

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИ- СТЕМ

д.ф.-м.н., проф. С.В. Яковлев, к.т.н. Ю.В. Гнусов, к.т.н. В.В. Тулупов
(представил д.т.н., проф. Э.Г. Петров)

Рассматриваются методологические вопросы процесса прогнозирования при управлении функционированием социально-экономических систем.

Постановка проблемы. Повышение оперативности контроля, анализа и процесса принятия решений следует считать важным средством повышения эффективности функционирования любой социально-экономической системы. Именно здесь остро ощущается дефицит информации: несвоевременно поступающая информация стареет и теряет свою ценность. Обеспечение своевременной и достоверной информацией управляющих органов является функцией системы оперативного контроля, которая реализуется благодаря системе прогнозирующих моделей, лежащей в ее основе. При этом важнейшим является решение следующих задач: определение текущих и прогнозируемых значений показателей, характеризующих деятельность системы, выявление и формализация объективно существующих взаимосвязей между различными показателями, контроль и прогноз на их основе.

Актуальность исследований. Основные задачи, возникающие в процессе решения задач прогнозирования в социально-экономических системах, можно разделить на следующие группы:

- анализ структуры системы и выявление наиболее существенных факторов, влияющих на ее функционирование;
- моделирование поведения системы;
- построение системы прогнозируемых показателей;
- анализ динамики функционирования системы и выявление тенденций ее развития;
- выявление основных закономерностей развития системы на основе характеристик этих тенденций;
- прогнозирование конкретных и обобщенных показателей и др.

В связи с этим возникла необходимость разработки методики организации процесса прогнозирования, предназначенного для решения ука-

занных задач.

Анализ исследований. Методы математического моделирования широко применяются в настоящее время для описания, исследования и оптимизации социально-экономических систем и связей между различными протекающими в них процессами. Данной теме посвящен ряд работ [1 – 5], в которых авторы характеризуют различные методы построения математических моделей социально-экономических систем.

В работе [4] отмечается, что для большинства сложных социально-экономических систем справедливо положение, утверждающее тот факт, что чем сложнее рассматриваемая система, тем, как правило, она менее детерминирована и стабильна во времени. Естественно, что и прогнозирование, осуществляемое для нужд таких систем происходит в условиях значительной неопределенности и недостаточности знания закономерностей развития исследуемого объекта. Эти обстоятельства несомненно затрудняют процесс прогнозирования состояния и динамики развития социально-экономических систем и выдвигают целый ряд проблем. Следуя [6], можно выделить три основные проблемы в задаче прогнозирования преступности, как сложной системы:

- проблема анализа системы, как объекта прогноза;
- проблема адаптации методов прогнозирования к системе;
- проблема алгоритмизации процесса производства прогнозов.

Целью работы является разработка методики построения комплекса прогнозирующих математических моделей показателей функционирования социально-экономических систем, что дает возможность обеспечить высокую точность и достоверность анализа состояния и тенденций их развития.

Характеристика этапов построения прогнозирующих моделей.

Необходимость заниматься прогнозированием вызвана тем обстоятельством, что будущее некоторых процессов и явлений нам неизвестно, но тем не менее такая информация имеет большое значение для решений, принимаемых нами в настоящий момент. При этом основной задачей органов, принимающих решение при наличии условий неопределенности, является нахождение достаточно хорошего (или даже оптимального) решения из ряда существующих альтернатив. Прогнозирование выступает как один из инструментов в процессе принятия такого решения.

Естественным требованием к качеству данных, получаемых в результате прогнозирования, является их точность. Но, как это не парадоксально, данные даже самых совершенных прогнозирующих систем могут точно совпасть с будущими количественными данными о явлении лишь случайно. Всему виной та неопределенность будущей ситуации, которую мы не можем полностью исключить при прогнозировании.

Итак, если не правомерно требовать точного совпадения прогнозируемого значения с его будущим значением, то вполне законным является требование попадания будущего значения в некоторую область значений, определяемую при прогнозировании. При такой постановке вопроса прогнозирующая система, дающая меньшую величину области, в которой будет находиться будущее значение прогнозируемого показателя явления, может считаться более точной.

При этом весьма важным требованием к прогнозирующей системе является способность гибкого реагирования на изменения, происходящие в объекте прогнозирования (дисконтирующие свойства). Когда текущие наблюдения за объектом прогнозирования отличаются от тех, что мы ожидали (в случае ошибок прогнозирования), это обстоятельство может быть вызвано различными причинами.

Во-первых, ошибки прогнозирования определяются наличием неопределенности будущего. Однако, когда мы получаем новую информацию о прогнозируемом явлении, мы не можем с уверенностью сказать, что ошибка прогнозирования вызвана только влиянием неопределенностей, так же как это, например, имело место в предыдущих наблюдениях за этим объектом.

Во-вторых, может возникнуть ситуация, когда ошибки прогнозирования вызваны изменениями в самом объекте прогнозирования (самом существе явления). И если в первом случае задачей прогнозирующей системы является максимальное уменьшение уровня неопределенности (например, фильтрация случайной составляющей), то во втором случае прогнозирующая система должна как можно быстрее обнаружить (распознать, продиагностировать) это изменение и производить дальнейшее прогнозирование с учетом этого изменения.

Наконец, в-третьих, в самом общем случае ошибки прогнозирования вызываются и теми и другими причинами, т.е. прогнозирующая система должна уметь своевременно отличать изменения в объекте прогнозирования от результата влияния неопределенностей. В технических системах эта задача аналогична задаче прогнозирования величины полезного сигнала при одновременном осуществлении фильтрации помех.

Следуя вышесказанному, математический аппарат прогнозирования должен отвечать следующим требованиям [5]: универсальность в применении; содействие успешной реализации принципа системного подхода к прогнозируемым показателям; включение методов и достижений эконометрики, математической статистики, адаптивных и интеллектуальных систем и т.д. При этом прогнозирование системных показателей должно осуществляться в несколько этапов.

Первый этап – разработка методики выбора формы связи в регрес-

сионных и корреляционных моделях прогноза. Так как здесь в большинстве своем используется стохастический математический аппарат, этот этап приобретает большую значимость.

Выбор формы регрессионного уравнения из бесконечного множества аналитических функций в некоторой степени является произвольным. К тому же невозможно отыскать такой тип функции, который бы отвечал всем требованиям. Одной из предпосылок успешного выбора формы связи является проведение тщательного логико-математического анализа исследуемого процесса. Однако он часто требует слишком больших затрат. В таком случае строят несколько регрессионных уравнений и сравнивают их по определенным математическим критериям, рассчитанным для этих функций, выбирая определенный тип формы связи. Заметим, что такой эмпирический перебор не всегда является успешным, к тому же он часто недостаточно содержательно обоснован, а это имеет немаловажное значение при прогнозировании.

Второй этап – разработка методов оценки параметров уравнений связи. Эти методы должны оцениваться с точки зрения состоятельности, несмещенности и эффективности оценок, полученных при их помощи.

Третий этап – разработка прогнозирующего аппарата функций тренда и некоторых способов модификаций их траектории.

Характерной особенностью временных рядов рассматриваемых показателей является наличие в них трендов или основных тенденций, сложившихся под влиянием наиболее типичных воздействий. Такой временной ряд [1] можно описать некоторой дискретной функцией времени, которую целесообразно представить в виде суммы некоторой детерминированной функции и случайной составляющей

$$x[n] = \bar{x}[n] + \zeta[n], \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

где детерминированная функция $\bar{x}[n]$ является трендом, а случайная функция $\zeta[n]$ отражает воздействие на формирование данного явления множества неучтенных факторов.

С теоретической точки зрения тренд процесса является результатом воздействия на его формирование основных закономерностей причинно-следственного характера, регулирующих данный аспект динамики изменения прогнозируемых показателей. Воздействие же прочих факторов самой разнообразной природы носит в основном стохастический характер и отражается случайной функцией $\zeta[n]$. Однако следует помнить, что, поступая так, мы фактически постулируем модель. Возможно, целесообразно предположить, что тренд обусловлен наличием постоянных факторов, однообразно действующих приблизительно в одном и том же направлении. Но то, что это так,

и что эффекты от различных воздействующих факторов аддитивны, является предположением и имеет характер гипотезы, от которой мы всегда должны быть готовы отказаться, если наша модель плохо соответствует данным.

Существенным в понятии тренда является гладкость, что на практике означает желательность его представления непрерывной и дифференцируемой функцией времени. Это позволяет описать тренд полиномом с довольно высокой степенью точности. При таком описании на первый план выходит анализ влияния предыстории на формирование конкретного значения изучаемого показателя.

Функция тренда является простейшим математическим выражением развития социально-экономических процессов [1]. Однако ее использование в практике прогнозирования вполне оправдано в тех случаях, когда невозможно обосновать употребление более сложных конструкций прогнозирования или нецелесообразно использовать более сложные методы. Поскольку функция тренда не всегда гибко описывает реальный процесс, возникает необходимость в модификации траектории теоретической функции. Здесь можно отметить два способа модификаций:

- метод "последнего значения" (адаптивная модификация), который наиболее хорошо приближает теоретическую функцию к реальному состоянию развития прогнозируемого процесса;
- метод сдвига экстраполяционной кривой в любой точке ее траектории; этот метод модификации применяется в том случае, когда имеет место скачкообразная тенденция прогнозируемого процесса и использование более сложных методов ее оценки нецелесообразно.

При разработке методом прогнозирования при помощи функций тренда методологическую трудность представляет определение способов выявления тренда и анализа остаточной компоненты.

Четвертый этап – разработка прогнозирующей множественной регрессионной модели. Достоверность прогноза, полученного при помощи эконометрических моделей прогнозирования, в большой степени зависит от устойчивости параметров регрессионного уравнения. Поэтому при прогнозировании социально-экономических процессов необходимо провести предварительное их исследование. При неустойчивости эмпирических параметров требуется установить характер их мутации и после соответствующей корректировки определить совокупность новых параметров регрессионного уравнения, используемого уже непосредственно для прогнозирования. Это обуславливает необходимость разработки аппарата и алгоритмов выявления мутации эмпирических параметров эконометрических уравнений (диагностика и обнаружение разработок), установление вида мутации и перехода от статистической эконометрической функции к "скользящим" функциям. Математи-

ческий аппарат "скользящих" функций может быть использован только для функций множественной регрессии, но и для функций тренда его употребление в практике прогнозирования в какой-то мере "удлиняет" горизонт обобщенного прогнозирования при помощи эконометрических уравнений.

Пятый этап – создание системы моделей для долгосрочного прогнозирования показателей, образующих взаимосвязанную систему. Методологической основой построения системы моделей является список показателей и установление прямых и обратных связей между ними при построении системы прогнозируемых показателей.

Шестой этап – разработка специальных методов прогнозирования. К специальным методам прогнозирования будем относить методы структурного прогнозирования; метод прогнозирования при помощи "оггибающих" кривых; метод прогнозирования при помощи системы рекуррентных эконометрических уравнений; авторегрессионные методы прогнозирования; адаптивные и интеллектуальные методы прогнозирования.

Для определения альтернативных возможностей изменения структуры социально-экономических процессов в прогнозируемом периоде применяются методы структурного прогнозирования, которые включают:

- анализ совокупности существующих структурных единиц исследуемого объекта и определение новых, пока еще не существующих;
- анализ взаимосвязей между структурными единицами и определение возможностей совершенствования и роста исследуемого явления при существующей его структуре;
- анализ возможных изменений во взаимосвязанных структурных единицах и выявление этих измерений на развитие исследуемого явления;
- прогнозирование тенденций развития существующих и возможных в прогнозируемом периоде структурных единиц, взаимосвязей и пропорций между ними (с использованием методов экстраполяции);
- окончательная балансировка структуры исследуемого явления.

Простейший способ решения задачи окончательной балансировки – нормирование количественных величин структурных единиц. Однако при этом коэффициенты модели в какой-то мере теряют содержательный смысл. Разработаны более точные методы балансировки структурного прогнозирования, например, модели математического прогнозирования, целевой функцией которых является минимум величины дисбаланса.

Метод экстраполяции при помощи огибающей кривой выражает аггративный подход к прогнозированию явлений. Применение функциональных характеристик широких классов явлений позволяет избежать погрешностей, которые присущи обычным методам экстраполяции: получение краткосрочной тенденции вместо долгосрочной, консерватизм дезаг-

регативного подхода (чем больше степень дезагрегации анализа, тем больше вероятность того, что оценки окажутся консервативными, так как такой прогноз дает возможность установить верхний предел развития процесса в данной известной системе ограничений, а это в действительности очень часто оказывается нижним пределом истинного процесса развития при изменившейся системе ограничений) и т.п. Суть данного метода состоит в том, что найденная на основе графоаналитического анализа общая тенденция в виде огибающей кривой продлевается на будущее.

Метод огибающей кривой – специфический метод прогнозирования. Область его применения – некоторые аспекты научно-технического прогресса, потребление некоторых специфических товаров и средств или другие весьма специфические процессы, которые отвечают предпосылкам и условиям использования метода. "Огибающая" – это такая кривая, которая приближенно отражает общую тенденцию развития и имеет во всех своих точках общую касательную с каждой из кривых, характеризующих изменения значений каждого конкретного процесса.

Расчет точек касания и самих параметров огибающей кривой – достаточно сложная математическая задача, особенно если конкретные процессы описываются кривыми, принадлежащими к различным семействам.

Метод огибающих кривых следует применять в том случае, когда прогнозируется широкий класс систем. Он дает большую стабильность результатов, в то время как прогнозы по отдельно взятым компонентам системы подвержены сильным возмущениям. При этом развитие прогнозируемой системы происходит следующим образом: переход от роста к насыщению, перемена системы ограничений и характера их действий (что придает процессу новые характеристики), снова рост с последующим насыщением и т.д.

Эффективным методом описания связей является прогнозирование при помощи систем рекуррентных эконометрических уравнений [3]. Большое преимущество этого метода состоит в том, что каждое уравнение системы может рассматриваться отдельно, а это значительно облегчает нахождение их эмпирических параметров. Используя такие системы уравнений, мы гарантируем комплексность и детальность прогнозных расчетов, потому что в этом случае объект прогноза представляет собой не отдельный показатель, а целую их систему. В рекуррентных эконометрических моделях эндогенные величины своим влиянием друг на друга составляют цепь, поэтому их можно пронумеровать так, что показатель, который сам не влияет ни на одну величину и на который действует набор эндогенных и экзогенных величин, будет последним. Само прогнозирование при помощи рекуррентных эконометрических моделей происходит по следующей схеме. Из первого уравнения рассчитываются уровни первого показателя для первого такта

прогнозируемого периода. По этим двум величинам рассчитывается уровень первого показателя для второго такта прогнозируемого периода. По найденным значениям рассчитывается величина третьего показателя и т.д.

Авторегрессионные эконометрические модели чаще всего употребляются для прогнозирования новых социально-экономических процессов, т.е. там, где внешний механизм формирования процесса четко не определен и причинно-следственные связи не исследованы. Применение этого метода прогнозирования целесообразно для сильно коррелированных динамических рядов. Именно для авторегрессионных структур используются адаптивные алгоритмы обучения и именно на основе этих структур начали развиваться интеллектуальные подходы к задаче прогнозирования.

Седьмой этап – разработка аппарата производственных функций [3]. Производственные функции устанавливают закономерную, относительно устойчивую количественную связь между входами и выходами сложной социально-экономической системы. Совершенствование аппарата производственных функций привело к усложнению их вида, например, функция CES или отражающие научно-технический прогресс производственные функции Слоу, Солтера, Бергстрема. Отличительной чертой этих функций является сложность математического аппарата, а также существенные трудности, возникающие при оценке параметров и расчете некоторых их характеристик.

Восьмой этап по созданию математического обеспечения системы прогнозирования – разработка специальных методов комбинирования и сопоставления результатов, полученных разными методами прогнозирования.

Значимость этих методов определяется тем, что существует большое число методов прогнозирования, которые можно использовать для прогнозирования того же явления. Кроме того, варианты прогноза, полученные при помощи различных методов прогнозирования, отличаются друг от друга и всегда есть необходимость в получении такого прогноза, который был бы в некотором смысле оптимальным. Различия между методами краткосрочного и долгосрочного прогнозирования существенны. Это обуславливает необходимость их комбинированного применения.

Использование методов сопоставления особенно актуально для комбинирования результатов, полученных при помощи опроса экспертов и при помощи формальных методов прогнозирования.

Девятый этап – разработка аппарата определения доверительных интервалов прогноза и методов оценки качества прогноза.

Так как прогнозирование в большинстве случаев производится с помощью стохастического аппарата, то и прогноз имеет стохастический характер. Это и требует определение интервала, в котором с некоторой

вероятностью будет находиться прогнозируемая величина. Если эта величина в дальнейшем употребляется как входная переменная, то полагают, что она находится в центре доверительного интервала.

Существующие в настоящее время методы проверки качества прогноза достаточно формальны и могут употребляться только тогда, когда ныне прогнозируемый период становится отчетным. Поэтому желательно использовать методы, которые определяют качество прогноза в теперешних условиях или хотя бы сопоставляют качество отдельных прогнозов.

Выводы и рекомендации. Конкретный процесс прогнозирования вступает в действие только после проведенного всестороннего анализа собранной информации и обработки экспертных оценок. Это итеративный процесс, включающий в себя реализацию основных этапов в рамках разработанной методики. Только таким достаточно сложным путем можно решить проблемы, связанные с прогнозированием и мониторингом такого комплексного явления, как функционирование социально-экономической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кендел М. *Временные ряды*. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 199 с.
2. *Современная экономика*. Уч. / Под. ред. О.Ю. Мамедова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1998. – 672 с.
3. A.H.Studenmund, *Using Econometrics, A Practical Guide*. Addison Wesley, 1997.
4. Замков О.О. и др. *Математические методы в экономике: Уч.* – М.: МГУ, Изд. «ДИС», 1997. – 368 с.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. *Анализ временных рядов. Прогноз и управление в 2-х вып.: Пер с англ./ Под ред. В.Ф. Писаренко*. – М.: Мир, 1974. – 462 с.
6. Бодянский Е.В., Гнусов Ю.В. *Использование математических моделей для выявления негативных явлений в социально-экономических системах // НТК “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”*. Тез. докл. – Х., Туансе, 1995. – С. 273.
7. Гнусов Ю.В. *Особенности моделирования и прогнозирования преступности // АСУ и приборы автоматики*. – Х. – 1997. – Вып. 105. – С. 56 – 60.
8. Яковлев С.В., Гнусов Ю.В. *Математические методы оценки состояния и прогнозирования преступности*. – Х.: Ун-т внутр. дел, 1998. – 158 с.

Поступила 14.05.2004

ЯКОВЛЕВ Сергей Всеволодович, доктор физ.-мат. наук, профессор, нач. факультета управления и информатики Нац. ун-та внутр. дел. В 1978 году окончил ХИРЭ. Область научных интересов – информационно-аналитическое обеспечение органов внутренних дел.

ГНУСОВ Юрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент каф. прикладной математики Нац. ун-та внутр. дел. В 1993 году окончил ХИРЭ. Область научных интересов – применение математических моделей для прогнозирования поведения социально-экономических систем.

ТУЛУПОВ Владимир Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информатики Нац. ун-та внутр. дел. В 1991 году окончил ХВВКИУ РВ. Область

научных интересов – контроль и управление динамическими системами.
