

безопасности природных ресурсов с использованием спутниковых снимков.

### **Выводы**

Система мониторинга и обеспечения безопасности лесных массивов создана с использованием сверточных нейронных сетей и методов глубокого обучения. Проведены эксперименты на реальных данных, полученных со спутника Landsat-7. На этих данных система показала точность анализа примерно 85%. Дальнейшие исследования будут продолжены в области повышения точности работы системы анализа.

Для повышения достоверности и точности анализа могут быть использованы различные приемы: увеличение числа признаков, использование размерных и текстурных показателей, повышение точности при разметке данных, увеличение объема данных для обучения.

### **Литература:**

1. *Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А.* Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
2. *Terrance DeVries, Graham W.* Taylor School of Engineering University of Guelph Guelph//ON N1G 2W1, Canada, 2017. – 12 p.
3. *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / Computer Science Department and BIOSS Centre for Biological Signalling Studies. – University of Freiburg, Germany, 2015. – 8 p.
4. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2016. – 448 с.

---

**Баранов Л.А., Балакина Е.П.**

### **Методы повышения безопасности движения поездов городских железных дорог в условиях централизованного автоматического управления**

**Аннотация:** Рассматриваются методы обеспечения безопасности движения пассажирских поездов городских

железных дорог, автоматизированное построение планового графика движения, способы построения систем обеспечения безопасности движения, алгоритм централизованного управления, обеспечивающие вероятности «опасного» сближения поездов. Рассмотрим графиковый алгоритм централизованного управления, учитывающий зависимость ограничений от состояния системы с прогнозом возмущений. Рассмотрены экстраполяторы величин возмущений, использующие многочлены Кравчука.

**Ключевые слова:** безопасность движения, централизованное управление движением, автоматические системы управления движением, плановый график движения, рассогласование, возмущения, ограничения, прогнозирование возмущений, экстраполятор, многочлены Кравчука, вероятность опасного сближения поездов, системы обеспечения безопасности

Рост пассажироперевозок в больших городах в условиях интенсивного движения, требует решения ряда проблем, связанных с обеспечением безопасности движения поездов, повышения комфорта пассажиров за счёт точного выполнения расписания, минимизации расхода энергии на тягу поездов за счёт выбора энергооптимальных режимов движения поездов по перегонам при заданных временах хода и энергооптимального распределения заданного времени хода по линии на времена хода по перегонам. Решению указанных проблем посвящено значительное число работ [1, 2, 3, 4]. В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с методами повышения безопасности движения в условиях централизованного управления.

Повышение безопасности движения обеспечивается уменьшением вероятности опасного сближения поездов. Это достигается использованием в составе централизованной системы управления подсистемы автоматического построения планового графика движения, обеспечивающего допустимый интервал между следующими друг за другом поездами при максимальном удовлетворении требований по объёму пассажироперевозок и наличию временных ресурсов для компенсации возмущений [5].

Функции непосредственного обеспечения безопасности движения реализуются аппаратно. К таким системам предъявляются высокие требования по надёжности и вероятности опасного отказа (порядка  $10^{-14}$ ). Находятся в эксплуатации, в основном, системы, использующие рельсовые цепи, как датчики позиционирования поезда и линии передачи информации с пути на поезд. Последние года за рубежом находят применение системы безопасности, использующие радиоканалы. Анализ возможностей этих систем приведён в [6].

Вместе с тем, наличие задержек поездов пассажирами на станциях приводит к неплановым остановкам поездов на перегонах, что оказывает влияние на сзади идущие поезда и, следовательно, на ограниченных временных ресурсах по всей линии. В этом случае увеличивается число ограничений скорости поездов по системам обеспечения безопасности движения, число остановок поездов и перегонов, что, в свою очередь, приводит к увеличению вероятности опасного сближения поездов, увеличению расхода энергии на тягу при компенсации опозданий, ухудшению комфорта перевозок при нарушении графика движения.

Уменьшение вероятности опасного сближения поездов в этих условиях может быть достигнуто выбором алгоритма централизованного управления поездами линии, учитывающего зависимость ограничений на управление от состояния системы с прогнозом временных задержек на станции впереди идущего поезда [7].

В классе графических алгоритмов централизованных автоматических систем вычисляется рассогласование между плановыми и реально исполненными моментами прибытия и отправления для всех поездов по всем станциям, и вырабатывается управление – заданная времени хода и длительности стоянок для всех поездов по всем станциям. Ограничениями на управление являются минимально допустимые длительности стоянки, минимально реализуемые времена хода по перегону, минимальный интервал отправлению с каждой  $j$ -ой станции ( $n + 2$ ) – го поезда, при котором он выполнит заданное системой управления время хода без «вредного» взаимодействия с впереди идущим ( $n + 1$ ) – ым поездом. Регулированная характеристика перегона [3] определяется следующим выражением

$$T_{uo}^{min}[n+2] = \varphi\{T_{xj}[n+1], T_{xj}[n+2]\} + T_{c(j+1)}[n+1] \quad (1)$$

где

$T_{uo}^{min}[n+2]$  – минимально допустимый интервал по отправлению на  $j$ -ый перегон  $(n+2)$  – го поезда, обеспечивающий движение без ограничений по системам обеспечения безопасности,  $T_{xj}[n+1]$  – время хода по  $j$ -ому перегону впереди идущего  $(n+1)$  – го поезда,  $T_{xj}[n+2]$  – время хода отправляемого по  $j$ -ому перегону  $(n+2)$  – го поезда,  $T_{c(j+1)}$  – длительность стоянки  $(n+1)$  – го поезда на  $(j+1)$  – ой станции.

При интенсивном движении к моменту принятия решения об отправлении  $(n+2)$  – го поезда и времени его хода впереди идущий  $(n+1)$  – ый поезд ещё не прибыл на  $(j+1)$  – ю станцию, известна только плановая длительность стоянки этого поезда. Информацию о прогнозируемых возмущениях-отклонениях длительности стоянки от плановой  $T_{cj}[n+1]$  можно получить на выходе экстраполятора при известных отклонениях длительностей стоянок от плановых  $(M+1)$  поезда, прошедших эту станцию. Реализация прогноза может быть осуществлена экстраполятором, работающим в реальном времени. В [3] рассмотрен экстраполятор, использующий многочлены Чебышева, ортогональные на множестве равноотстоящих точек. Учитывая нестационарность процессов, на станции требуется удобная перестройка экстраполятора по времени суток, по месту расположения станции. В этих условиях экстраполятор должен допускать удобное управление, позволяющее изменять результат прогноза. Этим требованиям удовлетворяют экстраполяторы, построенные на базе многочленов Кравчука, позволяющие путём выбора «весовых» коэффициентов перестраивать экстраполятор.

Прогнозируемая величина отклонений длительности стоянки  $(n+1)$  – го поезда на  $(j+1)$  – ой станции определяются выражением [7]

$$F_{c(j+1)}[n+1] = \sum_{j=0}^M F_{c(j+1)}^{\phi} [n-M+i] L_i^{\varepsilon, \kappa \delta, \ell}, \quad (2)$$

где

$$L_i^{\exists, \text{KB}, \ell} = h(i) \sum_{j=0}^{\ell} \frac{\varphi_{j,M}(i) \varphi_{j,M}(M+1)}{\sum_{i=0}^M h(i) \varphi_{j,M}^2(i)} \quad (3)$$

$$h(t) = C_M^i p^i q^{M-i}, p + q = 1 \quad (4)$$

$$\varphi_{j,M}(i) = \sum_{k=0}^j (-1)^k C_{M-i}^{j-k} C_i^k p^{j-k} q^k - \text{многочлен Кравчука} \quad (5)$$

$$C_a^b = \frac{a!}{b!(a-b)!} - \text{число сочетаний} \quad (6)$$

$\ell$  – порядок экстраполятора – степень многочлена, коэффициенты которого вычислены по методу наименьших квадратов,  $M+1$  – число поездов, прошедших  $(j+1)$  станцию, отклонение длительностей стоянок которых от плановой используется при формировании прогноза.

Проведенный анализ показал эффективность использования экстраполяторов первого порядка при вариации величин  $(M+1)$  от 5 до 10 в зависимости от рассматриваемых станций. Управление экстраполятором осуществляется коэффициентом  $p$  при  $q = 1 - p$ .

Результат экстраполяции подлежит нелинейному преобразованию

$$F_{c(j+1)}^p [n+1] = \begin{cases} F_{c(j+1)} [n+1] \text{ при } 0 < F_{c(j+1)} [n+1] < F_{c(j+1)max} \\ F_{c(j+1)max} \text{ при } F_{c(j+1)} [n+1] \geq F_{c(j+1)max} \\ 0 \text{ при } F_{c(j+1)} [n+1] \leq 0. \end{cases} \quad (1)$$

где

$F_{c(j+1)max}$  – максимально допустимая длительность стоянки.

Сокращение длительности стоянки не влияет на допустимый интервал попутного следования. Поэтому отрицательный прогноз обнуляется.

Работа экстраполятора эффективна только при коррелированных значениях последовательных случайных задержек поездов. Такая ситуация имеет место в часы «пик» и определяется пассажиропоток. При некоррелированных задержках, вызванных некорректным поведением отдельных пассажиров, погрешность прогноза может быть значительной. Однако это не приводит к нарушению условий безопасности. Для выявления

редких случаев нарушений, приводящих к задержкам поезда на станции, функционирует детектор связанности возмущений, определяющий наличие «выбросов» по задержкам предыдущих поездов. Сигнал детектора управляет подключением на выходе экстраполятора.

Проведённые имитационные эксперименты показали эффективность использования алгоритмов с учётом зависимости ограничений от состояния системы с прогнозом возмущений.

#### Литература:

1. *Баранов Л.А., Головичер Я.М., Ерофеев Е.В., Максимов В.М.* Современные микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава/Под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 271 с.
2. *Баранов Л.А., Балакина Е.П., Воробьёва Л.Н.,* Алгоритмы для поездов метрополитена//Мир транспорта. – 2007. – №2. – С. 104-113.
3. *Баранов Л.А., Балакина Е.П., Иконников С.Е., Антонов Д.А.* Централизованное управление движением поездов городских железных дорог современного мегаполиса//Наука и техника транспорта. – 2020. – №1. – С. 30-38.
4. *Баранов Л.А.* Автоматическое управление движением поездов метрополитена//Мир транспорта. – 2018. – №3. – С. 156-165 с.
5. *Сидоренко В.Г., Сафронов А.И., Филипченко К.М., Чжо М.А.* Применение современных технологий программирования к автоматизации планирования движения поездов метрополитена//Автоматика на транспорте. – 2016. – Т.2. № 3. – С. 331-347.
6. *Баранов Л.А.* Оценка интервала попутного следования метропоездов для систем безопасности на базе радиоканала//Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. № 2. – С. 6-19.
7. *Баранов Л.А., Балакина Е.П.* Прогнозирование случайных процессов на базе многочленов, ортогональных на множестве равноотстоящих точек//Электротехника. – 2020. – №9. – С. 39-46.