

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССНОЙ МОДЕЛИ СЛЕДОВАНИЯ ПЕЗДОВ ПО НАЗНАЧЕНИЯМ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ

Предложен методический подход к проведению комплексного анализа системы организации движения поездов, основанный на новых принципах оценки показателей графика движения поездов и результатов его выполнения. Определен порядок оценки соответствия систем организации вагоно- и поездопотоков на полигоне железной дороги. Установлены и классифицированы факторы, влияющие на параметры процессов реализации следования поездов по назначениям плана формирования. Изложен порядок оценки эффективности системы организации движения поездов по графику движения, основанный на риск-ориентированном подходе и учитывающий оценку эффективности управляющих воздействий.

Одним из существенных препятствий в организации грузового движения на инфраструктуре железнодорожного транспорта в настоящее время является отсутствие системных инструментов анализа и оценки соответствия разрабатываемых систем организации вагоно- и поездопотоков, а также качества реализации процессов следования поездов по назначениям плана их формирования (ПФ) в процессе организации перевозочного процесса на инфраструктуре.

Применение процессно-объектных методов при разработке графика движения поездов (ГДП) на инфраструктуре [4, 5] позволяет детализировать системную оценку, установить и оценить влияние параметров пропуска поездов по объектам инфраструктуры (железнодорожным станциям и участкам) на процессы следования поездов по соответствующим маршрутам согласно с ПФ перевозчиков и ГДП.

Используемая в настоящее время система показателей эксплуатационной работы железнодорожного транспорта ориентирована на организационно-функциональную структуру оценки работы подразделений железной дороги, в которой объектом анализа является, как правило, структурная единица инфраструктуры (железнодорожная станция, участок, отделение дороги, дирекция и т.п.), качество организации поездной работы которой оценивается обезличенными показателями, без учета характеристик транспортных единиц – поездов и вагонов. Получаемые в результате усредненные значения показателей не позволяют достоверно планировать параметры перемещения заявленных поездопотоков на расчетном полигоне инфраструктуры. Это приводит к завышению уровня резервирования и возникновению значительных отклонений выполненных показателей от установленных нормативов при организации пропуска поездопотоков различных категорий на инфраструктуре.

Применение в системе организации движения поездов процессно-объектного графика движения поездов (ПО-ГДП) позволяет проводить комплексный анализ эффективности реализации ПФ перевозчиков в ГДП посредством реализации поездных заявок  $N_{ci(p;q)_j}$  в организо-

ванную систему движения поездов различных кластеров  $c_i$  по маршрутам следования  $(p; q)_j$  на расчетных направлениях полигона железнодорожной инфраструктуры.

В результате анализа каждой поездной заявки устанавливаются:

1) влияние множества факторов ( $f_{ji}$ ), возникающих в деятельности участников перевозочного процесса, на параметры количества ( $N_{(p;q)_i}$ ) и времени движения ( $NT_{(p;q)_i}$ ) заявленных поездов перевозчиков по ниткам ПОГДП;

2) эффективность реализации управляющих воздействий  $u_{ji}$ , направленных на снижение влияния возникающих факторов участников перевозочного процесса.

Комплексный анализ системы организации движения поездов (КАСОДП) в условиях применения ПОГДП выполняется с использованием ряда способов, позволяющих получить системную оценку качества ее функционирования:

- способ оценки структурного соответствия организации движения поездов;
- вероятностный анализ надежности функционирования структурных подразделений на расчетном полигоне инфраструктуры;
- поэлементный анализ процессов (операций) выполнения поездных заявок в соответствии с декомпозицией потоков технических и технологических операций (работ);
- анализ эксплуатационных рисков;
- оценка уровня готовности инфраструктуры и отдельных объектов (железнодорожных станций и участков) к реализации технологии обслуживания поездов различных категорий.

Процесс выполнения поездной заявки  $(p; q)_i$  в системе организации движения поездов по ниткам ПОГДП в общем виде характеризуется величиной дополнительных издержек каждого из участников перевозочного процесса, связанных с полными (отменой следования по специализированной нитке) и частичными (задержками поездов) отказами в процессе движения по маршрутам следования и их компенсацией (сокращением) при реализации управляющих воздействий в системе организации движения поездов.

Дополнительные издержки участников перевозочного процесса оцениваются удельной величиной транспортного эффекта, приходящейся на оцениваемый параметр (поезд, поездо-километр) поездной заявки  $e_{N(p;q)_i}$ ,  $e_{NT(p;q)_i}$ . Сокращение издержек при реализации управляющих воздействий оценивается разностью компенсированных потерь транспортного эффекта и дополнительных удельных затрат на их реализацию  $Z_{N(p;q)_i}$ ,  $Z_{NT(p;q)_i}$ .

Условие эффективности применения управляющих воздействий в системе организации движения поездов устанавливается из соотношения удельных затрат на их реализацию с величиной транспортного эффекта от пропуска поездов на назначении ПФ:

$$e_{N(p;q)_i} \geq Z_{N(p;q)_i}; \quad e_{NT(p;q)_i} \geq Z_{NT(p;q)_i} \quad (1)$$

КАСОДП проводится в соответствии с заявленной структурой поездопотоков, установленной в зависимости от множества назначений ПФ перевозчиков  $N_{ПФ}$ , поездных заявок клиентов-грузоотправителей  $N_{Кл}$  и структурно-сетевой композицией железнодорожных направлений  $S_n$  расчетного полигона инфраструктуры, сформированной в процессе разработки ПОГДП (рисунок 1).

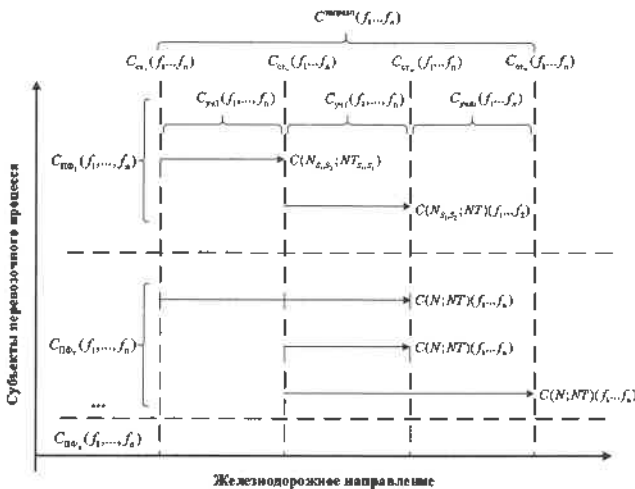


Рисунок 1 – Структура субъектного и объектно-сетевого анализа системы организации движения поездов в условиях применения ПОГДП

Значения отклонений времени следования заявленных поездов  $\Delta NT_{(p;q)_i}$  различных категорий устанавливаются по всем элементам маршрута следования: железнодорожным участкам, техническим станциям, полигонам обслуживания комплексов технических средств инфраструктуры, участкам обращения локомотивов и локомотивных бригад, участкам гарантийного пробега вагонов в маршруте следования поездов на инфраструктуре и т.д. (рисунок 2).

Использование ПОГДП в системе организации движения поездов позволяет организовать анализ влияния факторов на выполнение ПФ перевозчиков и поездных заявок по процессам организации и реализации доступа к инфраструктуре на расчетном полигоне.

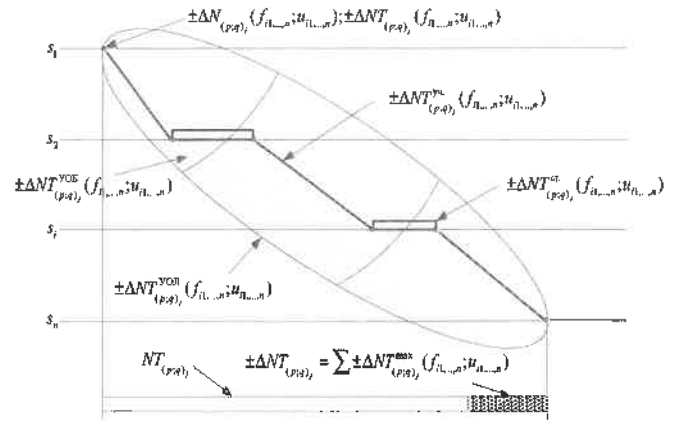


Рисунок 2 – Поезденный анализ следования заявленных поездов перевозчиков по маршрутам следования на инфраструктуре

Факторы, влияющие на параметры процессов реализации поездных заявок, при этом классифицируются по условиям образования на организационные ( $\Delta NT_{ПОГДП}$ ), возникающие при прокладке в ПОГДП ниток поездов различных категорий по назначениям ПФ, и эксплуатационные ( $\Delta NT_{дв}$ ), возникающие при движении поездов по маршрутам следования на полигоне инфраструктуры (рисунок 3).

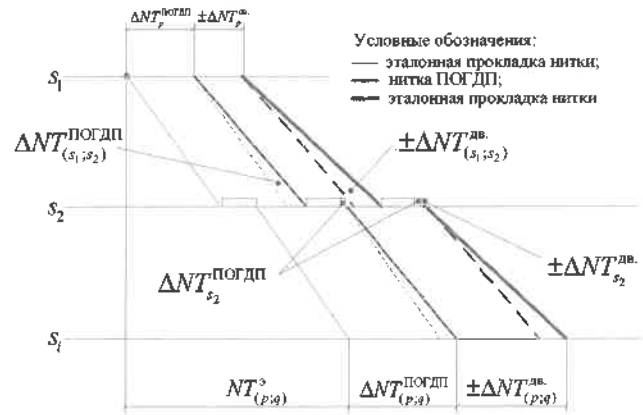


Рисунок 3 – Пространственно-временная характеристика оценки влияния организационных и эксплуатационных факторов на процесс реализации поездной заявки

Влияние организационных факторов на процессы реализации поездных заявок устанавливаются по результатам разработки ПОГДП сравнением параметров ниток ПОГДП, проложенных по плановым поездным заявкам с эталонными (нормативными) параметрами обслуживания поездов соответствующих категорий.

К организационным факторам в КАСОДП поездов относятся группы технических и технологических причин участников перевозочного процесса, приводящих к отказу в предоставлении пропускной способности для прокладки ниток ПОГДП на маршруте следования или увеличению нормативов времени обслуживания поездов на объектах инфраструктуры, а также риски невыполнения предельно допустимого срока реализации поездных заявок.

Организационные технические факторы в системе организации движения поездов включают в себя факторы надежности и допустимого риска превышения

предельно допустимого срока реализации поездной заявки при обслуживании на объектах инфраструктуры, следовании подвижного состава перевозчиков в поездах по назначениям ПФ.

Влияние организационных технических факторов, оценивается величиной потребных резервов нормативов времени обслуживания заявленных поездов на объектах инфраструктуры, устанавливаемых для прокладки ниток ПОГДП.

**Организационные технологические факторы** характеризуются дополнительными затратами времени следования поездов по назначениям ПФ, возникающими при организации их обслуживания в соответствии с принятой технологией. К таким факторам при разработке ПОГДП относятся:

- распределение оператором пропускной способности участков и станций инфраструктуры при прокладке ниток движения поездов различных категорий и скоростей;
- увязка тяговых ресурсов перевозчиков на технических станциях смены локомотивов и локомотивных бригад.

Анализ ПОГДП как системы организации поездов, основанной на процессно-ориентированном подходе, позволяет производить факторный анализ влияния участников перевозочного процесса на параметры пропуска поездов по установленным маршрутам следования. К основным факторным группам можно отнести:

- надежность технических средств инфраструктуры и перевозчиков;
- структуру и размеры поездных заявок различных категорий;
- технологические условия работы железнодорожных участков и технических станций;
- систему эксплуатации подвижного состава.

В результате анализа организационных факторов устанавливается эффективность реализации ПФ перевозчиков и системы организации движения поездов в целом при наличии ограничений, устанавливаемых параметрами поездных заявок (необходимое условие), а также в сравнении с другими вариантами ГДП (достаточное условие).

Необходимое условие применения ПОГДП определяется из требования безусловного выполнения согласованных поездных заявок перевозчиков с соблюдением предельно допустимого срока их реализации:

$$\begin{cases} N_{(p;q)_i}^{\text{ПОГДП}} \geq N_{(p;q)_i} \\ NT_{(p;q)_i}^{\text{ПОГДП}} \leq NT_{(p;q)_i}^D \end{cases} \quad (2)$$

где  $N_{(p;q)_i}^{\text{ПОГДП}}$  – число ниток ПОГДП, специализированных для пропуска  $N_{(p;q)_i}$  заявленных поездов на назначении  $(p; q)_i$ ;  $NT_{(p;q)_i}^{\text{ПОГДП}}$  – поездно-часы следования поездов по ниткам ПОГДП на назначении  $(p; q)_i$ ;  $NT_{(p;q)_i}^D$  – предельно допустимые затраты времени реализации поездной заявки, установленные договорными отношениями оператора инфраструктуры и перевозчика.

Достаточным условием эффективности применения ПОГДП для организации движения поездов является сокращение затрат времени на следование заявлен-

ных поездов на назначении ПФ относительно исходного варианта  $NT_{(p;q)_i}^{\text{ОГДП}}$  (полученного построением ГДП объектным или иным методом):

$$NT_{(p;q)_i}^{\text{ПОГДП}} \leq NT_{(p;q)_i}^{\text{ОГДП}} \quad (3)$$

Потери от эксплуатационных факторов в процессе реализации поездных заявок устанавливаются по результатам пропуска заявленных поездов по расчетному полигону инфраструктуры сравнением фактического количества поездов и времени их следования с параметрами ниток ПОГДП.

Эксплуатационные факторы в КАСОДП подразделяются на группы:

1) отказы технических устройств инфраструктуры и подвижного состава, приводящие к отмене или увеличению времени следования поездов;

2) технологические условия поездной работы, приводящие к отмене следования заявленных поездов (внешние факторы образования транспортных потоков) или ожиданию обслуживания поездов на объектах инфраструктуры вследствие неверных действий диспетчерского персонала;

3) оперативные управляющие воздействия, направленные на устранение отклонений времени следования заявленных поездов по маршрутам следования.

Наличие предложенной методики оценки влияния эксплуатационных факторов в КАСОДП на расчетном полигоне инфраструктуры с применением ПОГДП позволяет использовать риск-ориентированный подход к реализации ПФ.

Для выработки управленческих решений целесообразно использовать матрицы эксплуатационных рисков вида [2]

$$R_{(p;q)} = P_{(p;q)}(f_i) \times C_{NL(p;q)}(f_i; u_j), \quad (4)$$

где  $P_{(p;q)}(f_i)$  – вероятность (или частота) влияния эксплуатационного фактора  $f_i$  (или группы факторов);  $C_{NL(p;q)}(f_i; u_j)$  – размер последствий, определяемый приведенными затратами на 1 поезд-км следования заявленных поездов на назначении  $(p; q)$  с учетом негативного влияния фактора  $f_i$  и дополнительных затрат на реализацию компенсирующих управляющих воздействий  $u_j$ .

В соответствии с рекомендациями [1, 3] при построении матриц эксплуатационных рисков пропуска заявленных в ПОГДП поездов (рисунок 4) выделены четыре категории рисков (риск, не принимаемый в расчет, допустимый, нежелательный, недопустимый).

Границы интервалов значений частот события устанавливаются на основании статистических наблюдений организации поездной работы на участках инфраструктуры. В соответствии с рекомендациями [1] используется шесть интервалов: событие маловероятное, крайне редкое, редкое, случайное, вероятное, частое.

В качестве граничных уровней последствий принимаются пороговые значения приведенных затрат на 1 поезд-км при реализации поездных заявок:  $C_{NL(p;q)}^3$  – в соот-

ветствии с эталонными параметрами;  $C_{NL(p;q)}^{ПОГДП}$  – по ниткам ПОГДП;  $C_{NL(p;q)}^{ОГДП}$  – при организации пропуска по маршруту следования без применения ПОГДП;  $C_{NL(p;q)}^{max И}$  – максимально допустимое значение, установленное из предельно допустимого уровня транспортных издержек.

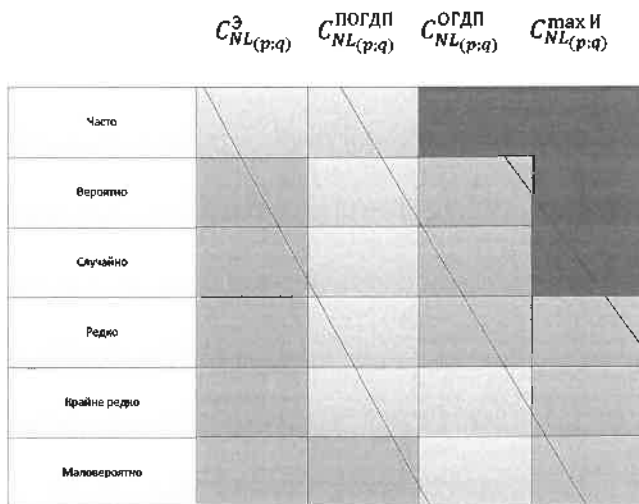


Рисунок 4 – Пример матрицы эксплуатационных рисков при пропуске поездов на назначении (p; q)

В зависимости от установленных в результате комплексного анализа значений эксплуатационного риска выявляется степень влияния эксплуатационных факторов на процессы реализации ПФ перевозчиков в ПОГДП, и на основании построенных матриц системно устанавливаются необходимые управляющие воздействия (изменение уровня резервирования, технологии обслуживания поездов, замена технических устройств и т.д.), направленные на снижение негативных последствий с учетом их экономической целесообразности.

Получено 18.06.2019

**E. A. Fyodorov.** Methodical approaches to the formation of the complex analysis of the train traffic management system in terms of use the process model of the trains movements on the purpose of the train formation plan.

A methodical approach to the formation of a comprehensive analysis of the train traffic management system based on new principles for assessing train schedule indicators and the results of its implementation is proposed. The procedure for assessing the conformity of the systems for the organization of wagon traffic and train flows at the railroad test site has been determined. The factors affecting the parameters of the implementation of the train-based travel on the designation plan assignments are identified and classified. The procedure for assessing the effectiveness of the system of organizing the movement of trains on a schedule, based on a risk-oriented approach and taking into account the assessment of the effectiveness of management actions, has been established.

Анализ реализации процессов движения поездов по маршрутам следования поездных заявок позволяет каждому участнику перевозочного процесса установить:

1) причины (по классификатору) и величину транспортных потерь от возникновения технических и технологических отказов при движении поездов по ниткам ПОГДП;

2) эффективность применения управляющих воздействий по обеспечению параметров времени движения поездов на назначениях ПФ;

3) соответствие расчетных, закладываемых при резервировании ниток ПОГДП, и фактических значений параметров надежности технических средств.

Методика КАСОДП, основанная на новых принципах оценки показателей ГДП и результатов его выполнения, позволяет оценить качество реализации поездных заявок в ГДП на полигоне инфраструктуры, а также эффективность управляющих воздействий по снижению эксплуатационных рисков процессов пропуска заявленных поездов на маршрутах следования.

#### Список литературы

1 Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте : ГОСТ Р 54505–2011. – Введ.01.08.2012. – М. : Нац. стандарт Российской Федерации, 2012. – 34 с.

2 Замышляев, А. М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте / А. М. Замышляев. – Ульяновск : Областная типография «Печатный двор», 2013. – 143 с.

3 Новожилов, Е. О. Принцип построения матриц рисков / Е. О. Новожилов // Надежность. – 2015. – № 3. – С. 73–86.

4 Федоров, Е. А. Методологические основы реализации планов формирования поездов перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры / Е. А. Федоров // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – № 2. – С. 92–97.

5 Фёдоров, Е. А. Процессное моделирование разработки графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 70–72.