

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОНОМИКИ. II. ВЫБОР И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ¹

Аннотация. Рассмотрен математический формализм учета эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса при формировании полных математических моделей динамики финансово-экономической системы. Определен алгоритм применения известных схем двухэтапной оптимизации для вычисления оптимальных управляющих воздействий.

Ключевые слова: финансово-экономическая система, математическое моделирование, расчет и прогнозирование динамики, оптимизация управления, расчет управляющих воздействий, эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса.

Настоящая статья является продолжением работы [1]. Изложенные в [2] характерные свойства полной математической модели (ПМ-модели) финансово-экономической системы (ФЭС) оставляют актуальными вопросы изучения особенностей динамики данного класса моделей, выборе математического аппарата и алгоритмов преобразований, обеспечивающих их эффективный анализ и расчет в приемлемом интервале времени. При этом агрегирование ПМ-модели ФЭС обусловлено отслеживанием вариаций и анализом текущих значений ограниченного числа конкретных показателей (маркеров состояния ФЭС), имеющих определяющее значение для перехода траектории системы на интервалы, которые соответствуют стагнации или кризисному состоянию экономики [2]. Как известно [3], эффект выплескивания, а также эффекты вспенивания и обратного импульса [1, 2] оказывают существенное влияние на общую динамику мировой ФЭС, что отражается на изменении значений маркеров состояния. Данные эффекты относятся к факторам, математическая формализация которых необходима для обеспечения адекватности используемой математической модели динамики ФЭС и соответственно корректного расчета управляющих воздействий. Сопоставление в режиме реального времени рассчитанных (прогнозируемых) значений маркеров состояния ФЭС с некоторыми установленными и указанными в соответствующем множестве Парето граничными значениями, как и своевременное выявление эффекта вспенивания, позволит спрогнозировать надвигающийся кризис и оценить интервал времени Δt до начала существенного проявления нежелательных изменений в динамике системы. Численные граничные значения данных множества Парето (как и вопросы формирования оптимальной структуры хранилища упомянутых граничных значений) для рассматриваемых далее задач будем считать заданными. Ответы на вопросы их определения могут быть получены или с помощью экспертных оценок специалистов, или посредством итерационного математического моделирования для нахождения максимального соответствия макроэкономических процессов и их математических моделей. Предметом настоящей статьи является определение математического

¹ Продолжение. Начало в № 1, 2020.

формализма, применяемого для расчета ПМ-моделей ФЭС с учетом их особенностей [2], и влияния эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса. Особенности математического описания рассматриваемых процессов требуют для своего анализа и расчета применения эффективных специализированных методов системного анализа.

Относительно вопроса выбора модели ФЭС отметим следующее. Различные теоретические подходы различных экономических школ и экономистов [4–8], объясняющие (или констатирующие) возможные причины как возникновения кризисов, так и причины их завершения, часто противоречивы. Задача построения математических моделей, которые им соответствуют, и анализ адекватности таких моделей представляют отдельную проблему, выходящую за рамки данной работы. В настоящей статье, как и в работах [1, 2], предполагается, что для описания динамики ФЭС можно с учетом упрощений, формализаций и ограничений построить модель в виде тихоновской системы [9] с управлением или (в более общей форме) с сохранением принципиальных особенностей динамики объекта перейти к виду

$$\dot{X} = f(x, u), \quad x(t_0) = x_0, \quad (1)$$

где u – вектор управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальное (квазиоптимальное) управление ФЭС, которое предотвращает возникновение и развитие кризисных ситуаций.

Большую часть числовых значений коэффициентов в данной модели описания динамики ФЭС можно получить при использовании, например, таблиц, сформированных как «затраты–выпуск» по методу Леонтьева [10, 11].

Использование современных возможностей вычислительной техники и информационных технологий при формировании и обработке данного класса моделей позволит перейти к более детальному описанию динамики экономических показателей по сравнению с моделями, предложенными В. Леонтьевым. Однако в данном случае при формировании ПМ-моделей ФЭС необходимо решение принципиально иной проблемы — математического вычисления оптимальных (квазиоптимальных) управляющих воздействий, обеспечивающих недопущение кризисных состояний экономики и (или) смягчения влияния негативных факторов развития, начавшихся в кризисных ситуациях.

Необходимо отметить, что при использовании математических моделей для расчета числовых значений управляющих факторов ФЭС и математическом моделировании в управлении ФЭС принятие решений будет менее зависимым от человеческого фактора [12–14], что позволит руководящим (административным) органам более прозрачно контролировать действия регулятора (Национальный банк, регуляторные комиссии и т.д.). При этом сам процесс формирования модели при постоянном мониторинге определенных показателей и расчете динамики маркеров состояния позволит решить проблему своевременного выявления признаков небезопасного состояния ФЭС. Учитывая ряд особенностей рассматриваемой задачи (в первую очередь, ее большую размерность, нелинейный характер зависимостей, наличие стохастических параметров и т.д.), возникает необходимость в задействовании методов искусственного интеллекта (ИИ) [15, 16] если не для принятия решений, то для диагностики состояний, требующих принятия неотлагательных мер. Необходимость использования технологий ИИ определяется крайне сложным учетом распределенных во времени факторов взаимосвязи и взаимовлияния экономик отдельных регионов (кластеров), отражением которых являются эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса. Принимая во внимание масштаб мировой экономики, значение перечисленных эф-

фактов, задержку во времени их последствий как для стран-доноров, так и для стран-реципиентов, маловероятной представляется возможность предусмотреть и рассчитать управляющие воздействия без использования современных инфокоммуникационных технологий. Математическую основу при этом составляют рассматриваемые далее методы системного анализа (использующие алгоритмы искусственного интеллекта), применяемые для создания системы мониторинга динамики ФЭС и выявления значений маркеров, свидетельствующих о развитии неблагоприятных процессов.

Для упрощения процедуры последующего агрегирования модель (1) с учетом возмущающих факторов перепишем в структуризованном виде:

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= f_1(x_1, x_2, u, \pi_1, \pi_2, \xi), \\ \dot{X}_2 &= f_2(x_1, x_2, u, \pi_1, \pi_2, \xi),\end{aligned}\quad (2)$$

где ξ – вектор некоторых стохастических переменных, учитывающих факторы непредсказуемости — массового поведения людей, случайные параметры, влияющие на ФЭС, и т.п. Переменные, соответствующее маркерам состояния ФЭС, можно объединить в вектор Z — отдельную группу переменных, динамика которых, в первую очередь, зависит от значений переменных вектора x . Их можно рассматривать как интегральные показатели, по которым фиксируют момент приближения системы к критической точке — началу интервала стагнации (кризиса). Если сравнивать модель (2) с ПМ-моделью ФЭС, приведенной в [3], то вектор Z можно рассматривать как некоторый субвектор вектора DI . Приведенная выше структуризация ПМ-модели ФЭС выполнена с учетом территориального разделения: переменные вектора x_1 характеризуют ФЭС стран-доноров, а переменные, входящие в вектор x_2 , описывают ФЭС стран-реципиентов (стран с развивающейся экономикой).

В системе уравнений (2) вектор переменных π_1 обеспечивает учет эффекта выплескивания, а вектор переменных π_2 обеспечивает учет эффекта обратного импульса. По своей природе эффект обратного импульса связан с естественным функционированием международного рынка и возвращением товаров, производство которых в странах-реципиентах вызвано, в первую очередь, эффектами выплескивания и продуктивного вспенивания на рынки стран-доноров. Отметим, что эффекты выплескивания и обратного импульса отражают взаимосвязь финансово-экономических систем различных регионов и их учет позволит более точно определять коэффициент глобализации [2]. Начало эффекта вспенивания свидетельствует о последующем небезопасном состоянии ФЭС и является сигналом для корректировки управляющих воздействий.

Модель (1) является кусочно-интервальной, когда начало и конец интервалов дискретизации допускают скачкообразное изменение отдельных переменных. Перепишем модель (1) в линеаризованном виде:

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_1u + C_{11}\pi_1 + C_{12}\pi_2 + D_1\xi, \\ \dot{X}_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_2u + C_{21}\pi_1 + C_{22}\pi_2 + D_2\xi, \\ \dot{Z} &= A_{z1}x_1 + A_{z2}x_2 + B_zu + C_{z1}\pi_1 + C_{z2}\pi_2 + D_z\xi + Mz,\end{aligned}\quad (3)$$

где

$$A_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j}, \quad B_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial u_j}, \quad C_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial \pi_j}, \quad D_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial \xi_j},$$

а A_{zi} , B_z , C_{zi} , D_z , M — некоторые матрицы, формируемые пользователем.

Мониторинг (контроль) появления эффекта вспенивания математически будет выполняться посредством оценивания производной скорости отдельных ком-

понент векторов переменных. Существенное отличие данных показателей от значений, характерных для стабильного состояния и устойчивого развития экономики, позволит констатировать начало процесса вспенивания. Непропорционально быстрому изменению отдельных переменных векторов x_1, x_2, Z будут соответствовать изменения собственных чисел матриц A_{ij}, A_{z1}, A_{z2} . Большая размерность и кусочно-интервальный характер ПМ-модели обуславливает большой объем вычислений при определении собственных чисел указанных матриц. Решение данной проблемы обеспечивается применением итерационных алгоритмов определения собственных чисел матриц [17, 18], ориентированных на работу с матрицами произвольной размерности и степени жесткости, сходимость которых обоснована теоремой Хилленко [17].

При моделировании влияния и последствий (обратного влияния) инвестиций из стран с развитой экономикой в страны со слаборазвитым уровнем экономики можно выделить составляющие: эффект выплескивания — вливание внешнего финансирования в слаборазвитые экономики, эффект вспенивания и эффект обратного импульса. В результате эффекта обратного импульса, в свою очередь, могут выявляться две составляющие: эффект вспенивания — результат вливания и резкое развитие отраслей для страны-донора и эффект вспенивания для страны-реципиента. При этом, как показывают результаты решения модельных задач, в долгосрочной перспективе перемещение капитала может приводить к негативному воздействию на экономическую ситуацию как в странах с развивающейся экономикой, так и на экономику стран-доноров. В целом движение финансовых (товарных) потоков, соответствующих эффектам выплескивания, вспенивания, обратного импульса, является системой сообщающихся сосудов между экономиками стран-доноров и экономиками стран-реципиентов.

Особенность функций π_1 и π_2 заключается в их кусочно-интервальном и разрывном характере, причем для одной и той же отрасли в различных регионах их ненулевые значения в основном являются не совпадающими (разнесенными) во времени. Соответственно при формировании правых частей рассматриваемой модели необходимо учитывать временной сдвиг (задержку во времени) влияния параметров π_1 и π_2 на изменение искомым переменных. Физическая природа таких задержек очевидна. Так, при эффекте выплескивания подъему бизнесов в стране-реципиенте предшествует некоторый период t^{TP} технологической подготовки, необходимой для начала функционирования этих бизнесов. Эффекту снижения показателей развития определенных бизнесов в стране-доноре вследствие эффекта обратного импульса предшествует период t^{BI} , когда наблюдается выход продукции страны-реципиента на рынки стран-доноров. Математически эти временные сдвиги можно фиксировать введением поправочных коэффициентов, используя для отдельных переменных замену

$$Q(t-a) = x(t).$$

В эффекте вспенивания также можно выделять две составляющие, которые назовем эффектом продуктивного вспенивания и эффектом непродуктивного вспенивания. Первый связан с производством товаров, часто соответствующих требованиям пользователей стран с развитой экономикой, и в объемах, которые превышают потребности рынков, где они произведены (страны-реципиенты). Пример эффекта продуктивного вспенивания — производство товаров электронной техники в Китайской Народной Республике. Эффект непродуктивного вспенивания не подтверждается реальными материальными ценностями и основывается на переоценке реальной стоимости активов. Примером может быть «раздутая» стоимость акций IT-компаний в период 1995–2000 гг. [19].

Величины, характеризующие вспенивание в экономиках стран-реципиентов, могут существенно возрастать, если эффект выплескивания происходит в разных отраслях хозяйственного комплекса. При этом происходит наложение «волн» успешного экономического развития отдельных отраслей (направлений бизнеса), одна из графических интерпретаций которого может быть представлена динамической модели Лотки–Вольтерры «хищник–жертва». В этом случае возможен достаточно продолжительный период успешного развития экономики страны-реципиента в целом, длительность которого может быть достигнута использованием оптимальных управляющих воздействий.

Формирование полного списка маркеров состояния, которые в итоге должны быть численно определены, требует дополнительных исследований и здесь не рассматривается. Приведем важные маркеры состояния, сопряженные с рассматриваемыми эффектами:

- значительное уменьшение финансовой базы в странах с развитой экономикой (эффект выплескивания);
- значительное увеличение финансовой базы или входящих товарных потоков в странах с развитой экономикой (эффект обратного импульса);
- значительное увеличение финансовой базы в странах с развивающейся экономикой (эффект выплескивания);
- существенное увеличение скорости изменения отдельных переменных, характеризующих динамику развития в отдельных отраслях экономики (эффект вспенивания);
- существенное замедление движения финансовых потоков в динамике отдельных отраслей в странах с развитой экономикой и накопление кредитов (эффект обратного импульса).

Другие маркеры состояния, которые должны учитываться в ПМ-модели, можно ассемблировать по отчетным документам состояния экономики, например, ознакомившись с «Докладом о торговле и развитии, 2014 год», в котором, в частности, отмечено: «Сохранение доминирования финансового сектора экономики над реальным и неуклонное снижение доли заработной платы свидетельствуют о неспособности устранить причины кризиса и о болезненном характере выхода из него» [20].

Рассмотрим особенности ПМ-моделей ФЭС (связанные, в первую очередь, с учетом указанных выше эффектов), определяющие выбор математического аппарата, применяемого для их анализа и расчета.

Эффект выплескивания определяется величиной с отрицательным значением для донора и положительным значением для реципиента. Эффект обратного импульса может проявляться не в денежной форме, а в виде товарной инъекции в экономику страны-донора, которая, в свою очередь, будет влиять на финансовые потоки.

Исследование устойчивости модели при различных показаниях (диапазонах изменения) вектора ξ случайных параметров имеет важное прикладное значение и позволяет более адекватно выбирать значения производных оптимальных (квази-оптимальных) управляющих воздействий и прогнозировать динамику системы. В частности, если установленный допустимым ограничением до перехода ФЭС в неустойчивый период развития диапазон изменения вектора ξ сужается, то это также является сигналом для срочной корректировки управляющих воздействий.

Корректное формирование ПМ-модели требует учета как детерминированных, так и стохастических ограничений. Многокритериальность также является особенностью, обусловленной физической сущностью функционирования экономических систем. Отсутствие общей математической теории и универсальных вычислительных алгоритмов для решения данного класса задач [9] обуславливает необходимость использования специального математического аппарата, по-

зволяющего за счет привлечения некоторых упрощающих гипотез добиться решений, имеющих практическую значимость и обеспечивающих заданную точность планируемых результатов.

Ввиду того, что скорости развития отдельных отраслей изменяются, необходимо для корректного (с правильным шагом интегрирования) численного расчета постоянно оценивать быстрые и медленные переменные [17, 18]. В процессе развития экономики естественным является флуктуация переменных и их переход из одной группы в другую как на разных интервалах дискретизации, так и в отдельных случаях в рамках одного интервала. Такая оценка обусловлена вычислением собственных чисел матриц, элементами которых являются данные о мгновенных показателях состояния каждой подотрасли экономики, и представляет трудоемкий процесс решения задачи. Метод ее решения изложен выше.

При формировании вектора u следует учитывать, что управляющие структуры имеют в своем распоряжении не только величину денежной массы и размер учетной ставки, но и не менее действенные рычаги — управляющие параметры для банковского сектора и нормативные (законодательные) ограничения для различных отраслей бизнеса и промышленности. В частности, в роли ключевых параметров, подлежащих централизованному заданию управляющими структурами, наряду с существующими параметрами контроля банков регулятором могут быть установлены соотношения потребительских и создающих товарные ценности кредитов, величины кредитных ставок по различным отраслям и т.д. Данные переменные включает вектор Z .

Объективное наличие факторов неопределенности, имеющих стохастический характер, обуславливает использование для расчета оптимальных управляющих воздействий двухэтапной оптимизации [9, 21, 22]. Введение ограничения на диапазон изменения ξ предполагает наличие экспертных оценок или представляет результат решения задач математического моделирования.

В соответствии с вычислительной схемой двухэтапной оптимизации функции ξ без ограничения общности будем полагать центрированными:

$$\overline{\xi(t)} = 0.$$

Значения переменных в момент времени t_i^F завершения i -го интервала дискретизации считаем заданными. Для оценки точности достижения цели управления используем или функции [13]

$$J = \overline{((x(T) - x_T), R(x(T) - x_T))},$$

где R — некоторая положительно определенная матрица, элементы которой представляют отношения эквивалентности оценок точности выполнения условий

$$x(T) = x_{iT}, i = 1, \dots, n,$$

или функции

$$J_1 = \overline{(x(T) - x_T)^2} \rightarrow \min. \quad (3^*)$$

Целесообразность использования функции (3^{*}) заключается в более доступном понимании рассматриваемой предметной области: искомое решение значений определенных экономических показателей должно находиться в некоторой ограниченной области точного (оптимального) решения.

Полагая $\xi = 0$, перейдем к стандартной задаче оптимального управления: найти управление $u(t)$, удовлетворяющее ограничениям (которые далее, следуя терминологии [9], назовем ресурсными ограничениями) $u \in G_u$ и обеспечивающее максимизацию функционала

$$J_0 = \int_0^T F(x, u) dt \rightarrow \max,$$

где $x(t)$ является решением краевой задачи:

$$\dot{x} = f(x, u, t, 0), \quad x(0) = x_0, \quad x(T) = x_T.$$

Отметим, что для задач управления ФЭС ресурсные ограничения являются параметрами, находящимися исключительно в распоряжении управляющих (административных) структур.

Представим вектор переменных и вектор управления в виде

$$x = \hat{x}(t) + y(t), \quad u = \hat{u}(t) + v(t), \quad (4)$$

где $v(t)$ — некоторые поправки, вызванные наличием случайных возмущений. Далее находим требуемое решение, используя уравнения (4) и применяя метод вариации произвольных постоянных. Однако дискретная природа управляющих воздействий, относительная инерционность протекания экономических процессов и приемлемость в большинстве случаев нахождения решения с некоторой погрешностью являются обоснованием перехода к линеаризованной системе

$$\dot{y} = Ay + Bv + C\xi, \quad (5)$$

где

$$A = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_0, \quad B = \left(\frac{\partial f}{\partial u} \right)_0, \quad C = \left(\frac{\partial f}{\partial \xi} \right)_0.$$

Как известно [9], формулу (3*) применительно к системе уравнений (5) можно переписать в виде

$$\overline{(y(T), y(T))} \rightarrow \min,$$

а целевая функция в этом случае примет вид

$$J_1 = \overline{(y(T), y(T))} = \int_0^T \int_0^T (B(s)v(s), B(\tau)v(\tau)) dt ds + \int_0^T \int_0^T \overline{(C(s)\xi(s), C(\tau)\xi(\tau))} d\xi ds.$$

Таким образом, предлагаемый подход позволяет реализовать кусочно-интервальное управление, выполняя на интервалах дискретизации двухэтапную оптимизацию для нахождения искомого решения.

Общий алгоритм расчета данного класса моделей в целях определения оптимальных (квазиоптимальных) значений вектора u включает следующие этапы.

1. Формирование ПМ-модели ФЭС с учетом эффектов выплескивания и обратного импульса.

2. Определение величины интервала дискретизации относительно со значеннями t^{TP} , t^{BI} .

3. Представление исследуемой модели в кусочно-линеаризованном виде.

4. Определение интервала ограничений стохастических возмущающих факторов ξ для данного интервала линеаризации.

5. Применение метода двухэтапной оптимизации [9, 21–24]. Выполнение вычислительных процедур значений управляющих воздействий при этом сопровождается контролем изменения скоростей переменных (например, на основе теоремы Хиленко [17]) с анализом причин и характера таких изменений, по результатам которого при необходимости будет выполнена соответствующая корректировка используемой модели.

Анализ позволяет определить, связано ли изменение скоростей переменных с эффектом вспенивания, когда изменения вызваны движением капитала, в соответствии с эффектами выплескивания или обратного импульса, либо причиной является превышение допустимого диапазона значений возмущающих факторов, что может быть, в свою очередь, признаком начала лавинообразных слабоуправляемых процессов. В последнем случае, если корректировка управляющих воздействий не будет выполнена своевременно, с высокой вероятностью ФЭС окажется в состоянии кризиса и рассматриваемые модели уже не будут функционировать, а для выведения системы из кризиса потребуются совершенно другие управляющие воздействия. В частности, для применения математического формализма в этом случае при управлении системой необходимо расширение ресурсных ограничений (применительно к экономическим задачам) — изменение ограничительных параметров, находящихся в распоряжении управляющих (административных) структур, например объем денежной массы.

Быстрый оценочный расчет маркеров ФЭС, анализ состояния отдельных отраслей, определение значений управляющих воздействий можно реализовать, используя методы макро моделирования и декомпозиции. Для агрегирования модели могут быть задействованы методы декомпозиции, в частности метод понижения порядка [17, 18, 25, 26]. Применение методов макро моделирования и декомпозиции расширяет сферу практического применения рассматриваемых моделей и позволяет получать оценочные (с заданной точностью упрощения) значения управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивую динамику ФЭС (как и приемлемый диапазон изменения маркеров состояния ФЭС) при корректном учете рассматриваемых эффектов. Сложность их корректного учета состоит, во-первых, в том, что эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса, происходящие в одной отрасли, могут быть значительно разнесены во времени, а во-вторых, может происходить наложение указанных эффектов, происходящих в разных отраслях. В этом случае размерности подсистем быстро и медленно изменяющихся переменных могут изменяться даже на одном интервале дискретизации, отдельные переменные при этом могут переходить из одной подсистемы в другую и выбор шага вычислений требует особого внимания [27], поскольку инерционность в сохранении шага вычислений может привести к пропуску пиковых изменений, приводящих ФЭС к кризисным ситуациям. Разрывный характер модели усугубляет данную проблему, решение которой связано с многократной оценкой собственных чисел матриц системы (3). В целом макро моделирование и применение методов декомпозиции, как способ сокращения временных затрат на исследование и расчеты, является необходимым этапом в работе с данным классом моделей и требует отдельного рассмотрения.

В заключение отметим, что мониторинг переменных ПМ-модели ФЭС (в частности, маркеров состояния) и использование рассмотренных методов системного анализа позволит не интуитивно, а математически, численно устанавливать зарождение «пузырей» в экономике. В свою очередь, это даст возможность своевременно применить рассчитанные значения управляющих воздействий для нивелирования возможных последующих отрицательных изменений экономических показателей.

При учете эффектов выплескивания, вспенивания, обратного импульса обеспечится адекватность используемой математической модели не только для текущего момента времени в финансово-экономической системе и краткосрочный прогноз динамики, но и возможность прогнозирования долгосрочных последствий экономического воздействия. Создание автоматизированной системы расчета управляющих воздействий ФЭС на основе технологий искусственного интеллекта, использующей ПМ-модели на данном этапе развития инфокоммуникационных

технологий и вычислительной техники, реально осуществимо и является крайне актуальной задачей. Своевременная соответствующая реакция регулятора — использование рассчитанных значений управляющих воздействий — позволяет если не предотвратить кризис ФЭС, то по крайней мере ослабить его неблагоприятный эффект, обеспечив возвращение к стабильному состоянию (стабильной динамике развития) экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хиленко В.В. Моделирование управляющих воздействий банковской системы на функционирование экономики. 1. Динамика и корректировка кризисных ситуаций. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 1. С. 26–34.
2. Хиленко В.В. Математическое моделирование эффекта «выплескивания» и оптимизация управления банковской и экономической системами в условиях глобализации. *Кибернетика и системный анализ*. 2018. Т. 54, № 3. С. 38–50.
3. Rajn R., Ramcharan R. Crises and the development of economic institutions: Some microeconomic evidence. *American Economic Review*. 2016. Vol. 106, N 5. P. 524–527.
4. Schumpeter J.A. *Business cycles*. New York; London: McGraw-Hill Book Co., 1939. 385 p.
5. МВФ увидел 8 признаков кризиса мировой экономики, 2016. URL: <http://ruspravda.info/MVF-uvidel-8-priznakov-krizisa-mirovoy-ekonomiki-19449.html>.
6. Блинов С. США и Россия. Три экономических кризиса. Сходства и различия. URL: <https://aurora.network/articles/1-mirovoy-krizis/75464-ssha-i-rossija-tri-jekonomicheskikh-krizisa-skhodstva-i-razlichija>, 2020.
7. Хазин М. О моделях стимулирования экономики. URL: <http://worldcrisis.ru/crisis/3515978>, 2020. С. 1–2.
8. Hamish McRae. These are the warning signs that signal a new global economic crisis, 2018. URL: <https://www.independent.co.uk/voices/imf-growth-forecasts-warning-global-economic-crisis-a8577646.html>.
9. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. Москва: Наука, 1981. 487 с.
10. Leontief W. *The future of world economy*. New York: Oxford University Press, 2007. 110 p.
11. Гранберг А. Василий Леонтьев и его вклад в мировую экономическую науку. URL: <https://institutiones.com/personalities/71-2008-06-12-11-10-29.html>.
12. Горбачук В.М., Макаренко О.С. Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2017. № 3. С. 73–87.
13. Таллер Р. Поведінкова економіка: як емоції впливають на економічні рішення. Київ: Наш формат, 2018. 464 с.
14. Boswell J. Let's not leave the economy the economists. URL: <https://www.businessinsider.com/lets-not-leave-the-economy-the-economists-2011-1>.
15. Russell S., Norvig P. *Artificial intelligence: A modern approach*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 2020. 1132 p.
16. Хиленко В.В., Стржелецки Р., Котуляк И. Решение проблемы динамической адаптивности систем искусственного интеллекта, осуществляющих управление динамическими техническими объектами. *Кибернетика и системный анализ*. 2018. Т. 54, № 6. С. 18–26.
17. Хиленко В.В. Сходимость метода понижения порядка при решении жестких систем линейных дифференциальных уравнений. ДАН УССР. 1987. № 8. С. 76–79.
18. Грищенко А.З., Хиленко В.В. Определение числа быстрых и медленных движений при декомпозиции линейных динамических моделей произвольно большой размерности. *Кибернетика*. 1991. № 6. С. 3–9.

19. The tech sector now is reminiscent of the 1990s dotcom bubble: Wall Street's Jim Paulsen. URL: <https://www.cnbc.com/2018/06/08/tech-sector-now-is-reminiscent-of-the-1990s-dotcom-bubble-jim-paulsen.html>.
20. Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию. Доклад о торговле и развитии, 2014 год. Глобальное управление и развитие для маневра в политике в интересах развития. URL: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tdr2014_ru.pdf.
21. Ермолев Ю.М., Шор Н.З. Метод случайного поиска для задач двухэтапного стохастического программирования и его обобщение. *Кибернетика*. 1968. № 1. С. 90–92.
22. Стецюк П.И., Бардадым Т.А., Березовский О.А., Журбенко Н.Г., Чумаков Б.М., Шор Е.И. К 75-летию со дня рождения выдающегося ученого академика НАН Украины Наума Зуселевича Шора. URL: <http://incyb.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/07/shor75-kibertonika.pdf>.
23. Dantzig G., Madansky A. On the solution of two-stage linear programs under uncertainty. In: *Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Vol. 1. Berkeley: University of California Press, 1961. P. 165–176.
24. Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщения и применения. Москва: Прогресс, 1966. 600 с.
25. Хиленко В.В. Использование алгоритмов декомпозиции для расчета линейных стохастических моделей. *Кибернетика и системный анализ*. 2001. № 4. С. 159–163.
26. Khilenko V. Convergence of algorithms of order-reducing method during analysis of non-linear mathematical fragment models of computer-aided systems for controlling the production processes. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2001. Vol. 37, N 3. P. 373–380.
27. Leon O. Chua, Pen-Min Lin. Computer-aided analysis of electronic circuits: Algorithms and computational techniques. New Jersey: Prentice Hall, 1975. 737 p.

Надійшла до редакції 24.11.2019

В.В. Хиленко

МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАЛЬНИХ ВПЛИВІВ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІКИ. II. ВИБІР І ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

Анотація. Розглянуто математичний формалізм обліку ефектів виплискування, спінювання і зворотного імпульсу для формування повних математичних моделей динаміки фінансово-економічної системи. Визначено алгоритм застосування відомих схем двоетапної оптимізації для обчислення оптимальних керувальних впливів.

Ключові слова: фінансово-економічна система, математичне моделювання, розрахунок і прогнозування динаміки, оптимізація управління, розрахунок керувальних впливів, ефекти виплискування, спінювання і зворотного імпульсу.

V.V. Khilenko

MODELING THE CONTROL EFFECTS OF THE BANKING SYSTEM ON THE FUNCTIONING OF THE ECONOMY. II. SELECTION AND SPECIAL FEATURES OF APPLICATION OF OPTIMIZATION ALGORITHMS

Abstract. The mathematical formalism of accounting for the effects of splashing out, foaming, and reverse momentum in the formation of complete mathematical models of the dynamics of the financial and economic system is considered. An algorithm is determined for applying the well-known two-stage optimization schemes for calculating optimal control actions.

Keywords: financial and economic system, mathematical modeling, calculation and forecasting of dynamics, optimization of control, calculation of control actions, effects of splashing out, foaming out and reverse impulse.

Хиленко Владимир Васильевич,

доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Киев, e-mail: vkhilenko@ukr.net.