Rosen // Mathematical and Computer Modelling. 1992. No 16 (11). P. 87 – 100. (eng)
19. Robini, M. C. Theoretically Grounded Acceleration Techniques for Simulated Annealing //Handbook of Optimization – From Classical to Modern Approach. 2013. P. 311 – 335. (eng)
20. Savin, A. N. Primenenie algoritma optimizatsii metodom imitatsii otzhiga na sistemakh parallel'nykh i raspredelennykh vychisleniy [The Application of Optimization Algorithm Using Simulated Annealing Method for Parallel Computing Systems] /A. N. Savin, N. E. Timofeeva // Izvestiya Saratovskogo universiteta [Izvestia Saratov University]. 2012. No 1. P. 110 – 116. (rus)
21. Finam.ru. URL: <https://www.finam.ru/> (accessed 23.08.2015). (rus)

Received 13 October 2015