**DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-6-img**

**Результаты анализа и прогнозирования технического состояния двигателя воздушного судна по температурным параметрам и по параметрам частот вращения ротора**

Данный материал является дополнительным к статье «Результаты анализа и прогнозирования технического состояния двигателя воздушного судна по температурным параметрам и по параметрам частот вращения ротора», опубликованной в Т. 27, №6 журнала Научный вестник МГТУ ГА.

В статье представлены математические модели RNN и LSTM сетей, включая основные уравнения и алгоритмы их функционирования. Особое внимание уделено разработанному авторами алгоритму обратного распространения ошибки через время (BPTT), предназначенному для эффективного обучения моделей и учета временных зависимостей.

|  |
| --- |
|  |
| *а)* |
|  |
| *б)* |
|  |
| *в)* |
|  |
| *г)* |
| Рис. 5\*. Анализ и прогнозирование технического состояния по температурным параметрам (EGT1 и EGT2) ГТД с применением доработанной модели RNN:  *а* – динамика температурных параметров (EGT1 и EGT2) во времени; *б* – график отклонений прогнозов температурных параметров; *в* – тепловая карта распределения температур (EGT1); *г* – тепловая карта временных изменений температур (EGT2) |
| Fig. 5\*. Analysis and forecasting of technical condition by temperature parameters (EGT1 and EGT2) of GTE using the finalised RNN model:  *а* – dynamics of temperature parameters (EGT1 and EGT2) over time; *б* – graph of deviations of temperature parameter forecasts; *в* – heat map of temperature distribution (EGT1); *г* – heat map of temporal temperature changes (EGT2) |

|  |
| --- |
|  |
| *а)* |
|  |
| *б)* |
|  |
| *в)* |
|  |
| *г)* |
| Рис. 5\*\*. Анализ и прогнозирование технического состояния по температурным параметрам (EGT1 и EGT2) ГТД с применением доработанной модели LSTM:  *а* – динамика температурных параметров (EGT1 и EGT2) во времени; *б* – график отклонений прогнозов температурных параметров; *в* – тепловая карта распределения температур (EGT1); *г* – тепловая карта временных изменений температур (EGT2) |
| Fig. 5\*\*. Analysis and forecasting of technical condition by temperature parameters (EGT1 and EGT2) of GTE using the finalised LSTM model:  *а* – dynamics of temperature parameters (EGT1 and EGT2) over time; *б* – graph of deviations of temperature parameter forecasts; *в* – heat map of temperature distribution (EGT1); *г* – heat map of temporal temperature changes (EGT2) |

|  |
| --- |
|  |
| *а)* |
|  |
| *б)* |
|  |
| *в)* |
|  |
| *г)* |
| Рис. 5\*\*\*. Анализ и прогнозирование технического состояния по параметрам частот вращения роторов (N11, N12, N21, N22) ГТД с применением доработанной модели RNN:  *а* –динамика параметров частот вращения роторов (n11, n12, n21, n22) во времени; *б* – график отклонений прогнозов частот вращения роторов; *в* – тепловая карта распределения частот вращения (n11); *г* – тепловая карта временных изменений частот вращения (n21) |
| Fig. 5\*\*\*. Analysis and forecasting of technical condition by rotor speed parameters (N11, N12, N21, N22) of GTE with application of the modified RNN model:  *а* – dynamics of the parameters of rotor rotation frequencies (n11, n12, n21, n22) over time; *б* – graph of deviations of rotor speed forecasts; *в* – heat map of rotation frequency distribution (n11); *г* – heat map of temporal changes in rotation frequencies (n21) |

|  |
| --- |
|  |
| *а)* |
|  |
| *б)* |
|  |
| *в)* |
|  |
| *г)* |
| Рис. 5\*\*\*\*. Анализ и прогнозирование технического состояния по параметрам частот вращения роторов (N11, N12, N21, N22) ГТД с применением доработанной модели LSTM:  *а* – динамика частот вращения роторов (n11, n12, n21, n22) во времени; *б* – график отклонений прогнозов частот вращения роторов; *в* –тепловая карта распределения частот вращения (n12); *г* – тепловая карта временных изменений частот вращения (n22) |
| Fig. 5\*\*\*\*. Analysis and forecasting of technical condition by rotor speed parameters (N11, N12, N21, N22) of GTE using the modified LSTM model:  *а* – dynamics of rotor rotation frequencies (n11, n12, n21, n22) over time; *б* – graph of deviations of rotor speed forecasts; *в* – heat map of rotation frequency distribution (n12); *г* – heat map of temporal changes in rotation frequencies (n22) |