

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОНОМИКИ.**III. РАСЧЕТ И ДЕКОМПОЗИЦИЯ МОДЕЛЕЙ СО СТУПЕНЧАТЫМ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ¹**

Аннотация. Предложен математический формализм расчета математических моделей финансово-экономической системы (ФЭС), сформированных в виде систем дифференциальных уравнений, и определения оптимальных значений управляющих параметров для случая ступенчатого пограничного слоя. Рассмотрено влияние эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса на создание условий для зарождения кризисов ФЭС.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация управления банковской и экономической системами, метод понижения порядка, эффекты движения капитала глобализационной экономики, ступенчатый пограничный слой, волны Кондратьева, кризисы мировой экономики.

Настоящая статья является продолжением работ [1–3], посвященных решению задачи математического моделирования динамики финансово-экономической системы (ФЭС) и расчета оптимальных значений управляющих параметров, устанавливаемых для ФЭС административными (регуляторными) структурами с использованием банковской системы как основного инструмента для предсказания и предотвращения (смягчения) кризисов. Как отмечалось в [1], формирование оптимальных (квазиоптимальных) решений по выбору и корректировке значений управляющих параметров ФЭС предполагает анализ и расчет полных математических моделей ФЭС, которые характеризуются жесткостью и большой размерностью. Это требует применения проблемно-ориентированного (специализированного) математического аппарата с учетом особенностей, характерных для рассматриваемого класса сложных динамических моделей [1–5].

Оптимизация управления мировой ФЭС в условиях глобализации обуславливает формирование адекватных математических моделей, описывающих динамику изучаемых процессов в виде, позволяющим использовать необходимый математический аппарат системного анализа и наработки теории оптимального управления. Современные возможности компьютерной техники и информационных технологий (Big Data, Data Science, AI и др.) являются основанием для формирования с учетом информационных потоков банковской системы баз данных (хранилищ данных), необходимых для моделирования оптимальных управляющих воздействий для ФЭС при условии создания соответствующих адекватных математических моделей.

Обеспечение адекватности при формировании математических моделей ФЭС требует учета большого числа факторов различной природы [6–8], предполагая при этом не только мониторинг данных экономических параметров и исследование причин запуска процессов движения капитала, но и установление степени влияния банковского сектора в ускорении или замедлении их динамики. Р. Раджан ввел понятие «эффекта выплескивания» [9] и обратил внимание специалистов на неопределенность и недостаточную изученность его последствий, что обусловило необходимость дальнейших исследований в направлении, связанном с движением капитала на современном этапе развития финансово-экономических процессов [10]. Изучение данного вопроса привело не только к осознанию значимости данного эффекта в условиях глобализации современной мировой экономи-

¹Продолжение. Начало в № 1, № 5, 2020.

ки, но и выявлению таких его последствий, как эффект вспенивания и эффект обратного импульса [1–3]. Такие особенности эффектов, как возможность проявления их результатов через достаточно продолжительный интервал времени со значительной распределенностью по регионам, отраслям экономики и отдельным странам, являются основанием для исследования степени влияния указанных эффектов на зарождение, развитие кризисов мировой экономики и соответственно на распределенность во времени волн Кондратьева [11, 12], на продолжительность циклов Жюгляра [12, 13], на диапазон волн Шумпетера [14] и т.д.

В совокупности эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса можно рассматривать как развитие применительно к мировой ФЭС настоящего времени положений, определяющих исторически меняющуюся динамику процессов развития мировой экономики. Определению и анализу таких положений применительно к экономике своего времени посвящены многие труды известных экономических школ начала прошлого века [15, 16], получившие дальнейшее развитие в последующих работах экономистов [14, 17–19]. В некоторых случаях корректное математическое описание ФЭС требует расширенного соответствующего современной экономике понимания терминов, использованных в упомянутых работах Туган-Барановского, Кондратьева, Шумпетера и др. Это обусловлено тем, что уровень глобализации экономики существенно изменился даже за последние десятилетия (численная оценка таких изменений в виде коэффициента глобализации ФЭС предложена в [1]), а изменения скорости развития технологий, по мнению многих экономистов, обусловили сокращение продолжительности экономических циклов [20]. Более детальное изучение данного вопроса (например, изучение исходя из экономической теории влияния эффектов вспенивания и обратного импульса на внедрение новейших технологий) выходит за рамки настоящей работы, поскольку цель развиваемого направления, т.е. прикладной макроэкономики [1], состоит в определении количественных значений управляющих параметров административно-управляющих структур, позволяющих через доступные рычаги воздействия (в первую очередь, банковскую систему) влиять определенным образом на динамику ФЭС для ее корректировки.

Важным вопросом является выбор математического аппарата для решения данной задачи и получения ее аппроксимационно-приемлемого решения [21, 22]. Необходимость выбора и адаптации математического аппарата для решения задач моделирования (макромоделирования, декомпозиции и др.) ФЭС обусловлена как изначальной сложностью моделей и их расчетов, так и детализацией в описании происходящих глобальных финансово-экономических процессов, что приводит, как правило, к возрастанию численных показателей таких характеристик математических моделей, как размерность и жесткость, приводящих к непрактичности выбора математического аппарата для их расчета.

Как отмечено в [1–3], учет эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса является одним из условий адекватности математических моделей ФЭС и необходимым элементом для прогнозирования возникновения кризисных ситуаций. Дополнительный анализ динамики экономических процессов, сопровождающих названные эффекты, которые далее объединим обобщающим термином «эффекты движения капитала глобализационной экономики», дает основания для целесообразности внесения корректировок в вычислительные схемы и алгоритмы используемого специализированного математического аппарата, сузив область его применения и сделав более эффективным для расчета и анализа рассматриваемого класса моделей.

Из анализа экономической сущности указанных выше эффектов вытекает, что их последствия (учитывая естественную природную инерционность экономических процессов) могут проявляться через продолжительный интервал времени, поэтому анализ динамики рассматриваемых моделей необходимо проводить на длительном интервале с учетом произошедших первопричинных событий.

Первопричинные события могут происходить задолго до момента создания модели по существующим финансово-экономическим показателям, и предстоя-

щие изменения в ФЭС, обусловленные последствиями указанных эффектов, окажутся не учтенными для моделей, построенных по параметрам текущего состояния экономики и банковской системы.

При исследовании динамики финансово-экономических процессов на длительных интервалах времени рассматриваемые математические модели ФЭС часто относят к классу моделей со ступенчатым пограничным слоем [4]. В настоящей работе понятие модели со ступенчатым пограничным слоем трактуется более широко, чем в работе [4]. В частности, к моделям со ступенчатым пограничным слоем будем относить модели, в которых можно выделить не только несколько отдельных (существенно отличающихся по скорости) групп переменных, но также и модели, в которых для переменных каждой группы можно выделить подынтервалы внутри пограничного слоя с существенно разной скоростью изменений. При этом в силу упомянутой инерционности многих экономических процессов как внутри пограничного слоя, так и вне его отдельные переменные могут переходить из группы медленно изменяющихся переменных в группу быстро изменяющихся переменных и наоборот.

Данную особенность рассматриваемого класса математических моделей ФЭС, представленных в виде

$$\dot{v}_l = f_l(v_j, \xi, u, t) \quad (1)$$

(где v — вектор переменных; ξ и u — соответственно векторы параметров и управляющих воздействий), запишем следующим образом [4]:

$$\left| \frac{dv_m}{dt} \right|_{t \geq \tau_{nci}(m)} \ll \left| \frac{dv_m}{dt} \right|_{t < \tau_{ncj}(m)}, \quad (2)$$

где $\tau_{nci}(m)$, $\tau_{ncj}(m)$ — подынтервалы пограничного слоя для m -й переменной.

Рассмотрим упрощенный случай, когда субвектор быстрых переменных можно разделить на две подгруппы так, что переменные подгрупп будут существенно отличаться по скорости изменения одна от другой. В этом случае для собственных чисел якобиана системы (1) (значения вектора управления u и параметров ξ полагаем равными нулю) выполняются соотношения

$$\begin{aligned} |\lambda_k^1(t)| &\gg |\lambda_l^2(t)|, \\ |\lambda_l^2(t)| &\gg |\lambda_i^3(t)|. \end{aligned} \quad (3)$$

Нижние индексы в формулах (3) представляют порядковые номера спектральных чисел якобиана в соответствующей группе, идентифицированной верхним индексом, причем полагаем, что

$$\begin{aligned} |\lambda_1^1| &\approx |\lambda_2^1| \approx \dots \approx |\lambda_p^1|, \\ |\lambda_{p+1}^2| &\approx |\lambda_{p+2}^2| \approx \dots \approx |\lambda_q^2|, \\ |\lambda_{q+1}^3| &\approx |\lambda_{q+2}^3| \approx \dots \approx |\lambda_n^3|, \end{aligned}$$

где p, q определяют количество спектральных чисел в группе.

На r -м шаге преобразования системы (1) в соответствии со схемой метода понижения порядка [4] определим переменные v :

$$v_i^r(t) = W_i(t) - \Omega_i^2(v_{q(r)}^r(t), \dots, v_n^r(t)), \quad i = \overline{k_{r-1} + 1, k_r}, \quad (4)$$

где Ω_i^r — решения вырожденной относительно v_i системы уравнений (1) на $(r-1)$ -м шаге

$$f_i^{r-1}(v^{r-1}, t) = 0, \quad (5)$$

а систему уравнений для определения $W_i(t)$ ($i = \overline{k_{r-1}+1, k_r}$) сформируем, подставляя выражения (4) в $(k_{r-1}+1), \dots, k_r$ уравнения преобразованной системы (1) на $(r-1)$ -м шаге [4]:

$$\dot{W}_i(t) = F_i^r(W_l, \Psi_i^r(v^r, t), v_{q_r}^r(t), \dots, v_n^r(t), t), \quad (6)$$

где

$$\Psi_i^r(v^r, t) = \frac{\partial \Omega_i^r}{\partial t} \quad (l, i = \overline{k_{r-1}+1, k_r}).$$

Применение алгоритмов, реализующих параллельные схемы метода понижения порядка, позволит получить требуемое решение, при необходимости переходя к кусочно-линеаризованным моделям. Допустимая длина интервала линеаризации при этом определяется с учетом изменений спектральных чисел якобиана исходной системы.

Применение алгоритмов преобразования систем со ступенчатым пограничным слоем к рассматриваемому классу моделей требует постоянного отслеживания изменений собственных чисел для исключения некорректности анализа динамики переменных, вызванной неправильной оценкой скорости их изменения, а также для повышения точности моделирования. Проведение расчетов на основе полных математических моделей с корректно выбранным интервалом дискретизации и более четким разделением переменных на подгруппы, отличающиеся скоростью изменений, позволит с меньшей погрешностью находить оптимальные значения управляющих параметров ФЭС. Своевременное определение переходов переменных из одной группы в другую необходимо для оптимального нахождения моментов времени изменений численных значений управляющих параметров. Возникающая при этом проблема многократного периодического вычисления собственных чисел якобиана модели ФЭС с учетом ее трудоемкости может быть решена, например, с использованием алгоритмов, обоснованных теоремой Хилленко [6]. Итерационный характер этих алгоритмов можно использовать для построения макромоделей ФЭС, описывающих динамику выбранных групп процессов с некоторой точностью, от которой может зависеть точность вычисления собственных чисел якобиана исходной математической модели. Использование макромоделей — это фактор, необходимый для получения быстрых предварительных оценок, при этом моделируется развитие ситуации в ФЭС при разных значениях управляющих параметров. Уменьшенный объем вычислений позволит в большинстве случаев получать результаты в режиме реального времени, что не всегда возможно при использовании полных математических моделей.

Мониторинг основных маркеров ФЭС в режиме реального времени поможет своевременно выявлять признаки зарождающихся кризисов ФЭС, обеспечивая возможность реакции управляющих структур в целях недопущения дальнейшего развития кризисных ситуаций или по крайней мере смягчения их негативных последствий.

Применение проблемно-ориентированных алгоритмов к моделям со ступенчатым пограничным слоем позволит получать более широкий спектр макромоделей и более точные результаты расчета по сравнению с использованием для данного класса моделей вычислительных схем, предназначенных для однородного пограничного слоя. Использование макромоделей при этом является фактором, необходимым для получения быстрых предварительных оценок, моделируя развитие ситуации в ФЭС при разных значениях управляющих параметров.

Ситуация, возникшая в последние годы относительно ФЭС Индии и Китая [10], может служить примером, когда необходим анализ динамики моделей глобальной ФЭС на продолжительных интервалах времени и инерционности процессов, связанных с учетом эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса, а также сложности моделирования данных эффектов, двойного характера их последствий. В результате вливания инвестиционных денег в ФЭС Индии (эффект выплескивания) можно ожидать ускорение развития отдельных

сегментов ее экономики, но при этом, в противовес, административными (регуляторными) органами индийской стороны допускается через определенное время возможность возникновения негативных последствий для страны в целом [10]. Расчет последующих результатов эффектов вспенивания, возможностей его распространения по принципу сообщающихся сосудов на другие отрасли экономики, а также последствий эффекта обратного импульса представляет сложную вычислительную задачу, решение которой позволяет внешними воздействиями в определенной степени корректировать динамику экономики страны-реципиента. При этом, как отмечено в [1, 2], получение практически значимых результатов возможно только на основе математического моделирования и строгого применения методов системного анализа. В частности, исходя из экономической целесообразности, тезис Р. Раджана о неоднозначности последствий движения капитала в виде эффекта выплескивания для придания ему практической ценности при принятии оптимальных (корректных) решений по управлению ФЭС требует перевода его в вид математической модели, что позволит получить конкретные численные результаты. Важность таких результатов определяется и тем, что анализ, расчет и математическое моделирование последствий рассмотренных региональных движений капитала [10] оказывает влияние не только на экономики стран-участников в конкретном регионе, но и на общемировые экономические процессы, происходящие, в частности, в странах-донорах с развитыми экономиками.

Эффекты движения капитала на региональном уровне еще более усложняют полную математическую модель ФЭС, однако при этом превалирует значимость полученных результатов по управлению глобальными финансово-экономическими процессами. Управляющими воздействиями, численные значения которых требуют расчета, могут быть и ограничения на движение капитала как по объемам, так и по скорости перемещения, и действия по поддержке других отраслей экономики, и задание управляющих параметров по банковской системе, имеющих опосредованное воздействие на экономические процессы, и т.д.

Как отмечалось, эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса могут создавать условия для возникновения волн динамики ФЭС, описываемых в циклах Кондратьева и в циклах Жюгляра. При анализе факторов, которые рассматриваются в циклах Кондратьева, названные эффекты глобализационного движения капитала связаны с процессами в экономике, указанными Кондратьевым. В частности, эффект выплескивания естественно приводит к развитию техники и технологий, т.е. используя терминологию Кондратьева, создает восходящую волну. Продолжительность цикла, на которую влияют эффекты вспенивания и обратного импульса, уже будет зависеть (регулироваться) от конкретных технологических факторов, влияющих на продолжительность интервалов подъема или спада экономики. На данных интервалах, исходя из управления ФЭС, важно не только вычисление оптимальных значений управляющих параметров, но и своевременная реакция, в первую очередь, банковской системы относительно реализации управленческих решений в целях смягчения кризисов в момент их начала. Следует отметить (как это ни кажется парадоксальным), что рассчитанное ограничение (сдерживание) роста отдельных экономических показателей в момент подъема волн Кондратьева (Шумпетера) также может быть положительным фактором относительно дальнейшего устойчивого развития ФЭС в целом.

Совокупное влияние трех названных эффектов глобализационного движения капитала можно рассматривать как одну из причин цикличности кризисов мировой экономики. Как указанные эффекты, так и их последствия могут создавать дополнительную турбулентность мировой экономики и последующие волны кризисов. При этом изучение вопроса наложения волн, которые могут происходить в разных странах, регионах и различных отраслях промышленности, и возможного последующего быстрого усиления общих глубоких кризисных процессов связано с определением причин начальной волны зарождения спада экономики и выяснением, является ли спад результатом внутренних причин

в стране или следствием наблюдаемых ранее эффектов глобализационного движения капитала.

При формировании рассматриваемых математических моделей необходимо учитывать возможность длительного распределенного и комплексного влияния указанных трех эффектов на возникновение и развитие кризисов ФЭС, при этом кризисные моменты в развитии экономики, являющиеся следствиями отмеченных эффектов, при определенных условиях, возникающих в отдельных странах, могут создавать в результате эффект синергии.

В целом процессы движения капитала как результат эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса могут приводить к изменению состояния экономики как отдельных стран и регионов, так и мировой ФЭС. Они отражаются в информационных базах данных, а также в информационных потоках банковской системы, что позволяет, используя ее как инструмент управления, регулирующий характеристики движения потока, корректировать нежелательные отклонения динамики экономических процессов, вызванные эффектами глобализационного движения капитала. Фиксируемые банковской системой изменения скорости перехода переменных из одной группы в другую, как и общие изменения скорости процессов, своевременно указывают на необходимость корректировок управляющих параметров. Формирование соответствующих баз (хранилищ) данных, конкретных проблемно-ориентированных выборок данных представляет необходимый элемент применения современных информационных технологий (работы с большими данными, Data Science, Data Mining, AI) для оптимизации управления ФЭС и свидетельствует как о недостаточной математизации проблемы управления ФЭС, так и об использовании возможностей банковской системы в качестве соответствующего инструментария реализации управления и информационной основы для формирования хранилищ данных.

Одним из способов предотвращения негативных процессов в системе в целом, т.е. перехода динамики системы по совокупности основных маркеров на интервал стагнации или глубокого кризиса [2, 3], является максимально возможная «консервация» негативных изменений, происходящих в отдельных отраслях, блокируя их распространение на другие отрасли экономики. Защита отраслей, не затронутых на первом этапе кризисными явлениями, определяется соответствующими значениями рассчитанных управляющих параметров и реализуется банковской системой, с помощью которой можно обеспечить необходимое движение финансовых потоков, обойдя элементы, затронутые кризисом.

По своей экономической сущности эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса можно рассматривать как сформировавшуюся в условиях глобализации мировой экономики форму движения капитала, отличающуюся исходя из математического моделирования от финансово-экономических процессов в основном существенно иной скоростью. При этом анализ и описание названных эффектов выявляют ряд особенностей соответствующих им математических моделей.

Формализация применения математического аппарата системного анализа под управление всей ФЭС понимается как управление величиной потока движения капитала и скоростью потока. Задачей системного анализа применительно к общей финансово-экономической системе, которая на современном этапе может быть решена с использованием современных возможностей вычислительной техники и информационных технологий, является математическое моделирование динамики ФЭС и расчет необходимых управляющих воздействий. При этом следует учитывать эффекты глобального движения капитала и их взаимосвязи (в частности, выплескивание приводит к вспениванию, к зарождению обратного импульса и т.д.). Кроме того, полная модель динамики ФЭС должна учитывать как эффекты движения капитала, вызванные глобализацией, так и тот факт, что внутри интервалов между указанными эффектами экономические процессы подчиняются природным законам рыночной экономики [17].

В заключение отметим следующее.

1. Численный расчет моделей рассматриваемого класса, анализ их динамики при наличии ступенчатого пограничного слоя указывают на сложность и объемность необходимых вычислений и соответственно большую степень риска превалирования человеческого фактора при принятии решений без ограничительного диапазона, определенного с помощью систем поддержки принятия решений (СППР) и математического моделирования. Задание управляющих воздействий, существенно отличающихся от полученных при машинном эксперименте и представленных на усмотрение персонала (независимо от занимаемых должностей), требует особого внимания. При этом остается высокой риск принятия существенно неоптимальных решений. Защитой, снижающей вероятность ошибок, являются данные ограничительного диапазона, рассчитанного СППР с использованием специализированного математического обеспечения. С помощью алгоритмов использования искусственного интеллекта, применяемых в соответствующих СППР, необходимо установить базовые (начальные) значения управляющих параметров и данные значения рассматривать как исходные для регуляторов (управляющих структур). Фиксация предложенных корректировок «машинных» значений управляющих параметров, а также персональных обоснований и ответственности позволят снизить фактор существенно неоптимальных решений или решений, отвечающих узким интересам корпоративных групп.

Как показывает анализ, последствия эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса могут проявляться через значительные интервалы времени, которые по длительности могут значительно превышать время работы отдельных персонала на позициях, связанных с принятием решений по установлению управляющих параметров ФЭС. Соответственно при принятии решений по выбору управляющих параметров необходимо учитывать последствия событий, произошедших в ФЭС задолго до текущего момента, и проявление результата в развитии текущей финансово-экономической ситуации. Решения, принятые с превалированием человеческого фактора и превышением установленных системами поддержки принятия решений относительно ограничений на допустимые значения управляющих параметров, не будут оптимальными.

2. Изучение эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса и их моделирование представляет интерес для анализа мировой ФЭС и лучшего понимания происходящих межрегиональных процессов. Прикладное значение учета названных эффектов для оптимизации управления экономикой любой страны заключается в том, что соответствующий проблемно-ориентированный мониторинг ФЭС будет предупреждать о прогнозе финансово-экономических волн глобального (межрегионального) характера.

Применительно к финансово-экономической системе США моделирование динамики ФЭС с учетом эффектов глобализационного движения капитала поможет спрогнозировать и рассчитать ожидаемый возможный период возврата в США финансовых или товарных потоков, в частности, из стран с развивающейся экономикой. Это даст основу регулятору федеральной резервной системы (ФРС) своевременно откорректировать основные рычаги управления (например, изменить базовую ставку, ввести таможенные пошлины, изменить регуляторные параметры банковского сектора, создать условия стимулирования банкам выдавать кредиты национальным производителям, поддерживать развитие определенных отраслей, предупредив скачок безработицы и ее последствия, и т.д.).

3. Влияние эффектов выплескивания, вспенивания и обратного импульса на зарождение и развитие волн в циклах Кондратьева и в циклах Жюгляра очевидным образом следует из их экономической природы и соответствует экономическим факторам, указанным Кондратьевым. Являются ли данные эффекты основной или вторичной экономической предпосылкой упомянутых циклов и соответственно развития кризисов ФЭС — вопрос дальнейших исследований. Практическое использование результатов учета эффектов глобального

движения капитала для получения конкретных численных значений параметров оптимального управления ФЭС требует перехода от обнаруженных закономерностей (например, работы Ван Гельдерена о волнообразном эволюционном развитии; работы Шумпетера о взаимосвязи продолжительных и среднесрочных циклов и т.д.) к вычислительным процедурам системного анализа и математическому моделированию. Эффекты выплескивания, вспенивания и обратного импульса являются характерным примером, когда глобализация мировой экономики высвечивает соответствующие процессы, происходящие в ФЭС. Понимание природы этих процессов необходимо для более точного прогнозирования динамики рынка и предупреждения инвесторов о потенциальных угрозах возникновения кризисных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Хиленко В.В. Моделирование управляющих воздействий банковской системы на функционирование экономики. I. Динамика и корректировка кризисных ситуаций. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 1. С. 26–34.
3. Хиленко В.В. Моделирование управляющих воздействий банковской системы на функционирование экономики. II. Вычисление оптимальных управляющих воздействий. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 5. С. 38–47.
4. Грищенко А.З., Хиленко В.В. Метод понижения порядка и исследование динамических систем. Киев: УМК ВО, 1988. 164 с.
5. Leon O. Chua, Pen-Min Lin. Computer-aided analysis of electronic circuits: Algorithms and computational techniques. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1975. 737 p.
6. 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.
7. Талер Р. Поведінкова економіка: як емоції впливають на економічні рішення. Київ: Наш Формат, 2018. 464 с.
8. Nordhaus W.D. Reflections on the economics of climate change. *Journal of Economic Perspectives*. 1993. Vol. 7, N 4. P. 11–25.
9. Rajan R. Competitive monetary easing: Is it yesterday once more? *Macroeconomics and Finance in Emerging Market Economies*. 2015. Vol. 8, Iss. 1–2. P. 5–16.
10. URL: <https://sprotiv.info/news/indiya-vvodit-zhestkie-ogranicheniya-na-investicii-iz-kitaya-nazvana-prichina>.
11. Кондратьев Н.Д. Проблемы экономической динамики. Москва: Экономика, 1989. 526 с.
12. Korotayev A., Tsirel S. A spectral analysis of world GDP dynamics: Kondratieff waves, Kuznets sways, Juglar and Kitchin Cycles in Global Economic Development, and the 2008–2009 Economic Crisis. *Structure and Dynamics*. 2010. Vol. 4, N 1. P. 3–57.
13. Гринин Л.Е., Малков С.Ю., Коротаев А. В. Математическая модель среднесрочного экономического цикла и современный глобальный кризис. Москва: Книжный дом «Либроком», 2010. С. 233–284.
14. Schumpeter J.A. Business cycles. N.Y.; London: McGraw-Hill Book Co., 1939. 385 p.
15. Гесць В.М., Небрат В.В., Супрун Н.А., Бажал Ю.М., Тарасевич В.М. та ін. М.І. Туган-Барановський: вчений, громадянин, державотворець. До 150-річчя від дня народження. Київ: Наук. думка, 2015. 363 с.
16. Тимофеева Е.М. Финансовый рынок: из настоящего в прошлое и в будущее». *Современная экономика: проблемы и решения*. 2015. № 4. С. 138–147.

17. Keynes J. The general theory of employment, interest and money. London: Palgrave Macmillan, 1936. 472 p.
18. Leontief W. The future of world economy. N.Y.: Oxford University Press, 2007. 110 p.
19. Коротаев А.В., Божевольнов Ю.В. Некоторые общие тенденции экономического развития Мир — Системы. Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики. Отв. ред. А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г.Г. Малинецкий. Москва: Издательство ЛКИ/URSS, 2010. С. 161–172.
20. Smihula D. Waves of technological innovations and the end of the information revolution. *J. Economics and International Finance*. 2010. Vol. 2, N 4. P. 58–67.
21. Евдокимов Д., Кочубей А., Поляков Н. Анализ тенденций развития современного математического и численного моделирования. *Вісник Дніпропетровського університету*. Серія: Моделювання. 2009. № 17, Вип. 1. С. 3–17.
22. 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.

Надійшла до редакції 27.11.2019

В.В. Хиленко

МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАЛЬНИХ ВПЛИВІВ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІКИ. ІІІ. РОЗРАХУНОК І ДЕКОМПОЗИЦІЯ МОДЕЛЕЙ ІЗ СХІДЧАСТИМ ПРИМЕЖОВИМ ШАРОМ

Анотація. Запропоновано математичний формалізм розрахунку математичних моделей фінансово-економічних систем (ФЕС), які побудовано як системи диференціальних рівнянь, та визначення оптимальних значень керувальних параметрів у випадку східчастого примежового шару. Розглянуто вплив ефектів вихлюпування, спінювання і зворотного імпульсу на створення умов для зародження криз ФЕС.

Ключові слова: математичне моделювання, оптимізація управління банківською і економічною системами, метод зниження порядку, ефекти руху капіталу глобалізаційної економіки, ступінчастий примежовий шар, хвилі Кондратьєва, кризи світової економіки.

V.V. Khilenko

MODELING THE CONTROL EFFECTS OF THE BANKING SYSTEM ON THE FUNCTIONING OF THE ECONOMY. III. CALCULATION AND DECOMPOSITION OF MODELS WITH A STEPPED BOUNDARY LAYER

Abstract. A mathematical formalism is proposed for calculating mathematical models of financial and economic systems (FES) and determining the optimal values of control parameters for the case of a stepped boundary layer. The influence of the effects of splashing out, foaming, and back impulse on the creation of conditions for the onset of FES crises is considered.

Keywords: mathematical modeling, optimization of management of banking and economic systems, method of lowering the order, effects of capital movement in the globalization economy, stepped boundary layer, Kondratyev waves, crises of the world economy.

Хиленко Владимир Васильевич,

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