

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серый, А. И. О некоторых поляризационных эффектах в астрофизической плазме. / А. И. Серый // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2014. – № 1. – С. 30–43.
2. Серый, А. И. О ферромагнетизме вырожденной нейтронно-протонной системы. / А. И. Серый // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2012. – № 1. – С. 30–37.
3. Серый, А. И. Об уравнении бета-равновесия электронно-нуклонной системы при высоких плотностях / А. И. Серый, А. П. Сулим // Математическое моделирование и новые образовательные технологии в математике : сб. материалов. Респ. науч.-практ. конф., Брест, 23–24 апр. 2020 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Басика. – Брест : БрГУ, 2020. – С. 130–132.
4. Сулим, А. П. Порог нейтронизации холодного сверхплотного водорода с учетом контактного ядерного взаимодействия и потенциала Риды / А. П. Сулим, А. И. Серый // Научные исследования – определяющий фактор специалиста будущего : материалы науч.-практ. конф. учреждений высш. и сред. спец. образования, Барановичи, 5 июня 2020 г., г. / Концерн «Беллепром», учреждение образования «Баранович. госу. колледж лег. пром-сти им. В. Е. Чернышева» ; редкол.: А. А. Лис, С. Э. Лемец. – Барановичи, 2020. – С. 21–22.
5. Браун, Дж. Е. Нуклон-нуклонные взаимодействия : пер. с англ. / Дж. Е. Браун, А. Д. Джексон. – М. : Атомиздат, 1979. – 248 с.

УДК 556.01

**С. В. СИДАК, А. А. ВОЛЧЕК, И. Э. КАСПЕРУК**

Брест, БрГТУ

### **ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ**

Гидрологическое моделирование является важным инструментом в управлении водными ресурсами, выполняя важную роль в планировании, оперативном управлении и оптимальном распределении водных ресурсов.

На сегодняшний день существует большое количество математических моделей и методов анализа и прогнозирования временных рядов. Традиционные методы прогнозирования, как правило, используют для работы с линейными и стационарными временными рядами. Гидрологические процессы в большинстве своем являются нелинейными и нестационарными.

Сложная нелинейная структура, высокая неоднородность и разномасштабная изменчивость делают прогнозирование гидрологических временных рядов сложной задачей.

Современные подходы к гидрологическому моделированию могут быть разделены на две категории: модели, ориентированные на процесс (концептуальные модели), и модели, основанные на управлении данными (модели «черного ящика»). Модели первой категории ориентированы на внутренние физические механизмы гидрологических процессов, им обычно требуется большой объем данных для калибровки и проверки. Модели, основанные на управлении данными, работают без привлечения какой-либо априорной информации и не учитывают физические свойства гидрологических процессов. Эти модели основаны исключительно на эмпирических отношениях между одним или несколькими входами и выходами.

Модели на основе управления данными, разработанные в последние десятилетия, содержат две основные категории: традиционные статистические методы и методы искусственного интеллекта. Статистические модели дают хорошие результаты прогнозирования, когда ряды линейны или почти линейны, но они не могут учитывать нелинейные закономерности, скрытые в гидрологических временных рядах. Нелинейные модели, методы и модели искусственного интеллекта включают искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы (ГА), метод опорных векторов (МОВ) и др., которые обеспечивают мощные механизмы решения нелинейного гидрологического прогнозирования. Однако у методов искусственного интеллекта есть свои недостатки. Например, ИНС часто страдают от переобучения, а МОВ характеризуются сложной интерпретацией параметров модели.

Чтобы преодолеть недостатки вышеперечисленных моделей и получить более точные результаты в прогнозировании гидрологических рядов, в современных исследованиях нестационарных процессов наметилась тенденция синтеза различных методов исследования рядов с целью получения лучших характеристик комбинированной модели (гибридное моделирование). Во многих исследованиях доказана эффективность использования гибридных моделей, основанных на принципе «декомпозиции» и «ансамбля». Основная цель декомпозиции временного ряда – упростить процесс прогнозирования, а результаты ансамбля использовать для оценки эффективности прогноза. Прогнозные модели такого типа уже применяются в области гидрологических исследований. Например, ученый О. Киси в исследованиях использовал комбинацию модели линейной регрессии и дискретного вейвлет-преобразования для прогнозирования уровней воды рек [1]. В работе [2] совмещено использование вейвлет-анализа с ИНС для прогнозирования рядов осадков и стока.

Важным моментом при подборе гибридной модели является выбор подходящего метода декомпозиции. Большую популярность при исследовании нестационарных временных рядов получил метод эмпирической модовой декомпозиции (empirical mode decomposition, EMD). Данным методом можно разложить гидрологический временной ряд на интерпретируемые аддитивные составляющие, не требуя при этом стационарности ряда и знания типа тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих [3].

Результаты многочисленных исследований доказывают, что использование гибридных моделей снижает сложность прогнозирования гидрологических временных рядов и превосходит одиночные модели.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kisi, O. Wavelet regression model as an alternative to neural networks for river stage forecasting / O. Kisi // *Water Resour Manag* 25. – 2011. – P. 579–600.
2. Nourani, V. A multivariate ANN-Wavelet approach for Rainfall-Runoff modeling / V. Nourani, M. Komasi, A. Mano // *Water Resour Manag* 23. – 2009. – P. 2877–2894.
3. Сидак, С. В. Прогнозные оценки речного стока на основе гибридной модели EMD-ARIMA / С.В. Сидак, А. А. Волчек // *Соврем. проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ : Междунар.науч.-практ. конф., посвящ. 90 – летию Рос. гос. гидрометеорол. ун-та, Санкт-Петербург, 22–24 окт. 2020 г. – СПб., 2020. – С. 318–320.*

УДК 372.853, 621.382

**С. В. ЧУГУНОВ<sup>1</sup>, Э. В. ЧУГУНОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Брест, БрГТУ;

<sup>2</sup>Брест, гимназия № 4

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ**

Современный мир требует новых подходов в обучении. Образовательное пространство невозможно представить без использования новых информационных технологий. Среди учебных дисциплин физика – один из наиболее поддающихся компьютеризации предметов.

С развитием современных компьютерных технологий и программных продуктов, позволяющих относительно легко и быстро создавать различные модели устройств, элементов, структур, узлов и т. д., остро стоит во-