

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК НА СТЫКЕ МОРСКОЙ ПОРТ - ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. С. Тимченко (Санкт-Петербург)

Для оценки вероятности освоения прогнозируемых объемов перевозок на стыке морской порт-железнодорожный транспорт при различных вариантах реконструкции инфраструктуры, технических и организационных мероприятиях предлагается использовать разработанный в ИПТ РАН программный комплекс имитационного моделирования процессов перевозок [1–7], состоящий из модуля имитационного моделирования процессов перевозок (ИМПП) и модуля планирования ремонтных работ (МППР).

Модуль МППР на основе потребной пропускной способности, пропущенного тоннажа и последнего вида ремонта пути на начало периода планирования перевозок определяет места, протяженность и длительность «окон», а также величину ограничения скорости поездов, обусловленную выполнением реконструктивных и ремонтных работ в соответствии с инструкцией [8].

Эта информация передается в модуль ИМПП, который для заданного числа суток рассчитывает параметры графиков моделируемого движения поездов и определяет наличную пропускную и провозную способность.

В начале процесса моделирования пассажирские, пригородные и задаваемые пользователем грузовые поезда пропускаются по расписанию, а между ними имитируется пропуск остальных грузовых поездов.

Модель предусматривает возможность имитации пропуска заданного или максимального количества грузовых поездов всех категорий за сутки.

В режиме пропуска заданного количества грузовых поездов они отправляются с начальных станций расчетного участка через случайные интервалы времени, формируемые по заданному закону распределения вероятностей или по расписанию.

В режиме пропуска максимального количества грузовых поездов время их появления на входе системы первоначально не задается, а приоритет принимается равным их долям от общего количества. Поезд пропускается по железнодорожной линии в ближайший момент времени и реализует очередь типа FIFO («первый вошел – первый вышел»).

Станции обгонов и скрещений выбираются с учетом рассчитываемого перегонного времени хода и станционных интервалов, нормативной или статистической длительности выполнения станционных технологических операций, минимизации стоянок и неперевышения их заданной длительности.

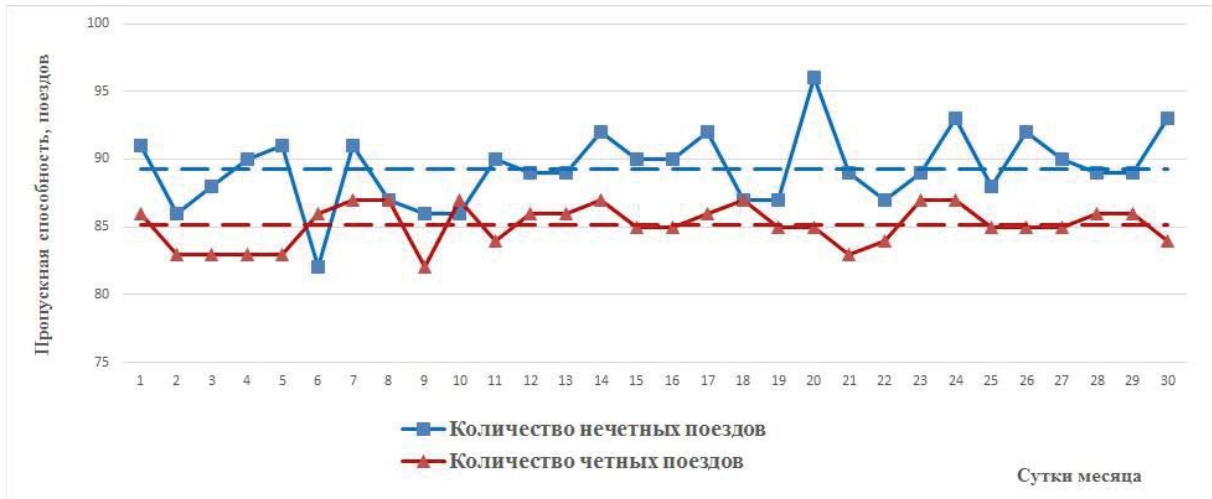
В результате количество грузовых поездов, которое удается пропустить за сутки при обоих режимах, становится случайной величиной, поскольку зависит от очередности пропуска поездов с различными ходовыми свойствами.

Информация о количестве поездов, которые были пропущены по участку, передается в модуль МППР, где сравнивается с их планируемым количеством. Если планируемое количество поездов пропустить не удалось, то грузонапряженность на конец года пересчитывается, план предоставления «окон» корректируется и передается в модуль ИМПП.

При отсутствии возможности пропустить требуемое количество грузовых поездов по ремонтируемому участку проверяется вероятность отклонения части поездопотока на параллельные железнодорожные линии. При этом рассчитываются перепробеги и задержки поездов, которые используются для определения оптимальной продолжительности «окон» по минимальным суммарным затратам на задержки и ремонтные работы.

Для испытания метода выбрана обслуживающая морской порт двухпутная железнодорожная линия Октябрьской дороги, имеющая длину 174,7 км и оборудованная трехзначной автоблокировкой. Предпортовая железнодорожная станция включает 7 районных парков и одностороннюю сортировочную систему с транзитным парком.

Результаты моделирования показывают, что различия плана и профиля линии, а также параметров поездов обуславливают необходимость отдельной оценки наличной пропускной способности четного и нечетного направлений (рис. 1).



**Рис. 1. Зависимости наличной пропускной способности железнодорожной линии от очередности пропуска грузовых поездов и ее средние значения за месяц**

При анализе результатов имитационного моделирования установлено, что величина наличной пропускной способности подчиняется нормальному закону распределения, поэтому вероятность ее обеспечения, которая превышает потребную, необходимую для перевозки всех прогнозируемых объемов заданной номенклатуры грузов, определяется выражением [9]:

$$P(N_{\Pi} < N_{\text{НМ}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{N_{\Pi}}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(x - N_{\text{НМ}})^2}{2\sigma^2}\right) dx = 1 - \Phi\left(\frac{N_{\Pi} - N_{\text{НМ}}}{\sigma}\right), \quad (1)$$

где  $N_{\Pi}$  – потребная пропускная способность моделируемого направления движения по железнодорожному участку;

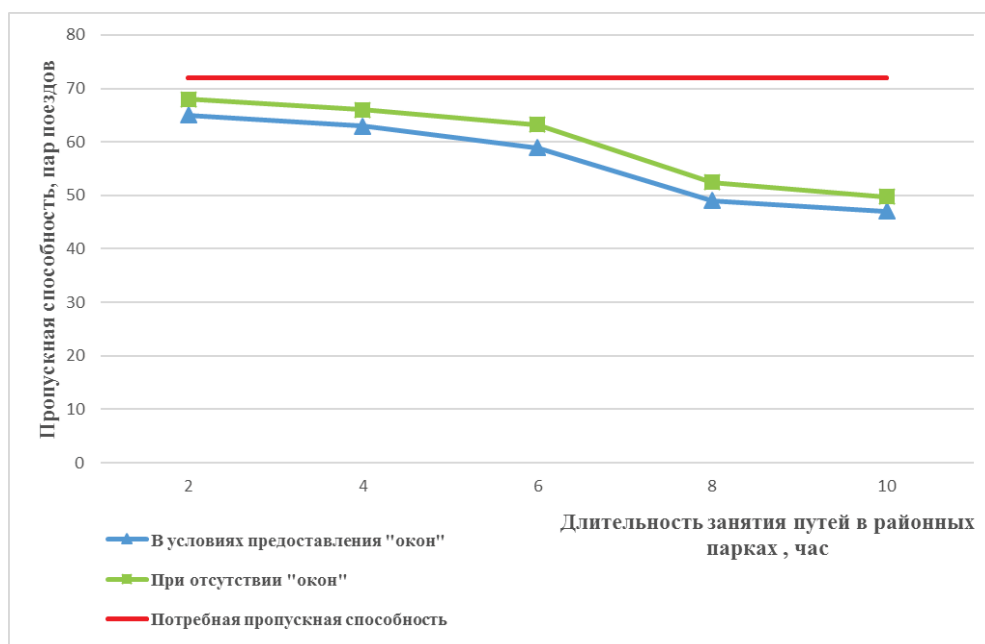
$N_{\text{НМ}}$  – оценка математического ожидания наличной пропускной способности моделируемого направления движения по железнодорожному участку;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение величины наличной пропускной способности;

$\Phi$  – табличная функция нормального распределения.

Особенность технологии работы предпортовой станции заключается в том, что длительность занятия каждого приемо-отправочного пути – это случайная величина, зависящая от даты и времени подхода морских судов, степени заполнения складов, непроизводительных простоев и других факторов, приводящих к значительному превышению нормативной длительности занятия путей. Поэтому ее максимальное значение, при котором обеспечивается провозная способность железнодорожной линии, обслуживающей морской порт, предлагается определять методом имитационного моделирования процессов перевозок.

Соответствие наличной и потребной пропускной способности при первом варианте – минимальном количестве приемо-отправочных путей (рис. 2) в районных парках (РП) предпортовой железнодорожной станции (РП № 1 – 3, РП № 2 – 9, РП № 3 – 8, РП № 4 – 7, РП № 5 – 2, РП № 6 – 4, РП № 7 – 4) определяется в условиях пропуска 10 пар пассажирских поездов, предоставления 40 «окон» продолжительностью 8 ч каждое на ограничивающем перегоне длиной 14,6 км в период возможности выполнения работ и длительности занятия приемо-отправочных путей, равной 2, 4, 6, 8 и 10 ч.



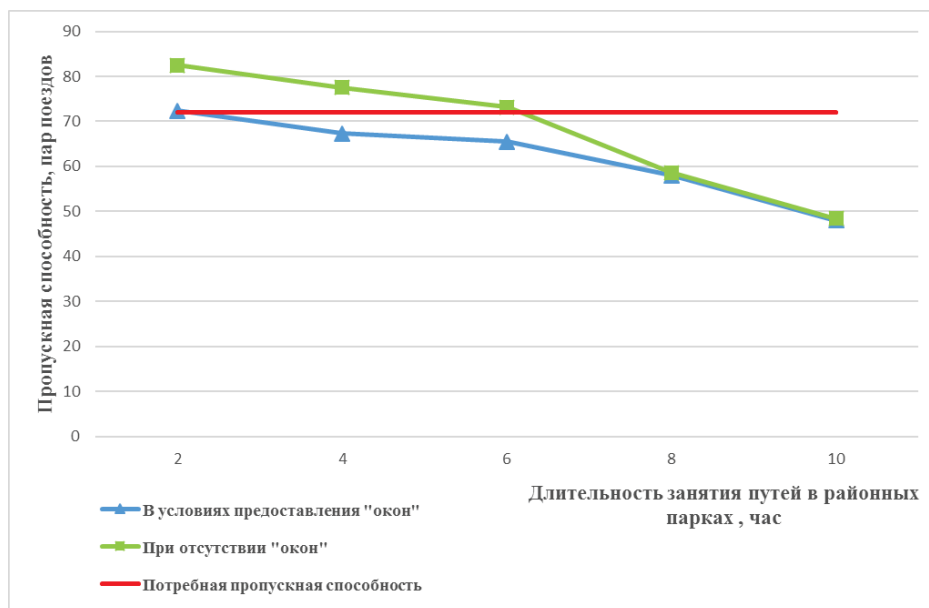
**Рис. 2. Зависимость наличной пропускной способности железнодорожной линии в четном направлении от длительности занятия приемо-отправочных путей в районных парках при первом варианте**

Как показывает анализ, при минимальном количестве приемо-отправочных путей наличная пропускная способность в данных условиях составляет 68 пар грузовых поездов при отсутствии «окон» и 65 пар – при их предоставлении, что меньше потребной пропускной способности, равной 72 парам грузовых поездов.

Пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии (рис. 3) при втором варианте – увеличенном количестве приемо-отправочных путей в районных парках (РП № 1 – с 3 до 5, РП № 2 – с 9 до 12, РП № 3 – с 8 до 11, РП № 4 – с 7 до 10, РП № 5 – с 2 до 3, РП № 6 – с 4 до 6, РП № 7 – с 4 до 6) определяется в тех же условиях.

Пропорциональное увеличение количества приемо-отправочных путей обеспечивает их равномерную загрузку при распределении грузопотока по прилегающим терминалам назначения и позволяет избежать ситуации, когда в одних районных парках приемо-отправочных путей недостаточно, а в других – избыточно.

Результаты имитационного моделирования показывают, что в четном направлении наличная пропускная способность рассматриваемой железнодорожной линии превышает потребную, равную 72 парам грузовых поездов, с вероятностями, представленными в таблице 1.



**Рис. 3. Зависимость наличной пропускной способности железнодорожной линии в четном направлении от длительности занятия приемо-отправочных путей в районных парках при втором варианте**

**Таблица 1**

**Оценка вероятностей освоения прогнозируемых объемов перевозок заданной номенклатуры грузов в четном направлении при втором варианте**

№ п/п	Вариант	Длительность занятия путей, ч	$N_{HM}$	$N_{П}$	$\sigma$	$P(N_{П} < N_{HM})$
11	2-й вариант с «окнами»	2	76,53	72	1,51	0,9987
12	То же	4	71,11	72	1,37	0,2580
13	«	6	68,51	72	1,17	0,0014
14	«	8	61,42	72	1,14	0,0000
15	«	10	50,37	72	0,79	0,0000
16	2-й вариант без «окон»	2	86,74	72	1,58	1,0000
17	То же	4	82,29	72	1,43	1,0000
18	«	6	77,14	72	1,38	0,9999
19	«	8	61,7	72	0,9	0,0000
20	«	10	50,91	72	0,97	0,0000

Таким образом, разработанный и развиваемый в ИПТ РАН программный комплекс имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок позволяет оценить вероятность освоения прогнозируемых объемов перевозок на стыке морской порт – железнодорожный транспорт.

## Литература

1. **Тимченко В. С., Ковалев К. Е., Хомич Д. И.** Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: монография/Саарбрюккен, Германия: LAP. LAMBERT Academic Publishing, 2017. ISBN 978-3-330-04025-0 – 172 с.
2. **Кокурин И. М., Миняев С. Е.** Оценка технико-экономической эффективности вариантов реконструкции железнодорожной сети на основе имитационного моделирования // Транспорт: наука, техника, управление. 2004. № 6. С. 20–26. ISSN 0236-1914.
3. **Кокурин И. М., Тимченко В. С.** Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. 2014. № 6 (48). С. 39–44. ISSN 1997-0722.
4. **Кокурин И. М., Катцын Д. В., Тимченко В. С.** Определение параметров «окон» при оценке перевозочных перспектив // Мир транспорта. 2015. № 2. С. 142–155. ISSN 1992-3252.
5. **Тимченко В. С.** Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 3 (22). ISSN 2223-5167 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN314.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).
6. **Тимченко В. С.** Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 5 (48). С. 34–37. ISSN 1994-831X.
7. **Тимченко В. С.** Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. ISSN 2223-5167. DOI: 10.15862/12TVN515 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).
8. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ/утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2790р от 29.12.12. М.: МПС РФ, 190 с.
9. **Кокурин И. М., Тимченко В. С.** Метод оценки вероятности обеспечения потребной пропускной способности железнодорожной линии, используемой для перевозок грузов морского порта, с учетом предоставления «окон» // Транспорт Урала. – 2016. – № 2. – С. 81–86.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СНАБЖЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЛАТФОРМЫ «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

А. Г. Топаж, Д. А. Зайкин, А. А. Кондратенко, А. В. Косоротов, А. Б. Крестьянцев,  
О. В. Таровик (Санкт-Петербург)

Современные информационные технологии представляют собой эффективный инструмент, позволяющий реализовать проактивное управление крупными оффшорными проектами и находить лучшие технические решения на этапах их проектирования и эксплуатации. В частности, компанией «Газпром нефть шельф» было инициировано исследование по анализу, прогнозированию и предотвращению эксплуатационных рисков при разработке нефтяного месторождения «Приразломное». Целью проекта было повышение эффективности транспортной системы в связи с планами увеличения добычи нефти с текущих 2,1 млн т. в год до 5 млн т. в 2023 году.

Морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная» (МЛСП) – первая и единственная в мире стационарная платформа, которая ведет добычу нефти на шельфе в тяжелых условиях Арктики. Транспортная система МЛСП подвержена влиянию ряда уникальных факторов, которые сказываются на исполнении плана перевозок и поэтому должны учитываться при построении комплексной имитационной модели снабжения платформы и вывоза добытой нефти. К таким факторам относятся:

- вариабельность метеорологической и ледовой обстановки как у самой платформы, так и на маршрутах следования судов;
- наличие нескольких альтернативных терминалов со специфическими ограничениями на возможность осуществления грузовых операций в зависимости от складывающейся погодной обстановки;
- наличие ограничений на возможность одновременного осуществления грузовых операций у МЛСП танкерами и судами снабжения, что приводит к конкуренции танкеров и судов снабжения за «окна погоды» терминалов;
- динамичность грузопотоков нефти и грузов снабжения, наличие причинно-следственных связей между объемами доставки снабжения на платформу и вывоза отработанных материалов;
- ограниченность объема хранилища нефти и площадей складирования тарных грузов на платформе;
- сложная и вариативная логика операций грузообработки транспортных судов у платформы (как правило, погрузка танкеров и разгрузка судов снабжения вынужденно производится не непрерывно, а за несколько последовательных подходов).

Очевидно, что одновременный учет всех перечисленных факторов с приемлемой степенью точности возможен только в рамках комплексной динамической имитационной модели, включающей в себя элементы дискретно-событийного и агентного подходов [1]. Основой для реализации такой модели послужил созданный ранее в Крыловском государственном научном центре (КГНЦ) программный инструмент для исследования арктических транспортных систем [2], который был специально адаптирован к моделированию инфраструктуры МЛСП. Так, в состав комплексной имитационной модели были дополнительно интегрированы вновь разработанные модули, условно показанные на рис. 1.