

Необходимо отметить, что значительный вклад по решению данной проблемы и созданию соответствующих методов по определению и расчету расхода топлива на тягу поездов внесли ученые кафедры локомотивов БелГУТа под руководством С. Я. Френкеля.

В общем виде модель расчета расхода топлива на тягу поездов можно представить как [1]:

$$B = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n,$$

где b_1, \dots, b_n – коэффициенты пропорциональности (вес связи); x_1, \dots, x_n – эксплуатационные факторы.

В качестве эксплуатационных факторов учитывают, в частности в грузовом движении, перевозочную работу, пробег, массу состава, среднюю нагрузку на ось вагона, техническую скорость движения, количество предупреждений об ограничении скорости движения и др. В качестве источника данных для построения регрессионной модели принята оперативная информация о поездках локомотивных бригад и расходе дизельного топлива.

Расчет расхода топлива на тягу поездов с применением нейронных сетей основан на методике машинного обучения с учителем, которая заключается в поиске алгоритма преобразования входных данных (эксплуатационные факторы) в выходные (расход топлива). Для этого используется модель полносвязной нейронной сети, состоящая из одного слоя с пятью нейронами. Количество нейронов определяется количеством входных эксплуатационных факторов для обучения. Так как это единственный слой, его размерность равна размерности результата – выходного значения модели – количество килограмм топлива.

Во время обучения модель получает на вход значения эксплуатационных факторов, выполняет преобразования, используя значения внутренних весов (переменных), и возвращает значения, которые должны соответствовать количеству расхода топлива. Для подсчета корректировок значений внутренних весов используется функция оптимизации, целью которой является поиск значения весов таким образом, чтобы максимально приближенно описывать корреляционные связи входных данных с результатом.

Проведенные исследования и анализ результатов расчета энергозатрат на тягу поездов показали, что предложенный подход позволяет создавать модели, способные с достаточно высокой точностью прогнозировать расход топлива до поездки. При этом в ней отсутствуют серьезные механизмы адаптации к большому числу не вошедших в модель параметров (числа остановок поезда, опытности машиниста и т. д.), а точность обеспечена лишь за счет многомерного линейного усреднения исходных данных. Очень важное значение имеет процесс обучения, который каждый раз может давать различные значения весов. Важно подобрать способ обучения и не переобучить модель. Для этого предлагается первоначальные значения весов нейронной сети устанавливать методом регрессионного анализа, а дальнейшие корректировки осуществлять методом градиентного спуска.

Список литературы

1 Френкель, С. Я. Прогнозирование расхода энергоресурсов на тягу поездов методами регрессионного анализа / С. Я. Френкель, А. П. Дединкин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 172–173.

УДК 004.8, 624.9

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

О. И. КОС, В. Ю. СМИРНОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В эпоху всеобщей цифровизации применение алгоритмов искусственного интеллекта становится всё более популярным. Наиболее успешно генетические алгоритмы искусственного интеллекта применяются для решения сложных нелинейных многомерных задач оптимизации, в том числе за-

дач управления эксплуатацией сложных технических систем, таких как искусственные сооружения на железных дорогах, например, мостовые конструкции.

В данной работе генетический алгоритм искусственного интеллекта применяется для решения задачи оптимального распределения времен замен или ремонтов элементов искусственных сооружений за все время эксплуатации. Эта задача обладает рядом специфических особенностей, таких как стохастический характер переменных величин, большое их количество, а также интервальные оценки их размещения на временной шкале.

В данной статье под генетическим алгоритмом искусственного интеллекта будем понимать алгоритм поиска решения, используемый для решения задач оптимизации с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Данный генетический алгоритм искусственного интеллекта является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как селекция, кроссинговер и мутация, роль которых в алгоритмах искусственного интеллекта аналогична их роли в живой природе. Генетический алгоритм искусственного интеллекта хорошо масштабируется под сложность решаемой задачи.

Рассмотрим искусственное сооружение на железной дороге, состоящее из большого числа разных элементов. В ходе ее эксплуатации требуется эффективно ремонтировать и заменять исчерпавшие ресурс элементы для обеспечения безотказности работы этого искусственного сооружения [1–4]. В данной работе задача оптимизации эксплуатации искусственного сооружения за счет эффективной замены ее элементов решается с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта [5].

Замена элементов искусственного сооружения осуществляется через оптимальные интервалы замен (ремонтов), которые рассчитаны в соответствии с методикой, изложенной в статьях [1, 6].

Множеством решений данной задачи является оптимальная, т. е. эффективная с точки зрения эксплуатации, совокупность оптимальных времен замен (ремонтов) элементов искусственного сооружения. Ограничением при решении данной задачи оптимизации является требование на совокупность оптимальных интервалов, заключающееся в том, что эти интервалы могут быть уменьшены до ближайшего интервала, но не могут быть увеличены, так как в этом случае не будет обеспечена надежность искусственного сооружения.

Критерий оптимальности решения задачи выражен целевой функцией, значения которой используют для сравнения решений. В данной задаче целевой функцией является сумма следующих затрат в процессе эксплуатации искусственного сооружения:

- стоимость замен (ремонтов) элементов искусственного сооружения;
- затраты на выезд специалистов для ремонта (замены) элементов;
- стоимость времени работы элементов, которые были заменены раньше времени своей оптимальной замены.

В данной задаче под оптимальным решением будем понимать оптимальный набор времен замен (ремонтов) элементов для всего искусственного сооружения в целом, который доставляет минимум целевой функции и удовлетворяет заданному ограничению на совокупность оптимальных интервалов.

Для построения оптимального набора времен замен (ремонтов) элементов для всего искусственного сооружения, т. е. оптимальной схемы ее эксплуатации сначала проводится оптимизация за счет сдвигов времен замен (ремонтов) путем применения генетического алгоритма искусственного интеллекта, что приводит к уменьшению количества выходов на объект и, следовательно, к сокращению издержек. Затем проводится оптимизация, заключающаяся в синхронизации времен замен (ремонтов) элементов по времени с целью дальнейшего сокращения количества выходов на объект.

Для того чтобы с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта сократить количество замен и ремонтов элементов искусственного сооружения, то есть обеспечить минимизацию экономических затрат на ее эксплуатацию при условии обеспечения заданного уровня надежности, были применены модернизированные операторы генетического алгоритма: гибридная селекция, включающая помимо метода рулетки элитарный отбор и отбор усечением; гибридный кроссинговер, включающий помимо метода одноточечного кроссинговера метод кроссинговера с уменьшением замены; гибридный метод мутации, включающий помимо метода точечной мутации метод мутации с вероятностью, т. е. случайное изменение набора интервалов для того, чтобы заново начать поиск наилучшего решения.

Разработанное программное обеспечение для решения задач оптимизации замен элементов искусственных сооружений на основе генетического алгоритма искусственного интеллекта было применено для оптимизации замен или ремонтов элементов искусственного сооружения, а именно моста, расположенного через реку Нерусса (478 км II пути участка Брянск – Суземка). За 30 лет эксплуатации по регламенту планировалось осуществить 50 выездов на объект для замены или ремонтов элементов. За счет применения генетического алгоритма искусственного интеллекта для этой искусственного сооружения количество выездов на объект можно сократить до 20, а за счет синхронизации уменьшить еще на два, что в общем итоге сократит количество выездов до 18, т. е. на 64 %. Это может обеспечить снижение издержек на эксплуатацию данного искусственного сооружения на 24 %, т. е. принести существенный экономический эффект при условии обеспечения заданного уровня надежности.

Список литературы

- 1 Кос, О. И. Оптимальный интервал предупредительных замен для искусственных сооружений железных дорог / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 152–155.
- 2 Кос, О. И. Рекуррентный алгоритм расчета и прогнозирования вероятности безотказной работы искусственных сооружений / О. И. Кос // Транспортное строительство. – 2014. – С. 30–32.
- 3 Кос, О. И. Схема управления техническим состоянием искусственных сооружений / О. И. Кос // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14, № 5. – С. 199–201.
- 4 Smirnov, V. U. Program module for calculating the optimal interval of preventive substitutions / V. U. Smirnov, O. I. Kos // "Quality management, Transport and information. Security Information Technologies (IT&QM&IS) : International Conference – 2017. Saint Petersburg, 24–30 September 2017. – 2017. – DOI : 10.1109/ITMQIS.2017.8085811
- 5 Кос, О. И. Применение генетического алгоритма в задаче оптимизации замены элементов системы / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 5. – С. 76–89.
- 6 Кос, О. И. Математическая модель управления техническим состоянием элементов сложных технических систем на основе закона распределения функции отказов элементов / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 6. – С. 3–10.

УДК 656.25

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ГАРМОНИЗАЦИЯ СО СТРАНАМИ-ПАРТНЕРАМИ

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, И. М. ЛИТВИНОВА, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К приоритетным задачам совершенствования законодательной базы Республики Беларусь относятся вопросы обеспечения транспортной безопасности, которая является составной частью национальной безопасности государства. От состояния и качества безопасной работы транспортного комплекса Республики Беларусь зависят его конкурентоспособность на международном рынке транспортных услуг и увеличение транзитных потоков через территорию республики.

В рамках определения условий безопасности перевозочного процесса следует систематизировать требования безопасности к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, подвижному составу, а также иным объектам, расположенным на инфраструктуре и участвующим в оказании услуг железнодорожного транспорта.

Обеспечение безопасности включает основные направления осуществления транспортной деятельности: безопасность инфраструктуры, подвижного состава, систем управления движением поездов и маневровой работой на станциях, профессиональную подготовку работников и др.

Повышение надежности технических средств, подвижного состава и безопасности транспортной деятельности на железнодорожном транспорте является неотъемлемой частью стратегических программ развития Республики Беларусь:

– Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [1];