

УДК 656.613:519.86:519.248

И. В. Зуб,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова,

Ю. Е. Ежов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

КОНТЕЙНЕРНЫЙ ТЕРМИНАЛ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

THE CONTAINER TERMINAL AS AN OBJECT OF MANAGEMENT OF THE QUALITY OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL OPERATIONS

Проведен анализ работы контейнерного терминала посредством аппарата сетей Петри. Предпосылками к использованию аппарата сетей Петри являются: наличие случайной и детерминированной составляющих в технологии обслуживания; возможность представления технологии обслуживания в виде совокупностей параллельных, технологически однородных процессов; ситуационность управления, связанная со стохастичностью входного потока заявок и с текущим состоянием парка ПТ.

The analysis of the container terminal by means of the apparatus of Petri networks is performed. The prerequisites for using the Petri nets machine are: presence of random and deterministic components in maintenance technology; possibility of presentation of technology services in the form of sets of in parallel, a technologically homogeneous processes; control of the situation, connected with the uncertainty of the input stream of orders and with the current state of the handling equipment park..

Ключевые слова: контейнерный терминал, система менеджмента качества, сети Петри, перегрузочная техника, погрузочно-разгрузочная услуга.

Key words: the container terminal, the system of quality management, Petri nets, reloading machinery, loading-unloading service.

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ операциями на контейнерном терминале (КТ) являются погрузочно-разгрузочные работы. Погрузочно-разгрузочные работы — это услуга, которую терминал оказывает владельцу груза или транспортного средства, поэтому в дальнейшем мы будем использовать термин «погрузочно-разгрузочная услуга» (ПРУ). Под ПРУ КТ будем понимать вид логистической деятельности по перемещению груза с транспортного средства или на транспортное средство с места хранения или на место хранения либо с одного транспортного средства на другое в минимальные сроки по обоснованной стоимости и полной сохранности груза и связанной с этим перемещением информационной технологии, обеспечивающей функционирование звена логистической транспортной цепи по его внутрисистемным критериям [5, с. 19–24].

Ведущие контейнерные терминалы используют одинаковые технологии и идентичную перегрузочную технику (ПТ): козловые контейнерные перегружатели на пневмоходу (RTG); козловые контейнерные перегружатели на рельсовом ходу (RMG); ричстакеры (RS); автоконтейнеровозы (АКВ); специализированные причальные контейнерные перегружатели (STS); на некоторых специализированных терминалах применяются мобильные краны на пневмоходу. Для технологических перевозок используются терминальные тягачи (ТТ).

Для усиления позиций на рынке терминальных услуг терминальные операторы стремятся к созданию конкурентных преимуществ КТ. При равенстве в техническом оснащении конкурентное преимущество можно обеспечить за счет внедрения технических и организационных стандартов предприятия. Одним из таких стандартов является система менеджмента качества

(СМК). Целевой функцией СМК КТ является обеспечение заданных критериев качества при взаимодействии с внешней средой и обеспечение взаимодействия между внутренними подсистемами.

Влияние внешней среды не зависит от терминального оператора и его управляющих воздействий. Внутренняя среда — это управляемая система, в которой управляющие действия терминального оператора направлены на возвращение системы (КТ) в устойчивое положение при воздействии внешней среды (изменение рынка, уход линии на другой терминал или привлечение новых линий на терминал, изменение таможенного или налогового законодательства и др.). Управление внутренней системой направлено на повышение эффективности работы внутренних подсистем. Для повышения эффективности требуются изменения в системе управления, которые могут быть достигнуты при совершенствовании процессов управления и построения СМК, которая позволит повысить качество принимаемых управленческих решений.

Производство ПРУ рассматривается как система взаимосвязанных процессов. Процесс — это совокупность действий по преобразованию входных сигналов в выходные. Входами и выходами на КТ являются грузопотоки — грузы, размещенные в контейнерах (могут поступать порождение контейнеры), паллетизированные и штучные грузы. Процесс обработки груза выполняется посредством ПТ. Перед тем как груз начинает обрабатываться, происходит процесс обработки информации. Не всегда выходной поток соответствует входному, так как часть поступившего груза остается на хранение, что также является терминальной услугой (Y_{xp}) по хранению груза.

Для осуществления управления качеством ПРУ и Y_{xp} необходим контроль и измерения. Для ПРУ критерием качества будет время оказания услуги (t_v). Численные показатели позволяют применять математические методы для моделирования СМК. При расхождении фактических данных с заданными осуществляется управляющее воздействие. Для Y_{xp} критерием будет сохранность груза (контейнера). Будем рассматривать данную услугу по двум показателям:

$$Y_{xp} = \begin{cases} 1, & \text{если груз поврежден} \\ 0, & \text{если груз сохранен} \end{cases}.$$

При повреждении груза финансовые убытки терминала зависят от вида и стоимости испорченного груза. Повреждение груза может произойти при производстве ПРУ, либо груз может быть принят поврежденным, когда повреждение не было замечено при приемке контейнера. Повреждение контейнера и груза в большинстве случаев происходит из-за низкой квалификации персонала.

Наиболее уязвимыми при хранении являются рефрижераторные грузы (РГ). Услуги по хранению рефрижераторных контейнеров являются отдельной услугой терминала. В отличие от сухого контейнера, рефрижераторный контейнер надо периодически осматривать на соответствие заданного и фактического температурного режима, технического состояния рефрижераторной установки, стабильность снабжения терминала электроэнергией. При неисправности холодильной установки нарушается температурный режим, что может привести к порче груза. Для предотвращения порчи груза клиенту, владельцу контейнера, оказывается услуга по диагностике и ремонту холодильной установки рефрижераторного контейнера. На случай отключения электроэнергии на терминале устанавливают резервный дизель-генератор.

Повреждение груза при загрузке/разгрузке может произойти из-за отсутствия технологической карты, нарушения скоростного режима работы, неподготовленной поверхности места грузовых работ, неисправной ПТ и т. д.

Для оказания ПРУ взаимодействуют три основные подсистемы терминала — техническая (Т), технологическая (ТЛ), информационная (Inf):

$$КТ = \{Т, ТЛ, Inf\}. \quad (1)$$

Каждая из данных подсистем обладает собственными ресурсами, и они рассматриваются как самостоятельные системы.

К ресурсам технической системы относятся: ПТ, ремонтный персонал ($П_r$), инструмент ($Ин$), нормативно-техническая документация (НТД). ПТ является ресурсом, обеспечивающим процесс оказания ПРУ. Выполнение критерия качества t_y зависит от квалификации оператора ($Кв_{оп}$) и технического состояния ПТ:

$$t_y = f(ПТ, Кв_{оп}). \quad (2)$$

Техническое состояние ПТ ($ТС_{ПТ}$) зависит: от качества самой ПТ, качества поставляемых запасных частей (Зч), наличия необходимого $Ин$, квалификации ремонтного персонала ($Кв_{рп}$), соблюдения графиков технического обслуживания (ТО) и планово-предупредительных ремонтов (ППР), наличия НТД:

$$ТС_{ПТ} = f(Зч, Ин, Кв_{рп}, ППР, НТД). \quad (3)$$

Процесс СМК по обеспечению работоспособности ПТ включает в себя выбор поставщика и модель ПТ, оценку ремонтпригодности данной машины. При этом учитывается наличие у поставщика сервисной службы, квалификация сотрудников сервисной службы, наличие склада расходных материалов и сменных Зч.

Одним из требований по обеспечению качества ПРУ является наличие резерва ПТ. Резерв может быть обеспечен как наличием дополнительных единиц ПТ, так и наличием страхового запаса Зч и сменных агрегатов, так как агрегатный способ ремонта позволяет минимизировать время простоя ПТ. Соблюдение правил технической эксплуатации и рекомендаций завода-изготовителя позволяют продлить эксплуатационный (межремонтный) ресурс ПТ. На рис. 1 отображена модель работы КТ посредством аппарата сетей Петри.

В настоящее время сети Петри используются: для имитационного моделирования гибких производственных систем [3; 4, с. 52–55]; оптимизации бизнес-процессов [7, с. 127–135] для анализа процессов управления потоками работ [2] и услуг [1, с. 96].

Предпосылками к использованию аппарата сетей Петри являются: наличие случайной и детерминированной составляющих в технологии обслуживания транспортных средств; возможность представления технологии обслуживания в виде совокупностей параллельных, технологически однородных процессов; ситуационность управления, связанная со стохастичностью входного потока заявок и с текущим состоянием парка ПТ.

Сети Петри отображают причинно-следственные связи между событиями и переходами, используются для формализации и анализа моделируемых процессов. Формальный подход дает возможность применять аналитические методы как для анализа исполнения, так и для верификации логических свойств процессов, а также требует точных определений и исключает неопределенность и противоречия [2]. Последовательность событий образует моделируемый процесс.

Достоинствами сетей Петри являются возможность их расширения и модификации, что позволяет отображать аппарат описания событий, учитывать специфику условий транспортно-технологических операций [9]. Сети Петри позволяют моделировать процессы транспортно-технологических операций с учетом вероятностных конфликтов между ними, обладают наглядностью и обеспечивают возможность автоматизированного анализа.

Напомним, что сеть Петри представляет собой ориентированный граф, вершины которого — позиции и переходы — соединены между собой дугами. В позициях размещаются фишки, управляющие переходами и перемещаемые по сети. Переход запускается удалением фишки из его входных позиций и образованием новых фишек, помещенных в его входные позиции [6; 8].

Основной критерий качества — время оказания ПРУ, расположен в пределах переходов $t_{14} - t_{17}$ (рис. 1). Остальная сеть Петри — это внутренние процессы КТ, которые обеспечивают производство ПРУ. Данная сеть Петри подлежит анализу и оптимизации.

В сети Петри, представленной на рис. 1, все переходы потенциально живы, следовательно, сеть является живой, устойчивой, так как отсутствуют конфликты, достижимой.

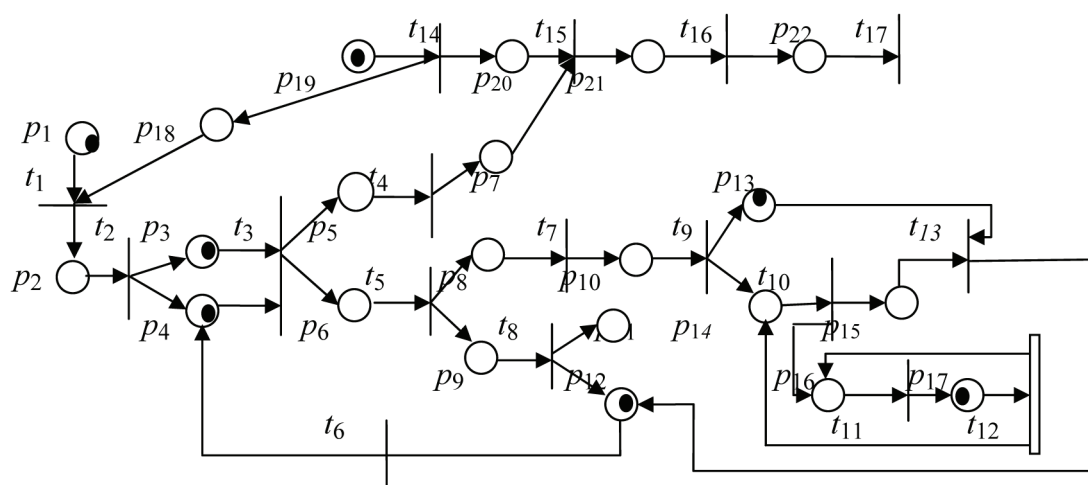


Рис. 1. Модель работы КТ

где p_1 — заявки на ПРУ; p_2 — сменно-суточный план; p_3 — операторы ПТ; p_4 — парк ПТ; p_5 — ПТ в работоспособном состоянии; p_6 — ПТ в неработоспособном состоянии; p_7 — ПТ готова к работе; p_8 — заявка на ремонт ПТ; p_9 — заявка на резервную единицу ПТ; p_{10} — дефектная ведомость; p_{11} — резерв ПТ отсутствует; p_{12} — резерв ПТ; p_{13} — наличие Зч на складе; p_{14} — отсутствие Зч на складе; p_{15} — ПТ в ожидании ремонта; p_{16} — заявка на Зч; p_{17} — наличие Зч у фирмы-поставщика; p_{18} — отметка о прибытии транспортного средства; p_{19} — транспортное средство; p_{20} — транспортное средство стало под погрузку/выгрузку; p_{21} — транспортное средство погружено/разгружено; p_{22} — документы получены;

t_1 — формирование сменно-суточного плана; t_2 — планирование необходимого количества ресурсов; t_3 — приемка оператором ПТ; t_4 — получение задания на оказание ПРУ; t_5 — вывод ПТ из эксплуатации; t_6 — ввод резервной ПТ в эксплуатацию; t_7 — диагностика ПТ механиком; t_8 — рассмотрение заявки; t_9 — проверка наличия Зч на складе; t_{10} — заказ Зч; t_{11} — выбор поставщика Зч; t_{12} — доставка Зч; t_{13} — ремонт ПТ; t_{14} — прибытие транспортного средства на терминал; t_{15} — оказание ПРУ; t_{16} — оформление транспортных документов; t_{17} — убытие транспортного средства с терминала.

Сети Петри, будучи асинхронным средством моделирования только причинно-следственных связей в объекте, не могут напрямую использоваться для целей имитационного моделирования КТ. 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 t_j , который обозначает отдельную производственную операцию, приписывается время его реализации τ_j . Основные производственные операции, время реализации которых подлежит оптимизации, отражаются на сети Петри в переходах t_{12} , t_{13} , t_{15} , t_{16} . Переход t_{12} имеет временное ограничение, если время поставки не устраивает терминального оператора, то выбирается поставщик с требуемым временем поставки запасных частей.

В позиции p_1 фишка имеет размерность k — по количеству заявок. В позиции p_3 фишка имеет размерность l — по количеству операторов, $l \geq n$. В позиции p_4 фишка имеет размерность n — по количеству единиц ПТ, требуемых для выполнения сменно-суточного плана. Позиция p_{11} является тупиковой, что говорит о том, что при отсутствии резерва ПТ терминальный оператор не сможет оказать качественную услугу заказчику при отказе ПТ, что может произойти и при отсутствии фишки в позиции p_{12} .

При отсутствии фишек в позициях p_1, p_3, p_4, p_{19} сеть не будет запущена в работу. На практике это говорит о том, что при отсутствии заявок, транспортных средств, перегрузочной техники и персонала, обслуживающего ПТ, или одной из этих составляющих КТ не начнет работать.

Технологическая составляющая качества ПРУ и сохранности груза обеспечиваются за счет наличия на терминале следующих ресурсов и процессов: рабочих технологических карт (РТК), временных технологических инструкций перегрузки (ВТИП), местных инструкций перегрузки по типовым способам и приемам работ (МИТПСР), необходимой технологической оснастки (O_c), сменных грузозахватных приспособлений (ГЗП) для ПТ и достаточного количества самой ПТ требуемой грузоподъемности, квалифицированного кадрового ресурса (КР), входного контроля (ВК) груза и прибывающих контейнеров, как порожних, так и груженых:

$$Tl = f(\text{РТК, ВТИП, МИПТС, } O_c, \text{ ГЗП, ПТ, КР, ВК}). \quad (4)$$

Технология штабелирования контейнеров оказывает влияние на сохранность груза. Если при формировании штабеля были допущены ошибки и контейнеры поставлены так, что между рядами есть пространство («колодцы»), то существует вероятность, что при сильных порывах ветра произойдет опрокидывание одиночно стоящего стэка, что может повлечь так называемую «реакцию домино» (такие моменты встречаются при работе по RTG-технологии). При падении контейнера повреждается как сам контейнер, так и находящийся в нем груз. При использовании автоматизированной системы управления (АСУ) у диспетчера на мониторе видны такие «колодцы», которые необходимо заставить контейнерами.

Выбор ПТ оказывает влияние на время оказания ПРУ. В основном КТ работают по RTG технологии, где основной ПТ являются RTG, RS на данных терминалах выполняют вспомогательные функции. Второй технологический вариант работы КТ с использованием RS. В зависимости от выбранной терминальным оператором технологической схемы работы будет разным среднее время оказания ПРУ, данный параметр учитывается при формировании сменно-суточного плана.

Среднее время (t_{cp}) обработки контейнера составляет

$$t_{cp} = (t_{max1} + t_{min})/2, \quad (5)$$

где t_{max1} — максимальное время оказания ПРУ (при работе КТ по RTG-технологии) при отгрузке на транспортное средство контейнера, находящегося в нижнем ярусе штабеля. Высота штабеля определяется техническими параметрами RTG, наиболее распространены RTG с высотой штабелирования в 5 ярусов:

$$t_{max} = 4t_1 + t_2, \quad (6)$$

где t_1 — время, затраченное на уборку одного контейнера (подъезд, зацепление, отъезд, постановка на новое место, введение координаты в терминальную систему);

t_{max2} — максимальное время оказания ПРУ (при работе КТ по RS-технологии):

$$t_{max2} = 10t_1 + t_2, \quad (7)$$

при формировании штабеля в 5 рядов, где первый ряд имеет 3 яруса, второй — 4, третий — 5, четвертый — 4, пятый — 3, максимальное количество контейнеров, которое необходимо убрать, будет равно 10. t_2 — время, затраченное на захват и постановку контейнера на транспортное средство.

Сравнения равенства (6) и (7), видно, что работа КТ по RTG-технологии является наиболее эффективной. В формулах (6) и (7) не учитывается время транспортировки убранных контейнеров на новое место хранения, которое определяется наличием свободной ячейки. Окончательное решение, по какой технологии будет работать терминал, зависит от ожидаемого грузопотока и принимается после экономических расчетов.

Развитие современного КТ тесно связано с использованием информации. Система функционирования КТ определяет высокую степень его зависимости от информации, которая становится ведущим фактором производства и управления. Информация позволяет упорядочить процессы перемещения контейнеров, осуществлять планирование деятельности терминала.

Комплекс задач оперативного планирования технологических процессов (ТП) включает две группы задач:

- 1) расчет количества заявок, обрабатываемых в каждом интервале горизонта планирования;
- 2) определение порядка обработки заявок на несколько ближайших интервалов горизонта планирования.

Первая задача может быть сформулирована как задача математического программирования, вторая — как задача теории расписаний. Вторая задача должна решаться ежедневно с учетом фактического состояния КТ и обеспеченности необходимыми ресурсами. Данные задачи необходимо алгоритмизировать. Алгоритм решения данных задач:

- 1) формирование информационной модели ТП КТ;
- 2) адаптация информационной модели к изменениям структуры (прибытие/убытие контейнеров) КТ;
- 3) выделение операций погрузочно-разгрузочных работ и перемещений контейнеров.

В процессе функционирования КТ и внешней среды происходит накопление информации. Полученная в процессе управления информация используется для достижения оптимального (в смысле принятого критерия) состояния КТ при взаимодействии с внешней средой.

Информационная система терминала включает в себя несколько потоков информации, одним из таких потоков является автоматизированная система управления (АСУ) КТ, в задачи данной системы входит отображение реального расположения контейнеров на терминале. Вся ПТ современных терминалов оснащена бортовыми терминалами, в которые заносятся все произведенные погрузочно-разгрузочные операции. Информация с бортовых терминалов поступает на диспетчерский пункт, где на мониторе отображается расстановка контейнеров на текущий момент времени, а также место расположения ПТ.

При работе по RTG-технологии RTG оборудуются датчиками, связанными со спутниковыми системами позиционирования. Датчики также размещены по площади терминала и на колесах тележек RTG. В кабине оператора RTG расположен компьютер, соединенный с центральным диспетчерским пунктом. RTG по сигналам с диспетчерского пункта подводится к месту грузовой операции. Докер-механизатор (оператор) включается в управление только при опускании или подъеме контейнера. Такие информационные системы также применяются на КТ, работающих по RMG технологии. Терминалы, работающие по RS-технологии, характеризуются возникновением качественно новых проблем, связанных с многовариантностью перестановки контейнеров. Задача размещения и перемещения контейнеров на таких терминалах слабо структурирована и не формализована. Отсутствие формализации перемещения контейнеров на таких терминалах обуславливает особенности алгоритмов управления КТ, заключающихся в сочетании математических и эмпирических методов и увеличении ответственности диспетчера за правильность выбора управляющего решения. Эти решения носят корректирующий характер и связаны с состоянием и перемещением ПТ, степенью и интенсивностью заполнения терминала контейнерами, количеством работающей ПТ.

Вторым информационным потоком является информация о поступающих и убывающих с терминала контейнерах и других грузах, прибывающих и убывающих автотранспортом, железнодорожным и морским транспортом. На основании этой информации формируется сменно-суточный план, судовая партия контейнеров. При поступлении информации о прибытии грузов, которые раньше не обрабатывались на терминале, разрабатывается РТК или ВТИП, что позволяет правильно спланировать требуемые ресурсы, сократить время оказания ПРУ и не повредить груз.

Список литературы

1. Братченко Н. Ю. Применение сетей Петри для анализа процессов управления уровнем обслуживания систем управления услугами связи / Н. Ю. Братченко, С. В. Яковлев // Успехи современного естествознания. — 2007. — № 5.
2. Ааласт В. ван дер. Управление потоками работ: модели, методы и системы / В. ван дер Ааласт, К. ван Хей; пер. с англ. В. А. Башкина, И. А. Ломазовой. — М.: Физматлит, 2007. — 316 с.
3. Голиков В. К. Сети Петри в ситуационном управлении и имитационном моделировании дискретных технологических систем / В. К. Голиков, К. Н. Матусов, В. В. Сысоев; под общ. ред. В. В. Сысоева. — М.: ИПРЖР, 2002. — 227 с.
4. Загидулин Р. Р. Имитационные модели для формирования расписаний в гибких производственных системах / Р. Р. Загидулин // Технология машиностроения. — 2004. — № 3.
5. Зуб И. В. Системный анализ содержания термина «Погрузочно-разгрузочная услуга транспортного терминала» / И. В. Зуб // Материалы межвуз. науч.-метод. семинара аспирантов / под ред. Л. Н. Буяновой. — СПб.: СПГУВК, 2007.
6. Котов В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
7. Ольхович Л. Б. Автоматизированная оптимизация бизнес-процессов / Л. Б. Ольхович // Вестник СПбГУ. Сер. 10. — 2008. — Вып. 3.
8. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. / Дж. Питерсон. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
9. Ямпольский Л. С. Управление дискретными процессами в ГПС / Л. С. Ямпольский [и др.]. — Киев: Техника; Вроцлав: Изд-во Вроцлав. политехн. ин-та; Токио: Токосё, 1992. — 251 с.

УДК 621.396

А. В. Саушев,

канд. техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова**МЕТОДЫ ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ГРАНИЧНЫХ ТОЧЕК ОБЛАСТЕЙ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****METHODS OF LINEAR APPROXIMATION OF BOUNDARY POINTS
OF AREAS OF OPERABILITY OF TECHNICAL SYSTEMS**

Приводится обзор известных методов линейной аппроксимации областей работоспособности технических систем, заданных множеством граничных точек. Рассматриваются методы и реализующие их алгоритмы, позволяющие снизить затраты времени и расширить сферу применения методов на произвольную форму областей работоспособности.

The review of known methods of linear approximation of areas of operability of the technical systems which have been set by a set of boundary points is provided. Methods and algorithms realizing them are considered they allow to lower expenses of time and to expand scope of methods for any form of areas of working capacity.

Ключевые слова: область работоспособности, техническая система, линейная аппроксимация, граничные точки области.

Key words: working capacity area, technical system, linear approximation, boundary points of area.