

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ВЫПЛЕСКИВАНИЯ» И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

**Аннотация.** Рассмотрена проблема математического моделирования эффекта «выплескивания», существование которого отмечено практиками, вынужденными принимать управленческие решения, влияющие на динамику банковской и экономической систем, и являющегося одним из важных эффектов, который необходимо учитывать в системах поддержки принятия решений нового поколения. Сформулировано математическое определение коэффициента глобализации мировой банковской системы.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, управление банковской и экономическими системами, системы поддержки принятия решений, искусственный интеллект.

Работа Кейнса «Общая теория занятости, процента и денег» опубликована в 1936 г. [1], и тезис о том, что необходимо участие государства в регулировании экономики давно не вызывает резкого неприятия у большинства экономистов. В основном дискуссии идут о мере, формах вмешательства государства и об условиях, делающих такое регулирование целесообразным и правомочным.

Согласившись с оценкой А. Гринспена [2] «математической элегантности» теории Кейнса, отметим, что данная теория соответствовала своему времени — этапу развития мировой экономики, когда коэффициент глобализации (оценочная формула которого приводится далее) был близок к нулю, а технологических и технических условий и возможностей для детализации моделей, построенных на основании положений теории Кейнса и использовании массивов данных большой и сверхбольшой размерности, не существовало. В частности, терминов суперкомпьютер, хранилище данных, облачные технологии в 1936 г. не было, как соответственно и технических возможностей.

Кейнс отмечал, что «теоретическая экономика не предназначена для того, чтобы давать советы, немедленно применяемые в политике». Однако именно формирование адекватных математических моделей для интерполяции динамики (а не только фиксирования статических данных) банковской и экономических систем, отвечающих современным возможностям инфокоммуникационной сферы, в частности систем сбора, обработки и хранения информации, позволит вырабатывать обоснованные численные значения управляющих воздействий, имеющих в распоряжении управленческих структур, в первую очередь правительств и центробанков. Данное направление терминологически можно определить как «прикладная макроэкономика». Развитие экономической теории [3–7], основы которой заложены Кейнсом, в направлении прикладной макроэкономики с учетом технических и технологических возможностей современного общества должно приблизить ее к практическому определению численных значений управляющих воздействий, чтобы сократить дистанцию, о которой писал Кейнс.

Четким признаком формирования технической основы для перехода к качественно новому уровню управления мировыми финансовой и экономической системами, когда системы поддержки принятия решений (СППР) с элементами ис-

кусственного интеллекта обеспечивают определенную защиту от ошибок и существенно неоптимальных решений, является возникновение криптовалют и интенсивное их развитие. Очевидна необходимость увеличения значения рекомендаций, выработанных профильными СППР, что в свою очередь связано с созданием спектра адаптивных динамических математических моделей, адекватных современному глобализированному состоянию мировой экономики и банковской системы.

Настоящая работа посвящена проблеме математического моделирования эффекта «выплескивания», отмеченного практиками, вынужденными принимать решения по управлению банковской и экономическими системами в условиях глобализации, и являющегося одним из важных эффектов, который необходимо учитывать в СППР нового поколения.

Основой для формирования адаптивных математических моделей и соответствующей базы знаний является современная банковская система. Ее значение и влияние на мировую экономику нужно пересмотреть и переоценить с учетом состояния информатизации общества и современных инфокоммуникационных технологий. Банковская система с ее информационными возможностями получения достоверных и оперативных экономических данных в режиме реального времени может выполнять функцию «датчика» своевременного уведомления об опасности наступления кризиса. И при этом она является основным инструментом государственного регулирования, рычагом, позволяющим при правильном использовании удерживать экономику в некотором диапазоне динамической устойчивости, который можно определить как «допустимый диапазон волны Шумпетера» [8]. Управление рынком капитала в настоящее время существенно в большей мере обеспечит регулирование экономического рынка. Инфокоммуникационные возможности банковской системы с учетом процессов информационного обмена, присущих современному обществу, технологий хранения и обработки информации являются основой для мгновенной и строгой фактической оценки экономической ситуации, для прогнозирования развития экономики в целом и различных ее отраслей, а также выработки соответствующих управляющих воздействий, близких к оптимальным. То, что банковская система, которая первоначально создавалась как механизм обслуживания экономики, постепенно превратилась в самостоятельную структуру, функционирующую в тесной взаимосвязи с первородной (исходной) системой, и сегодня имеет большие информационно-аналитические возможности, является фактом и связано с объективной необходимостью функционального решения профессиональных задач в современных условиях глобализации мировой экономики. Таким образом, банковская система может и должна играть ключевую роль в стабилизации экономической системы.

Знакомясь с работами, в которых критически оценивают теорию Кейнса, важно понимать, что управление экономической и банковской системами (даже самыми крупными и успешными) лишь одной страны — скорее искусство, чем наука (Гринспен), а без точных, насколько это возможно, расчетов и адекватных математических моделей его однозначно можно отнести к области искусства. Развитие прикладной эффективности теории Кейнса определяется совокупностью и «степенью детализации» моделей динамики обеих систем.

Если рассматривать мировую экономику и банковскую систему как совокупность кластеров — экономических и банковских систем регионов (группы стран, которые можно описать как единое целое в мировой финансово-экономической системе) или отдельных стран, то без учета взаимосвязей между кластерами, т.е. без учета эффекта глобализации, управляющие воздействия, проводи-

мые в одном из кластеров (в банковской и экономической системах), могут не принести ожидаемых результатов стабилизации или обеспечения их требуемой динамики. Более того, при этом возможен «бумеранговый» дестабилизирующий эффект через некоторое время  $\tau$  в самом кластере-доноре, являющимся источником инвестиционных «возмущений».

Данная проблема отражена в эффекте «выплескивания», отмеченного главой Резервного банка Индии Р. Раджаном в дискуссии с экс-главой ФРС Б. Бернанке [9].

Обсуждение эффекта «выплескивания» ставит по сути вопрос об усовершенствовании и создании СППР, соответствующих современному уровню развития общества, в том числе крайне сложно поддающемуся математической формализации, а именно уровню поведенческой мотивации, морали и осознания как реалий «прозрачности» финансовых потоков. Важным элементом для построения и функционирования таких систем является понимание и принятие социумом необходимости предоставления управляющим структурам обобщенных (неперсонализированных) данных, например, о более полном движении финансовых потоков в целях борьбы с финансово-экономическими кризисами и в связи с обеспечением общей безопасности в реалиях существующего мирового сообщества.

Приведем упрощенную математическую формализацию эффекта «выплескивания». Для возможности предусмотреть появление этого эффекта (который в условиях глобализированной экономики является эффектом «сообщающихся сосудов») необходимо сформировать некоторую совокупность матриц и векторов. При этом переменные  $I$  — некоторый интегрированный показатель, учитывающий спрос на инвестиции  $I_c$  и предельную эффективность инвестиционного капитала  $I_e$ , и  $M$  — денежная масса, требующая доходных вложений, представим в виде:

$$I = I_{\text{домохозяйств}} + I_{\text{корпораций}},$$

$$M = M_{\text{домохозяйств}} + M_{\text{корпораций}}.$$

Выделение составляющих для домохозяйств и корпораций (бизнеса, промышленности, производства) обусловлено тем, что в данной статье для упрощения будем считать, что домохозяйства не являются источником инвестиций, связанных с эффектом «выплескивания».

Сформируем матрицу  $\mathbf{I}$  спроса и предельной эффективности капитала:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1N} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{K1} & I_{K2} & \dots & I_{KN} \end{bmatrix},$$

где элементы  $I_{ij}$  — интегральные показатели, определяющие спрос и предельную эффективность капитала для  $i$ -й отрасли в  $j$ -м финансово-экономическом кластере. Далее будем считать, что такие параметры, как степень риска, время «замораживания» капитала и другие факторы, уже учтены при формировании элементов матрицы  $\mathbf{I}$ .

Вектор привлекательности сбережений  $\mathbf{S}$  сформируем в виде:

$$\mathbf{S} = [S_1 \ S_2 \ \dots \ S_N]^T,$$

где  $S_j$  — привлекательность сбережений для  $j$ -го финансово-экономического кластера,  $T$  — знак транспонирования.

Матрицу скорости обращения денег  $\mathbf{V}_m$  такой же размерности, что и матрица  $\mathbf{I}$ , запишем в виде:

$$\mathbf{V}_m = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{K1} & V_{K2} & \dots & V_{KN} \end{vmatrix},$$

где  $V_{ij}$  — скорость обращения денег в  $i$ -й отрасли  $j$ -го финансово-экономического кластера [10].

В простейшем случае для исследования условий возникновения эффекта «выплескивания» можно ограничиться анализом матрицы  $\mathbf{I}$ . Тогда, если

$$I_{ij} < I_{lq}, \quad i, l = \overline{1, k}; \quad j, q = \overline{1, N}, \quad l \neq i,$$

то можно ожидать, что эффект «выплескивания» возникнет и позитивного эффекта, ради которого вводилось инвестиционное вливание  $\Delta I$  в  $j$ -м кластере-доноре, не произойдет. Если справедливо неравенство

$$I_{ij} > \text{Sup}(I_{lq}), \quad i, l = \overline{1, k}; \quad j, q = \overline{1, N}, \quad l \neq i,$$

вливание  $\Delta I$  может дать определенный эффект для  $j$ -го финансово-экономического кластера.

С учетом величин  $\mathbf{S}$  и  $\mathbf{V}_m$  приведенные ранее неравенства представим в виде

$$\varphi(I_{ij}, V_{ij}, S) < \varphi(I_{ij}, V_{ij}, 0), \quad (1)$$

$$\varphi(I_{ij}, V_{ij}, S) > \varphi(I_{ij}, V_{ij}, 0), \quad (2)$$

где  $\varphi$  — некоторые функции.

В случае справедливости неравенства (1) эффект «выплескивания» произойдет, а выполнение неравенства (2) позволит ожидать определенного эффекта для  $j$ -го финансово-экономического кластера. В правой части неравенств значение  $S$  опущено, поскольку выведение «инъекционного» капитала в другой кластер в качестве сбережений маловероятно.

Определение функциональной зависимости  $\varphi$  между переменными  $I, V$  и  $S$  требует отдельного рассмотрения. Построение такой зависимости — это результат индивидуального решения, базирующегося на опыте и интуиции специалистов по математическому моделированию и экономистов-практиков.

Анализ неравенств (1), (2) показывает, что эффект «выплескивания» является следствием процесса дальнейшего углубления глобализации мировой экономики и банковской системы. В целом эффект «выплескивания» можно рассматривать как отражение в условиях глобализированной финансово-экономической системы утверждения Ф. Хайека о том, что инфляция не уменьшает безработицу, а лишь создает ее новый виток неравномерно по отраслям и «искусственное создание инфляции приведет к тому, что неэффективные отрасли экономики будут поддержаны, что потребует новых денежно-кредитных инъекций». Тем самым эффект «выплескивания» может создать эффект раскручивающейся спирали в финансово-экономической системе, негативная динамика которой чревата кризисными явлениями.

Изучение эффекта «выплескивания» и его последствий связано с построением и расчетом математических моделей мировой финансово-экономической системы как единого целого. Совокупность моделей должна обеспечить решение за-

дачи прикладной макроэкономики — расчет квазиоптимальных значений управляющих воздействий, находящихся в распоряжении управляющих структур (правительств, центробанков), в целях обеспечения состояния динамического равновесия финансово-экономической системы и социума. Для дальнейшего решения задач прикладной макроэкономики при построении моделей, переменные величины которых определены или следуют из теории Кейнса, необходимо выполнение следующих требований:

1) модель должна формироваться с учетом полного множества кластеров — экономик и банковских систем отдельных стран или регионов;

2) модель должна формироваться в динамическом виде.

Для изучения эффекта «выплескивания» и его возможных последствий (в частности, эффектов «вспенивания» и «обратного импульса», описанных далее) целесообразно учитывать оба требования.

Первое требование необходимо для изучения возможных экономически обоснованных сценариев перемещения инвестиций. Их анализ позволит кластеру-донору более взвешенно оценивать риски появления эффекта «выплескивания» при принятии решений о финансовом стимулировании собственной экономики.

Выполнение второго требования, т.е. отслеживание динамики параметров и их производных, позволит более точно прогнозировать последующие диспропорции, связанные с экзогенными вливаниями финансов в какую-либо отрасль (или группу отраслей) экономики. При этом для выявления эффекта «выплескивания» и соответствующего прогнозирования динамики финансово-экономической системы необходимы значения не только переменных, которые используются в теории Кейнса, но и их производные.

Показатели развития различных отраслей экономики каждого кластера имеют некоторую среднестатистическую (прогнозируемую) динамику. Дисбаланс в развитии конкретных отраслей, который будет отражаться в отклонениях скорости поступления фактических инвестиций от прогнозируемых показателей, в первую очередь инвестиций, имеющих для данного кластера «инъекционный» (экзотермический) характер, должен явиться вопросом особого внимания правительства и центробанка. Именно производная, отражая динамику изменений во времени, показывает начало возможного процесса «перегрева» рынка и зарождения финансово-экономических «пузырей». Быстрое (превышающее некоторую эмпирически установленную величину) изменение производной — предвестник грядущих катаклизмов в финансово-экономической сфере.

Ускорение, существенно отличающееся от среднестатистического, оборота капитала в конкретной отрасли требует диагностирования финансово-экономической системы на появление последствий эффекта «выплескивания» как в кластере-доноре, так и в кластере-реципиенте. Аналогично выведение через определенное время «инъекционного» капитала будет характеризоваться величиной ускорения и превышение данным показателем некоторой «стандартной» величины явится свидетельством возможного запуска процесса кризисных явлений в причинно-следственных цепочках, определяющих взаимовлияние различных отраслей экономики.

Эффект «выплескивания» и последующее за ним через определенный интервал времени выведение «инъекционного» капитала из кластера-реципиента (далее будем также использовать термины эффект «обратного импульса» или «реинъекции») могут явиться причиной кризисов как в кластерах (странах)-реципиентах, так и в кластерах-донорах. В эффекте «выплескивания» важной характеристикой есть скорость изменений в финансово-экономической сфере,

связанных с «инъекцией» или «реинъекцией» (обратным выводом) капитала. Последствия процессов, приводящих к эффекту «выплескивания» существенно отличаются для страны-донора и страны-реципиента в зависимости от величины «инъекции». Если емкая, мощная экономика (например, США) либо «переварит» определенную сумму инвестиций (которые, как правило, определяются внутренними ресурсами), либо ее «выбросит» за свои пределы, то слабая экономика страны-реципиента по некоторому ряду отраслей на первоначальном этапе может войти в фазу резкого подъема. При этом неготовность ряда отраслей экономики выдержать внешнюю скоростную финансовую «инъекцию» обусловит дисбаланс финансово-экономической системы кластера в целом и вхождение в рецессию, когда финансовый поток начнет уходить из финансово-экономической системы кластера. Для мощной экономики худший сценарий от умеренной финансовой инъекции — это «выплескивание», так как «демпферная подушка» покупательской способности и инвестиционных объемов может принять только реальные объемы инвестиций. Такие же объемы для слабой экономики могут быть губительными. Вследствие «перегрева» отраслей, развитие которых не подтверждено пропорциональностью экономики, по окончании «инъекции» следует ожидать спад прежде всего в экономически тесно связанных отраслях. По причинам инерционности экономики и социальных изменений в обществе спад возможен до уровня, ниже первоначального. Существует взаимосвязь указанных причин как в экономике, так и в банковской сфере, в частности необходимое время на новое трудоустройство уволенных работников, возрастание числа проблемных кредитов, реализация товарных запасов и др.

При определенной величине «реинъекционного» капитала эффект «выплескивания» может иметь негативные последствия для кластера-донора. В частности, возвращение в кластер-донор существенного «реинъекционного» капитала может привести к появлению финансово-экономических «пузырей», т.е. возникновению эффекта «вспенивания» финансово-экономической системы. «Свободный», необоснованный экономически капитал, возвращенный в произвольный момент в кластер-донор (страну-донор) в силу законов рыночной экономики будет искать «точку приложения». Отсутствие креативных «точек приложения» может «подтолкнуть» капитал к инвестициям, целенаправленно или случайно являющимся причиной эффекта «вспенивания» с последующим возникновением кризисных явлений в кластере-доноре.

Появление возвращенных «свободных» инвестиционных объемов, «впрыскивание» которых нецеленаправленно и экономически не обосновано требованием какой-либо из отраслей экономики или социума, в сочетании со спекулятивной активностью приводит к неоправданному повышению стоимости активов в кластере-доноре. Примеры появления эффекта «вспенивания» существуют в различных отраслях (инфокоммуникаций, когда рост стоимости акций высокотехнологических компаний не является экономически обоснованным, и др.) или в социуме, когда стоимость некоторых активов резко изменяется в ограниченном интервале времени.

Отслеживание начала процесса «обратного импульса» возможно, как отмечалось ранее, на основе информации, циркулирующей в банковской системе. Мониторинг в реальном режиме времени динамики производных финансовых потоков и корректировка управляющих параметров на основании расчетов динамической модели, откорректированной в соответствии с оперативной информацией, поступающей из банковской системы, позволит своевременно демпфировать возможные неприемлемые отклонения ключевых параметров финансово-экономической системы от линии динамического равновесия. Аккумуляция и обработка данной информации методами системного анализа позволит управляющим



структурам оптимизировать выбор конкретных действий, связанных с возвращением значений производных основных параметров в направлении стабилизации.

Поскольку, как отмечалось, прогнозирование динамики экономики и банковской сферы практически любой страны или группы стран — экономического региона (кластера), безусловно связано с необходимостью учета взаимовлияния систем других кластеров (отдельных стран и регионов), формирование коэффициентов корреляции, отражающих процесс глобализации, позволит более точно строить полную математическую модель мировой финансово-экономической сферы. Коэффициенты глобализации для экономической и для банковской систем будем определять независимо. Изменения, происходящие в динамике финансовых потоков при эффекте «выплескивания» и его последствиях, будут отражены в коэффициенте глобализации банковской системы.

Математическую формализацию коэффициента глобализации банковской системы запишем в виде

$$k_{GF} = Sp \mathbf{K}_{GF} / N,$$

где  $N$  — число кластеров, а  $Sp \mathbf{K}_{GF}$  — сумма диагональных элементов («шпур») матрицы

$$\mathbf{K}_{GF} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{NN} \end{pmatrix},$$

элементы  $k_{ij}$  которой определяют долю капитала кластера  $i$  в банковской системе кластера  $j$ .

Изменения в коэффициенте глобализации банковской системы являются отражением финансово-экономических процессов межкластерного взаимодействия и позволяют управляющим структурам фиксировать (в том числе) начало эффекта «выплескивания» и последующих за ним эффектов как в кластерах-донорах, так и в кластерах-реципиентах.

Определим важные положения и концептуальные системные принципы, связанные с построением полнокластерных моделей.

Упрощенную математическую модель для описания динамики финансово-экономической системы и поиска значений управляющих параметров, приводящих ее в состояние динамического равновесия, запишем, выбрав в качестве переменных денежную массу, требующую доходных вложений  $M_I$  и спрос на инвестиции  $I_M$ . Данная математическая модель должна определить взаимосвязь между указанными переменными и изменения их динамики в зависимости от параметров управляющих воздействий, таких как равновесная ставка процента  $R$ , объем денежной массы  $M$  и величина денежной массы  $M_c$ , «связанная» управляющими структурами через банковскую систему или другими методами.

Переменная  $I_M$  зависит от ряда факторов, одну часть которых (технологически необходимый объем инвестиций, предельная для данной отрасли эффективность капитала и др.) в первом приближении можно считать постоянными величинами, а для другой части (стоимость кредитного капитала  $\Theta_c$  и др.) нужно учитывать их динамический характер. Указанная величина в силу ее важности войдет в приведенную далее упрощенную модель финансово-экономической системы для определения квазиоптимальных значений управляющих параметров, обеспечивающих ее динамическое равновесие.

Решение оптимизационной задачи с применением сформированных моделей должно обеспечить управляющим структурам определение оптимальных значе-

ний управляющих воздействий. Оптимальных в том смысле, что их использование в начале периода нарастания негативных последствий «цикла обновления» (в соответствии с теорией Шумпетера [8]) за счет государственных ресурсов и возможностей центробанка обеспечит «мягкую посадку» экономики (Гринспен) и предотвратит негативные последствия эффекта «выплескивания» в финансово-экономической системе и соответственно в социуме. Рассматриваемая задача состоит в определении таких численных значений управляющих параметров, которые минимизируют время восстановления динамического равновесия финансово-экономической системы традиционными методами. В частности, исторически опробованными первоочередными мерами по обеспечению занятости части трудоспособного населения государственными социальными заказами и выделению финансово-временного ресурса на переквалификацию тех, кого изменения переведут в статус безработных, и др.

Учитывая, что банковская система является ресурснозамкнутой, для величины  $M$  — кусочно-постоянной функции, можно записать:  $M = M(t_i) = \text{const}$ , где  $M(t_i)$  — величина денежной массы на интервале  $t_i$ . При этом упрощенную динамическую модель финансово-экономической системы можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 DI_{M11} / DT &= \varphi_{11}(I_M, \Theta_c), \\
 &\dots\dots\dots \\
 DI_{M1K} / DT &= \varphi_{1K}(I_M, \Theta_c), \\
 DI_{M21} / DT &= \varphi_{21}(I_M, \Theta_c), \\
 &\dots\dots\dots \\
 DI_{M2K} / DT &= \varphi_{2K}(I_M, \Theta_c), \\
 DI_{MN1} / DT &= \varphi_{N1}(I_M, \Theta_c), \\
 &\dots\dots\dots \\
 DI_{MNK} / DT &= \varphi_{NK}(I_M, \Theta_c), \\
 D\Theta_{c11} / DT &= \theta_1(M_I, I_M, R, M, M_c), \\
 D\Theta_{c12} / DT &= \theta_2(M_I, I_M, R, M, M_c), \\
 &\dots\dots\dots \\
 D\Theta_{cIN} / DT &= \theta_N(M_I, I_M, R, M, M_c), \\
 DM_{11} / DT &= f_1(M_I, M, M_c, C), \\
 DM_{12} / DT &= f_2(M_I, M, M_c, C), \\
 &\dots\dots\dots \\
 DM_{IN} / DT &= f_N(M_I, M, M_c, C),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $f$  и  $\varphi$  — некоторые функции,  $R$  — равновесная ставка процента,  $M$  — величина денежной массы,  $M_c$  — величина «связанной» управляющими структурами денежной массы,  $C$  — величина расходов в понимании кейнсианской теории, однако не только домохозяйств, но и производства (бизнеса),  $\Theta$  — стоимость кредитного капитала. Формирование функций  $f$  и  $\varphi$  является основной задачей при практическом использовании модели (3), и на первом этапе ее построения и применения может выполняться экстраполяцией искомого значения правых частей по предыдущим точкам в соответствии с методами, разработанными в системном анализе для данного класса задач.



Представление уравнений, вытекающих из теории Кейнса, в динамическом виде позволит получить расчетные значения финансово-экономических показателей, когда кривые основных показателей равновесия системы приблизятся к границе динамического равновесия и могут выйти за границу устойчивости (которая также требует расчета) в результате эффекта Шумпетера или других факторов. Своевременный мониторинг изменений производных обеспечит управляющим структурам временной ресурс, необходимый для своевременного принятия мер стабилизации путем введения адаптивных управляющих воздействий (например, резко изменить ставку процента, сделать вливание инвестиций, изменить налоговые параметры и т.д.).

Условие динамического равновесия финансово-экономической системы при этом можно записать в виде системы уравнений

$$\begin{aligned} M_I - I_M &= 0, \\ DM_I / DT - DI_M / DT &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Формирование модели финансово-экономической системы в виде типовой задачи системного анализа позволит формализовать поиск оптимума равновесной ставки процента или точки равновесия системы и покажет критические значения параметров, при которых система может выйти за допустимый диапазон устойчивости при развитии эффектов Шумпетера.

Решение оптимизационной задачи (выбор управляющих параметров  $M, R, M_C$ ) в сочетании с мерами, следующими из положений теоретической экономики (формирование государственных заказов и др.), должно обеспечить требуемую динамику финансово-экономической системы, что в первую очередь отобразится на изменении производных [10].

Сведение задачи определения равновесной (оптимальной) ставки процента  $R$  и других управляющих воздействий к типовой задаче системного анализа позволит использовать все возможности хорошо разработанного математического аппарата, в частности арсенала численных методов и теории матриц. С точки зрения системного анализа вопрос состоит не в целесообразности государственного регулирования экономики, а в формировании и расчете адаптивных математических моделей, адекватно описывающих динамику функционирования финансово-экономической системы.

Концептуально упрощенная модель (3) позволяет оценить динамику изменений в состоянии финансово-экономической системы, приводящих к возникновению условий для появления эффекта «выплескивания» и соответственно запуска цепочки последующих эффектов. Расчет управляющих воздействий, исходя из модели (3), (4), является весьма трудоемкой вычислительной задачей.

Одним из подходов для анализа и расчета модели (3), (4) может быть использование регулярных методов теории возмущений. Данные методы успешно применяются для решения ряда прикладных задач в различных отраслях [3, 11, 12], и математический формализм разработанных вычислительных процедур теории возмущений целесообразно использовать для исследования динамики моделей в данной предметной области — управлении банковской и экономической системами. Одним из возможных решений является рассмотрение описанной модели как слабоуправляемой системы. При таком подходе модель следует представить в стандартном для данного класса систем виде [11]

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f^{(0)}(x, t) + \varepsilon f^{(1)}(x, u, t), \\ x(0) &= x_0, \end{aligned}$$

где  $x$  — обобщенный вектор переменных сформированной модели,  $u$  — управляющее воздействие, являющееся элементом некоторого конечного множества  $U$ , а  $\varepsilon$  — малый параметр, учитывающий изменения, происходящие в исследуемых системах (в первую очередь изменения в динамике «маркетов», являющиеся предвестниками кризисных явлений и указывающие на начало нежелательной динамики развития отдельных процессов экономической системы или даже системы в целом). В этом случае определение вектора  $x$  в виде  $x = x^{(0)} + \varepsilon x^{(1)} + O(\varepsilon^2)$  можно получить, решая задачу Лагранжа, т.е. находя функции  $x(t)$  и  $u(t)$ , доставляющие минимум функционалу

$$J(u) = \int_0^T (F^{(0)}(x) + \varepsilon F^{(1)}(x, u)) dt$$

при приведенных ранее ограничениях. Как известно, математический аппарат упомянутых преобразований имеет не только достаточное теоретическое обоснование, но и хорошо разработанные численные алгоритмы реализации [11, 12], которые можно применять и для анализа полных (полнокластерных) моделей.

Естественно, что полная (полнокластерная) модель будет иметь существенно более сложный вид, однако даже упрощенная модель (3), (4) при определенных преобразованиях позволит определять квазиоптимальные значения управляющих параметров, которые имеются в распоряжении управляющих структур.

В целом описание динамики финансово-экономической системы по ряду показателей (инфляция, уровень безработицы и т.д.) предполагает некоторое счетное множество моделей  $P$ , элементы которого в совокупности должны отражать прогнозные изменения этих показателей.

Дальнейшее уточнение модели, изменения ее конфигурации, детализация, размерность и т.д. могут варьироваться в зависимости от целей и требований пользователя, но при этом не должен нарушаться концептуальный принцип — сведение задачи определения квазиоптимальных управляющих воздействий управляющих структур (правительств, центробанков) к типовой оптимизационной задаче системного анализа.

При формировании полнокластерной модели для каждого кластера, аккумулируя данные по указанным переменным и параметрам, можно прогнозировать или построить зависимость между основными показателями, отражающими состояние финансово-экономической системы. Также при формировании полнокластерной модели для каждого кластера необходимо составить матрицу по каждой отрасли, включая объемы товарных запасов и т.д. Совокупность этих матриц, показывающих состояние финансово-экономической системы, является базой для прогнозирования с учетом взаимосвязи отраслей как производственных, так и социальных «экономических цепочек», отражающих причинно-следственную связь финансово-экономических процессов. Изучение последовательных «экономических цепочек» важно для построения интерполяционных прогнозов и получения ответа на вопрос, как и когда изменения в одной отрасли приводят к существенным изменениям в других отраслях и к корректировке финансово-экономических показателей в кластере. В полнокластерной модели дифференциальные уравнения, сформированные на основе теории Кейнса и учитывающие различные факторы дестабилизации, т.е. факторы нарушения динамического равновесия (Шумпетер, Вальрас), позволят учитывать глобализацию мировой экономики и банковской системы.

Результаты уже проведенных и продолжающихся в рамках развития данной работы исследований формирования полнокластерной модели для финансово-экономической сферы ввиду большого объема будут рассмотрены в отдельной публикации.

Построение динамических полнокластерных моделей вызвано насущной потребностью приближения результатов теоретической экономики к принятию решений, перефразируя Кейнса, «мгновенно применимых» в прикладной деятельности государственных структур, ответственных за управление экономической и банковскими системами. Необходимым при этом является формирование адаптивных математических моделей, позволяющих моделировать динамику финансово-экономической сферы независимо от того, являются ли нарушения равновесия результатом «внешних влияний, оказываемых природой и обществом» (Вальрас) или «внутренними источниками ее энергии» (Шумпетер). Полнота модели предполагает учет как внешних факторов дестабилизации, так и результатов внутренних процессов, что позволит сделать модель максимально полезной с прикладной точки зрения. Полная математическая модель финансово-экономической динамики должна включать максимальную совокупность факторов и параметров. Прав ли Шумпетер, считавший причиной нарушения экономической системы «внутренние источники ее энергии», или Вальрас, полагавший причиной нарушения экономического равновесия «внешние влияния», с точки зрения прикладной макроэкономики не имеет значения. Основной вопрос заключается в выборе весовых коэффициентов для параметров, учитывающих и отражающих теоретические положения Вальраса, а также параметров, учитывающих теорию Шумпетера, в сформированных адаптивных динамических моделях. При этом необходимо признать, что на данном этапе при формировании множества весовых коэффициентов невозможно обойтись без использования экспертных оценок. Наличие в модели коэффициента неопределенности подчеркивает ограниченное значение и недопустимость переоценки значения систем поддержки принятия решений. На данном этапе развития технических возможностей общества такие системы будут именно системами поддержки принятия решений, позволяющими сформировать множество решений Парето, оставив право окончательного решения человеку.

Без использования возможностей, которые предоставляют современные инфокоммуникационные технологии в сочетании с математическим аппаратом системного анализа (в первую очередь технологии обработки больших и сверхбольших массивов данных, построение адаптивных динамических моделей управления банковской и экономической системами и специальных математических методов их исследования), принятие решений по управлению финансово-экономическими системами будет соответствовать цитате из воспоминаний финансиста-практика Гринспена, почти два десятилетия руководившего ФРС: «Мы двигались на ощупь в непроглядном тумане». В заключение приведем еще одну цитату Гринспена, отражающую суть решаемых прикладной макроэкономикой задач: «Определить, когда нужно начинать ужесточение политики, до каких пределов ее ужесточать и ... когда остановиться, — весьма захватывающая интеллектуальная задача ...». В настоящее время человечество подошло к рубежу, когда «искусство» управления экономической и банковскими системами должно уступить место «науке», несмотря на понимание несовершенства и незавершенности имеющихся сегодня результатов.

Развитие прикладной макроэкономики как направления, развивающего прикладной аспект не только для современного кейнсианства, но и для других направлений теоретической экономики, в первую очередь теорий Шумпетера и

Вальраса, принадлежит области системного анализа и математического моделирования. Решение задачи получения прикладных результатов для формирования влияния государства на финансово-экономическую сферу требует «аптечных весов» (которые не может предоставить теоретическая экономика), а не систем взвешивания автомобилей с зерном, которые используются на элеваторах. Именно точные модели, содержащие полномасштабную информацию, необходимы в реальном управлении финансово-экономической системой на основе использования принципов кейнсианства.

На данном этапе задача прикладной макроэкономики состоит в том, чтобы обобщить, систематизировать и развить разрозненные результаты, полученные в первую очередь специалистами-практиками, и достичь на основе общеконцептуальных теоретических положений нового качественного рубежа в расчете «мгновенных» управляющих воздействий на финансово-экономическую сферу с использованием адекватных адаптивных динамических моделей, базирующихся на возможностях современного (нового) уровня инфокоммуникационных технологий.

Анализ эффекта «выплескивания» и сопутствующих ему эффектов «вспенивания» и «обратного импульса» показывает необходимость построения и использования моделей, отражающих новые реалии мировой экономики и банковской системы. Получение требуемых результатов невозможно без формирования и исследования адаптивных динамических моделей большой и сверхбольшой размерности, анализ и расчет которых требуют применения последних достижений информатики, системного анализа и вычислительной математики. Использование данного класса моделей должно обеспечить возможность управляющим структурам (правительствам и центробанкам) принимать решения, близкие к оптимальным и учитывающие все последовательности возможных макроэкономических эффектов как для своего кластера (страны), так и взаимодействующих с ним экономик и банковских систем иных кластеров мировой экономики и банковской системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Keynes J. The general theory of employment, interest and money. London: Palgrave Macmillan, 1936. 472 p.
2. Greenspan A. The age of turbulence. New York: The Penguin Press, 2007. 532 p.
3. Leontief W. The future of world economy. New York: Oxford University Press, 1977. 110 p.
4. Sergienko I.V., Mikhalevich M., Koshlai L. Optimization models in a transition economy. New York: Springer, 2014. 334 p.
5. Tinbergen J. Shaping the world economy. Att. 6. 2006. URL: [https://studfiles.net/preview/4341547/Veh6-29\\_Tinbergen.pdf](https://studfiles.net/preview/4341547/Veh6-29_Tinbergen.pdf).
6. Горбачук В.М. Методи індустріальної організації. Київ: А.С.К., 2010. 224 с.
7. Стецюк П.И., Бортис Г., Эмменеггер Ж.-Ф. Институциональные и технологические изменения в странах с рыночной и переходной экономикой. Киев: Киево-Могилянская академия, 2015. 335 с.
8. Schumpeter J.A. Business cycles. New York; London: McGraw-Hill Book Co., 1939. 385 p.
9. Rajan R., Ramcharan R. Crises and the development of economic institutions: Some microeconomic evidence. *American Economic Review*. 2016. Vol. 106, N 5. P. 524–527.
10. Grishchenko A.Z., Khilenko V.V. Determination of the number of fast and slow movements under decomposition of liner dynamic model of arbitrarily large dimensionality. *Cybernetics and Systems Analysis*. 1991. Vol. 27, N 6. P. 795–801.

11. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. Москва: Наука, 1981. 488 с.
12. 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 13.09.2017*

**В.В. Хиленко**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТУ «ВИХЛЮПУВАННЯ»  
І ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ БАНКІВСЬКОЮ ТА ЕКОНОМІЧНОЮ  
СИСТЕМАМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ**

**Анотація.** Розглянуто проблему математичного моделювання ефекту «вихлюпування», існування якого відзначене практиками, вимушеними приймати управлінські рішення, що впливають на динаміку банківської і економічної систем, і який є одним з важливих ефектів, що має бути врахований у системах підтримки прийняття рішень нового покоління. Сформульовано математичне визначення коефіцієнтів глобалізації світової банківської системи.

**Ключові слова:** математичне моделювання, управління банківською та економічною системами, системи підтримки прийняття рішень, штучний інтелект.

**V.V. Khilenko**

**MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF “SPLASHING OUT”  
AND OPTIMIZATION OF MANAGEMENT OF BANKING AND ECONOMIC  
SYSTEMS UNDER GLOBALIZATION CONDITIONS**

**Abstract.** The problem of mathematical modeling of the “splashing out” effect is considered. The existence of this phenomenon was observed some time ago by specialists (practitioners) who were forced to make management decisions affecting the dynamics of banking and economic systems. The influence of this effect as one of important new phenomena must be taken into account in decision support systems of new generation. Mathematical definitions of the coefficient of globalization of the world banking system is formulated.

**Keywords:** mathematical modeling, management of banking and economic systems, decision support systems, artificial intelligence.

**Хиленко Владимир Васильевич,**

доктор техн. наук, профессор кафедры Национального университета биоресурсов и природопользования Украины МОН Украины, Киев, e-mail: nosovka7@ukr.net.