

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, профессора, профессора кафедры информатики ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета Зобнина Бориса Борисовича на диссертационную работу Тимошенковой Юлии Сергеевны на тему «Разработка методики интеграции формальных методов прогнозирования временных рядов и метода ассимиляции данных», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа Ю.С. Тимошенковой посвящена решению проблемы интеграции формальных методов прогнозирования временных рядов и метода ассимиляции данных.

**Актуальность** темы диссертационного исследования обусловлена отсутствием для динамических систем, описываемых феноменологическими моделями, методов прогноза временных рядов, порожденных этими системами.

Тема диссертации соответствует специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа содержит 146 страниц основного текста (всего 162 с.), 77 рисунков и 6 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 105 наименований и двух приложений.

**Первая глава** диссертационной работы посвящена анализу состояния вопроса и постановке задач исследования. Выполнен анализ формальных методов прогнозирования временных рядов (ВР), порожденных динамическими системами (ДС), описывающих феноменологическими моделями. Сформулирована задача разработки методики, обеспечивающей интеграцию формальных методов прогнозирования ВР и метода Data Assimilation (DA), а также программного инструмента, в котором разработаны реализованная методика, известные методы прогнозирования ВР и метод DA, в том числе оценка качества прогнозирования ВР с помощью разработанной методики. **Вторая глава** посвящена разработке методики интеграции формальных методов прогнозирования ВР и метода DA. **В третьей главе** представлен программный комплекс прогнозирования ВР. **В четвертой главе** приведены примеры использования разработанного автором программного комплекса «Прогнозирование временных рядов».

Научная новизна полученных диссертантом результатов заключается в следующем:

- обоснована возможность интеграции формальных методов прогнозирования ВР, порожденных ДС, описываемыми феноменологическими моделями, и метода DA;
- разработана методика интеграции формальных методов прогнозирования ВР в метод DA и ее программной реализации;
- обоснован выбор метрик и набор показателей, обеспечивающих количественную оценку качества прогнозирования ВР .

**Обоснованность правильности решения задач, поставленных в диссертационной работе,** подтверждается результатами тестовых испытаний разработанного программного комплекса «Прогнозирование временных рядов», а также сходимостью результатов прогнозирования ВР с помощью разработанной методики интеграции с соответствующими результатами их наблюдения.

**Практическая значимость для науки и практики результатов диссертационной работы** заключается в разработке методики интеграции формальных методов прогнозирования ВР, порожденных ДС, описываемыми феноменологическими моделями, и метода DA, а также программного комплекса, обеспечивающего использование данной методики для прогнозирования реальных ВР, в которой реализованы:

1. Формальные методы прогнозирования ВР: ARIMA, SSA, GMDH, LSTMnet.
2. Классический метод DA.
3. Методика интеграции формальных методов прогнозирования ВР и метода Data Assimilation.

Работа выполнена в рамках проекта № 203790006/20 от 21.08.2020, поддержанного грантом РФФИ «Аспиранты» 2020 г.

Основные результаты отражены в 11 научных работ, в том числе 9 научных статей в изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 8 статей в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах Scopus и Web of Science. Получены 3 свидетельства на программу для ЭВМ. Полученные результаты внедрены в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (Екатеринбург, Россия); в ООО «Эйрбэйс», (Екатеринбург, Россия).

**По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

- 1 Не ясно, почему автор избегает использования в прогнозирующей модели наблюдаемых значений управляющих воздействий.

В этом случае прогнозирующая модель имеет вид [Zobnin B.B., Kochetkov V.V. INTELLECTUALIZATION OF THE PROCESSES OF MONITORING THE STATE OF THE MOBILE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF MINE WATER TREATMENT//American Science Journal, N46, 2021]:

$$Y_j(n) = \sum_{i=1}^K a_i * Y_j(n-i) + \sum_{r=1}^l \sum_{i=0}^m b_{ri}(\mu) * u_r(n-i) + \varphi(n) + \xi(n)$$

- где  $n$  - момент дискретного времени;
- $Y_j$  -  $j$ -я качественная характеристика очищенной воды;
- $U_r$  -  $r$ -я входная переменная,  $r = 1, \dots, l$ ;
- $\xi$  - случайная помеха, имеющая статистические характеристики  $M\{\xi(n)\} = 0$ ,  $M\{\xi^2(n)\} = \sigma_\xi^2$ ;
- $m, K$  - глубина памяти объекта по управлению и по возмущению;
- $\varphi(n)$  - возмущение, обусловленное состоянием оборудования;
- $\mu$  - параметрическое возмущение, изменяющее коэффициенты передачи по управляющим воздействиям.

Учет значений управляющих воздействий позволяет существенно повысить качество прогноза. В полной мере это относится и к феноменологическим моделям.

2 Уравнение (2.15) не описывает объединения метода DA и формальных методов прогнозирования. Записана модель динамической системы с наблюдателем.

3 В постановке задачи прогнозирования эволюции состояния динамической системы следует отметить, что дискретный по времени процесс представленному временному ряду  $X = x(1), x(2), \dots, x(t), \dots, x(N)$ , где  $x(t) \in S$  – состояние процесса в момент времени  $t \in N$ ; соответствует  $S$  – множество оригинальных состояний процесса,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}$ , поскольку состояния любой ДС измеряются с погрешностями. Реальные процессы подвержены влиянию шумов, поэтому их состояние в моменты времени  $t$  определяется через законы распределения вероятностей. Наиболее изученными являются Марковские процессы, для которых приняты следующие допущения: распределение вероятностей состояния в момент времени  $t$  зависит только от состояния процесса в момент времени  $t-1$ , и не зависит от предыдущих состояний; распределение вероятностей перехода из одного состояния в другое не зависит от времени.

4 С учетом предыдущего замечания в алгоритме прогнозирования ВР должна появиться система уточняющих производственных темпоральных правил и гибридная стохастическая модель профиля нормального поведения процесса, представляющая собой четверку:

$$GM = \langle S, Q, P(x(t)/x(t-1), \Pi) \rangle$$

где  $Q$  – вектор начального распределения вероятностей;  $P$  – матрица переходных вероятностей;  $\Pi$  – система уточняющих производственных темпоральных правил (ПТП).

5 При классификации паттерна  $X_i$  на основе гибридной стохастической модели следует сначала проверить «Марковость» каждого  $x_i(\theta)$ , после чего при отрицательном результате для них выполняется поиск ПТП. В итоге правило

является уточняющим для состояния  $x_i(\theta)$ , если оно доминирует над остальными правилами множества ПТП.

Однако, сделанные замечания не отрицают общую положительную оценку выполненной работы.

### Заключение по работе

Диссертационная работа Ю.С. Тимошенковой является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По работе в целом сделаны четкие выводы. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ», а ее автор Ю.С. Тимошенкова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики  
ФГБОУ ВП «Уральский государственный горный университет»  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30  
e-mail: zobninbb@mail.ru

Тел. +7 912 249-86-09

Зобнин Б.Б.

Подпись проф. Б.Б. Зобнина удостоверяю:

*15.11.2022*

Подпись	<i>Зобнин Б.Б</i>
удостоверяю	<i>Б.Б. Забелина</i>
Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО УГГУ	
<i>15</i> <i>11</i> <i>2022</i> г.	

