

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Решняк Валерий Иванович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
RV53@mail.ru, kaf_chemistry@gumrf.ru
Батяев Алексей Викторович — аспирант
Научный руководитель:
Решняк Валерий Иванович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
alexey_batjaev@mail.ru,
Решняк Ксения Валерьевна —
ведущий специалист.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
mili1984@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Reshnyak Valery Ivanovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
RV53@mail.ru, kaf_chemistry@gumrf.ru
Batjaev Aleksej Viktorovich — postgraduate.
Supervisor:
Reshnyak Valery Ivanovich
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
alexey_batjaev@mail.ru
Reshnyak Ksenia Valerjevna —
Leading Specialist.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
mili1984@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2016 г.

УДК 656.613: 519.86

**И. В. Зуб,
Ю. Е. Ежов**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ТЕРМИНАЛА
ВЛОЖЕННЫМИ СЕТЯМИ ПЕТРИ**

В статье рассмотрена имитационная модель функционирования транспортным терминалом, разработанная посредством аппарата вложенных сетей Петри. Предпосылками к использованию аппарата вложенных сетей Петри являются наличие случайной и детерминированной составляющих в технологии обслуживания транспортных средств (в зависимости от их прибытия), возможность представления функционирования взаимодействующих подсистем терминала в виде совокупностей параллельных, технологически однородных процессов, ситуационность управления погрузочно-разгрузочными работами, связанная со стохастичностью входного потока заявок и с текущим состоянием парка перегрузочной техники. В ходе моделирования выявлены конфликтные ситуации, найдены пути их решения и определены оптимизационные параметры. Полученными оптимизационными параметрами являются время восстановления работоспособности и производительность парка перегрузочной техники. Для оптимизации первого параметра (время восстановления работоспособности) предусмотрены технические мероприятия по поддержанию перегрузочной техники в работоспособном состоянии. Второй оптимизационный параметр взаимосвязан с первым, так как повышение работоспособности парка перегрузочной техники зависит от работоспособности каждой машины в отдельности. Повышение производительности парка перегрузочной техники и его поддержание в работоспособном состоянии позволяют оптимизировать резерв за счёт его сокращения.

Ключевые слова: автоматизация управления, перегрузочная техника, транспортный терминал, техническая эксплуатация.



ПОВЫШЕНИЕ эффективности функционирования транспортного терминала невозможно без автоматизации и совершенствования системы управления. Для перехода на автоматизированную систему управления транспортным объектом предварительно разрабатывается имитационная модель. Задачами моделирования являются: построение функционирования

взаимодействия подсистем терминала, определение их функционального взаимодействия; определение возникающих в процессе функционирования конфликтных ситуаций.

Транспортный терминал (ТТ) является самостоятельным звеном логистической цепи. Его основными производственными задачами являются: оказание погрузочно-разгрузочной услуги (ПРУ) для грузовладельцев и транспортных компаний, являющихся перевозчиками груза. В условиях конкуренции, качество предоставляемой ПРУ оказывает влияние на обеспечение конкурентоспособности терминала и его экономическую составляющую. Основными статьями получения финансовых средств ТТ являются ПРУ и услуги по хранению груза. Оказание качественной ПРУ, которая оценивается двумя критериями: скорость обработки транспортных средств и сохранность груза при среднерыночной стоимости предоставляемой услуги, позволяет терминальному оператору не только сохранить, но и увеличить грузопоток. В работе [1] авторы предложили модель обеспечения качества ПРУ. В ходе моделирования были определены ресурсы, обеспечивающие скорость обработки транспортных средств. Такими ресурсами являются страховой запас запасных частей и резерв перегрузочной техники (ПТ). Наличие резерва ПТ позволяет обеспечить расчётную пропускную способность терминала.

В работе [2] пропускная способность (ПС) определяется как функция технологических и экономических параметров и внешних ограничений:

$$ПС = f(Q_{\text{вх}}, П_{\text{ПТ}}, ПС_{\text{ПК}}, V_{\text{ТТ}}, t_{\text{хр}}, P_{\text{ТС}}), \quad (1)$$

где $Q_{\text{вх}}$ — входной грузопоток; $П_{\text{ПТ}}$ — производительность парка ПТ; $ПС_{\text{ПК}}$ — пропускная способность подъездных коммуникаций; $V_{\text{ТТ}}$ — емкость ТТ (в м^3 , т, TEU (транспортная условная единица, эквивалент 20-футового контейнера)), $V_{\text{ТТ}} = (F_{\text{ТТ}} h) f_{\text{гр}}$, где $F_{\text{ТТ}}$ — полезная площадь ТТ, т. е. площадь занятая под хранение груза, данный параметр зависит от типа ПТ и геометрических размеров ТТ; h — количество ярусов складирования груза (данный параметр зависит от типа ПТ); $f_{\text{гр}}$ — площадь, занимаемая одной единицей груза; $t_{\text{хр}}$ — время хранения груза, $t_{\text{хр}} = f(t_{\text{хр,дог}}, P_{\text{ТС}})$; $P_{\text{ППР}}$ — ритмичность погрузочно-разгрузочных работ (ППР); $P_{\text{ТС}}$ — ритмичность подачи ТС.

Производительность парка перегрузочной техники ($П_{\text{ПТ}}$) — это фактор, который может выступать как объект оптимизации работы ТТ и зависит от технического состояния каждой отдельно взятой единицы техники. Повышение коэффициента технической готовности ПТ повышает эффективность функционирования терминала, которая невозможна без автоматизации и совершенствования системы управления, без автоматизации составляющих ее подсистем и взаимосвязей между ними. Переход на автоматизированное управление терминалом позволит существенно повысить производительность труда, снизить себестоимость грузовых операций и сократить расходы на содержание ПТ.

Для исследования системы управления ТТ создаётся имитационная модель, построенная посредством аппарата сети Петри, что позволяет провести анализ поведения системы при её функционировании. Формализм сетей Петри даёт возможность применять аналитические методы как для анализа исполнения, так и для верификации логических свойств исследуемых процессов, а также требует точных определений, исключая неопределенность и противоречия [3]. Последовательность событий сети образует моделируемый процесс, отражающий его структурно-логическую связь.

Сети Петри позволяют выстраивать иерархическую систему управления процессами, при этом каждый уровень системы может иметь свою сеть, работающую параллельно, отражая во вложенных сетях внутренние процессы рассматриваемой позиции. Анализ систем посредством аппарата сетей Петри является перспективным направлением, так как на основании созданных моделей возможно написание специализированных программ для автоматизированной системы управления терминалом.

Предпосылками к использованию аппарата сетей Петри являются наличие случайной и детерминированной составляющих в технологии обслуживания транспортных средств (ТС) на ТТ, возможность представления технологии обслуживания ПТР в виде совокупности параллельных,

технологически однородных процессов, ситуационность управления ТТ, связанная со стохастичностью входного потока заявок и с текущим состоянием парка ПТ.

Ряд специфических особенностей терминала делает целесообразным использование сетей Петри для его описания и анализа [4]:

- в структуре ТТ выделяются взаимосвязанные подсистемы со сложными структурными и функциональными отношениями, включая обратные связи;
- изолированная оптимизация отдельных подсистем, не обеспечивая системную оптимизацию, может приводить к конфликтным ситуациям;
- стохастичность транспортных потоков делает процесс обслуживания заявок вероятностным.

Работа ТТ обеспечивается разнородными ресурсами: человеческими, техническими, информационными [5]. Взаимодействие данных ресурсов обеспечивают работу ТТ и качество погрузочно-разгрузочной услуги [1]. Эти ресурсы при моделировании помещаются в позиции сети в виде маркеров (фишек) [6], [7], причем фишкам придается вес (размерность) в соответствии с необходимыми для запуска перехода ресурсами.

Рассмотрим структурно-логическую схему функционирования ТТ в виде представленной сети Петри (рис. 1). Функционирование ТТ представляется в виде последовательности событий, основанных на причинно-следственных связях. Задачей данной модели является идентификация конфликтных ситуаций. Под конфликтной ситуацией понимается такое положение в сети Петри, когда позиция имеет выходы на два перехода и более. В зависимости от выбора может сработать только один переход. В позиции s_1 находится фишка, которая имеет некую размерность n в зависимости от количества поступивших заявок, $n = n_1, n_2, \dots, n_i$ [6], [7].

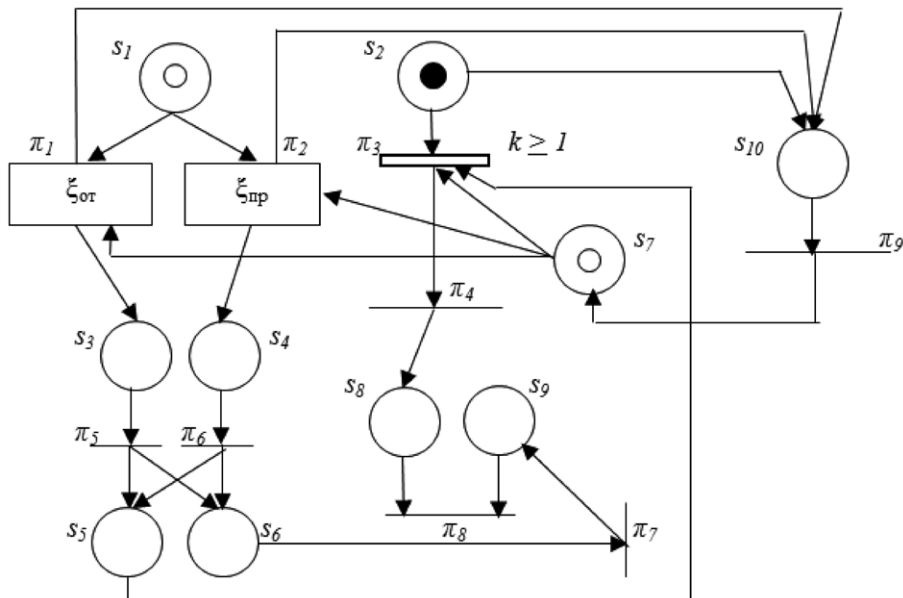


Рис. 1. Имитационная модель транспортного терминала:

- s_1 — заявка на обслуживание ТС; s_2 — ТС готово к грузовым операциям;
- s_3 — грузовая партия к отгрузке готова; s_4 — место для принятия грузовой партии готово;
- s_5 — задание на выполнение ПРР; s_6 — запрос на оформление документов; s_7 — готовность ПТ к ПРР;
- s_8 — ТС готово к убытию; s_9 — документы получены; s_{10} — заявка на ПТ;
- π_1 — подготовка грузовой партии к отгрузке; π_2 — подготовка места для принятия грузовой партии;
- π_3 — обслуживание ТС; π_4 — ПРР завершено; π_5, π_6 — сообщение диспетчеру о готовности начать ПРР;
- π_7 — оформление документов; π_8 — убытие ТС с терминала; π_9 — подача заявки на ПТ

Позиция s_7 является конфликтной, конфликт решается посредством ситуационного управления [8]. Позиция s_1 имеет свою сеть (рис. 2), которая работает следующим образом. При поступле-

нии заявки (позиция s_1^2) срабатывает переход π_1^2 , в зависимости от поступившей заявки фишка поступит в позицию s_2^2 или s_3^2 , далее фишка, попадая в переходы π_2^2 или π_3^2 , вызовет срабатывание перехода. В зависимости от поступившей заявки (приёмка или отправка груза) запускается один из переходов: π_1 или π_2 . Переход π_1 имеет метку $\xi_{от}$, переход π_2 — метку $\xi_{пр}$ во встроеной сети позиции s_1 (см. рис. 2). Переходы π_2^2 и π_3^2 имеют соответствующие метки $\xi'_{пр}$ и $\xi'_{от}$. Эти метки являются взаимодополняющими и служат для синхронизации переходов. Два перехода помеченные такими метками могут сработать одновременно [9]. При попадании фишки в переход π_2^2 сработает переход π_2 , при срабатывании перехода π_3^2 сработает переход π_1 . Из позиции s_1 (заявка на обслуживание), при размерности фишки $n \geq 2$, процессы (подготовка грузовой партии, подготовка места под выгрузку, оформление документов) будут идти параллельно, при условии, что в позиции s_7 существует достаточная размерность фишки (наличие работоспособной ПТ) для запуска переходов π_1, π_2, π_3 .

В позиция s_2 фишка имеет размерность k , которая зависит от количества ТС, прибывших на терминал. Переход π_3 имеет охрану $k \geq 1$, согласно терминологии, используемой в источнике [9], т. е. переход не будет запущен, если отсутствуют ТС. Переход π_3 будет запущен, если в него поступят фишки из позиций s_2, s_5, s_7 . Обслуживание ТС начнется только после того как ТС будет готово к проведению ПРР, получено задание на выполнение ПРР, а также требуемая для поведения ПРР техника будет в работоспособном техническом состоянии и в необходимом количестве. После срабатывания перехода π_4 фишка поступит в позицию s_8 . Переход π_8 является стоком и будет запущен после того как в него поступят фишки с позиций s_8 и s_9 (ТС убудет с терминала только при условии, что ПРР завершено, документы готовы и переданы на ТС). Как видно, в сети, представленной на рис. 1, от позиции s_7 зависит запуск трёх переходов: π_1, π_2, π_3 , что делает данную позицию «ключевой». Данная ситуация является конфликтной. В данном конфликте сеть Петри показывает потенциальные возможности выбора [10]. Этот конфликт разрешается посредством ситуационного управления технической эксплуатацией парка ПТ (вложенная сеть позиции s_7 (рис. 3)).

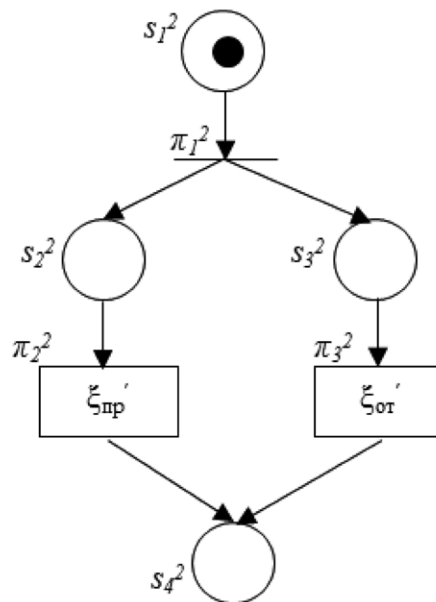


Рис. 2. Вложенная сеть Петри позиции s_1 : s_1^2 — поступление заявки на выполнение ПРР; s_2^2 — заявка на прием груза; s_3^2 — заявка на выдачу груза; s_4^2 — заявка на выдачу ПТ; π_1^2 — идентификация заявки; π_2^2 — регистрация заявки на приёмку груза; π_3^2 — регистрация заявки на отправку груза

Рассмотрим сеть, приведенную на рис. 3. Позиция p_1^3 имеет фишку, разметка которой равна количеству заявок на ПТ. Позиция p_2^3 показывает техническое состояние парка ПТ, данная позиция имеет вложенную сеть (рис. 4). Позиция p_1^4 имеет фишку, размерность которой равна количеству ПТ, данная позиция является конфликтной. В зависимости от условий эксплуатации

может произойти повреждение, отказ, инцидент или авария ПТ. При повреждении производится осмотр ПТ, которая остается в работоспособном состоянии. При отказе ПТ диагностируют. По результатам диагностики ПТ может оставаться в работоспособном состоянии или переходить в неработоспособное состояние, в этом случае срабатывает переход π_7^4 имеющий метку δ'' (в этом случае ПТ будет выведена на внеплановый ремонт). При инциденте ПТ переходит в неработоспособное состояние и выводится из эксплуатации. При аварии ПТ в ремонт не выводится, а подлежит утилизации, так как в Федеральном законе № 116 ФЗ [11] под аварией понимается разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте. В сети позиции p_2^3 (см. рис. 4) переход π_9^4 имеет метку α , а переход π_3^3 — метку α' . Эти два перехода срабатывают одновременно. Фишка из позиции p_2^3 запустит переход π_3^3 (при переходе в неработоспособное состояние ПТ будет выведена на ремонт).

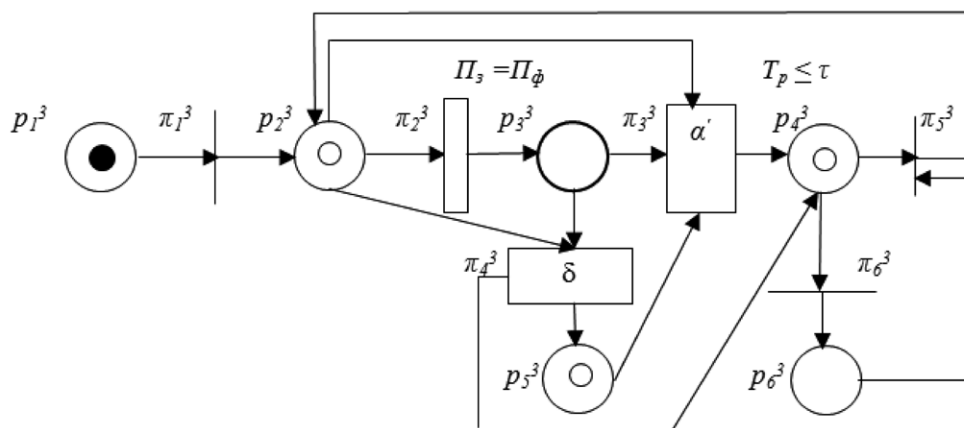


Рис. 3. Вложенная сеть позиции s_7^3 : p_1^3 — заявка на ПТ; p_2^3 — ПТ готова к эксплуатации; p_3^3 — наработка ПТ на техническое обслуживание и ремонт; p_4^3 — запрос на резервный ПТ; p_5^3 — ПТ выведена на внеплановый ремонт; p_6^3 — резерв ПТ; π_1^3 — регистрация заявки; π_2^3 — эксплуатация ПТ; π_3^3 — вывод ПТ на техническое обслуживание и ремонт; π_4^3 — вывод ПТ на внеплановый ремонт; π_5^3 — ввод ПТ в эксплуатацию; π_6^3 — вывод ПТ в резерв

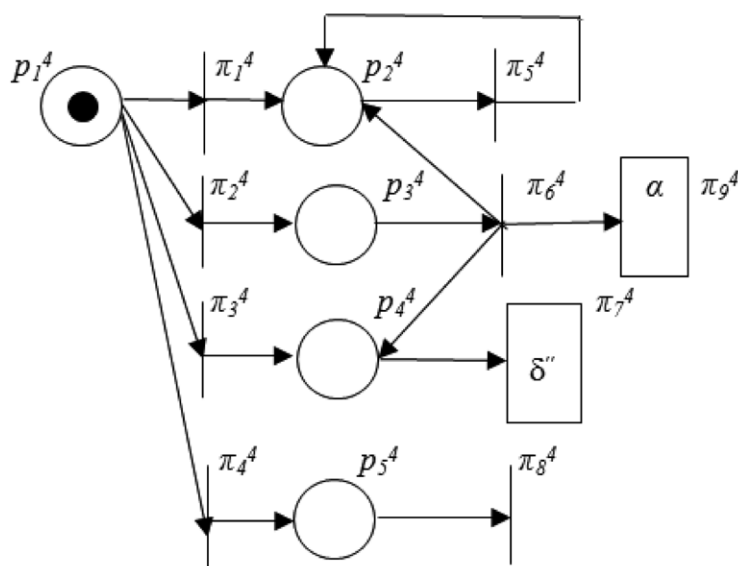


Рис. 4. Вложенная сеть позиции p_2^3 :
 p_1^4 — исправное состояние ПТ; p_2^4 — работоспособное состояние; p_3^4 — ПТ выведен на диагностику; p_4^4 — ПТ в неработоспособном состоянии; p_5^4 — ПТ в аварийном состоянии; π_1^4 — повреждение ПТ; π_2^4 — отказ ПТ; π_3^4 — инцидент с ПТ; π_4^4 — авария с ПТ; π_5^4 — осмотр ПТ; π_6^4 — диагностика ПТ; π_7^4 — вывод ПТ на внеплановый ремонт; π_8^4 — ПТ передана на утилизацию; π_9^4 — вывод ПТ на ремонт

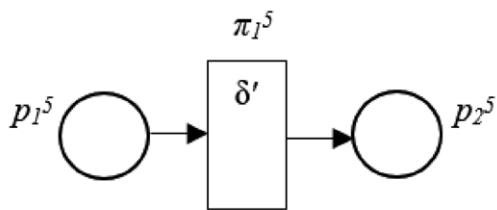


Рис. 5. Вложенная сеть позиции p_5^3 :
 p_1^5 — контролируемые параметры в норме;
 p_2^5 — контролируемые параметры имеют предельное значение;
 π_1^5 — нарушение правил технической эксплуатации

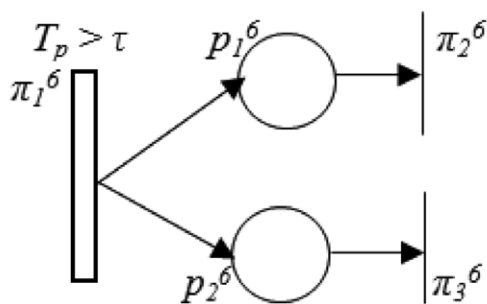


Рис. 6. Вложенная сеть позиции p_4^3 :
 p_1^6 — заявки не выполнены;
 p_2^6 — заявки выполнены;
 π_1^6 — время ремонта превысило заданное;
 π_2^6 — вывод ПТ в резерв;
 π_3^6 — ввод резервной ПТ

Переход π_2^3 имеет охрану $\Pi_3 = \Pi_\phi$ (заданные параметры соответствуют фактическим, т. е. ПТ эксплуатируется в штатном режиме). В позиции p_5^3 имеется встроенная сеть (рис. 5). Переход π_2^3 имеет метку δ , переход π_1^5 — метку δ' , при нарушении правил технической эксплуатации сработают идентичные метки δ, δ', δ' и ПТ будет выведена на внеплановый ремонт.

Позиция p_4^3 (рис. 6) имеет встроенную сеть — при выполнении заявок ПТ выводится в резерв, при невыполнении заявок вводится в эксплуатацию резервная техника.

Сети Петри, являясь асинхронным средством моделирования только причинно-следственных связей в объекте, не могут напрямую использоваться для целей имитационного моделирования ТТ. В частности, отсутствие временных параметров и средств для фиксации порядка поступления фишек в позиции не позволяет установить порядок срабатывания переходов. Поэтому асинхронную сеть Петри, отражающую только логику функционирования сети Петри, следует совместить с временными характеристиками всего спектра реализуемых операций. Для этого в алгоритме имитационного моделирования каждому переходу π_j , который обозначает отдельную производственную операцию, приписывается время его реализации τ_j . Значение τ_j может в ходе имитации задаваться двояко: либо как среднее выборочное по совокупности статистических данных, либо путем «разыгрывания» соответствующей эмпирической функции распределения.

В переходе π_3^3 при введении охраны, выраженной неравенством $T_p \leq \tau$, которое означает, что если в течение времени τ не будет восстановлена работоспособность ПТ, то сработает переход и в эксплуатацию будет введена резервная техника. В свою очередь, переменную τ можно рассматривать как параметр оптимизации работы ТТ. При оптимальных значениях τ минимизируется резерв ПТ. При превышении времени τ запрашивается резервная ПТ для обеспечения заявок на ПТР.

Таким образом, посредством аппарата вложенных сетей Петри была рассмотрена имитационная модель ТТ, что позволило выстроить иерархическую сеть, отображающую функционирование терминала, и проанализировать полученные функционально-логические связи между позициями сети. При анализе модели были выявлены проблемы, возникающие при работе ТТ, а также их влияние на функционирование ТТ.

Выводы

1. В ходе моделирования было выполнено определение конфликтных ситуаций (позиции s_1, s_7 на рис. 1, позиция p_4^3 на рис. 3, позиция p_1^4 на рис. 4). Все позиции, в которых возникают конфликтные ситуации, имеют свои вложенные сети, которые показывают разрешение (управление) конфликтной ситуацией;
2. Определен оптимизирующий параметр τ (время восстановления работоспособности ПТ).
3. В работе рассмотрены технические методы решения конфликтных ситуаций. Для полного решения возникающих в процессе функционирования ТТ задач необходимо использовать и организационные методы решения.

4. Задачей терминального оператора является не только формирование парка ПТ, но и поддержание технического состояния парка на должном уровне, повышение продолжительности времени безотказной эксплуатации ПТ, что обеспечивает работоспособность терминала. Данная задача решается в разрезе управления технической эксплуатацией парка ПТ. Соблюдение графиков технического обслуживания и ремонта, диагностика ПТ при проведении технического обслуживания позволяют увеличить коэффициент технической готовности и снизить простои техники во время проведения внеплановых ремонтов. При проведении регламентных (плановых) работ терминальный оператор придерживается одной из стратегий ремонта, которые определяются технической политикой терминала: первая стратегия — это проведение регламентных ремонтов в соответствии с наработкой; вторая стратегия — проведение ремонтов в соответствии с техническим состоянием ПТ. Обе стратегии имеют «сильные» и «слабые» стороны. В первом случае увеличиваются финансовые расходы, но уменьшается вероятность выхода из эксплуатации ПТ во время проведения внеплановых ремонтов, во втором случае уменьшаются финансовые затраты, но увеличивается вероятность отказа ПТ во время эксплуатации. Вывод ПТ на внеплановые ремонты уменьшает ПС терминала и снижает экономические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зуб И. В.* Контейнерный терминал как объект управления качеством транспортно-технологических операций / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3 (19). — С. 35–41.
2. *Зуб И. В.* Пропускная способность контейнерного терминала как функция технологии управления / И. В. Зуб // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование: сб. тр. Седьмой междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». 28 – 30.04.2009. Т. 16 (2). — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009. — С. 176–181.
3. *Вил ван дер Ааласт.* Управление потоками работ: модели и системы / Вил ван дер Ааласт, Кейс ван Хей; пер. с англ. В. А. Башкина, И. А. Ломазовой. — М.: Физматлит, 2007. — 316 с.
4. *Лескин А. А.* Сети Петри в моделировании и управлении / А. А. Лескин, П. А. Мальцев, А. М. Спиридонов. — Л.: Наука, 1989. — 133 с.
5. *Зуб И. В.* Информационные технологии повышения эффективности управления контейнерным терминалом / И. В. Зуб // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 3. — С. 6–9.
6. *Котов В. Е.* Сети Петри / В. Е. Котов. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
7. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон / под общ. ред. д-ра техн. наук В. А. Горбатого; пер. с англ. М. В. Горбатовой, В. Л. Торхова, В. Н. Четверикова. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
8. *Голиков В. К.* Сети Петри в ситуационном управлении и имитационном моделировании дискретных технологических систем / В. К. Голиков, К. Н. Матусов, В. В. Сысоев. — М.: ИПРЖР, 2002. — 227 с.
9. *Ломазова И. А.* Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объективной структурой / И. А. Ломазова. — М.: Научный мир, 2004. — 208 с.
10. *Юдицкий С. А.* Операционно-целевое моделирование динамики развития организационных систем средствами сетей Петри / С. А. Юдицкий // Автоматика и телемеханика. — 2008. — № 1. — С. 114–123.
11. Федеральный закон № 116 ФЗ. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: [принят Гос. Думой 20.06.1997 г.].

MODELING OF FUNCTIONING OF THE TRANSPORT TERMINAL NESTED PETRI NETS

The effective functioning of the terminal is impossible without the automation and improvement of the management system. To transition to the automated control system of transport facility, previously developed simulation model. The objectives of the simulation are: building functioning interaction of subsystems of the terminal, determining their functional interaction; determination regarding the functioning of conflict situations. The article describes a simulation model of the operation of the transport terminal, developed a nested Petri nets. Prerequisites

to use nested Petri nets are the presence of random and deterministic components in the technology of maintenance of vehicles (depending on their arrival), the possibility of presenting the functioning of the interacting subsystems of the terminal in the form of sets of parallel, technologically homogeneous processes, situational management of loading and unloading activity associated with the stochasticity of input flow of requests and with the current state of the fleet of handling equipment. During the simulation conflict situations were identified, their solutions were found, optimizing parameters were defined. The obtained optimization parameters are the restoration time and capacity of handling equipment fleet. For optimization of the first parameter (time of restoration) provided technical measures for maintenance of handling equipment in working condition. The second optimization option is interrelated with the first, because increase efficiency of handling equipment fleet depends on the efficiency of each machine separately. Improved performance of handling equipment and its maintenance in operational condition will help optimize the reserve at the expense of reducing it.

Keywords: automation, handling equipment, transport terminal, maintenance.

REFERENCES

1. Zub, I. V., and E. Y. Ezhov. "The container terminal as an objekt of management of the quality of transport-technological operations." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 3(19) (2013): 35–41.
2. Zub, I. V. "Propusknaja sposobnost kontejnernogo terminala kak funkciya tehnologii upravlenija." *Vysokie tehnologii, fundamentalnye issledovaniya, obrazovanie: sbornik trudov Sedmoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Issledovanie, razrabotka i primenenie vysokih tehnologij v promyshlennosti»*. 28-30.04.2009, Sankt-Peterburg, Rossija. Vol. 16 (2). SPb.: Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2009: 176–181.
3. Vil van der Aalast, and Kejs van Hej. *Upravlenie potokami robot: modeli i sistemy*. M.: Fizmatlit, 2007.
4. Leskin, A. A., P. A. Malcev, and A. M. Spiridonov. *Seti Petri v modelirovanii i upravlenii*. L.: Nauka, 1989.
5. Zub, I. V. "Informacionnye tehnologii povysheniya jeffektivnosti upravlenija kontejnernym terminalom." *Jekspluatacija morskogo transporta* 3 (2009): 6–9.
6. Kotov, V. E. *Seti Petri*. M.: Nauka, 1984.
7. Piterson, Dzh. *Teorija setej Petri i modelirovanie sistem*. M.: Mir, 1984.
8. Golikov, V. K., K. N. Matusov, and V. V. Sysoev. *Seti Petri v situacionnom upravlenii i imitacionnom modelirovanii diskretnyh tehnologicheskikh sistem*. M.: IPRZhR, 2002.
9. Lomazova, I. A. *Vlozhennye seti Petri: modelirovanie i analiz raspredeljonnyh sistem s obektivnoj strukturoj*. M.: Nauchnyj mir, 2004.
10. Yuditskii, S. A. "Operational-objective modeling of dynamics of organizational systems development via Petri nets." *Automation and Remote Control* 69.1 (2008): 105–113.
11. Russian Federation. Federal law № 116 FZ. 20 Jun. 1997. O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh obektov.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зуб Игорь Васильевич —
кандидат технических наук.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова».
zubiv@mail.ru
Ежов Юрий Евгеньевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова».
EzhovYE@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zub Igor Vasilevich — PhD.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
zubiv@mail.ru
Ezhov Yyri Evgenevich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
EzhovYE@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 22 января 2016 г.