

УДК 621.382

Сравнительный анализ управляющих стратегий на основе эволюционного моделирования*

А.А. МУСАЕВ

199178, РФ, г. Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, доктор технических наук, профессор. E-mail: amusaev@technolog.edu.ru

Процессы хаотической динамики характеризуются крайне низким уровнем прогнозируемости. Однако чистый хаос встречается столь же редко, как любые другие вырожденные состояния материи и энергии. В самой природе хаоса заложена тенденция к упорядочиванию. В результате в структуре хаотической динамики возникают локальные тренды, которые могут использоваться для построения эффективных управляющих стратегий. В качестве примера хаотической динамики в настоящей работе рассмотрены большие массивы тестовых данных, формируемые последовательностями наблюдений за котировками валютных инструментов на электронном рынке Forex. Управление активами в конечном счете сводится к умению своевременно обнаружить начало и конец тренда, т. е. участка динамики котировки с фиксированным в среднем направлением изменения. Соответствующие управляющие стратегии, основанные на обнаружении трендов, относятся к категории трендовых стратегий. На различных участках наблюдений различные стратегии будут иметь разную эффективность. Однако на достаточно больших участках наблюдения можно получить относительно устойчивые оценки их эффективности. В связи с этим в настоящей работе рассмотрена задача сравнительного анализа управляющих стратегий, основанных на обнаружении трендов, по терминальному критерию – результирующему выигрышу. Для сравнения использовались типовые трендовые стратегии с оптимальными для заданных участков наблюдения значениями параметров. Для оптимизации значений параметров управляющих стратегий используется метод эволюционного моделирования.

Ключевые слова: хаотические процессы, управляющая стратегия, инерционность, эволюционное моделирование, селекция, тренд, валютные инструменты, Forex

DOI: 10.17212/1814-1196-2014-4-95-108

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей характеристикой хаоса является его непредсказуемость. Ярким примером хаотических процессов является динамика котировок на рынках капитала [1–4]. Хаотичность, а следовательно, и непредсказуемость рынка являются принципиальными факторами самого существования рынков капитала в их нынешних формах. Тем не менее специфика природы хаоса неизбежно приводит к самовозникновению внутри него вполне упорядоченных структур [5–7]. Умение и интуиция ведущих трейдеров позволяют им обнаруживать и использовать такие упорядоченные образования, имеющие вид локальных трендов или квазипериодических колебаний. Успешных трейдеров немного, не более 5...10%. Тем не менее сам факт их существования говорит о принципиальной возможности построения выигрышных управляющих стратегий.

В работах [8, 9] было показано, что хаотические процессы практически не обладают инерционностью и, следовательно, не допускают использования простейших управляющих

* Статья получена 5 июня 2014 г.

стратегий на основе анализа трендов. Однако на практике приходится встречаться не с чистым хаосом, а с квазихаотическими процессами, содержащими системную составляющую со слабо выраженной упорядоченностью. Это позволяет, используя технику последовательного сглаживания, получить решающие правила с положительным (хотя и незначительным) балансом. Принципиальная возможность построения выигрышной стратегии была продемонстрирована в работе [10] и основывалась на применении техники эволюционного моделирования. При этом остался открытым вопрос о сравнительной эффективности различных вариантов построения трендовых стратегий. Соответствующие исследования приведены в настоящей работе.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим три управляющие стратегии, основанные на трендах.

Первая стратегия S_1 основана на использовании критерия K_1 , в соответствии с которым фиксируется наличие возрастающего тренда, если скорость роста наблюдаемого процесса a_1 , определяемая наклоном линейной аппроксимации на скользящем окне наблюдения размером w отсчетов (здесь – минут), окажется выше критического значения a_1^* , и наоборот, фиксируется наличие убывающего тренда при условии $a_1 < -a_1^*$.

Стратегия S_2 основана на критерии K_2 , использующем одновременно две линейные аппроксимации на различных скользящих окнах наблюдения размером w_1 и w_2 , причем $w_1 > w_2$. Фиксируется наличие возрастающего тренда при условии одновременного превышения наклонов линейных аппроксимации своих критических значений, т. е. $a_{11} > a_{11}^* \& a_{12} > a_{12}^*$. Наоборот, фиксируется убывающий тренд, если $a_{11} < -a_{11}^* \& a_{12} < -a_{12}^*$.

Стратегия S_3 предполагает применение одновременно линейной аппроксимации на скользящем окне w_1 и квадратичной аппроксимации на скользящем окне w_2 . Фиксируется наличие возрастающего или убывающего тренда, соответственно, при выполнении условий $a_1 > a_1^* \& a_2 > a_2^*$ или $a_1 < -a_1^* \& a_2 < -a_2^*$, где параметры a_1 и a_2 по сути значения скорости и ускорения процесса на выбранных окнах наблюдения, а a_1^* и a_2^* – критические значения.

Формальное представление критериев и перечни параметров управляющих стратегий $S_1 - S_3$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные критерии и параметры управляющих стратегий

Стратегии S	Критерий K	Параметры
S_1	$K_1: a_1 > a_1^* \vee a_1 < -a_1^*$	$\langle w, a_1^*, TP, SL \rangle$
S_2	$K_2: (a_{11} > a_{11}^* \& a_{12} > a_{12}^*) \vee (a_{11} < -a_{11}^* \& a_{12} < -a_{12}^*)$	$\langle w_1, w_2, a_{11}^*, a_{12}^*, TP, SL \rangle$
S_3	$K_3: (a_1 > a_1^* \& a_2 > a_2^*) \vee (a_1 < -a_1^* \& a_2 < -a_2^*)$	$\langle \alpha, w, a_1^*, a_2^*, TP, SL \rangle$

Для первых двух стратегий оценки параметров наклона аппроксимирующей прямой a_1 или a_{11} , a_{12} можно вычислять на основе метода наименьших квадратов (МНК). Однако, в случае использования полиномов более высоких степеней применение стандартной подгонки по МНК приводит к «механистической» аппроксимации, в которых оценки коэффициентов

полинома не могут быть интерпретированы как скорость или ускорение исследуемого процесса. Это, в свою очередь, ограничивает возможность наглядно визуализировать процесс при графическом отображении трендов.

Для того чтобы сохранить содержательные аспекты критериальных параметров, можно использовать простейшие разностные пошаговые оценки скорости и ускорения сглаженного процесса в виде

$$\hat{a}_1(i) = v(i) = \frac{Y_S(i) - Y_S(i - w_1)}{w_1} = \frac{\Delta Y_S(i)}{w_1},$$

$$\hat{a}_2(i) = a(i) = \frac{\Delta Y_S(i) - \Delta Y_S(i - w_2)}{w_2} = \frac{\Delta^2 Y_S(i)}{w_2},$$

где w – размер скользящего окна наблюдения, $\Delta Y_S(i)$ – первая конечная разность сглаженного процесса Y_S (т. е. приращение Y_S на окне w), $\Delta^2 Y_S(i)$ – вторая конечная разность.

Применение сглаженного процесса для оценки конечных разностей связано с необходимостью снижения ее чувствительности к случайным колебаниям, особенно к аномальным отклонениям. Сглаживание осуществляется с помощью простейшего экспоненциального фильтра $Y_S(i) = \alpha Y(i) + (1 - \alpha)Y_S(i - 1)$ с параметром $\alpha \in (0, 1)$. В этом случае вектор параметров стратегий дополняется величиной α .

Заметим, что в некоторых случаях целесообразно использовать более сложные сглаживающие фильтры, обеспечивающие компромисс между величиной задержки сглаженного процесса $Y_S(t)$ относительно $Y(t)$ и уровнем статистических ошибок второго рода («ложных тревог»). Данный вопрос требует отдельного исследования.

Задача состоит в сравнительном исследовании потенциальной эффективности предложенных стратегий. Эффективность стратегии $Eff(S_i)$, $i = 1, \dots, 3$ определяется усредненными значениями выигрыша, полученными на одинаковых ретроспективных рядах наблюдений большого объема. В качестве полигона квазихаотических рядов наблюдений используются котировки валютных инструментов на электронном рынке Forex.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕНЕНИЯ ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Для определения начальных (неоптимальных) значений пороговых величин a^* оценим диапазоны изменений и среднеквадратического отклонения (СКО) коэффициентов аппроксимации для различных значений окон наблюдения. В качестве полигона, имитирующего хаотический процесс, используем 30-дневные интервалы наблюдений котировки валютной пары EURUSD с шагом 5 минут.

Оценим диапазон изменений $\Delta(a_1) = a_{1, \max} - a_{1, \min}$ и значения СКО $\hat{\sigma}(a_1)$ для скользящих окон размером $w = 30, 60, 90, 120, 150, 180, 300$ мин. Для аппроксимации данных в окнах наблюдения использовалась подгонка по МНК полиномом 1-го порядка.

На рис. 1 и 2 представлены временные графики изменения коэффициента $a_1 = f(t)$ соответственно для окон наблюдения $w = 300$ мин и $w = 120$ мин. На рис. 3 и 4 представлены гистограммы оценок a_1 для тех же окон наблюдения.

В табл. 2 приведены диапазоны изменения $\Delta a_1 = [a_{\min}, a_{\max}]$ и оценки СКО коэффициентов МНК-аппроксимации a_1 для модели первого порядка. Диапазон изменения Δa_1 представлен в таблице двумя числами – максимальным значением коэффициента a_1 (max) и его минимальным значением (min).

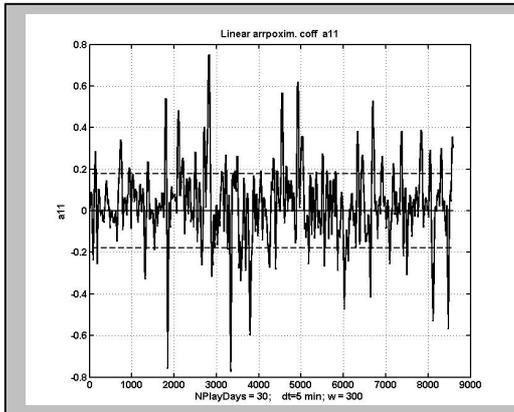


Рис. 1. Зависимость $a_1 = f(t)$ при $w = 300$

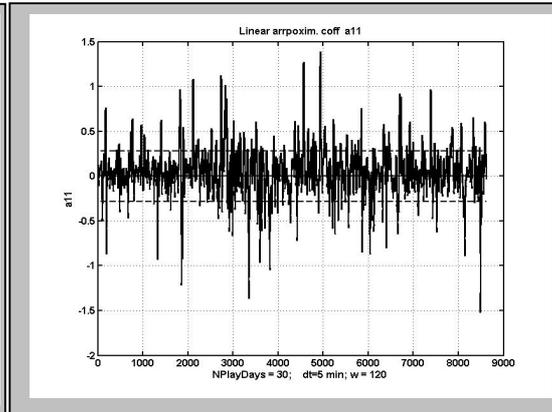


Рис. 2. Зависимость $a_1 = f(t)$ при $w = 120$

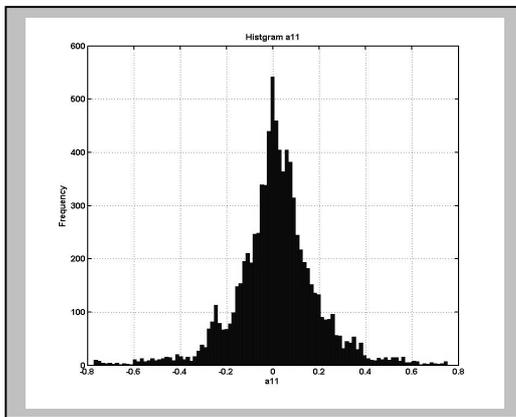


Рис. 3. Гистограмма a_1 для $w = 300$

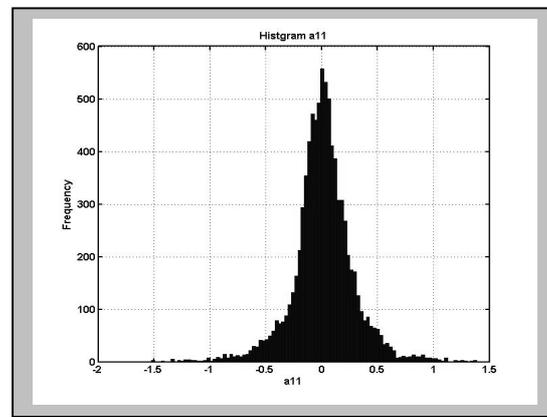


Рис. 4. Гистограмма a_1 для $w = 120$

Таблица 2

Диапазоны изменения оценок $\hat{\sigma}(a_1)$
и $\hat{\sigma}(a_1)$ для модели первого порядка

w	$a_{1,\min} / a_{1,\max}$	$\hat{\sigma}(a_1)$
30	-6.39 / 4.28	0.56
60	-3.16 / 2.41	0.39
90	-2.05 / 1.79	0.32
120	-1.89 / 1.69	0.28
150	-1.27 / 1.11	0.25
180	-1.15 / 0.93	0.23
210	-1.03 / 0.83	0.21
240	-0.93 / 0.77	0.20
270	-0.84 / 0.77	0.19
300	-0.77 / 0.75	0.17

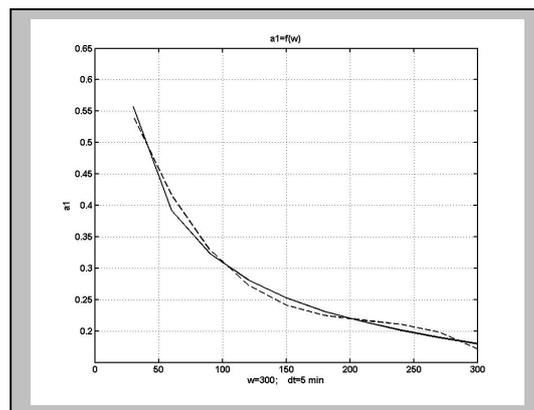


Рис. 5. Зависимость $a_1 = f(t)$ и ее аппроксимация полиномом 3-го порядка

На рис. 5 приведена зависимость $a_1 = f(w)$ и ее аппроксимация полиномом 3-го порядка (пунктирная линия). При этом значения аппроксимирующих коэффициентов (от более высокой степени к менее высокой) равно $\vec{P} = [-0.000000046, 0.000029830, -0.006585177, 0.714074957]$.

На рис. 6 приведен график суточных вариаций котировки валютного инструмента EURUSD и его сглаженного значения с $\alpha = 0.02$. Отвечающие им изменения оценок $v(t)$ и $a(t)$ для окон $w = 30$ и $w = 120$ приведены соответственно на рис. 7 и 8.

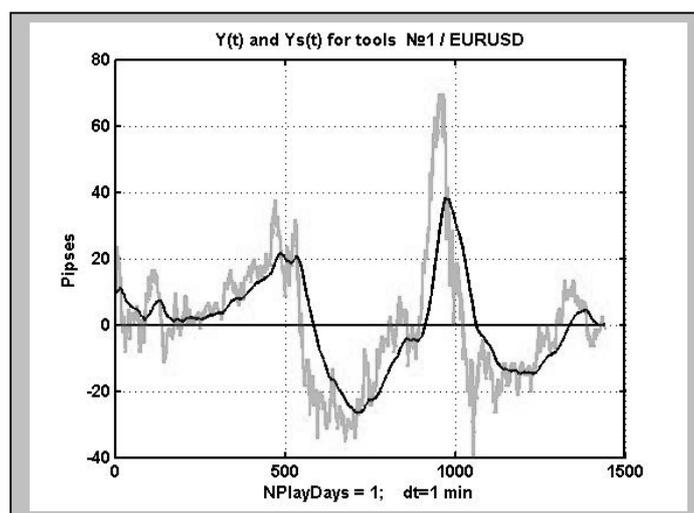


Рис. 6. График суточного изменения котировки валютного инструмента и его сглаженного значения с $\alpha = 0.02$

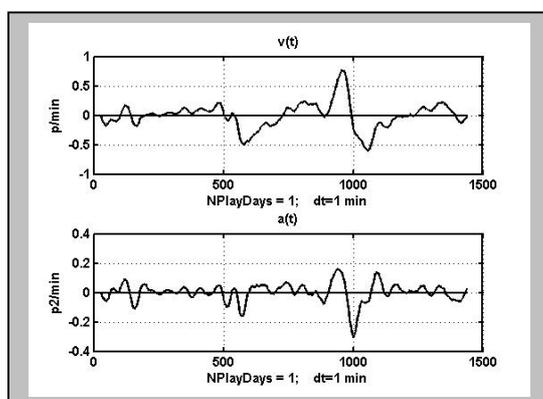


Рис. 7. Графики оценки $v(t)$ и $a(t)$, отвечающие сглаженной динамике котировки на рис. 6 и окну наблюдения $w = 30$

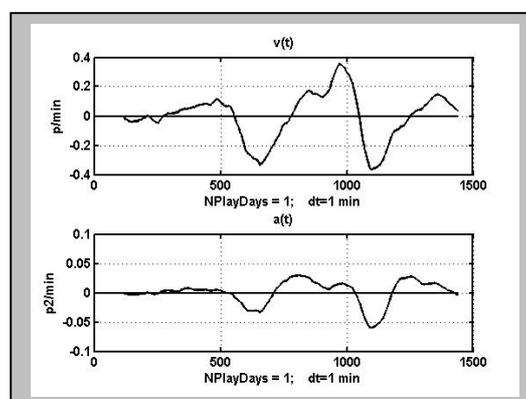


Рис. 8. Графики оценки $v(t)$ и $a(t)$, отвечающие соответствующей сглаженной динамике котировки на рис. 6 и окну наблюдения $w = 120$

Нетрудно видеть, что увеличение окна наблюдения существенно усиливает сглаживающий эффект со всеми вытекающими из этого достоинствами и недостатками для управляющих стратегий.

При использовании трендовых стратегий 2-го порядка необходимо оптимизировать связанные значения этих и других параметров решающего правила. Для оценки начальных приближений $v(t)$ и $a(t)$ определим диапазон их изменений и значения СКО для различных окон наблюдения. Соответствующие результаты для интервала наблюдения в 30 суток для валютного инструмента EURUSD приведены в табл. 3.

Таблица 3

Диапазоны изменения Δv , Δa и среднеквадратические отклонения $\sigma(v)$ и $\sigma(a)$ на интервале наблюдения котировок EURUSD 30 суток

w	v_{\min}	v_{\max}	σ_v	a_{\min}	v_{\max}	σ_a
30	-1.8046	1.3230	0.2562	-0.0655	0.0413	0.0067
60	-1.3712	1.2027	0.2359	-0.0258	0.0202	0.0040
90	-1.0837	0.9965	0.2187	-0.0138	0.0118	0.0027
120	-0.9957	0.8657	0.2039	-0.0107	0.0075	0.0021
150	-0.8983	0.7806	0.1913	-0.0089	0.0059	0.0016
180	-0.8141	0.7570	0.1803	-0.0073	0.0052	0.0013
210	-0.7372	0.7421	0.1704	-0.0058	0.0042	0.0011
240	-0.6731	0.7301	0.1614	-0.0044	0.0036	0.0009
270	-0.5970	0.6863	0.1533	-0.0034	0.0030	0.0008
300	-0.5273	0.6468	0.1461	-0.0029	0.0026	0.0007

Далее, установим аналитическую зависимость между СКО параметров v , a и размером окна наблюдения w . Для этого используем полиномиальную подгонку по МНК 3-го порядка. Соответствующие зависимости приведены на графиках на рис. 9 и 10. Пунктирные линии соответствуют кубической аппроксимации.

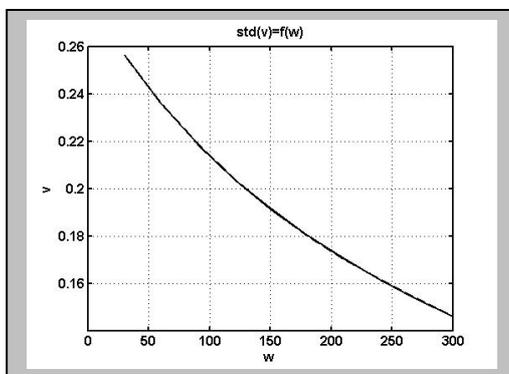


Рис. 9. Эмпирическая зависимость $s_v(w)$ и ее полиномиальная аппроксимация

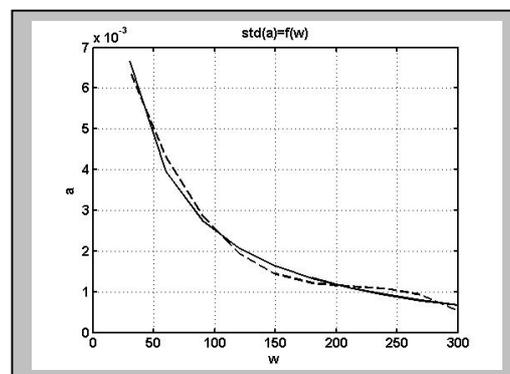


Рис. 10. Эмпирическая зависимость $s_a(w)$ и ее полиномиальная аппроксимация

Заметим, что на рис. 9 представлены два графика, однако полученная аппроксимация настолько точна, что они сливаются в одну кривую.

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов (начиная с более высокой степени) соответственно равны:

$$p_v = [-0.0000000021, 0.0000018923, -0.0008222584, 0.2790186426];$$

$$p_a = [-0.0000000008, 0.0000005105, -0.0001113739, 0.0093267136].$$

3. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ СТРАТЕГИЙ

Метод эволюционного моделирования был предложен в известной работе Л. Фогеля, А. Оуэнса и М. Уолша [11] и в настоящее время широко применяется в различных прикладных задачах моделирования, прогнозирования и оптимизации [12–21]. Применение данного метода к задаче параметрической оптимизации управляющей стратегии рассмотрено в работе [10].

Структурная схема программы формирования наилучшей управляющей стратегии методом эволюционного моделирования приведена на рис. 11.

В соответствии с методикой реализации вычислительной схемы эволюционной оптимизации каждая стратегия характеризуется набором параметров («геномом»). Соответствующие геномы для трех рассматриваемых стратегий приведены в правом столбце табл. 1. Первоначально, путем внесения небольших случайных изменений в начальные параметры программы, формируется первое поколение *стратегий-родителей* (СР). Пусть количество модификаций СР равно N_a (от *ancestor* – «предок»). В каждую стратегию из группы родителей вносятся случайные изменения, образуя группу *стратегий-потомков* (СП). Если в каждую из СР внести r различных модификаций, где r – коэффициент репродукции, то получим $N_d = N_a r$ стратегий-потомков (от *descendant* – «потомок»). Совместно со стратегиями-родителями они образуют первое поколение стратегий размером $N_g = N_a + N_d = N_a(1+r)$. Здесь индекс g отвечает слову *generation* – «поколение».

Каждая из N_g стратегий испытывается на одном и том же полигоне ретроспективных данных. Эффективность каждой стратегии $Eff(S_i)$, $i = 1, \dots, N_g$ естественно оценивать получаемой прибылью. Упорядочивание стратегий по значению ее эффективности позволяет селективировать N_a стратегий-родителей следующего поколения. Повторяя процедуру внесения изменений в параметры генома СР, получаем новое поколение СП и совместно с СР – новое поколение стратегий.

Будем различать следующие типы изменений, вносимых в параметры генома стратегии-родителя.

1. Небольшие единичные изменения (*LSM – little single modification*). В каждой из СР осуществляются относительно небольшие изменения только одного параметра. Выбор параметра осуществляется случайным розыгрышем. Если же предполагается вносить изменения во все гены, то, соответственно, каждая СР получает m_g модификаций, где m_g – размер генома. В этом случае возникает $N_d^{(1)} = N_a m_g$ потомков с заданным типом модификации, причем в каждом из них изменяется только один параметр (ген). В случае использования стратегии первого типа размер гена $m_g = 4$. Следовательно, если на

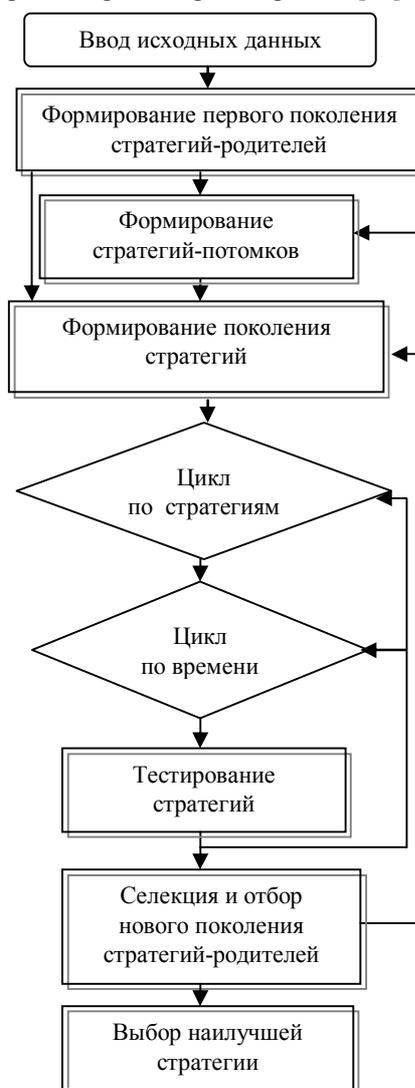


Рис. 11. Структурная схема программы формирования наилучшей управляющей стратегии методом эволюционного моделирования

каждом этапе сохранять $N_d = 4$ наилучших вариантов первой стратегии, получим $N_d^{(1)} = 16$ версий стратегий-потомков.

2. Небольшие групповые изменения (*LGM – little group modification*). Осуществляется аналогично *LSM*, но изменения вносятся не в один, а сразу в несколько параметров-генов.

В используемой программе осуществлялись медленные изменения во всех параметрах СР. Таким образом, возникает еще $N_d^{(2)} = 4$ версии СР с медленными изменениями во всех генах.

3. Сильные единичные изменения (*SSM – strong single mutation*), или параметрическая мутация. Выбор СР и номера гена осуществляется случайным розыгрышем. Обычно в поколении число мутаций не должно превышать $N_d^{(3)} = 1 - 2$. В результате параметрической мутации получается $N_d^{(3)}$ потомков, в каждом из которых модифицируется один ген в диапазоне $|\Delta| > 3\sigma$.

4. Структурные (непараметрические) мутации (*SNM – structure nonparametric mutation*). Каждый родитель с некоторой относительно небольшой вероятностью непараметрической мутации P_{nm} может перейти на другой вариант игровой стратегии, $N_d^{(4)} = 1$.

В большинстве случаев мутации генерируют неэффективные стратегии, которые после селекции не проходят в следующие поколения. Однако именно мутации дают шансы для формирования нестандартных решений и генерации новых видов популяций.

Для реализации *SNM* можно использовать банки данных стратегий. В этом случае структурная мутация сводится к выбору другого типа стратегии из указанного банка. Следует ожидать, что переходы будут достаточно конструктивными, так как стратегии, вошедшие в банк данных, в той или иной степени уже прошли селекцию как минимум на уровне здравого смысла их разработчика. Например, в качестве *SNM* можно использовать сочетания трендовых стратегий с осцилляторами и т. п. Однако данный подход ограничивает эволюцию уровнем конструктивной фантазии программиста. Значительно больший интерес представляют собой программы с рандомизированным формированием множества допустимых стратегий. В этом случае программа эволюции выходит из-под жесткого контроля разработчика не только на параметрическом, но и на структурном уровне. Такой подход теоретически позволяет генерировать совершенно новые, неожиданные решения. В то же время он потребует очень большого временного и вычислительного ресурса, так как многие случайно формируемые стратегии окажутся неконструктивными и нежизнеспособными.

В настоящей статье эволюция ограничена только параметрическими модификациями. Структурные изменения предполагается рассмотреть в последующих работах.

4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СТРАТЕГИИ S_1

В качестве первого примера рассмотрим задачу эволюционной оптимизации стратегии S_1 . Совокупность варьируемых параметров образует геном программы $G = \langle w, a_1^*, TP, SL \rangle$.

В качестве оценочного полигона данных здесь и далее используем 10-дневные интервалы одноминутных наблюдений за котировками валютной пары EURUSD. Поколение включало в себя 6 анцесторов (родителей, селектированных из предыдущей генерации) и 24 дескендера (потомка). Выбор типа изменения в каждый геном анцесторов осуществлялся на основе вероятностного розыгрыша. В частности, с вероятностью $P = 0.7$ вносится небольшое изменение (*LSM-модификация*) в один из параметров генома, с вероятностью $P = 0.2$ – групповые изменения во все параметры (*LGM-модификация*) и с вероятностью $P = 0.1$ – сильное изменение только в один из параметров (*SSM-модификация*). Для одиночных изменений выбор модифицируемого параметра также определялся розыгрышем.

Заметим, что определение критического наклона линейной аппроксимации a_1^* является зависимым параметром от размера окна w . Соответствующая зависимость представлена в разделе 3. В связи с этим формирование начальной оценки этого параметра осуществляется в два этапа. Сначала, исходя из найденной эмпирической зависимости, осуществляется его расчет как функции от w , а уже затем в него вносятся аддитивные случайные вариации.

Понятие «небольшие изменения» означает, что новое значение колеблется в пределах СКО относительно среднего. В качестве среднего используется значение модифицируемого параметра анcestора. Соответственно, большие изменения осуществляются в диапазоне 2...3 СКО. При этом необходимо учитывать естественные физические ограничения. Например, угол наклона должен лежать в промежутке $0 < a_1^* < \pi/2$. Хотя очевидным достоинством эволюционного моделирования является естественная отбраковка патологических ситуаций, даже если в программе нет нужных ограничений.

Пример реализации управляющей стратегии S_1 , полученной в результате эволюции начальной версии, приведен на рис. 12. Начальный геном в соответствии с предварительной оценкой диапазонов изменения его параметров, сделанной в разделе 3, выбран равным $G_0 = \langle 180, 0.12, 75, 120 \rangle$. Эволюция осуществлялась в течение 50 поколений. В результате был сформирован рабочий геном $G_{50} = \langle 102, 0.16, 117, 189 \rangle$, использованный в программе при реализации S_1 . Суммарный выигрыш составил 735 пунктов, а вероятность успешного открытия позиции – 0.83.

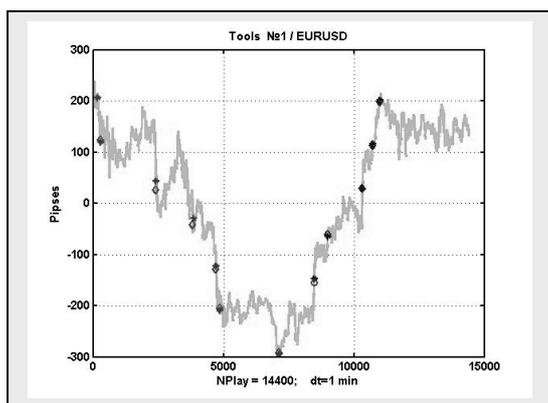


Рис. 12. Пример реализации управляющей стратегии S_1 с геномом G_{50}

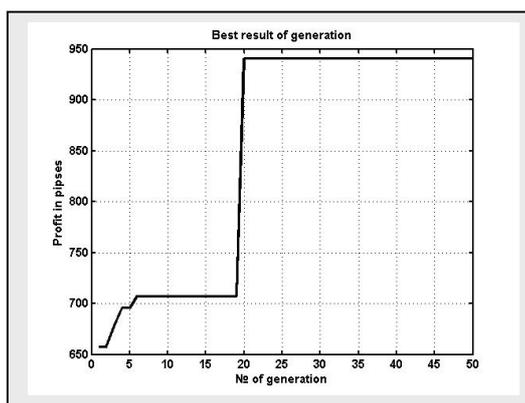


Рис. 13. Динамика роста выигрыша стратегии S_1 в процессе ее эволюции

На рис. 12 символом * обозначены уровни фиксации тренда, \diamond – уровни фиксации прибыли, \bullet – уровни фиксации потерь. Динамика роста выигрыша стратегии S_1 в процессе ее эволюции в течение 50 поколений приведена на рис. 13.

5. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СТРАТЕГИИ S_2

В качестве второго примера рассмотрим задачу эволюционной оптимизации стратегии S_2 . Начальный геном в соответствии с разделом 3, посвященным предварительной оценке диапазонов изменения параметров стратегий, был выбран равным

$$G_0 = \langle w_1, w_2, a_{11}^*, a_{12}^*, TP, SL \rangle = \langle 180, 60, 0.12, 0.36, 75, 120 \rangle.$$

Поколение, как и в предыдущих случаях, включало в себя 6 анцесторов (родителей, селектированных из предыдущей генерации) и 24 дескендера (потомка). Длительность эволюции ограничивается 50 поколениями. В результате эволюционной оптимизации получился терминальный (наилучший в рамках указанных ограничений) геном $G_{50} = \langle 168, 69, 0.10, 0.33, 85, 106 \rangle$.

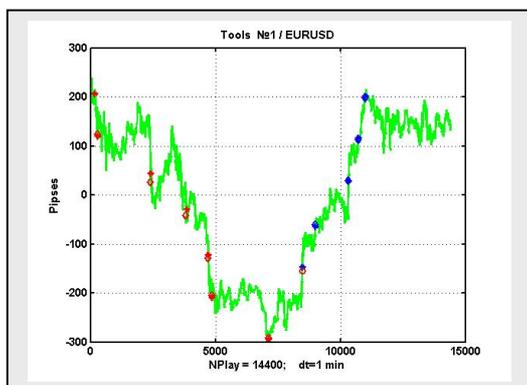


Рис. 14. Пример реализации управляющей стратегии S_2 с геномом G_{50}

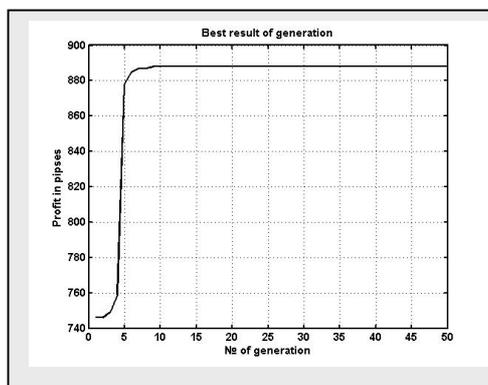


Рис. 15. Динамика роста выигрыша стратегии S_2 в процессе ее эволюции

При этом суммарный выигрыш составил 889 пунктов, а вероятность успешного открытия позиции – 0.91. График для терминальной управляющей стратегии и динамика роста выигрыша для стратегий с наилучшими геномами для 50 поколений приведены соответственно на рис. 14 и 15.

6. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СТРАТЕГИИ S_3

Третий пример на том же интервале наблюдений в 10 дней относится к стратегии S_3 . Начальный геном в соответствии с разделом 3 был выбран равным

$$G_0 = \langle \alpha, w, a_1^*, a_2^*, TP, SL \rangle = \langle 0.02, 180, 0.18, 0.013, 75, 120 \rangle .$$

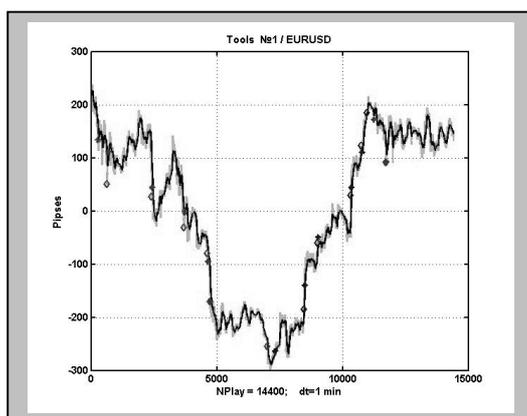


Рис. 16. Пример реализации управляющей стратегии S_3 с геномом G_{50}

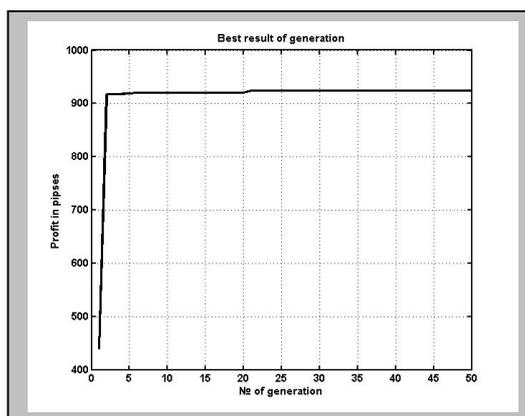


Рис. 17. Динамика роста выигрыша стратегии S_3 в процессе ее эволюции

В этот геном включены такие новые параметры, как коэффициент сглаживания α и критическое значение для второго коэффициента квадратичной аппроксимации a_2^* .

На рис. 16 приведен пример реализации стратегии S_3 с наилучшим геномом, полученным в результате смены 50 поколений, а на рис. 17 – график роста выигрыша в процессе эволюции. Наилучший геном в этом случае определяется параметрами

$$G_{50} = \langle 0.038, 147, 0.129, 0.0017, 74, 123 \rangle .$$

Окончательный выигрыш при этом составил 924 пункта, а вероятность успешного открытия позиции – 0.91 (на 10 торговых сутках). Не исключено, что более высокий результат даст оценки скорости и ускорения на различных размерах скользящих окон. Отсюда возникает возможность построения стратегии S_4 с геномом $G = \langle \alpha, w_1, w_2, v^*, a^*, TP, SL \rangle$. Здесь скорость сглаженной тенденции оценивается на окне w_1 , а ускорение – на окне w_2 .

7. СРАВНЕНИЕ ТРЕНДОВЫХ СТРАТЕГИЙ

Для сравнения потенциальной эффективности трех рассмотренных в статье стратегий используем полигон данных, состоящий из трех непересекающихся 100-дневных интервалов наблюдения изменения котировок валютной пары EURUSD. Эволюционный процесс ограничен 15 поколениями. Результаты сравнения приведены в табл. 4. В числителе представлены значения выигрыша в пунктах (при ставке в один лот), а в знаменателе – частота выигрышей.

Таблица 4

Результаты численной оценки эффективности стратегий S_1 – S_3

Стратегии/Дни	1–100	101–200	201–300
S_1	1951/0.71	3076/0.71	2623/0.66
S_2	527/0.65	2527/0.76	1200/0.64
S_3	1179/0.74	3005/0.82	2657/0.82

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что первая и третья стратегии потенциально являются более эффективными. Однако бесконечное многообразие хаоса может представить и такие интервалы наблюдения, в которых данное заключение будет неверным. Основной вывод состоит в том, что для любой из рассмотренных трендовых стратегий существуют выигрышные варианты. Однако вопрос о том, будут ли данные стратегии с найденными субоптимальными параметрами сохранять свои выигрышные свойства в реальном времени, остается открытым. Наиболее вероятно, что не будет. Данный вопрос и пути совершенствования эволюционной оптимизации для его использования в реальном времени будут рассмотрены в последующих публикациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технического анализа на основе обнаружения трендов в интересах задачи управления в хаотических средах представляется весьма бесперспективным направлением. В то же время сочетание анализа трендов с аналитическими исследованиями фундаментального анализа или другими средствами технического анализа при высокой квалификации трейдера могут дать положительный результат.

Материалы настоящей статьи показывают, что даже простейшие трендовые стратегии позволяют получить весьма высокие результаты, но при заранее невыполнимом условии наличия качественного прогноза эволюции ситуации. Развитие данного направления связано с двумя основными направлениями теории управления в условиях неопределенности – адаптации и робастификации. Различные варианты адаптации и самоорганизации, по-видимому, малоприменимы в условиях хаотической динамики. Информационные процессы не обладают инерционностью, свойственной материальным и энергетическим средам. Вследствие этого для адаптации не хватает времени, чтобы замкнуть цепь обратной связи.

Робастификация как система понижения чувствительности к вариациям вероятностной структуры среды погружения имеет более высокие шансы на решение задачи построения эффективной стратегии управления. Однако следует иметь в виду, что в хаотических средах методы построения робастных оценок, используемые при обработке статистических данных, могут оказаться неэффективными. В хаосе нет повторяемости событий, являющейся необходимым условием реализуемости вероятностно-статистической парадигмы. Кроме того, платой за устойчивость обработки всегда была и будет ее эффективность. Тем не менее данное направление исследований представляется весьма перспективным для фундаментальных разработок в области теории хаотических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Peters E.E.* Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility. – 2nd ed. – New York: John Wiley & Sons, 1996. – 288 p.
2. *Williams B.M.* Trading chaos. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2002. – 251 p.
3. *Мусаев А.А.* Моделирование котировок торговых активов // Труды СПИИРАН. – 2011. – Вып. 2 (17). – С. 5–32.
4. *Колодко Д.В.* Нестационарность и самоподобие валютного рынка Forex // Управление экономическими системами. – 2012. – № 3. – URL: <http://www.uecs.ru/uecs-39-392012/item/1144-forex> (дата обращения: 04.06.2014).
5. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой: пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
6. *Prigogine I.* The philosophy of instability // Futures. – 1989. – Vol. 21, iss. 4. – P. 396–400. – doi:10.1016/S0016-3287(89)80009-6.
7. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным явлениям: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
8. *Мусаев А.А.* Численный анализ инерционности хаотических процессов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 2 (33). – С. 48–59.
9. *Мусаев А.А.* Анализ инерционности хаотических процессов для вычислительной схемы без сегментации // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 4 (35). – С. 83–93. – doi: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.35.6>.
10. *Мусаев А.А.* Эволюционное моделирование в задаче оптимизации управляющей стратегии // Научный вестник НГТУ. – 2014. – № 3 (56). – С. 132–142.
11. *Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J.* Artificial intelligence through simulated evolution. – New York: John Wiley & Sons, 1966. – 231 p.
12. *Аверченков В.И., Казаков П.В.* Эволюционное моделирование и его применение: монография. – 2-е изд., стер. – М.: Флинта, 2011. – 200 с.
13. *Каширина И.Л.* Эволюционное моделирование: учеб. пособие для вузов. – Воронеж: Изд. центр ВГУ, 2011. – 60 с.
14. *Курейчик В., Гладков Л., Курейчик В.* Эволюционное моделирование и генетические алгоритмы. – Saarbrücken, Germany: Lambert Academic Publishing, 2011. – 260 с.
15. *Карпов В.Э.* Методологические проблемы эволюционных вычислений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 4. – С. 43–50.
16. *Рутковский Л.* Методы и технологии искусственного интеллекта: пер. с пол. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 520 с.
17. Survey of Multiobjective Evolutionary Algorithms for Data Mining: Pt. 1 / A. Mukhopadhyay, U. Maulik, S. Bandyopadhyay, C.A. Coello // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2014. – Vol. 18, iss. 1. – P. 4–19. – doi: 10.1109/TEVC.2013.2290086.
18. Survey of Multiobjective Evolutionary Algorithms for Data Mining: Pt. 2 / A. Mukhopadhyay, U. Maulik, S. Bandyopadhyay, C.A. Coello // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2014. – Vol. 18, iss. 1. – P. 20–35. – doi: 10.1109/TEVC.2013.2290082.
19. *Carreno J.E.* Multi-objective optimization by using evolutionary algorithms: The p-Optimality Criteria // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2014. – Vol. 18, iss. 2. – P. 167–179. – doi: 10.1109/TEVC.2013.2243455.
20. *Das S., Suganthan P.N.* Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2011. – Vol. 15, iss. 1. – P. 4–31. – doi: 10.1109/TEVC.2010.2059031.
21. *Мусаев А.А.* Эволюционно-статистический подход к самоорганизации прогностических моделей управления ТП // Автоматизация в промышленности. – 2006. – Вып. 7. – С. 31–35.

Мусаев Александр Азерович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИ РАН, декан факультета информационных технологий и управления Санкт-Петербургского государственного технологического университета, научный консультант Специализированной инжиниринговой компании «СевЗапмонтажавтоматика». Область научных интересов: анализ данных, управление и прогнозирование в сложных динамических системах, стохастические и хаотические системы. Число научных публикаций – 216. E-mail: amusaev@technolog.edu.ru

*Comparative analysis of management strategies based on evolutionary modeling**

A.A. MUSAEV

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russian Federation, D.Sc.(Eng.), professor. E-mail: osipov_va-siliy@mail.ru

Processes of chaotic dynamics are characterized by the lowest level of predictability. However pure chaos occurs as seldom, as any other degenerate conditions of matter and energy. There is a tendency to ordering in the nature of chaos. Some local trends which can be used for developing effective management strategies appear in the structure of chaotic dynamics. As an example of chaotic dynamics big arrays of test data formed by currency quotation observations in the FOREX electronic market are considered in the paper. Asset management is eventually an ability to find the beginning and the end of a trend. A trend is an interval of quotation dynamics with an average fixed tendency of change. A corresponding management strategy based on the detection of trends belongs to the category of trend strategies. Various strategies will have different efficiencies on various observation intervals. However it is possible to get relatively steady estimates of efficiency on sufficiently big intervals of observation. A comparative analysis of trend strategies based on revealing trends by a terminal criterion or a resultant gain is carried out in the paper. For comparison standard trend strategies with parameter values optimum for the prescribed observation intervals are used. The evolutionary modeling method is used for the optimization of management strategy parameters.

Keywords: chaotic processes, management strategy, lag effect, evolutionary modeling, selection, trend, currency tools, FOREX

REFERENCES

1. Peters E.E. Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, 1996. 288 p.
2. Williams B.M. Trading chaos. New Jersey, John Wiley & Sons, 2002. 251 p.
3. Musaev A.A. *Modelirovanie kotirovok torgovykh aktivov* [Modeling of trading assets quotations]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2011, iss. 2 (17), pp. 5–32.
4. Kolodko D.V. Nestatsionarnost' i samopodobie valyutnogo rynka Forex [Nonstationarity and the self-similarity of Forex market]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami – Economical systems management*, 2012, no. 3. Available at: <http://www.uecs.ru/uecs-39-392012/item/1144--forex> (accessed 04.06.2014).
5. Prigogine I., Stengers I. *Order out of chaos. Man's new dialogue with nature*. London, Heinemann, 1984. 432 p. (Russ. ed.: Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novyi dialog cheloveka s prirodoj*. Moscow, Progress Publ., 1986. 432 p.)
6. Prigogine I. The philosophy of instability. *Futures*, 1989, vol. 21, iss. 4, pp. 396–400. doi:10.1016/S0016-3287(89)80009-6
7. Haken H. *Information and self-organization. A macroscopic approach to complex systems*. 1st ed. Berlin, Springer, 1988. (Russ. ed.: Khaken G. *Informatsiya i samoorganizatsiya. Makroskopicheskiy podkhod k slozhnym yavleniyam*. Moscow, Mir Publ., 1991, 240 p.)
8. Musaev A.A. Chislennyi analiz inertsiionnosti khaoticheskikh protsessov [Numerical analysis of chaotic processes persistence]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, iss. 2 (33), pp. 48–59.
9. Musaev A.A. Analiz inertsiionnosti khaoticheskikh protsessov dlya vychislitel'noi skhemy bez segmentatsii [Chaotic processes persistence analysis for computing scheme without segmentation]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, iss. 4 (35), pp. 83–93. doi: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.35.6>
10. Musaev A.A. Evolyutsionnoe modelirovanie v zadache optimizatsii upravlyayushchei strategii [Evolutionary modeling in a problem of operating strategy optimization]. *Nauchnyi vestnik NGTU – Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University*, 2014, no. 3 (56), pp. 132–142.
11. Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J. *Artificial intelligence through simulated evolution*. New York, John Wiley & Sons, 1966. 231 p.
12. Averchenkov V.I., Kazakov P.V. *Evolyutsionnoe modelirovanie i ego primeneniye* [Evolutionary modeling and its application]. Moscow, Flinta Publ., 2011. 200 p.
13. Kashirina I.L. *Evolyutsionnoe modelirovanie* [Evolutionary modeling]. Voronezh, BGU Publ. Center, 2011. 60 p.

* Received 5 June 2014.

14. Kureichik V., Gladkov L., Kureichik V. *Evolutsionnoe modelirovanie i geneticheskie algoritmy* [Evolutionary modeling and genetics algorithms]. Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publishing, 2011. 260 p.
15. Karpov V.E. Metodologicheskie problemy evolyutsionnykh vychislenii [Methodological problems of evolutionary computation]. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii – Scientific and Technical Information Processing*, 2012, no. 4, pp. 43–50. (In Russian)
16. Rutkowski L. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009. 452 p. (Russ. ed.: Rutkovskii L. *Metody i tekhologii iskusstvennogo intellekta*: translation from polish. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2010. 520 p.).
17. Mukhopadhyay A., Maulik U., Bandyopadhyay S., Coello C. A Survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining. Pt. 1. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014, vol. 18, iss. 1, pp. 4–19. doi: 10.1109/TEVC.2013.2290086
18. Mukhopadhyay A., Maulik U., Bandyopadhyay S., Coello C. A Survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining. Pt. 2. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014, vol. 18, iss. 1, pp. 20–35. doi: 10.1109/TEVC.2013.2290082
19. Carreno J. E. Multi-objective optimization by using evolutionary algorithms: The p-optimality criteria. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014, vol. 18, iss. 2, pp. 167–179. doi: 10.1109/TEVC.2013.2243455
20. Das S., Suganthan P.N. Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2011, vol.15, iss. 1, pp. 4–31. doi: 10.1109/TEVC.2010.2059031
21. Musaev A.A. Evolyutsionno-statisticheskii podkhod k samoorganizatsii prognosticheskikh modelei upravleniya TP [Evolutionary-statistical approach to self-organization of prediction control model]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti – Automation in industry*, 2006, no. 7, pp. 31–35.