

УДК 656.212.5

**К. Е. Ковалев, канд. техн. наук**

*Кафедра «Логистика и коммерческая работа»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I, Санкт-Петербург*

**В. Л. Белозеров, д-р экон. наук**

*Кафедра «Экономика транспорта»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I, Санкт-Петербург*

**В. А. Шаров, д-р техн. наук**

*Кафедра «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте»,  
Российский университет транспорта, Москва*

## **МОДЕЛЬ ЗАГРУЖЕННОСТИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА НА МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ**

В статье рассмотрена актуальная для железнодорожного транспорта тема функционирования малодеятельных железнодорожных линий. Функционирование этого вида линий экономически невыгодно, но приостановка их деятельности невозможна с государственной точки зрения.

Современные исследования по данной тематике направлены на снижение затрат функционирования таких линий с учетом сохранения надежности работы устройств и их производительности. Малодеятельные линии могут служить полигоном для внедрения новых технических и технологических решений, которые в дальнейшем можно применить и на интенсивных направлениях.

Актуален вопрос о потребном количестве оперативного персонала, выполняющего поездную и маневровую работу на направлении. Поездной и маневровой работы здесь мало, что приводит к слабой загрузке оперативного персонала. С этой целью в статье построена модель зависимости потребного количества дежурных по станции от числа транзитных грузовых поездов и местных вагонов на участке. Модель позволяет прогнозировать потребное количество дежурных по станции при изменении объема и характера поездной и местной работы. Приведена оценка сложности алгоритма и полученной модели. Сделан вывод об адекватности модели и дана интерпретация полученных результатов в части количества дежурных по станции и снижения их загрузки с помощью применения малолюдных технологий. Достоинством данной модели является простота расчета и алгоритма.

Малодеятельные линии, загрузка оперативного персонала, пропускная способность, железнодорожный транспорт

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-294-308

## **Введение**

В наследство от предыдущей системы государственного управления нашей стране досталась разветвленная сеть железнодорожных линий. При их проектировании и строительстве пропускная и перерабатывающая способности закладывались с учетом производственных мощностей в регионе. Отметим, что данная проблема актуальна и для транспортных компаний на постсоветском пространстве [1].

В условиях рыночной экономики большинство работавших ранее предприятий закрылись либо диверсифицировали производство и оптимизировали цепи поставок сырья и готовой продукции не в пользу железнодорожного транспорта. Этот фактор серьезно влияет на социально-экономическое развитие регионов. Действительный член Российской академии транспорта Л. В. Тербенев отмечает: «Важнейшим фактором в процессе конструирования социально-экономической модели развития Ленинградской области и государства в целом является рост протяженности малоинтенсивных (малодеятельных) линий, станций, узлов» [2]. Уже к 2008 году протяженность убыточных железнодорожных линий в России составляла более 8000 км, а численность персонала, занятого на их обслуживании, – более 10 000 человек.

К малодеятельным относятся линии с малым размером пассажирского и грузового движения, с грузонапряженностью не более 5,0 млн т-км брутто/км в год [3]. В зависимости от расположения и характера работы малодеятельные линии подразделяются на транзитные, тупиковые, пограничные. Такие линии убыточны, а их эксплуатационные расходы превышают 4 млн рублей в год, что лишь в незначительной части покрывается доходами от перевозок.

Целью статьи является разработка модели (на основе анализа статистических данных), позволяющей определять потребное количество дежурных по станции на малодеятельной линии в зависимости от набора факторов. Для этого были собраны и обработаны статистические данные о размерах движения на малодеятельных участках, а также о виде и характере местной грузовой работы.

## **1. Современное состояние вопроса в области эксплуатации малодеятельных линий**

В последние годы вопросам эксплуатации малодеятельных линий на отечественных железных дорогах посвящено множество научно-исследовательских работ [4, 5, 6, 7].

Актуальная проблема – разработка методики выбора целесообразного типа подвижного состава для обслуживания малоинтенсивных линий пригородного пассажирского сообщения. Задачу предложено решать с использованием классического метода линейного программирования, где в качестве целевой выбрана функция минимизации затрат на организацию движения по малодеятельному

пригородному участку. В статье также дано детальное описание математических зависимостей при нахождении себестоимости перевозок пассажиров – поездом локомотивной тяги малой составности, рельсовым автобусом и дизель-поездом. Приведены детальные формулы расчета расходов, связанных с перемещением пригородных поездов, включая оборот составов, расходы, связанные с посадкой и высадкой пассажиров, в зависимости от типа подвижного состава.

Рассмотренная методика позволяет определять вариант организации движения при минимальном числе свободных мест и с учетом характеристик возможных типов подвижного состава. Очевидно, что потребное количество вагонов в составе пригородного поезда должно определяться плотностью пассажиропотока. При коэффициенте использования предложенных мест 0,7–0,85 целесообразно устанавливать регулярное пригородное сообщение с учетом сезонной и суточной неравномерности.

При эксплуатации малодеятельных линий важна разработка и организация экономически эффективных, технически современных средств оперативно-технологической связи (ОТС).

В работе [8] описана технология и результаты перевода ОТС на каналы фиксированной спутниковой связи (на одной из малодеятельных линий Свердловской железной дороги). В частности, для организации взаимодействия центров управления с местом проведения аварийно-восстановительных работ на малодеятельных участках и внутри самого участка применялось оборудование спутниковой связи и беспроводного доступа. Оно включало в себя станцию спутниковой связи Инмарсат ВGAN «Hughes 9250» с антенной, базовую станцию и носимые телефонные трубки DECT, а также приемник видео- и аудиосигналов. Авторы утверждают, что применение перечисленных устройств сокращает время проведения ремонтных, строительных и аварийно-восстановительных работ, улучшает оперативность и достоверность передачи сведений с помощью видеoinформации. Представленный подход позволяет снизить капитальные вложения на сооружение каналов передачи данных.

Работа [9] посвящена анализу особенностей организации цифровой радиосвязи и передачи данных между станциями на малодеятельных линиях с учетом минимальных затрат на внедрение и эксплуатацию. Авторы отмечают преимущество технологии DMR (Digital Mobile Radio) перед технологиями GSM-R (Global System for Mobile communications – Railway) и TETRA (Terrestrial Trunked Radio) и предлагают применять ее для организации станционной и поездной цифровой радиосвязи (СРС-Ц и ПРС-Ц соответственно) на указанных линиях. Выполнен расчет дальности действия СРС-Ц и ПРС-Ц, определены их технические параметры и характеристики для условий эксплуатации на малодеятельных линиях. Доказана целесообразность применения цифровой радиосвязи ввиду отсутствия контактной сети на станциях и перегонах. Обоснована возможность устанавливать радиопередатчики мощностью 5 Вт на высоте 5 м от уровня головки рельсов, что обеспечит дальность действия радиосигнала

до 4 км с надежностью 99 %. С увеличением параметров мощности датчика и высоты установки передающей антенны дальность действия радиосигнала возрастает.

Вопросы повышения эффективности и обоснованности использования инфраструктуры на малодеятельных линиях в современных условиях реструктуризации ОАО «РЖД» освещаются в работе [10]. Предложены подходы к созданию программно-технического комплекса ситуационного центра (автоматизированная интеллектуальная система управления и мониторинга). Отмечено, что «адаптивный механизм использования инфраструктуры линий – это композиция процедур прогнозирования, планирования, финансирования и стимулирования эффективной деятельности линий, построенных на единой нормативно-методической базе». При этом основное внимание уделено здесь рассмотрению механизмов рационального и оптимального использования именно технических (инфраструктурных) ресурсов малодеятельных линий.

Малодеятельные линии можно классифицировать в зависимости от их назначения.

1. Линии Министерства обороны Российской Федерации, Министерства чрезвычайных ситуаций и других ведомств.

2. Малоинтенсивные линии с перспективой повышения нагрузки. Могут рассматриваться как обходные маршруты интенсивных железнодорожных линий.

3. Убыточные малодеятельные участки, которые могут быть переданы путям необщего пользования.

Сейчас около 19,4 % всей эксплуатационной длины железных дорог Российской Федерации являются малодеятельными (рис. 1). Наибольшая доля



**Рис. 1.** Соотношение интенсивных и малодеятельных линий

малодеятельных участков находится на полигонах Московской, Октябрьской, Дальневосточной и Северной железных дорогах.

Исходя из анализа работ, посвященных вопросам эксплуатации малодеятельных линий на сети ОАО «РЖД», установлено, что законсервировать их невозможно в силу социального и оборонного значения последних. Линии позволяют связывать отдаленные населенные пункты с крупными региональными центрами и обеспечивать местное население рабочими местами, содействовать организации специальных заказов на воинские перевозки [11]. Однако существующие размеры движения и уровень автоматизации отдельных технологических операций привели к снижению загруженности оперативного персонала станций. Работа дежурных по станции, приемосдатчиков, составителей и др. приобрела разъездной характер. В силу всех этих причин нерационально распределяется фонд оплаты труда, оперативный персонал загружен в течение месяца весьма неравномерно.

Анализ международного опыта [12, 13, 14, 15, 16] показал, что государственно-частное партнерство и конкуренция в транспортной отрасли [17, 18] позволяют снизить риски и потери при организации движения поездов на малодеятельных направлениях [19, 20, 21].

Указанные предпосылки и описанная проблематика свидетельствуют об актуальности задачи по разработке механизмов автоматизированного адаптивного расчета динамической загрузки оперативно-диспетчерского персонала на станциях малодеятельных линий.

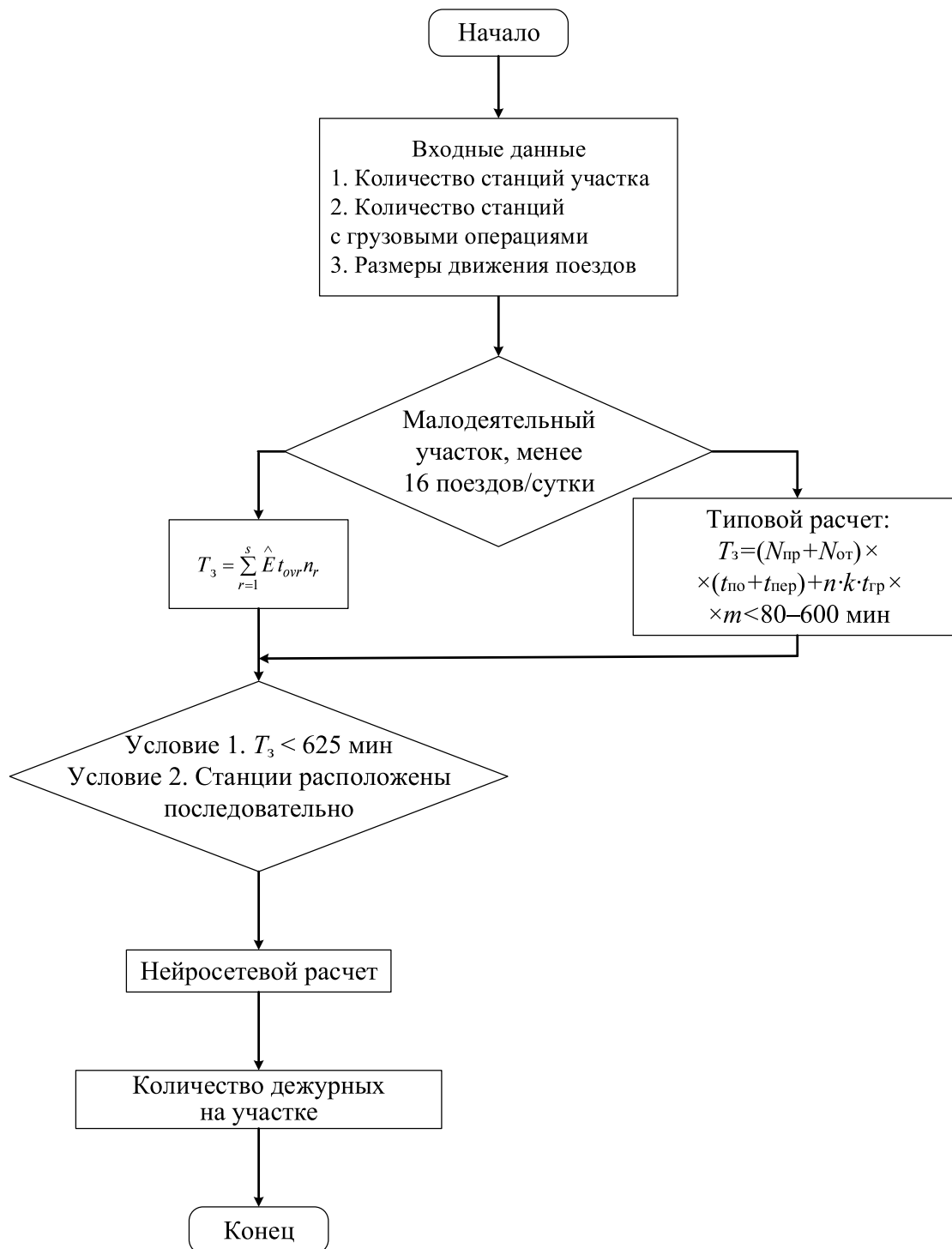
## 2. Методы исследования и предлагаемая модель

Малодеятельные участки – это участки с размерами движения пассажирских и грузовых поездов по графику не более восьми пар в сутки. В некоторых современных источниках понятие «малодеятельные линии» заменили на «малоинтенсивные линии». Малоинтенсивные линии – железнодорожные пути с невысокой грузонапряженностью и низкой эффективностью работы.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 27.03.2018 № 330 «Об утверждении критериев отнесения железнодорожных путей общего пользования к малоинтенсивным линиям (участкам)», определен следующий критерий: грузонапряженность не более 5 млн т-км брутто/км в год и размеры грузовых и пассажирских поездов не более восьми пар поездов в сутки (16 поездов в сутки). В соответствии с перечисленными условиями создан алгоритм распределения зон управления на малодеятельной линии (рис. 2).

Разработана методика расчета загруженности оперативного персонала. Затраты времени дежурного по станции на выполнение каждой  $r$ -й функции управления  $t_{ovr}$  рассчитываются по формуле:

$$t_{ovr} = \sum_{i=1}^m t_{oi} + \sum_{j=1}^n t_{oj} q_j + \sum_{k=1}^n t_k (1 - q_j), \forall v, r,$$



**Рис. 2.** Алгоритм расчета потребного количества дежурных по станции на малодеятельном участке

где  $t_{oi}$  – затраты времени на безусловное выполнение  $i$ -го блока операторов алгоритма;  $m$  – количество безусловно выполняемых блоков операторов в алгоритме  $r$ -й функции управления;  $t_{oj}$  – затраты времени на выполнение  $j$ -го блока операторов при условии  $q_j$  в алгоритме  $r$ -й функции управления;  $n$  – количество

$j$ -х и  $k$ -х блоков операторов в алгоритме  $r$ -й функции управления;  $t_{ok}$  — затраты времени на выполнение  $k$ -го блока операторов при условии  $l - q_j$  в алгоритме  $r$ -й функции управления;  $v$  — наблюдение затрат времени на выполнение каждого оператора алгоритма  $r$ -й функции управления.

Оценка математического ожидания  $\hat{E}t_{ovr}$  затрат рабочего времени на выполнение  $r$ -й функции управления определяется выражением:

$$\hat{E}t_{ovr} \approx \frac{1}{w} \sum_{v=1}^w t_{ovr}, \forall r,$$

где  $w$  — количество наблюдений затрат времени на выполнение каждого оператора алгоритма и соблюдение логического условия  $r$ -й функции управления.

В соответствии с теоремой Чебышева, при увеличении количества наблюдений случайной величины затрат времени на выполнение  $r$ -й функции управления их среднее арифметическое  $\frac{1}{w} \sum_{v=1}^w t_{ovr}$  сходится по вероятности к математическому ожиданию  $E t_{ovr}$ :

$$P\left(\left|\frac{1}{w} \sum_{v=1}^w t_{ovr} - E t_{ovr}\right| < \varepsilon\right) > 1 - \delta \text{ при } w \rightarrow \infty,$$

где  $\varepsilon, \delta$  — сколь угодно малые положительные числа.

Следовательно, оценку математического ожидания  $\hat{E}t_{ovr}$  при расчетах загрузки оперативного персонала следует использовать как детерминированную величину.

Результаты оценок математических ожиданий затрат рабочего времени на выполнение всех функций управления составляют основу для определения загрузки оперативного работника участковой станции за смену. Загрузку оперативного персонала, рассчитанную на основе алгоритмического описания функций управления, с целью сокращения описания предлагается называть загрузкой и рассчитывать по формуле:

$$T_3 = \sum_{r=1}^s \hat{E}t_{ovr} n_r,$$

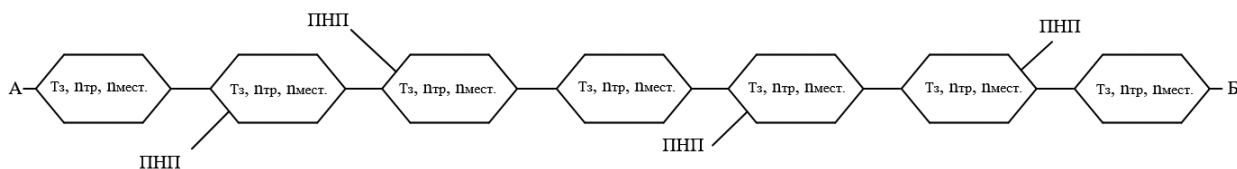
где  $\hat{E}t_{ovr}$  — оценка математического ожидания затрат рабочего времени на выполнение  $r$ -й функции управления;  $n_r$  — количество функций  $r$ -го типа, выполняемых за смену  $r \subset s$ ;  $s$  — количество типов функций управления, выполняемых оперативным работником за смену.

Норма загрузки оперативного работника за смену равна 675 минутам. Расчет загрузки дежурного по станции по приведенной методике в развернутом виде приведен в [20].

Для оценки вариантов распределения зон управления на малодеятельных линиях рассчитывается загрузка дежурного по каждой станции  $T_3$  по при-

веденной выше методике. В качестве критериев дополнительно учтены размеры транзитных грузовых поездов, проходящих по каждой станции, количество местных вагонов на станции и потребное количество дежурных по станции в зависимости от суммарной загруженности дежурных на малодеятельной линии.

Для реализации модели рассмотрен участок с последовательным расположением семи станций, на четырех из которых имеется примыкание путей необщего пользования (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема малодеятельного участка

В результате анализа исходных данных установлены ограничения по входным данным. Суммарная загруженность дежурных по станции на участке имеет ограничение  $675 \leq T_3 \leq 4725$ . Нижняя граница обусловлена необходимостью присутствия хотя бы одного дежурного по станции на участке. Верхняя граница характеризует наличие дежурных на каждой станции при максимально допустимой загруженности.

Параметр размеров движения ( $N$ ) имеет ограничение  $2 \leq N \leq 16$ , характеризующее минимальные размеры движения поездов за сутки и верхнюю границу размеров движения поездов, установленную для малодеятельных линий.

Параметр количества местных вагонов на участке ( $n$ ) имеет ограничение  $1 \leq n \leq 40$ . Данное ограничение получено в результате сбора и обработки статистических данных по малодеятельным линиям. Фрагмент входных данных для нейросетей модели приведен в таблице 1.

**Таблица 1.** Фрагмент входных данных для нейросетей модели

№ наблюдения	Суммарная загруженность дежурных по станции на участке, мин ( $T_3$ )	Количество поездов, $N$	Количество местных вагонов на участке, $n$	Количество дежурных на участке
1	1985	16	21	3
2	2910	16	22	4
3	2814	11	8	4
4	2313	12	26	3
5	1326	12	14	2
....	....	....	.....	.....



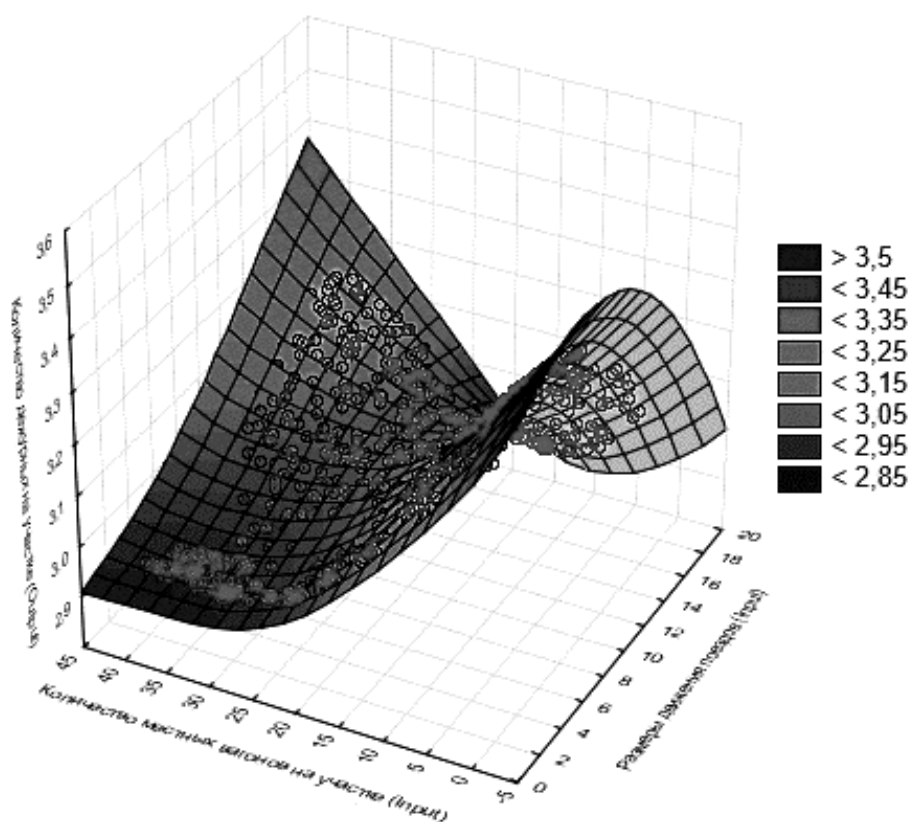
Для построения модели обработано более 1500 наблюдений. На основании полученных статистических данных построена нейросетевая модель с помощью анализа регрессии. В качестве непрерывной целевой функции взято количество дежурных по станции, в качестве переменных выбраны параметры «количество поездов» и «количество местных вагонов». Создана автоматизированная нейронная сеть с размером обучающей предвыборки 70 %, контрольной и тестовой подвыборки по 15 % соответственно.

Рассматриваемый алгоритм имеет рекурсивную функцию линейной зависимости быстрого действия  $O(n)$ . Количество операций будет увеличиваться пропорционально количеству исходных данных.

В работе построена нейронная сеть с двумя нейронами на входе, семью нейронами на скрытом слое и одним нейроном на выходе. Функция активизации гиперболическая, а на выходе – тождественная.

Построен набор обученных нейронных сетей. Производительность самой лучшей из них характеризуется коэффициентом детерминации, который составил: для обучающей сети – 0,89, для контрольной – 0,91, для тестовой – 0,91. Ошибка обучения – 0,012. Построена поверхность отклика обученной сети (рис. 4).

Из графика видно, что нейронная сеть с высокой степенью достоверности улавливает зависимость, существенных выбросов нет.



**Рис. 4.** Итоговая поверхность расположения сети, построенная с помощью нейронной сети

Анализ полученной поверхности позволяет сделать вывод о том, что на малодеятельных линиях, имеющих указанные исходные данные, необходимо от двух до четырех дежурных по станции в зависимости от размеров движения поездов и количества местных вагонов.

Сети имеют также промежуточные значения потребного количества дежурных по станции в виде 2,9; 3,3; 3,5 и т. д. Значение 3,5 можно воспринимать как усредненное и интерпретировать следующим образом: в смену на трех станциях необходима круглосуточная работа дежурных посменно, а на одной станции достаточно дежурного, работающего только в одну смену (дневную или ночную, в зависимости от характера работы). Значения потребного количества дежурных по станции в виде 2,9; 3,3 не позволяют в целых числах определить потребное количество дежурных по станции. Поэтому необходим дополнительный анализ исходных данных в части расчета загруженности дежурного по функциям управления, затраты на которые можно снизить с помощью применения новых технических устройств и технологий выполнения работ. Ведение электронных журналов, наличие искусственного зрения для выполнения технического и коммерческого осмотра, применение стопперов для закрепления подвижного состава и другие технические и технологические решения позволят снизить загруженность дежурных по станции на малодеятельных линиях, где наиболее актуальны безлюдные технологии.

На малодеятельных линиях при загруженности оперативного персонала станции ниже 50 % целесообразно передавать ему дополнительный объем работы для приведения загруженности к нормативным значениям. Если работа требует специальной подготовки при загруженности ниже 20 %, то такая деятельность может носить разъездной характер.

## **Заключение**

Эксплуатация малодеятельных линий в современных условиях – важная задача. Как установлено, около 20 % железнодорожных линий, принадлежащих ОАО «Российские железные дороги», являются малодеятельными. В связи с изменением характера производимой продукции, созданием и банкротством предприятий, а также естественной миграцией населения изменяется конъюнктура перевозки грузов и пассажиров.

К сожалению, инфраструктура железнодорожного транспорта трансформируется не так гибко и оперативно, что приводит к появлению малодеятельных линий. Современные технические и экономические аспекты эксплуатации малодеятельных железнодорожных линий направлены на снижение затрат на организацию перевозочного процесса. Это позволяет использовать малодеятельные линии как полигон для испытания современных технических решений с дальнейшей возможностью их применения на интенсивных железнодорожных линиях.

По мнению авторов, необходимо также проводить исследования возможностей применения малодеятельных железнодорожных линий в части повышения их доходности. Так, представляется перспективным отведение земель рядом с такими линиями для строительства новых предприятий, разработка сезонных экскурсионных маршрутов. Подобная диверсификация поможет снизить общие убытки от эксплуатации малодеятельных линий.

Представленная модель обученной нейронной сети позволяет определить требуемое количество дежурных по станции при изменении входных данных. Соответственно, можно рассчитать количество дежурных по станции на этапе проектирования малодеятельных линий.

Малодеятельные линии убыточны, но они могут стать полигонами для опытного применения современных малолюдных технологий с последующим внедрением этих технологий и на интенсивных направлениях. А применение новых технологий на малодеятельных линиях позволит поэтапно повышать доходность и тем самым снижать общую убыточность малодеятельных линий.

Присутствие дежурных по станции на малодеятельных линиях необходимо там, где выполняется местная работа. Станции, на которых местная работа не ведется, можно передавать на диспетчерское управление либо дежурному по станции, где местная работа есть. Однако необходима техническая проработка этого вопроса в части управления стрелочными переводами и светофорами. Способ объединения нескольких станций для управления одним дежурным требует дальнейших исследований и может быть реализован с помощью кластерного анализа.

### Библиографический список

1. *Кириленко О. Н.* Экономическая эффективность методов эксплуатации малодеятельных линий / О. Н. Кириленко // Экономика железных дорог. – 2014. – № 8. – С. 79–85.
2. *Вакуленко С. П.* Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Н. Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 174–180.
3. *Никитин А. Б.* Возможность внедрения цифровой радиосвязи и организации передачи данных между станциями на малодеятельных линиях / А. Б. Никитин, И. В. Кушпиль // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 45–61.
4. *Курбатова А. В.* Возможные стратегии решения проблемы малодеятельных железнодорожных линий с учетом мирового опыта / А. В. Курбатова, Е. С. Прошкина // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2009). Материалы Третьей международной конференции (секции 4–6). – М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2009. – С. 97–100.
5. *Писаревский Г. Е.* Экономические методы оптимизации работы малодеятельных линий / Г. Е. Писаревский, Л. А. Мартынова, Н. М. Ломакина, Н. М. Зарецкая // Экономика железных дорог. – 2015. – № 5. – С. 55–66.

6. *Теребнев Л. В.* Малодеятельные железнодорожные линии или неинтенсивная экономика / Л. В. Теребнев // Транспорт Российской Федерации. – 2008. – № 6. – С. 20–24.
7. *Муковнина Н. А.* Методика выбора целесообразного типа подвижного состава для обслуживания малодеятельных пригородных линий / Н. А. Муковнина, В. И. Солдаткин // Вестник транспорта Поволжья. – 2008. – № 1. – С. 67–71.
8. *Ищенко В. А.* Организация связи на малодеятельных линиях / В. А. Ищенко, А. А. Черников, А. В. Дуренков // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 3. – С. 72–74.
9. *Ялышев Р. Ф.* Один из критериев отнесения железнодорожных линий к категории малодеятельных / Р. Ф. Ялышев // Проблемы развития сети железных дорог. Межвузовский сборник научных трудов; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск, 2006. – С. 105–108.
10. *Епишкин И. А.* Причины появления малодеятельных линий в РФ / И. А. Епишкин, К. В. Фионова // Транспортное дело России. – 2018. – № 6. – С. 262–264.
11. *Ковалев К. Е.* Совершенствование перевозочного процесса доставки контейнеров в условиях перехода к цифровой железной дороге / К. Е. Ковалев, А. Д. Обухов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 12. – С. 8–13.
12. *Frumin D.* Branching processes of conservative nested Petri nets / D. Frumin, I. A. Lomazova // VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation: EPIc Series. EasyChair. – 2014. – Vol. 28. – P. 19–35.
13. *Chan Y. K.* The establishment of an integrated management system paradigm for railway engineering management / Y. K. Chan, P. Gaffney, K. Neailey, W. H. Ip // The TQM Magazine. – 1998. – Vol. 10, N 6. – P. 420–424.
14. *Purnell C. J.* Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunnelling projects / C. J. Purnell, G. Frommer, K. Chan, A. A. Auch // Radiation Protection Dosimetry. – 2004. – N 4. – 353 p.
15. *Fröhling R. D.* Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations – applying science and technology / R. D. Fröhling // Vehicle System Dynamics. – 2007. – Vol. 45, N 7–8. – P. 649–677.
16. *Ballis A.* Issues on railway wagon asset management using advanced information systems / A. Ballis, L. Dimitriou // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2010. – Vol. 18, N. 5. – P. 807–820.
17. *Hiraguri S.* Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Area / S. Hiraguri, M. Fukuda, H. Fujita, Y. Ono // Quarterly Report of RTRI. – 2012. – P. 1–6.
18. *Sauer C.* Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimtding / C. Sauer // Eisenbahningenieur. – 2014. – N 7. – P. 25–30.
19. *Shen Q.* Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model / Q. Shen, J. Qiu, G. Liu, K. Lv // Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability. – 2016. – Vol. 18, N 2. – P. 210–217.
20. *Buchina N.* The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets. In Proceedings of 7th the Spring / N. Buchina, L. Dworzanski // Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE '13. – M.: Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, 2013. – P. 15–18.
21. *Jian W.* A Train Control System for Low Density Line in China / W. Jian, J. Cheng Mingm, C. Baigen, L. Jiang // Journal of the China railway society. – 2015. – P. 46–53.

**K. E. Kovalev**

*The department of "Logistics and Commercial Work",  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg*

**V. L. Belozarov**

*The department of "Transport Economics",  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg*

**V. A. Sharov**

*The department of "Field Operation and Transport Security Management",  
Russian University of Transport (MIIT), Moscow*

**WORKLOAD MODEL OF OPERATING AND DISPATCHING  
PERSONNEL AT LOW-DENSITY LINES**

The issue of low-density railway lines operation which is topical for railway transport is considered in the article. Operation of the type of lines in question is non-value added, though the suppression of its activity is impossible due to political reasons.

Modern research in the given scope is aimed at cost cutting in performance of such lines at the same time maintaining operational reliability of equipment and its efficiency. Low-density lines may be used as polygons for implementation of technical and engineering solutions which in future can be applied at the routes with high-density traffic.

The required number of operating personnel to fulfill train and shunting service at a certain direction is one of the topical issues of the study. The lack of train and shunting service leads to low workload of operating personnel. The dependency model of the required number of station operators from the number of through freight trains and local cars at a section was built in the study. The model makes it possible to predict the required number of station operators in case of change in the volume and type of train and local service. The assessment of complexity index of the presented algorithm and the obtained model was carried out. A conclusion was made on adequacy of the model in question; an interpretation of the obtained results as to the number of station operators and the reduction of their work load by means of minimal-manning technologies was carried out. The simplicity of calculations and the algorithm is one of the advantages of the model in question.

Low-density lines, workload of operating personnel, carrying capacity, railway transport

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-294-308

**References**

1. *Kirilenko O. N.* (2014) Ekonomicheskaya effektivnost metodov ekspluatatsii malodeyatelnykh liniy [Economic efficiency of operating methods of low-density lines]. *Ekonomika zheleznikh dorog [Railroad economics]*, 2014, no. 8, pp. 79–85. (In Russian)
2. *Vakulenko S. P., Kolin A. V. & Evreenova N. Yu.* (2017) Malodeyatelniye linii: sostoyaniye i variant optimizatsii [Low-density lines: condition and options for optimization]. *Mir transport [The world of transport]*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 174–180. (In Russian)
3. *Nikitin A. B. & Kushpil I. V.* (2019) Vozmozhnost vnedreniya tsifrovoy radiosvyazy i organizatsii peredachy dannykh mezhdru stantsiyamy na malodeyatelnykh liniyakh [The potential of implementing digital radio communication and data transmission arrangement between

- stations at low-density lines]. *Avtomatika na transporte [Transport automation]*, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 45–61. (In Russian)
4. Kurbatova A. V. & Proshkina E. S. (2009) Vozmozhniye strategii resheniya problem malodeyatelnykh zheleznodorozhnykh liniy s uchetom mirovogo opyta [Feasible strategies for problem solution of low-density railway lines based on best practices]. *Upravleniye razvitiem krupnomasshtabnykh system (MLSD '2009) [Development control of large-scale systems (MLSD '2009)]*. Materialy Tretyey mezhdunarodnoy konferentsii (seksii 4–6) [Proceedings of the third International Conference (sections 4–6)]. Moscow, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009, pp. 97–100. (In Russian)
  5. Pisarevskiy G. E., Martynova L. A., Lomatkina N. M. & Zaretskaya N. M. (2015) Ekonomicheskiye metody optimizatsii raboty malodeyatelnykh liniy [Economic methods of optimization performance of low-density lines]. *Ekonomika zheleznykh dorog [Railroad economics]*, 2015, no. 5, pp. 55–66. (In Russian)
  6. Terebnev L. V. (2008) Malodeyatelniye zheleznodorozhniye linii ili neintensivnaya ekonomika [Low-density railway lines or soft economics]. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2008, no. 6, pp. 20–24. (In Russian)
  7. Mukovnina N. A. & Soldatkin V. I. (2008) Metodika vybora tselesoobraznogo tipa podvizhnogo sostava dlya obsluzhivaniya malodeyatelnykh prigorodnykh liniy [The selection method of an appropriate type of the railway stock for running low-density lines]. *Vestnik transporta Povolzhya [The Volga region transport Bulletin]*, 2008, no. 1, pp. 67–71. (In Russian)
  8. Ishchenko V. A., Chernikov A. A. & Durenkov A. V. (2009) Organizatsiya svyazy na malodeyatelnykh liniyakh [Telecommunication arrangement at low-density lines]. *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 2009, no. 3, pp. 72–74. (In Russian)
  9. Yalyshev R. F. (2006) Odin iz kriteriev otneseniya zheleznodorozhnykh liniy k kategorii malodeyatelnykh [A criterion of attributing railway lines to the category of low-density lines]. *Problemy razvitiya zheleznykh dorog [Problems of railway system development]*. Mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Interuniversity collection of scientific papers]. Ed. by V. S. Shchwarzfeld. Khabarovsk, 2006, pp. 105–108 (In Russian)
  10. Epishkin I. A. & Fionova K. V. (2018) Prichiny proyavleniya malodeyatelnykh liniy v RF [Appearance causes of low-density lines in the Russian Federation]. *Transportnoye delo Rossii [Transport business of Russia]*, 2018, no. 6, pp. 262–264. (In Russian)
  11. Kovalev K. E. & Obukhov A. D. (2019) Sovershenstvovaniye perevozochnogo protsessa dostavki konteynerov v usloviyakh perekhoda k tsifrovoy zheleznoy doroge [The improvement of transportation delivery process of containers in response to transition to digital railway]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchniy informatsionniy sbornik [Transport: science, engineering, management. Research information digest]*, 2019, no. 12, pp. 8–13. (In Russian)
  12. Frumin D. & Lomazova I. A. (2014) Branching processes of conservative nested Petri nets. *VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation: EP-iC Series. EasyChair*, 2014, vol. 28, pp. 19–35.
  13. Chan Y. K., Gaffney P., Neailey K. & Ip W. H. (1998) The establishment of an integrated management system paradigm for railway engineering management. *The TQM Magazine*, 1998, vol. 10, no. 6, pp. 420–424.
  14. Purnell C. J., Frommer G., Chan K. & Auch A. A. (2004) Development and management of a radon assessment strategy suitable for underground railway tunneling projects. *Radiation Protection Dosimetry*, 2004, no. 4, pp. 353.
  15. Fröhling R. D. (2007) Wheel/rail interface management in heavy haul railway operations – applying science and technology. *Vehicle System Dynamics*, 2007, vol. 45, no. 7–8, pp. 649–677.

16. *Ballis A. & Dimitriou L. (2010) Issues on railway wagon asset management using advanced information systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010, vol. 18, no. 5, pp. 807–820.*
17. *Hiraguri S., Fukuda M., Fujita H. & Ono Y. (2012) Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Area. Quarterly Report of RTRI, 2012, pp. 1–6.*
18. *Sauer C. (2014) Gleisstromkreise – ein veraltetes oder aktuelles Mittel zur Gleisfreimtlung. Eisenbahningenieur, 2014, no 7, pp. 25–30.*
19. *Shen Q., Qiu J., Liu G. & Lv K. (2016) Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model. Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability, 2016, vol. 18, no. 2, pp. 210–217.*
20. *Buchina N. & Dworzanski L. (2013) The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets. In Proceedings of 7th the Spring. N. Buchina, L. Dworzanski. Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE'13. Moscow, Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, 2013, pp. 15–18.*
21. *Jian W., Cheng Mingm J., Baigen C. & Jiang L. (2015) A Train Control System for Low Density Line in China. Journal of the China railway society, 2015, pp. 46–53.*

*Статья представлена к публикации членом редколлегии И. М. Кокуриным  
Поступила в редакцию 16.03.2020, принята к публикации 13.04.2020*

**КОВАЛЕВ Константин Евгеньевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
e-mail: kovalev\_kostia@mail.ru

**БЕЛОЗЕРОВ Владимир Леонидович** – доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
e-mail: etran@pgups.ru

**ШАРОВ Виктор Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта  
e-mail: uerbt@miit.ru

© Ковалев К. Е., Белозеров В. Л., Шаров В. А., 2020