

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-70-79

УДК 681.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

М. В. Ляховец, Г. В. Макаров, А. С. Саламатин

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Кемеровская область, Российская Федерация*

Статья посвящена вопросам синтеза натурно-модельных реализаций рядов данных на основе натуральных данных для моделирования контролируемых и неконтролируемых воздействий при исследовании действующих и проектируемых управляющих систем, а также в обучающих системах компьютерного тренинга. Показана возможность формирования модельных воздействий на основе совместного использования многовариантных динамических баз данных и имитатора натуральных данных. Динамические базы данных хранят информацию, характеризующую типопредставительные ситуации функционирования систем в виде специальных функций – генерирующих функций. Многовариантность динамических баз данных определяется типом выбираемой генерирующей функции, способами получения параметров (коэффициентов) данной функции, а также выбранной точностью аппроксимации. Восстановленные по генерирующим функциям модели ситуаций используются как базовые составляющие (тренды) при формировании итоговых натурно-модельных реализаций и поступают в имитатор натуральных данных. Имитатор данных позволяет для каждого варианта исходных натуральных данных сформировать реализацию сигнала возмущающих воздействий с заданными статистическими свойствами на заданном интервале моделирования, ограниченном исходной натурной реализацией. Это достигается с помощью двухконтурной структуры, где первый контур отвечает за оценивание и коррекцию исходных свойств натурального сигнала, а второй – за итерационную коррекцию отклонений свойств итоговой реализации от заданных. Полученные реализации отражают свойства их натуральных составляющих, которые сложно описать аналитическими моделями, и дополнены модельными значениями, позволяющими в приращениях скорректировать свойства до заданных. Данный подход позволяет сформировать множество вариантов протекания процессов на основе одной ситуации с различной заданной степенью неопределенности и условий функционирования.

Ключевые слова: натурный объект управления, многовариантные динамические базы данных, натурно-модельный подход, имитатор натуральных данных, типопредставительные ситуации.

Для цитирования: *Ляховец М. В., Макаров Г. В., Саламатин А. С.* Моделирование возмущений при исследовании управляющих систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 4. С. 70–79. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-70-79.

Введение

Последние десятилетия, характеризующиеся развитием информационных и компьютерных технологий, отмечены формированием и широким распространением комплексных систем автоматизации, содержащих в своем составе, наряду с рабочими системами управления технологическим процессом и производством, также системы обучающего, исследовательского назначения – как автоматизированных систем научных исследований, так и автоматизированных обучающих систем компьютерного тренинга. Успешное использование указанных видов систем при решении задач исследования и обучения обусловлено, в том числе, и эффективным

решением хранения и использования информации, характеризующей функционирование промышленных объектов (натурных объектов) в различных производственных режимах. На текущий момент информационные технологии могут представить решение данной проблемы посредством использования специализированных баз данных, реализующих хранение информации в виде реляционных данных и созданных с использованием клиент-серверной архитектуры, позволяющей разнести в пространстве поставщиков и потребителей информации на большие расстояния (вплоть до межконтинентальных). Используя удаленные базы данных, можно аккумулировать натурные данные, характеризующие функционирование разнообразных подобных натуральных объектов.

Экспериментальная апробация научных гипотез при решении исследовательских задач непосредственно на рабочих местах практически невозможна, поскольку всегда связана с рисками для производства и может быть чревата, например, порчей продукции, оборудования и другими аварийными ситуациями. Таким образом, необходимо использовать модельные представления реальных установок, которые должны быть территориально независимы от натуральных объектов. С другой стороны, решение указанных задач требует наличия многих однотипных вариантов реализации натуральных данных, которые не всегда имеет смысл хранить, либо необходимо практически бесконечное число вариантов статистически подобных реализаций. Таким образом, возникает вопрос о формировании модельных реализаций на базе натуральных рядов данных, причем на многовариантной основе [1].

Сложность формирования натурно-модельных данных заключается в том, что исходные и моделируемые характеристики зачастую невозможно описать детерминированной функцией, а их аппроксимация не дает достаточной точности при воспроизведении свойств. При таких условиях известные методы, основанные на описании и моделировании сигналов с помощью теоретических моделей (прямых линий, экспонент и пр.), применить просто невозможно. Такая ситуация характерна для большинства натуральных объектов, где происходит непосредственный автоматический контроль технологических параметров, например, в металлургической, угольной и других отраслях.

Учитывая вышеизложенное, можно поставить *цель исследования* – изучение процессов формирования модельных воздействий с использованием подсистем хранения типопредставительных реализаций натуральных данных и формирования модельных реализаций, которая должна включать многовариантные динамические базы данных (МвДБД) [2] и многовариантные имитаторы натуральных данных. Применение такого подхода позволит разнообразить вариантообразующие процедуры с вариантноностью по воздействиям, по условиям и по преобразованиям.

Типопредставительные ситуации

Типопредставительная реализация – это повторяющиеся условия протекания технологического, в широком смысле, процесса, причем это могут быть периодически повторяющаяся от цикла к циклу ситуация (т. е. условия протекания дискретных процессов) или повторяющаяся время от времени (условия протекания непрерывных процессов).

Рассмотрим сущность типопредставительной ситуации (ТПС) на примере циклического процесса с длительностью цикла T [3]. Пусть рассматриваемый процесс характеризуется существенным различием в условиях протекания технологического процесса от цикла к циклу. Это различие отображается набором признаков $P_j = \{P_{j1}, \dots, P_{jk}, \dots, P_{jK}\}$, известных до начала i -го цикла.

Конкретные значения признаков P_j^T совместно с фактически измеренными реализациями входных $V_j^T(i)$ и выходных $Y_j^T(i)$ воздействий объекта для прошедшего j -го цикла являются характеристикой одной из ТПС процесса:

$$P_j = \{P_{j1}, \dots, P_{jk}, \dots, P_{jK}\};$$

$$V_j^T = \{V_j^T(1), \dots, V_j^T(i), \dots, V_j^T(T-h)\};$$

$$Y_j^T = \{Y_j^T(1+h), \dots, Y_j^T(i+h), \dots, Y_j^T(T)\};$$

$$k = 1, \dots, K ;$$

$$i = 1, \dots, T - h ,$$

где k – число признаков, характеризующих условия протекания технологического процесса на каждом цикле; T – длительность цикла (дискретное время); h – дискретное запаздывание.

Индекс T воздействия $V_j^T(i)$, $Y_j^T(i)$ и признаков P_j^T означает принадлежность к ТПС.

Представление ТПС*

Номер ТПС	Признак	Реализация	
		Входные воздействия	Выходные воздействия
№	P_j^T	$V_j^T(i)$	$Y_j^T(i)$
1	P_1^T	$\{V_1^T(1), \dots, V_1^T(T-h)\}$	$\{Y_1^T(1+h), \dots, Y_1^T(T)\}$
...
N	P_N^T	$\{V_N^T(1), \dots, V_N^T(T-h)\}$	$\{Y_N^T(1+h), \dots, Y_N^T(T)\}$

*Составлено по [1].

Пример использования ТПС для задач прогнозирования можно посмотреть в [4].

Многовариантные динамические базы данных

Можно выделить следующие задачи специализированных динамических баз данных [5] при моделировании:

- сбор, обработка, накопление, анализ и документирование параметров производственных процессов и систем, используемых при моделировании;
- оценка достоверности полученных наблюдений;
- выделение информативных участков натуральных данных для дальнейшего формирования различных вариантных типопредставительных реализаций [6];
- формирование и оперативная передача информации персоналу производственного объекта для выполнения чисто производственных целей, а также передача информации внешним потребителям для использования информации в научной или учебной деятельности.

К функциям специализированных баз данных можно отнести:

- прием информации о параметрах производственного процесса в режиме реального времени;
- длительное хранение больших объемов информации;
- оперативную выборку необходимой информации по заданным критериям;
- подготовку и анализ больших объемов данных для целей моделирования и поддержки принятия решений.

Суть динамических баз данных состоит в переходе в большинстве случаев от статического хранения данных к хранению тенденций следования событий и фактов, происшедших на некотором отрезке времени в виде специальных функций (по терминологии, предложенной в [5]) – генерирующих функций. То есть динамические базы данных хранят не сами информационные объекты, дискретизированные по времени на некотором временном интервале, а коэффициенты генерирующих функций. Многовариантность динамических баз данных определена, прежде всего, типом выбранной генерирующей функции, способами получения параметров (коэффициентов) данных функций, а также выбранной точностью аппроксимации.

Подходы к формированию и алгоритмам работы МвДБД описаны в работах [2, 5, 7].

Приведем диаграмму классов МвДБД, представленную с помощью языка UML (рис. 1).

Одним из основных преимуществ использования динамических баз данных перед статическими базами данных является существенное сжатие данных при хранении их в базе. Коэффициент сжатия напрямую зависит от характера хранимых данных – чем меньше аномальных данных (выбросов) во временном ряде натуральных данных, тем больше коэффициент сжатия.

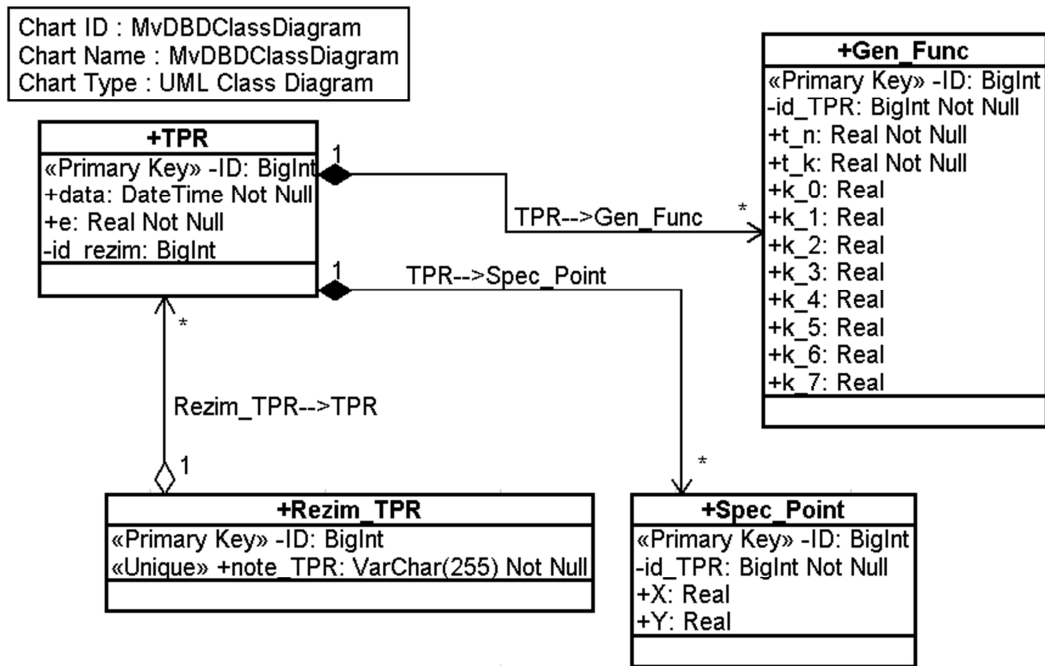


Рис. 1. Диаграмма классов МвДБД

Некритичным для функционирования МвДБД недостатком является необходимость постоянного пересчета коэффициентов генерирующей функции (в случае появления новых натуральных данных, не вписывающихся по точности в имеющуюся структуру), а также получение актуальной информации на любой момент времени, хранимой в МвДБД (информация на любой момент времени получается путем расчета значения генерирующей функции с временным аргументом с ошибкой, не превышающей наперед заданной).

Отметим, часто для задач моделирования необходимо иметь несколько схожих типопредставительных реализаций. Внутренняя организация МвДБД позволяет на основе одной типопредставительной реализации получить несколько вариантов реализаций натуральных данных, которые в дальнейшем могут быть использованы как «основа» для имитатора натуральных данных. Также применение МвДБД может привести к уменьшению количества хранимых данных, однако на эту особенность МвДБД влияет несколько факторов, таких как качество натуральных данных (наличие или отсутствие «выбросов») и их количество, выбор типа генерирующей функции, точность аппроксимации и др. Только верное сочетание всех этих факторов позволяет достигнуть оптимального соотношения качества и количества хранимых данных.

Имитатор натуральных данных

Имитатор натуральных данных предназначен для формирования рядов данных, имитирующих реальные воздействия и сигналы в системах, характеризующихся наличием низкочастотных составляющих – трендов, гармонических колебаний, постоянных констант; высокочастотных составляющих, определяющих разброс значений – среднеквадратического отклонения; динамических свойств – наличием автокорреляции.

Существующие известные методы формирования стационарных случайных процессов с заданными свойствами (к ним можно отнести перестановочные методы [8], методы моделирования с помощью непрерывных дробей [9] и др.), как правило, основываются на авторегрессионных моделях различного порядка и отличаются только способами определения коэффициентов авторегрессии. При формировании ряда данных с помощью авторегрессионной модели сильное влияние оказывает интервал моделирования, который должен значительно превышать время спада заданной автокорреляционной функции (АКФ) и должен иметь огромное количество точек (сто и более тысяч), что определяет зависимость необходимого интервала моделирования от моделируемых свойств. В противном случае возникает проблема воспроизводимости свойств, которые на малом интервале начинают значительно варьировать при одних параметрах формирующей модели.

Однако для исследования конкретных ТПС интервалы их возникновения могут быть достаточно малы (N_1-N_4) (рис. 2).

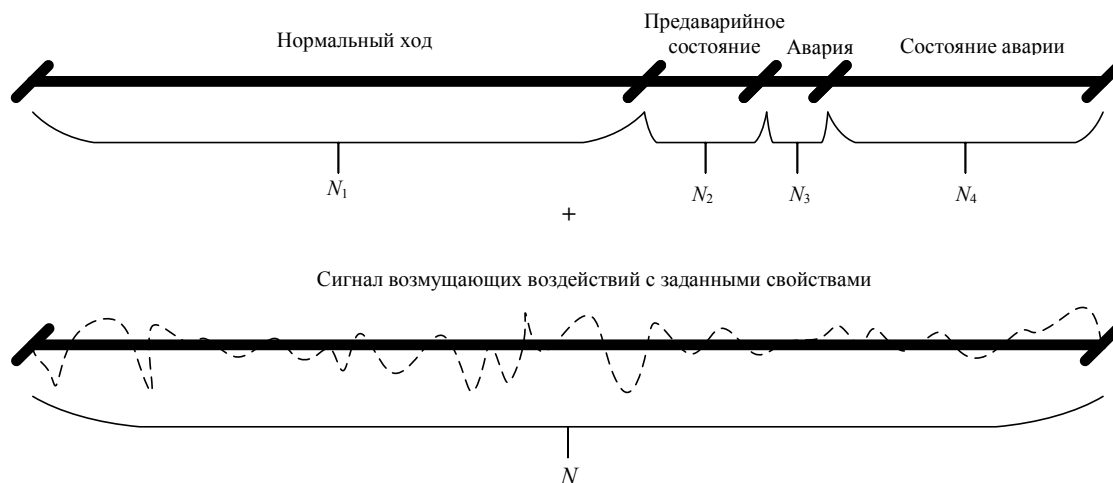


Рис. 2. Пример формирования аварийной ситуации для исследования

В связи с этим возникает задача формирования сигналов с заданными свойствами на заданном интервале моделирования. Благодаря структуре генератора, представленного на рис. 3, можно получить заданные статистические свойства Ω^* сигнала на заданном интервале.

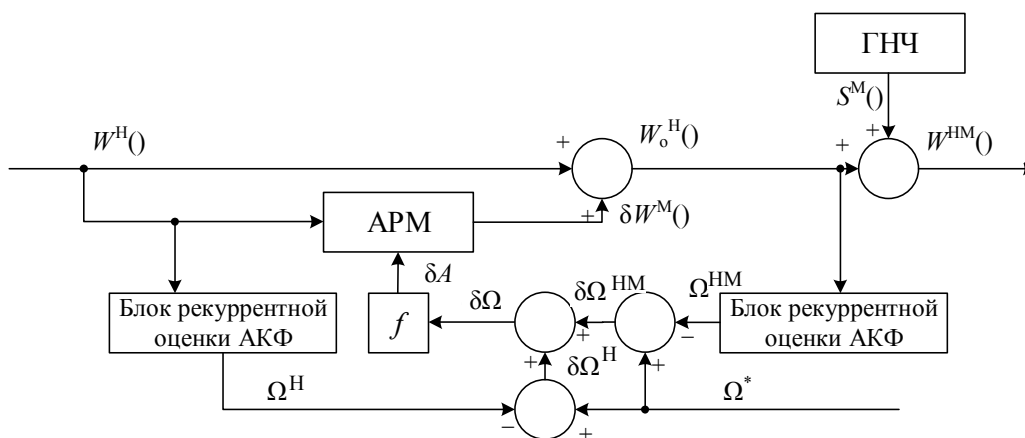


Рис. 3. Структура имитатора натуральных данных: АРМ – авторегрессионная модель; ГНЧ – генератор низких частот; индексы «Н», «М» и «НМ» означают натурную, модельную и натурно-модельную реализации соответственно

Данный имитатор позволяет формировать ряды данных W^{HM} не только на основе белого некоррелированного шума, как в традиционных аналогах [8–10], но и приняв за входной ряд значения физического (или натурального) сигнала, полученного из АСУ ТП W^H , характеризующегося уже имеющимися динамическими свойствами Ω^H , оцениваемыми в блоке рекуррентной оценки АКФ, которые учитываются в блоке прямой цепи. Блок обратной связи позволяет оперативно корректировать параметры формирующей модели δA по отклонению свойств итогового сигнала Ω^{HM} от заданных Ω^* . Полученный сигнал W_o^{HM} затем суммируется со сгенерированной в генераторе низких частот (ГНЧ) составляющей S^M .

Сформированный сигнал отличается от натурального незначительными отклонениями, но сохраняет структуру и его особенности (рис. 4).

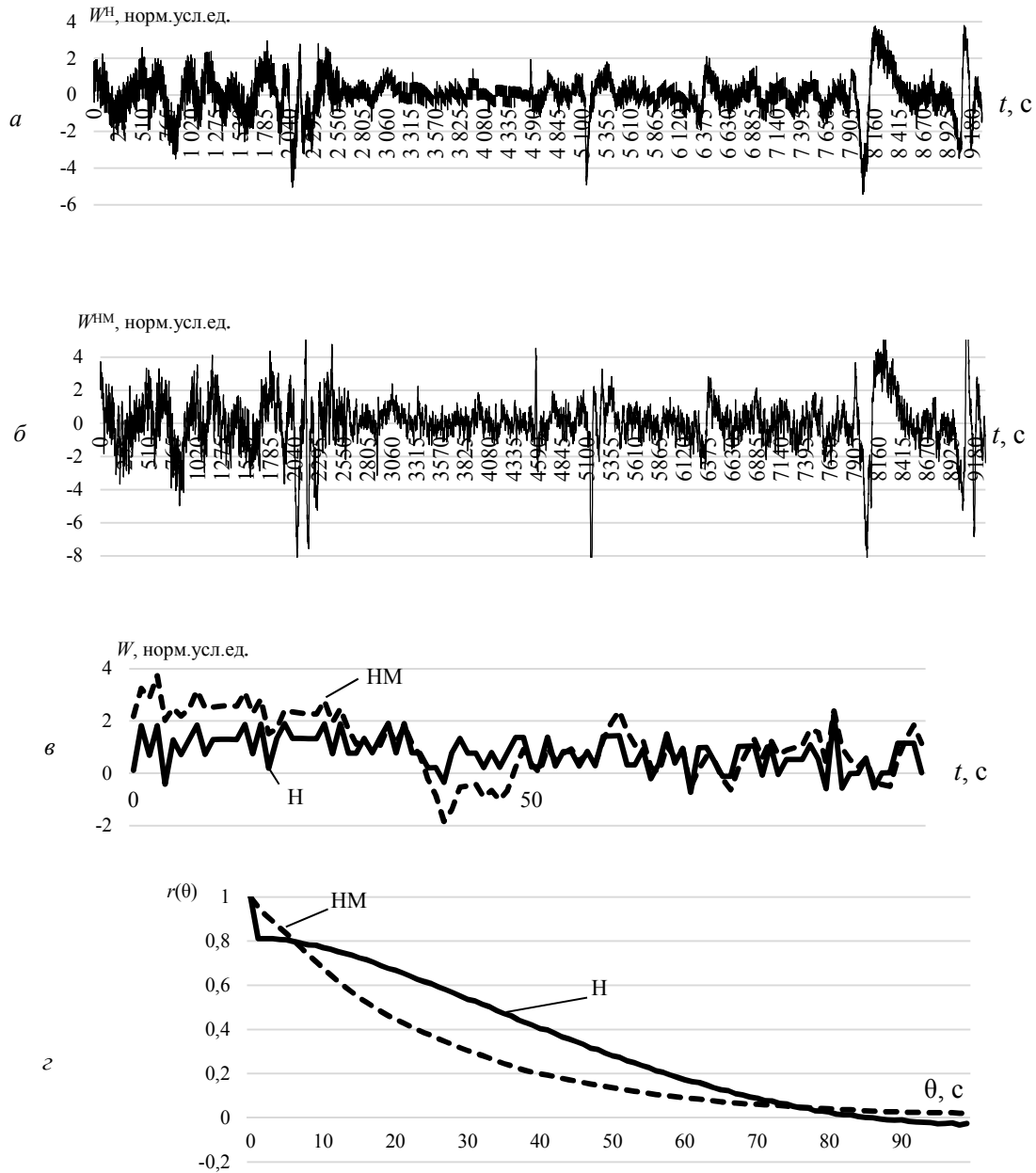


Рис. 4. Натурный (H) и натурно-модельный (HM) сигнал: а – исходной натурной реализации; б – натурно-модельной реализации; в – увеличенный фрагмент сигналов; г – автокорреляционные функции исходного и полученного сигналов

Итоговая реализация состоит из двух составляющих – натурального сигнала, описывающего исследуемую ситуацию, и натурно-модельного возмущающего воздействия с заданными свойствами (рис. 5).

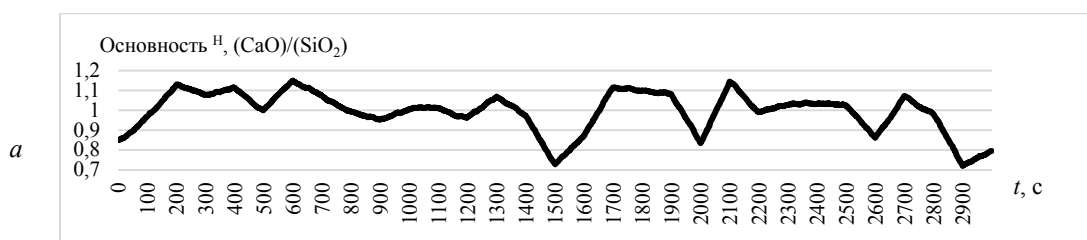


Рис. 5. Реализация натурно-модельного воздействия: а – натурные данные

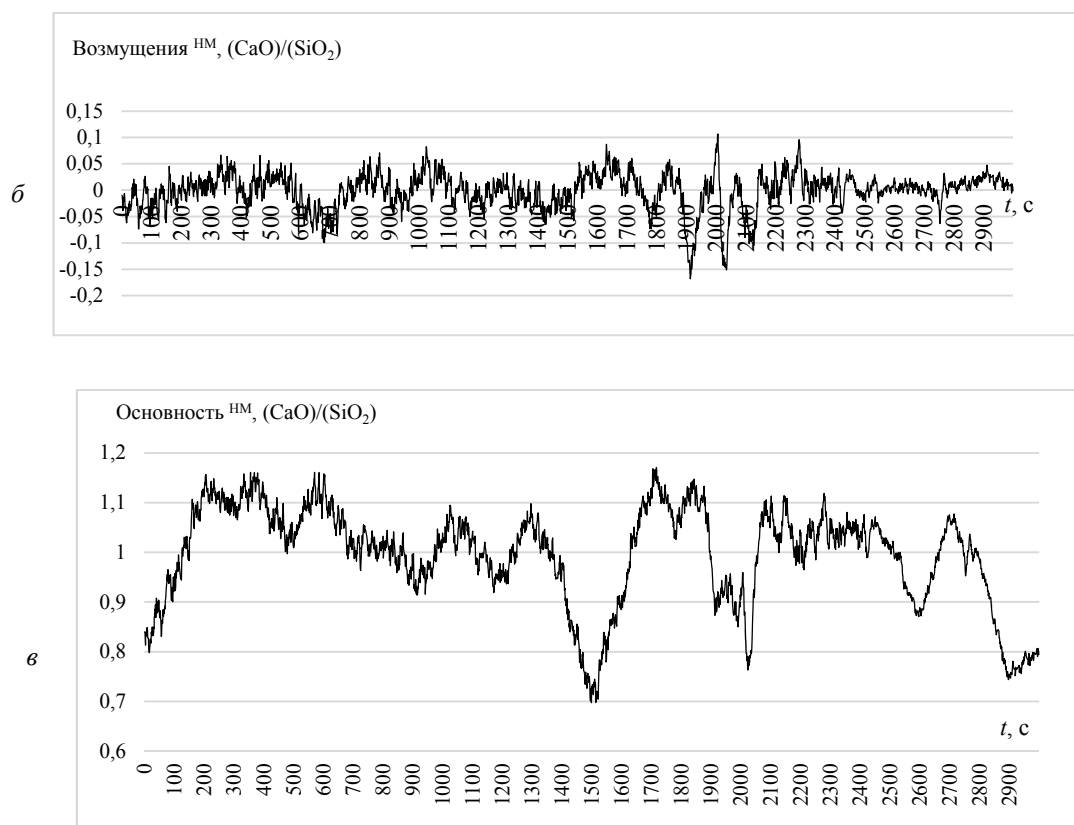


Рис. 5 (окончание). Реализация натурно-модельного воздействия:
 б – натурно-модельные возмущения; в – комбинированные данные

На рис. 5 представлен график реализации натурно-модельного эксперимента по формированию данных анализа основности шлака. Натурная составляющая характеризовалась практически полным отсутствием помеховых составляющих и возмущающих воздействий, которые были подавлены средствами КИПиА. К ним были добавлены натурно-модельные возмущающие воздействия, характеризующие работу установки сжигания водоугольного топлива [11], в которых присутствует помеховая и коррелированная составляющая с АКФ, аппроксимируемой заданной экспонентой (рис. 4, з). Таким образом, была получена натурно-модельная реализация зольности шлака с известными свойствами, подходящая для отладки и исследования алгоритмов систем управления на участке данных с натурной траекторией процесса, отражающем конкретную ТПС, но с возмущающими и помеховыми составляющими.

Заключение

Опыт предшествующих разработок и внедрений систем автоматического управления технологическими процессами, в том числе в черной металлургии [6–8, 12] и углеобогащательной отрасли [13, 14], свидетельствует об эффективности применения натурно-модельных испытаний. Главное достоинство испытаний с использованием испытательно-наладочных комплексов заключается в том, что для синтеза натурно-модельного объекта управления и испытания на нем настраиваемых управляющих систем требуется меньшее количество информации о моделях объекта управления и его внешних воздействиях, а получаемые результаты весьма близки к результатам натуральных испытаний. Однако при испытаниях синтезированных управляющих систем остро встает вопрос о всестороннем моделировании контролируемых и неконтролируемых воздействий. Предлагаемый в данной работе подход (на основе многовариантных динамических баз данных и многовариантных имитаторов натуральных данных) позволяет производить бесконечное число вариантов реализаций модельных данных, близких по статистическим и динамическим характеристикам к данным, отражающим функционирование натуральных объектов управления, которые характеризуются постоянно действующими возмущениями и неопределенностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вариантника*. Общие представления: информ. сб. / под ред. В. П. Авдеева. Новокузнецк: Изд-во СибГГМА, 1995. 120 с.
2. *Криволапова Л. В., Ляховец М. В.* О многовариантных динамических базах данных промышленных объектов // Современные сложные системы управления (НТCS'2004): материалы IV Междунар. конф. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2004. С. 342–345.
3. *Пат. 2 113 006 Рос. Федерация*. МПК G 05 В 13/02. Прогнозатор / Лебедев В. И., Пятайкин Е. М., Иванов А. А., Мышляев Л. П., Евтушенко В. Ф., Ершов Н. В., Тараборина Е. Н., Щелоков А. Е. № 96116718/09; заявл. 14.08.1996; опубл. 10.06.1998.
4. *Емельянов С. В., Коровин С. К., Мышляев Л. П. и др.* Теория и практика прогнозирования в системах управления. Кемерово; М.: Издат. об-ние «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. 487 с.
5. *Гуляев А. И.* Временные ряды в динамических базах данных. М.: Радио и связь, 1989. 128 с.
6. *Зельцер С. Р.* Разработка и применение метода натурно-математического моделирования в системах управления доменным процессом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новокузнецк: Изд-во Сиб. металлург. ин-та, 1984. 27 с.
7. *Криволапова Л. И., Ляховец М. В., Кравцова О. А., Овечкин А. В.* Обучающая система по управлению тепловым состоянием доменной печи // Технологическое образование в XXI веке: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4-х т. Новокузнецк: Изд-во КузГПА, 2006. Т. 2. С. 91–95.
8. *Бучнев О. С.* Перестановочные методы генерирования случайных процессов с требуемыми статистическими свойствами: дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2010. 155 с.
9. *Карташов В. Я., Новосельцева М. А.* Цифровое моделирование стационарных случайных процессов с заданной корреляционной функцией на основе непрерывных дробей // Управление большими системами: сб. тр. М., 2010. № 31. С. 49–91.
10. *Прикладной анализ случайных процессов* / под ред. С. А. Прохорова. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2007. 582 с.
11. *Ивушкин К. А., Макаров Г. В., Березин Д. Г., Евтушенко В. Ф.* Исследование свойств приведенных возмущений для установки сжигания водоугольного топлива // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: тр. V Всерос. науч.-практ. конф. (Новокузнецк, 20–22 ноября 2012 г.). Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2012. С. 222–228.
12. *Авдеев В. П., Кустов Б. А., Мышляев Л. П.* Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой. Новокузнецк: Изд-во Кузбас. фил. Инженер. акад., 1992. 188 с.
13. *Мышляев Л. П., Ивушкин А. А., Сазыкин Г. П. и др.* Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: моногр. в 3-х т. / под ред. Л. П. Мышляева. Новосибирск: Наука, 2006. Т. 2. Системы автоматизации производственного назначения. 483 с.
14. *Ивушкин А. А., Киселев С. Ф., Мышляев Л. П.* Системы автоматизации углеобогачительных фабрик: моногр. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004. 232 с.

Статья поступила в редакцию 30.03.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ляховец Михаил Васильевич – Россия, 654007, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры автоматизации и информационных систем; lyakhovets_mv@siu.sibsiu.ru.

Макаров Георгий Валентинович – Россия, 654007, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем; gmakarov@nicsu.ru.

Саламатин Александр Сергеевич – Россия, 654007, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; аспирант кафедры геотехнологии; al516r@mail.ru.



MODELING OF DISTURBANCES IN STUDY OF CONTROL SYSTEMS

M. V. Lyakhovets, G. V. Makarov, A. S. Salamatin

Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Kemerovo region, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to questions of synthesis of full-scale - model realizations of data series on the basis of natural data for modeling of controllable and uncontrollable influences at research of operating and projected control systems, and also in training systems of computer training. The possibility of formation of model effects on the basis of joint use of multivariate dynamic databases and natural data simulator is shown. Dynamic databases store information that characterizes the typical representative situations of systems in the form of special functions - generating functions. Multiple variability of dynamic databases is determined by the type of the selected generating function, the methods of obtaining parameters (coefficients) of this function, as well as the selected accuracy of approximation. The situation models recovered by generating functions are used as basic components (trends) in the formation of the resulting full-scale - model implementations and are input into the natural data simulator. The data simulator allows for each variant of initial natural data to form an implementation of the perturbation signal with given statistical properties on a given simulation interval limited by the initial natural implementation. This is achieved with the help of a two-circuit structure, where the first circuit is responsible for evaluation and correction of initial properties of the natural signal, and the second - for iterative correction of deviations of properties of the final implementation from the specified ones. The resulting realizations reflect the properties of their full-scale components, which are difficult to describe by analytical models, and are supplemented by model values, allowing in increments to correct the properties to the specified ones. The given approach allows to form set of variants of course of processes on the basis of one situation with different set degree of uncertainty and conditions of functioning.

Key words: full-scale object of control, multivariate dynamic databases, natural-model approach, full-scale data simulator, typical representative situations.

For citation: Lyakhovets M. V., Makarov G. V., Salamatin A. S. Modeling of disturbances in study of control systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2020;4:70-79. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-70-79.

REFERENCES

1. *Variatsionnaya. Obshchie predstavleniya: informatsionnyi sbornik* [Variativity. General views: information kit]. Pod redaktsiei V. P. Avdeeva. Novokuznetsk, Izd-vo SibGGMA, 1995. 120 p.
2. Krivolapova L. V., Liakhovets M. V. O mnogovariantnykh dinamicheskikh bazakh dannykh promyshlennykh ob"ektov [About multivariate dynamic databases of industrial facilities]. *Sovremennye slozhnye sistemy upravleniya (HTCS'2004): materialy IV Mezhdunarodnoi konferentsii.* Tver', Izd-vo TGTU, 2004. Pp. 342-345.
3. Lebedev V. I., Piataikin E. M., Ivanov A. A., Myshliaev L. P., Evtushenko V. F., Ershov N. V., Taraborina E. N., Shchelokov A. E. *Prognozator* [Forecaster]. Patent RF № 2 113 006; 10.06.1998.
4. Emel'ianov S. V., Korovin S. K., Myshliaev L. P. i dr. *Teoriia i praktika prognozirovaniia v sistemakh upravleniia* [Theory and practice of forecasting in control systems]. Kemerovo, Moscow, Izdat. ob-nie «Rossiiskie universitety»: Kuzbassvuzizdat – ASTSh, 2008. 487 p.
5. Guliaev A. I. *Vremennye riady v dinamicheskikh bazakh dannykh* [Time series in dynamic databases]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1989. 128 p.
6. Zel'tser S. R. *Razrabotka i primeneniie metoda naturno-matematicheskogo modelirovaniia v sistemakh upravleniia domennym protsessom. Avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development and application of method of natural-mathematical modeling in control systems of blast furnace process. Diss. Abstr....Cand.Tech.Sci.]. Novokuznetsk, Izd-vo Sib. metallurg. in-ta, 1984. 27 p.
7. Krivolapova L. I., Liakhovets M. V., Kravtsova O. A., Ovechkin A. V. Obuchaiushchaia sistema po upravleniiu teplovym sostoianiem domennoi pechi [Blast furnace thermal management training system]. *Tekhnologo-ekonomicheskoe obrazovanie v XXI veke: materialy 3-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 4-kh t.* Novokuznetsk, Izd-vo KuzGPA, 2006. Vol. 2. Pp. 91-95.
8. Buchnev O. S. *Perestanochnnye metody generirovaniia sluchainykh protsessov s trebuemymi statisticheskimi svoistvami. Dissertatsiia ... kand. tekhn. nauk* [Permutation methods for generating random processes with required statistical properties. Diss. ...Cand.Tech.Sci.]. Irkutsk, 2010. 155 p.

9. Kartashov V. Ia., Novosel'tseva M. A. Tsifrovое modelirovanie statsionarnykh sluchainykh protsessov s zadannoi korreliatsionnoi funktsiei na osnove nepreryvnykh drobei [Digital modeling of stationary random processes with given correlation function based on continued fractions]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov*. Moscow, 2010. No. 31. Pp. 49-91

10. *Prikladnoi analiz sluchainykh protsessov* [Applied analysis of stochastic processes]. Pod redaktsiei S. A. Prokhorova. Samara: Izd-vo SNTs RAN, 2007. 582 p.

11. Ivushkin K. A., Makarov G. V., Berezin D. G., Evtushenko V. F. Issledovanie svoystv privedennykh vozmushchenii dlia ustanovki szhiganiia vodougol'nogo topliva [Research of properties of reduced perturbations for coal-water combustion plant]. *Avtomatizirovannyi elektroprivod i promyshlennaia elektronika: trudy V Vse-rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Novokuznetsk, 20–22 noiabria 2012 g.)*. Novokuznetsk, Izd-vo SibGIU, 2012. Pp. 222-228.

12. Avdeev V. P., Kustov B. A., Myshliaev L. P. *Proizvodstvenno-issledovatel'skie sistemy s mnogovari- antnoi strukturoi* [Production and research systems with multivariate structure]. Novokuznetsk, Izd-vo Kuzbas. fil. Inzhener. akad., 1992. 188 p.

13. Myshliaev L. P., Ivushkin A. A., Sazykin G. P. i dr. *Sistemy avtomatizatsii na osnove naturno-model'nogo podkhoda: monografiia v 3-kh t.* [Automation systems based on natural-model approach: monograph in 3 volumes]. Pod redaktsiei L. P. Myshliaeva. Novosibirsk, Nauka Publ., 2006. Vol. 2. Sistemy avtomatizatsii proizvodstven- nogo naznacheniia. 483 p.

14. Ivushkin A. A., Kiselev S. F., Myshliaev L. P. *Sistemy avtomatizatsii ugleobogatitel'nykh fabrik: mono- grafiia* [Automation systems for coal preparation plants: monograph]. Novokuznetsk, Izd-vo SibGIU, 2004. 232 p.

The article submitted to the editors 30.03.3030

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyakhovets Mikhail Vasilevich – Russia, 654007, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Information Systems; lyakhovets_mv@siu.sibsiu.ru.

Makarov Georgiy Valentinovich – Russia, 654007, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Senior Lecturer of the Department of Automation and Information Systems; gmakarov@nicsu.ru.

Salamatina Alexandr Sergeevich – Russia, 654007, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Postgraduate Student of the Department of Geotechnology; al516r@mail.ru.

