

УДК 519.816
DOI: 10.15827/0236-235X.117.040-044

Дата подачи статьи: 25.08.16
2017. Т. 30. № 1. С. 40–44

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

*О.В. Тиханьчев, к.т.н., старший научный сотрудник, tow65@yandex.ru
(27 Центральный научно-исследовательский институт Минобороны России,
1-й Хорошевский пр-д, 5, г. Москва, 123007, Россия)*

Условие адекватности управления сложными системами – наличие сведений об их текущем состоянии и условиях функционирования. Обычно такие данные получают от систем мониторинга обстановки. Но для динамических систем обычный мониторинг не всегда обеспечивает эффективность управления. В ряде случаев ситуацию спасает введение в контур управления обратной связи. Однако этот подход не всегда срабатывает, особенно при управлении крупными распределенными системами, обладающими высокой инерционностью. Для обеспечения эффективности управления необходимо использовать обратную связь: не просто отслеживать состояние системы и окружающей среды, но и получать информацию об их возможных изменениях заблаговременно, то есть использовать методы прогнозирования.

В настоящее время принято разделять все методы прогнозирования на активные, оценивающие возможные последствия принимаемых решений, и пассивные, обеспечивающие прогноз изменения состояния в текущих условиях.

Предлагается использовать пассивное прогнозирование для формирования обратной связи активного типа, позволяющей формировать управляющие воздействия заблаговременно с учетом прогноза развития обстановки.

Анализ состава исходных данных и требований по оперативности прогноза позволяет сделать вывод о целесообразности применения для организации активного мониторинга в существующих условиях именно моделей на основе временных рядов.

Ключевые слова: прогнозирование, активный мониторинг, математическое моделирование, управление динамическими системами.

Несмотря на постоянное развитие положений теории управления, до настоящего времени остается актуальной проблема повышения эффективности управления распределенными динамическими системами. Основа решения этой проблемы – комплексное совершенствование организации основных этапов типового цикла управления.

Как показывает практика, важнейшими этапами любого цикла управления являются оценка обстановки и контроль выполнения принимаемых решений. Первый этап служит основой для выработки решения, второй – для завершения цикла управления и перехода к следующей итерации. Условием успешности выполнения указанных этапов является наличие актуальной информации о параметрах состояния управляемой системы, взаимодействующих (конкурирующих) систем и условиях их функционирования.

Методы оценки состояния управляемой системы

Для получения указанных данных в состав автоматизированных систем управления включаются системы сбора данных обстановки и средства ее мониторинга. Мониторинг состояния осуществляется путем периодического считывания установленных оператором параметров управляемой системы, известных (предполагаемых) параметров противодействующих и взаимодействующих систем, а также условий их функционирования с последующим сравнением их с критериальными значениями. Такой подход можно отнести к самой простой и наиболее распространенной форме мо-

нитинга, когда агрегированные текущие параметры периодически сравниваются с критериями и сигнал «не норма» выдается в момент выхода параметра за установленные границы.

Такая организация мониторинга не сложна и, в первую очередь, требует оперативного получения и обработки составляющих контролируемых параметров. Однако в условиях управления распределенными динамическими системами простой мониторинг не всегда обеспечивает адекватность управления. Как показывает практика, в ряде случаев могут наблюдаться запаздывание сигналов управления, несоответствие мощности управляющих воздействий требованиям достижения цели и т.п.

С алгоритмической точки зрения, описанный подход к организации мониторинга аналогичен принципу использования контура обратной связи, реализуемому в системах автоматического управления. Этот принцип надежный, показавший на практике достаточно высокую эффективность. В то же время при управлении сложными распределенными системами, обладающими высокой инерционностью, простая обратная связь эффективна далеко не всегда. В процессе сбора информации и реализации управляющих воздействий система настолько меняет свое состояние, что сигналы обратной связи просто запаздывают. Для решения проблемы необходимо иметь возможность прогнозирования изменений состояния системы на некоторый период времени, обеспечивающий опережение принятия решения, то есть создать некоторую дополненную обратную связь. Основа такой связи – прогнозирование состояния системы на некоторый период времени, опережающий ее текущее

положение с учетом реализации управляющих воздействий.

В специальной литературе иногда принято разделять прогнозирование на активное и пассивное [1, 2]. Первое обеспечивает оценку возможных последствий принимаемых решений, то есть дает ответ на вопрос «что будет, если сделать то-то». Второе оценивает возможное состояние системы через некоторое время, если условия ее функционирования останутся неизменными, то есть отвечает на вопрос «что будет, если ничего не предпринимать». Как показывает практика, для управления динамическими системами с высоким уровнем собственной инерционности целесообразно использовать пассивное прогнозирование, которое в условиях получения прогнозов с высокой периодичностью можно условно назвать активным мониторингом. Формально активный мониторинг – это то же пассивное прогнозирование, но с более жесткими требованиями к оперативности и непрерывности прогноза.

Прогнозирование изменения состояния управляемой системы как одна из основ эффективности управления

Пояснить сущность активного мониторинга позволяет аналогия с использованием принципов обратной связи в *системах автоматического управления (САУ)*, к которым с определенными допущениями может быть сведена любая система «управляемый объект–автоматизированная система управления–органы управления». Практика показывает, что охват управляющих звеньев САУ обратной связи улучшает общие характеристики системы, но при его применении могут возникать определенные проблемы. Например, наличие простой или жесткой обратной связи повышает степень астатизма системы, что при определенных условиях приводит к существенному снижению качества управления. Для компенсации влияния этой проблемы в состав обратной связи, как правило, включают дифференцирующие звенья с уровнем дифференциации не ниже первого порядка $W_{oc}(p)$, то есть делают связь гибкой. Именно наличие гибкой обратной связи обеспечивает аналог активного мониторинга, повышая устойчивость системы к случайным возмущениям и систематическим ошибкам (рис. 1).

Указанная система в варианте отрицательной обратной связи может быть описана уравнением

$$V(p) = \frac{W_{пц}(p)}{1 + W_{пц}(p)W_{oc}(p)}.$$

Повышение передаточных свойств такой системы, улучшение ее фазочастотной характеристики в САУ будут соответствовать повышению оперативности принятия решений при сохранении уровня их обоснованности в автоматизированных

системах управления. При этом, как показывает анализ уравнения управляемой системы, наибольшая управляемость достигается, когда передаточная функция обратного звена соизмерима с передаточной функцией самой системы. Существенное отклонение величин передаточных функций либо сводит на нет положительное влияние обратной связи, либо вызывает рассогласование управляющего и выходного сигналов. В свою очередь, параметры обратной связи и определяются характеристиками используемых в системе управления средств прогнозирования, то есть компонентов активного мониторинга.

Активный мониторинг в роли гибкой обратной связи, хотя и похож по принципу организации на пассивное прогнозирование, имеет ряд отличий от него по оперативности получения и обработки исходных данных, а следовательно, и по применяемым для этого математическим методам. На основании этого он может быть обоснованно выделен в отдельный класс задач. Основные требования к активному мониторингу: получение прогнозных оценок, сбалансированных по показателям оперативности между требованиями обеспечения динамического управления системой и минимально достаточной для принятия решений точности прогноза. Эти требования определяют выбор методов прогнозирования, которые могут быть использованы в данном процессе.

Методы прогнозирования состояния процессов и систем

В настоящее время на практике используется довольно широкий спектр методов прогнозирования. Среди них принято выделять две основные группы методов получения прогнозных оценок: интуитивные, имеющие дело с субъективными суждениями, и формальные, использующие расчетные методики и математические модели. Эти

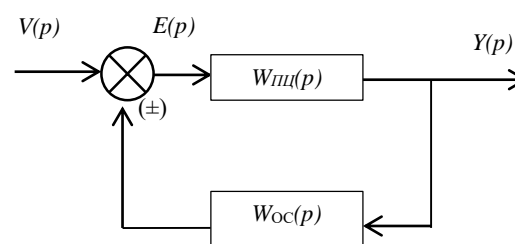


Рис. 1. Охват звена управления гибкой обратной связью: $W_{пц}(p)$ – передаточная функция звеньев прямой цепи; $W_{oc}(p)$ – передаточная функция звеньев обратной связи; $E(p)$ – изображение ошибки регулирования, компенсируемой использованием обратной связи; $Y(p)$ – вектор конечного состояния системы; $V(p)$ – вектор управляющих воздействий

Fig. 1. The scope of flexible feedback control link

методы реализуются через применение различного математического аппарата: от экспертных оценок для интуитивных методов до сложных математических моделей, реализуемых в фактографических подходах [3–5]. Применяемый в той или иной ситуации математический аппарат прогнозирования зависит от сложности системы и степени формализуемости проблемы (рис. 2). Классификация, приведенная на рисунке, авторская, и с ней можно спорить, но общую тенденцию состояния методов прогнозирования она отражает. При абсолютной формализации предметной области в ряде случаев для получения прогнозных параметров вектора состояния системы могут использоваться даже простые расчетные задачи, но это, скорее, исключение, чем правило. Чаще всего разработчику приходится использовать средства для учета экспертных оценок или математическое моделирование.

Задача активного мониторинга, как показывает анализ содержания данной проблемы, может решаться исключительно с применением аппарата математического моделирования. Для реализации процесса активного мониторинга могут быть использованы преимущественно фактографические типы моделей [1], которые подразделяются на модели временных рядов и модели предметной области [6, 7].

В данной постановке модели временных рядов – это математические модели прогнозирования, которые обеспечивают поиск зависимости будущих значений параметров от истории развития самого процесса и построение по этой зависимости прогноза [8, 9]. Эти модели универсальны для различных предметных областей, то есть их общий вид не меняется в зависимости от природы временного ряда.

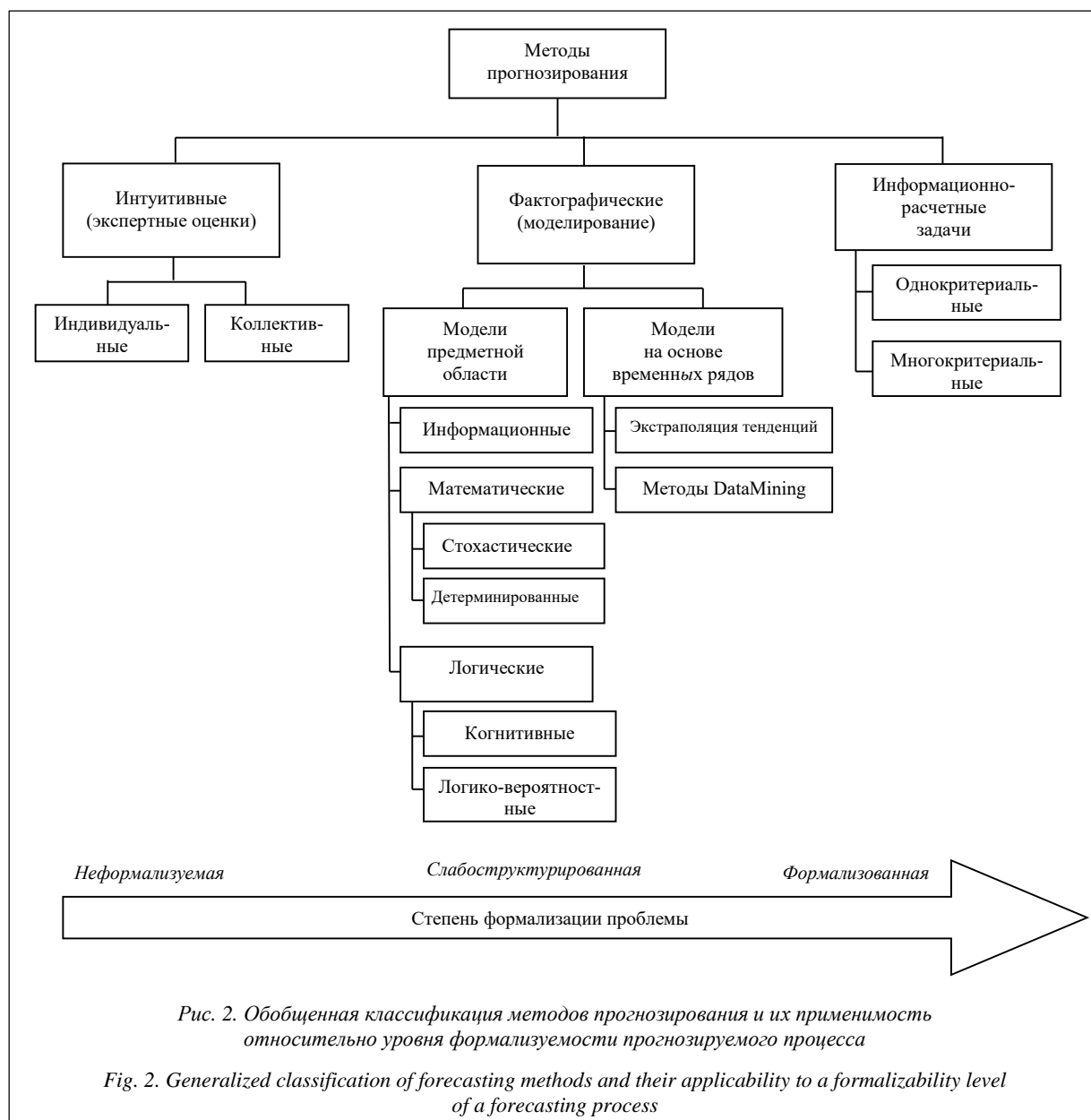


Рис. 2. Обобщенная классификация методов прогнозирования и их применимость относительно уровня формализуемости прогнозируемого процесса

Fig. 2. Generalized classification of forecasting methods and their applicability to a formalizability level of a forecasting process

Модели предметной области – такие математические модели прогнозирования, для построения которых используют законы предметной области. В этих моделях используются математические, логические и вероятностные зависимости, свойственные конкретной предметной области. Такого рода моделям присущи индивидуальный подход к разработке математического аппарата и детальный учет всех значимых параметров системы и среды ее функционирования.

Каждая из описанных групп моделей обладает набором свойств, определяющим их пригодность или непригодность к применению в тех или иных областях. Задача активного мониторинга выдвигает свои требования к используемым моделям, в основе которых оперативность получения прогноза и наличие в составе исходной информации больших массивов динамично меняющихся данных. В таких условиях применение моделей предметной области, большинство из которых требуют временных затрат на моделирование и ввода большого количества исходных данных, даже несмотря на их высокую точность, проблематично. В то же время модели временных рядов, обладающие несколько меньшей точностью, но менее требовательные к вводу исходных данных и более оперативные, в большинстве случаев оказываются предпочтительнее. Хотя их достоинства, как это часто бывает, являются продолжением их недостатков. Прежде всего к таким недостаткам относится слабый учет изменения внешних условий функционирования управляемой системы и других факторов, не описанных статистикой предыдущих состояний. В перспективе с развитием методов автоматического сбора и ввода данных модели предметной области смогут достойно участвовать в разрешении перманентного противоречия между точностью и оперативностью прогноза, в том числе при использовании в автоматизированных системах поддержки принятия решений [10–12]. В настоящее время основная область их применения гносеологическая, а в сфере управления – прогнозирование последствий принимаемых решений при планировании в ситуациях, некритичных к длительности цикла управления.

Выводы

Таким образом, анализ состава исходных данных и требований по оперативности прогноза позволяет сделать вывод о целесообразности применения для организации активного мониторинга в существующих условиях именно моделей на основе временных рядов.

К математическим методам, реализующим подобные модели, можно отнести

– методы экстраполяции тенденций (параболическая экстраполяция, метод подбора функций, модель прогнозирования авторегрессии проинте-

грированного скользящего среднего с учетом внешнего фактора и другие);

– методы обработки данных DataMining (методики автоматического поиска типовых сценариев SmartData, методы построения системы рассуждений на аналогиях case based reasoning – CBR и т.п.).

Отметим, что предметная область активного мониторинга до настоящего времени была недостаточно развита и слабо реализована в практике управления. Данная ситуация обусловлена как организационными, так и технологическими причинами. Организационные причины в том, что долгое время просто не было существенной необходимости в высокой оперативности управления: большинство управляемых распределенных систем были инертными и позволяли обойтись методами обычного мониторинга. Технологические причины порождались недостаточными возможностями применяемых в практике управления информационных технологий.

Сейчас ситуация изменилась. С повышением динамичности управляемых систем, развитием скоростных компьютерных сетей и методов работы с большими массивами информации Big Data [1] подобные задачи обязательно будут востребованы в составе ПО автоматизированных систем управления. Поэтому необходимо обеспечить развитие теоретических положений и практических методов реализации технологий активного мониторинга состояния распределенных систем. А для запуска этого процесса нужно прежде всего признать наличие указанной проблемы и классифицировать ее.

Литература

1. Тиханьчев О.В., Саяпин О.В. Оперативное прогнозирование развития обстановки как основа успешного управления применением войск (сил) // Военная мысль. 2015. № 4. С. 3–7.
2. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Активный прогноз. М.: Изд-во ИПУ РАН, 2002. 101 с.
3. Цигичко В.Н. Модели в системе принятия военно-стратегических решений в СССР. М.: Имперум-Пресс, 2005. 96 с.
4. Тиханьчев О.В. Общие подходы к обеспечению автоматизированной поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2014. 64 с.
5. Ляпин В.Р., Барвиненко В.В. Единая информационно-моделирующая среда в системах военного назначения // Военная мысль. 2015. № 4. С. 72–78.
6. Выпасняк В.И., Гуральник А.М., Тиханьчев О.В. Моделирование военных действий – история, состояние, перспективы развития // Военная мысль. 2014. № 7. С. 28–37.
7. Денисов В.Н., Саяпин О.В., Тиханьчев О.В. О месте математического моделирования в работе органов военного управления // Военная мысль. 2016. № 5. С. 28–33.
8. Дружинина Н.Г., Трофимова О.Г., Трофимов С.П. Информационно-коммуникационная система управления движением и анализа эффективности работы городского электротранспорта // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2013. № 2. URL: <http://swsys-web.ru/information-and-communication-systems.html> (дата обращения: 24.08.16).
9. Болодурина И.П., Решетников В.Н., Таспаева М.Г. Применение и адаптация нейросетевых технологий в задаче идентификации динамических объектов // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2013. № 2. URL: <http://swsys-web.ru/>

application-of-neural-network-technology.html (дата обращения: 24.08.16).

10. Виноградов Г.П., Семенов Н.А. Модели прогнозирования в интеллектуальных системах // Программные продукты и системы. 2007. № 4. С. 80–82.

11. Решетников А.Г., Керимов Т.А., Ульянов С.В. Робастное интеллектуальное управление на основе технологии кванто-

вых вычислений // Программные продукты и системы. 2013. № 4. С. 192–199.

12. Башлыков А.А., Еремеев А.П. Семиотические системы реального времени для интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении сложными технологическими объектами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 5. С. 49–57.

Software & Systems

DOI: 10.15827/0236-235X.117.040-044

Received 25.08.16

2017, vol. 30, no. 1, pp. 40–44

FORECASTING IN DYNAMIC SYSTEM CONTROL

O.V. Tikhanychev¹, Ph.D. (Engineering), Senior Researcher, tow65@yandex.ru

¹ 27 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia, 1st Khoroshevsky lane 5, Moscow, 123007, Russian Federation

Abstract. The condition of complex systems management adequacy is a stock of information on their current state and operation conditions. Typically, such data is obtained from environment monitoring systems. But usual monitoring of dynamic systems does not always provide effective management. In some cases it is appropriate to introduce a feedback to a control loop. But this approach does not always work, especially when managing large distributed systems with high inertia. In order to ensure management efficiency it is necessary to use feedback. It means not only monitor the status of a system and the environment, but also to obtain information on their possible changes in advance, that is to use forecasting methods.

Now it is common practice to divide all forecasting methods on active (which evaluate possible consequences of the decisions made) and passive (which provide a forecast of changing a state under current conditions). It is proposed to use passive forecasting for active type feedback formation. It allows a user to form control actions in advance taking into account the forecast of a situation development

Keywords: forecasting, proactive monitoring, mathematical modeling, dynamic systems control.

References

1. Tikhanychev O.V., Sayapin O.V. Development operational forecasting as a base of successful control of military forces handling. *Voennaya mysl* [Military Thought]. 2015, no. 4, pp. 3–7 (in Russ.).
2. Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. *Aktivny prognoz* [Active Forecasting]. Moscow, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS Publ., 2002, 101 p.
3. Tsigichko V.N. *Modeli v sisteme prinyatiya voenno-strategicheskikh resheny v SSSR* [Models in a military strategic decision-making system in the USSR]. Moscow, Imperium-Press, 2005, 96 p.
4. Tikhanychev O.V. *Obshchie podkhody k obespecheniyu avtomatizirovannoy podderzhki prinyatiya resheny* [General approaches to automated decision-making support]. Moscow, Editus, 2014, 64 p.
5. Lyapin V.R., Barvinenko V.V. Common information modeling environment in military systems. *Voennaya mysl* [Military Thought]. 2015, no. 4, pp. 72–78 (in Russ.).
6. Vypasnyak V.I., Guralnik A.M., Tikhanychev O.V. Military operation simulation. History, state, development prospects. *Voennaya mysl* [Military Thought]. 2014, no. 7, pp. 28–37 (in Russ.).
7. Denisov V.N., Sayapin O.V., Tikhanychev O.V. On the place of math modeling in operation of command and control organizations. *Voennaya mysl* [Military Thought]. 2016, no. 5, pp. 28–33 (in Russ.).
8. Druzhinina N.G., Trofimova O.G., Trofimov S.P. Information and communication system to control movement and analyze performance of urban electric transport. *Programmnye produkty, sistemy i algoritmy* [Software Products, Systems and Algorithms]. 2013, no. 2. Available at: <http://swsys-web.ru/information-and-communication-systems.html> (accessed August 24, 2016).
9. Bolodurina I.P., Reshetnikov V.N., Taspavaeva M.G. Application and adaptation of neural network technologies in the problem of dynamic object identification. *Programmnye produkty, sistemy i algoritmy* [Software Products, Systems and Algorithms]. 2013, no. 2. Available at: <http://swsys-web.ru/application-of-neural-network-technology.html> (accessed August 24, 2016).
10. Vиноградов G.P., Семенов N.A. Forecasting models in intelligent systems. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2007, no. 4, pp. 80–82 (in Russ.).
11. Reshetnikov A.G., Kerimov T.A., Ulyanov S.V. Robust intelligent control based on the quantum computing technology. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2013, no. 4, pp. 192–199 (in Russ.).
12. Bashlykov A.A., Eremeev A.P. Semiotics systems of real time for intelligent decision support at management of complex technological objects. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyaushie sistemy* [Information-measuring and Control Systems]. 2013, no. 5, pp. 49–57 (in Russ.).