

# КОНСТРУИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ РОССИЙСКОГО МЕДИКО- ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Мешков Н.А.

Система управления инновационным развитием российского медико-производственного комплекса (МПК) должна быть способна на основе информации о состоянии внешней среды и собственном состоянии МПК, а также прогноза этих состояний при наличии мотивации и постоянно обновляемых знаний синтезировать цель управления и находить рациональные способы ее достижения [1]. Построение интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК предполагает реализацию механизма синтеза цели управления, динамической экспертной системы, методов принятия решений и адаптивного управления, объединенных в рамках функциональной структуры П.К.Анохина [2].

Конструирование интеллектуальных систем управления сопряжено с рядом сложностей. Серьезные затруднения вызывает, прежде всего, реализация таких интеллектуальных компонент, как механизм синтеза цели управления и акцептор действия. Синтез цели и формирование аппарата акцептора действия в системе управления инновационным развитием МПК осуществляют топ-менеджеры отрасли в условиях законодательных, экономических и др. ограничений. В такой ситуации неизбежны субъективные ошибки, проявления волюнтаризма. Унификация реализации интеллектуальных компонент системы управления инновационным развитием МПК является актуальной и важной задачей в условиях модернизации российского здравоохранения.

Рассмотрим реализацию второй интеллектуальной компоненты системы управления МПК – акцептора действия. Акцептор действия осуществляет экстраполяцию исследуемых параметров и сличение результата экстраполяции с получаемыми измерениями.

При проведении экстраполяции состояний динамической системы можно выделить три этапа:

1. Измерение (сбор) информации.
2. Построение модели динамических процессов, определяющих функционирование объекта исследования.
3. Проведение моделирования и получение оценки состояния объекта исследования в будущем.

При изучении сложных социально-экономических систем для экстраполяции

применяется преимущественно математическое моделирование. Различные методы экстраполяции предполагают различные способы описания систем.

При осуществлении прогнозирования могут применяться два принципиально разных подхода:

- детерминистический подход, в рамках которого предполагается, что имеется априори вся необходимая информация или эта информация может быть получена с достаточной точностью;
- стохастический подход, предполагающий рассмотрение прогнозируемых характеристик объекта исследования в виде случайных величин (когда принимается во внимание влияние внешних возмущений, а вероятностные параметры случайных величин определяются посредством выборочных реализаций).

В системах управления динамическими системами экстраполяционные модели используются в качестве эталонных моделей, в алгоритмах управления по прогнозу, а также для прогнозирования внешних возмущающих факторов.

При изучении развития явлений и процессов во времени используются методы, основанные на построении и анализе рядов динамики. В самом общем случае ряд динамики может быть представлен суммой четырех составляющих: тренда (систематической компоненты, показывающей в среднем характер изменения прогнозируемого явления (процесса) во времени), колебаний около тренда, специфических колебаний с частотой, значительно превышающей частоту колебаний около тренда, и случайной составляющей. Ключевой задачей прогнозирования в управлении динамическими системами является определение основной тенденции их развития, характеризуемой трендом.

Наиболее часто в задачах прогнозирования используются линейные тренды. С помощью регрессионного анализа можно продолжить линию тренда вперед или назад, экстраполировать ее за пределы, в которых данные уже известны, и показать тенденцию их изменения. Можно также построить линию скользящего среднего, которая сглаживает случайные флуктуации, яснее демонстрирует модель и прослеживает тенденцию изменения данных.

В качестве инструмента прогнозирования в системе управления инновационным развитием МПК предлагается использовать тренды Демарка [3], отличающиеся простотой реализации и позволяющие определить тенденцию изменения исследуемого процесса за минимальный интервал времени. Их можно применять для построения прогноза на основе достаточно коротких измерительных выборок. Наиболее эффективны тренды Демарка при изучении процессов, имеющих резкоменяющийся характер.

На коротких измерительных выборках (до 10 измерений) используются классические

тренды Демарка. Они не достаточно точны, и эффективны только при краткосрочном прогнозировании. При более плавной динамике исследуемого процесса лучше использовать модифицированные тренды Демарка, которые строятся на более длинных выборках. Модифицированные тренды Демарка отличаются повышенной точностью аппроксимации измерительной выборки.

При прогнозировании различного рода процессов в системах управления динамическими системами, когда сведения о поведении процесса в прошлом либо весьма ограничены, либо достаточно полны, но тенденции развития процесса ко времени проведения прогнозных расчетов изменились, традиционные методы прогнозирования, основанные на использовании исключительно статистических данных, либо вообще не работают, либо приводят к недостаточно достоверным результатам. В этом случае нужно использовать дополнительную, экспертную информацию.

Методы прогнозирования коротких временных рядов основаны на объединении статистической и экспертной информации в единой модели. Эти методы выгодно отличаются от других подходов двумя особенностями. Во-первых, они ориентированы на экспертные высказывания в форме, удобной для специалистов в каждой предметной области. Во-вторых, все они основаны на единой модели, в которой объединена вся разнородная информация об исследуемом процессе.

Рассмотрим временной ряд, значения которого наблюдаются на интервале измерений  $t = 1, 2, 3, \dots, m$  и результаты наблюдения образуют последовательность  $\tilde{y}_t$ . Задача прогнозирования в этом случае состоит в отыскании последовательности  $\tilde{y}_t$ , определенной на периоде упреждения  $t = m + 1, \dots, m + n$ .

На основе анализа прогнозирования явлений различной природы в достаточно широких областях получены свидетельства о том, что в качестве модели тренда может служить зависимость

$$F(t; \theta) = (\theta, \varphi(t)),$$

линейная по параметрам, определённым в дискретные моменты времени  $t = 1, \dots, m, m + 1, \dots, m + n$ , где  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$  – вектор параметров;  $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k)$  – векторная функция, компонентами которой являются, в общем случае, нелинейные функции;

$(\theta, \varphi(t)) = \sum_{i=1}^k \theta_i \varphi_i(t)$  – скалярное произведение,  $k$  – количество нелинейных функций в модели.

При надлежащем выборе  $k$  и  $\varphi_i$  такая модель позволяет описывать сложно изменяющиеся во времени явления. В то же время она достаточно проста, чтобы быть

применимой в процедурах прогнозирования. В качестве  $\varphi_i$  могут быть использованы линейная, квадратичная, полиномиальная, степенная функции и т.д. В практических задачах прогнозирования чаще всего используется двухпараметрический вариант данной модели:

$$F(t; \theta_1, \theta_2) = \theta_1 \varphi_1(t) + \theta_2 \varphi_2(t).$$

Эффективный прогноз с помощью временного ряда возможен лишь тогда, когда продолжительность периода основания  $m$  достаточна для получения достоверных выводов относительно характера изменения во времени. Как показывает опыт прогнозирования реальных рядов, для учета всех составляющих продолжительность  $m$  должна иметь порядок сотен единиц. При величине  $m$  порядка десятков единиц удовлетворительные по точности прогнозные результаты могут быть получены лишь для временных рядов, представляемых суммой тренда, специфической и случайной составляющих. При продолжительности ряда, меньшей некоторой величины  $m_{\min}$ , получить более-менее удовлетворительный прогноз на основе результатов наблюдений оказывается вообще невозможным и требуется привлечение дополнительной информации о прогнозируемом явлении. Величина  $m_{\min}$  определяется требуемой точностью прогноза, его максимальной глубиной  $n$ , характером тренда и случайной составляющей.

В случае, когда продолжительность наблюдения  $m < m_{\min}$ , для получения достоверных прогнозов исследуемого явления необходимо привести дополнительную информацию типа экспертных суждений, так как статистические выводы, формально вытекающие из анализа результатов наблюдений, при малой продолжительности временного ряда  $m$  оказываются малодостоверными.

Эксперту в предметной области проще и естественнее судить о нижней и верхней границах возможных значений временного ряда на периоде упреждения прогноза, о тенденции, появлении максимального или минимального значений, а также устанавливать связи будущих значений временного ряда с прошлыми. Если имеется возможность предварительного оценивания компетенции экспертов, то такого рода дополнительная информация может оказаться весьма полезной при прогнозировании временного ряда. В этом случае каждое экспертное суждение будет характеризоваться правдоподобием, т.е. может быть формально отождествлено с вероятностью.

Если экспертные суждения непротиворечивы, то соответствующая им система неравенств совместна. В общем случае решение системы неравенств единственно, поэтому для отыскания модели тренда должны быть привлечены дополнительные соображения. В результате отыскание оптимальной модели будет сводиться к решению задачи минимизации по критерию, составленному на основе статистических данных, при ограничениях,

обусловленных экспертными суждениями.

Таким образом, можно разработать процедуру прогнозирования с помощью временных рядов процессов широкого класса, характерных для медико-производственной сферы, которая может быть реализована в рамках экспертной системы. За счёт использования для построения прогнозирующей модели изучаемого объекта как статистической, так и экспертной информации, достигается значительный положительный эффект. Преимущества такого подхода проявляются при функционировании экспертной системы в сложных условиях, нестандартных ситуациях.

Метод построения прогнозирующих моделей, основанный на объединении статистической и экспертной информации, может быть реализован в интеллектуальных системах управления. При построении акцепторов действия интеллектуальных систем управления, основанных на теории функциональных систем П.К.Анохина, метод построения прогнозирующих моделей, предполагающий объединение статистической и экспертной информации, предлагается сочетать с подходом самоорганизации [4].

Подход самоорганизации наиболее эффективен в условиях минимального объема априорной информации, а также в случаях, когда в силу различных причин не учитываются некоторые существенные факторы или когда помехи в несколько раз превышают полезный сигнал. Принципиальная возможность прогнозирования без учета некоторых определяющих факторов объясняется тем, что в сложных системах факторы коррелированы между собой, следовательно, измерение одного фактора содержит информацию о других факторах, связанных с ним.

Методологической предпосылкой использования подхода самоорганизации при прогнозировании является допущение о том, что исчерпывающая информация, характеризующая динамику объекта исследования, содержится в измерениях и в ансамбле критериев селекции моделей. Подход самоорганизации позволяет построить математическую модель объекта исследования без априорного указания его закономерностей. Разработчик модели должен лишь задать ансамбль критериев селекции (критериев самоорганизации, выбора модели). Выбор модели оптимальной сложности произойдет автоматически.

В рамках подхода самоорганизации реализуется метод, который основывается на следующих принципах:

1. Принцип самоорганизации модели.

В процессе селекции моделей посредством ансамбля критериев сложность структуры моделей увеличивается, а значения критериев падают. Ситуация, когда значения критериев достигают минимума, сигнализирует о том, что найдена модель оптимальной сложности. Далее значения критериев либо остаются постоянными, либо увеличиваются.

## 2. Принцип внешнего дополнения (С.Бир).

Для решения задачи выбора модели оптимальной сложности необходимо использовать внешний критерий селекции – критерий, вычисляемый на основе информации, которая не используется в процессе оценивания параметров. Оценивание параметров осуществляется с использованием обучающей последовательности. Без привлечения дополнительной информации определить модель оптимальной сложности не представляется возможным.

## 3. Гипотеза селекции.

Гипотеза селекции в детерминированной постановке утверждает, что воздействия, не прошедшие порогового самоотбора в предыдущем ряду, не участвуют в образовании самого лучшего результата в следующем ряду. Для большинства эвристических критериев самоотбора эта гипотеза может быть доказана и, следовательно, может стать "теоремой селекции" только в вероятностном смысле: вероятность того, что мы потеряем самое лучшее решение (найдем только близкое к нему) тем меньше, чем больше данная переменная превышает порог.

## 4. Принцип свободы выбора (Д.Габор).

В целях обеспечения свободы выбора в процессе селекции на каждый следующий этап с предыдущего передается сразу несколько моделей.

Адекватность выбранной модели определяется по минимуму критериев селекции. Удачно выбранные критерии селекции позволяют исключить лишние, случайные и неинформативные переменные состояния, определить их связи оптимальным образом.

Наиболее популярны следующие критерии селекции моделей: регулярности, минимума смещения модели, баланса. Реже используются критерии простоты модели, разнообразия аргументов, информационный критерий и т.д. Все они имеют свои существенные недостатки. Критерий минимума смещения, например, который требует совпадения моделей, полученных на различных выборках, может выявить одинаковые неоптимальные модели. Критерий баланса, заключающийся в выборе той модели, у которой ярче прослеживаются закономерности, выявленные в процессе наблюдения, также может привести к многозначности выбора модели, поскольку, как правило, на определенном интервале времени множество моделей соответствует заранее определенной закономерности.

Использование ансамбля критериев селекции – совокупности взаимодополняющих друг друга критериев – делает выбор модели однозначным. Критерии, каждый из которых осуществляет многозначный выбор модели, применяются к моделям, уже отобранном посредством вспомогательных критериев. Обычно вспомогательные критерии выбираются из физических соображений в каждой конкретной постановке задачи.

Таким образом, методом самоорганизации может быть получена математическая

модель, которую в дальнейшем можно будет использовать для прогнозирования и управления исследуемой системой, в частности, медико-производственным комплексом.

Предсказанное состояние исследуемой системы в будущем используется в функционале качества, который минимизируется при поиске оптимального управления. Синтез управления с оптимизацией прогноза проводится периодически с учетом вновь поступивших данных.

Процесс построения модели (для последующей экстраполяции) на основе самоорганизации реализуется в три этапа:

1. Построение генератора моделей-претендентов.
2. Оценка предложенных моделей по критериям селекции.
3. Использование выбранной модели для экстраполяции.

Метод самоорганизации применим в условиях, когда измерения содержат достаточно информации о динамике исследуемых процессов, протекающих при функционировании МПК, т.е. когда эффект старения измерений еще не влияет на точность построения прогнозирующей модели. В ситуациях, когда эффект старения измерений уже сказывается на точности прогнозирующей модели, используется алгоритм, основанный на временных рядах. В этом случае точность прогнозирующей модели повышается с помощью экспертной информации, используемой при ее построении. Индикатором перехода от самоорганизующихся моделей к прогнозирующим временным рядам может служить величина рассогласования в акцепторе действия интеллектуальной системы.

Метод самоорганизации реализуется в системах эвристической самоорганизации, содержащих в себе генераторы гипотез, пороговые самоотборы полезной информации и процедуры оптимизации порогов. Генераторы гипотез представляют собой программы, вырабатывающие самые разнообразные случайные комбинации входных сигналов – аргументов и функций от них. Число возможных комбинаций входных и промежуточных сигналов может достигать огромных размеров, но пороговые самоотборы полезной информации по эвристическим критериям уменьшают объем задачи, а процедуры оптимизации порогов позволяют достичь наибольшей точности решения задачи.

Таким образом, из сказанного можно сделать следующие выводы:

- построение интеллектуальной системы управления инновационным развитием МПК предполагает реализацию механизма синтеза цели управления, динамической экспертной системы, методов принятия решений и адаптивного управления, объединенных в рамках функциональной структуры П.К.Анохина;
- при построении акцептора действия системы управления инновационным развитием МПК метод построения прогнозирующих моделей, основанный на использовании

прогнозирующих трендов Демарка и предполагающий объединение статистической и экспертной информации, предлагается сочетать с подходом самоорганизации;

- метод самоорганизации реализуется в системе эвристической самоорганизации, содержащей в себе генераторы гипотез, пороговые самоотборы полезной информации и процедуры оптимизации порогов.

### **Литература**

1. Мешков Н.А. Медико-производственный комплекс в глобальном информационном обществе. – М.: МИЭМ, 2008. – 256 с.
2. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – М.: Медицина, 1968. – 546 с.
3. Демарк Т.Р. Технический анализ – новая наука. – М.: Евро, 2008. – 280 с.
4. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. – Киев: Техніка, 1985. – 223 с.