

КОНТЕЙНЕРНЫЙ ТЕРМИНАЛ КАК УЗЕЛ ГРУЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ



ЭТА СТАТЬЯ ЯВЛЯЕТСЯ ПРОДОЛЖЕНИЕМ ЦИКЛА ПУБЛИКАЦИЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ ОПЕРАЦИОННЫМ АСПЕКТАМ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ (СМ. НАЧАЛО В МП №4-2012). В ДАННОЙ ЧАСТИ ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА КАК ТОЧКИ СОПРЯЖЕНИЯ МОРСКОЙ И СУХОПУТНОЙ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА. РАССМОТРЕНЫ ТАКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, КАК ЧИСЛО СУДОВ, ЛИНИЙ, ЧАСТОТА СЕРВИСА, ТРЕБУЕМОЕ КОЛИЧЕСТВО ПРИЧАЛОВ В ИХ СВЯЗИ С ГРУЗОБОРОТОМ И ТРЕБУЕНЫМ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ ПОРТА. АНАЛОГИЧНО РАССМОТРЕНЫ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СМЕЖНОГО СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТА. ВЕСЬ АНАЛИЗ ПОСТРОЕН НА ПРОСТЫХ, НО БЛИЗКИХ К РЕАЛЬНОСТИ ПРИМЕРАХ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ СФОРМИРОВАТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВРЕМЕННОМ И ПРОСТРАНСТВЕННОМ МАСШТАБЕ ПРОЦЕССОВ, ЛЕЖАЩИХ В ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОГО КОНТЕЙНЕРНОГО БИЗНЕСА.

АЛЕКСАНДР КУЗНЕЦОВ, Д.Т.Н., ПРОФЕССОР КАФЕДРЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ И ЛОГИСТИКИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ АКАДЕМИИ ИМ. АДМИРАЛА С.О.МАКАРОВА

АНАЛИЗ РАБОТЫ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА

Морской терминал является точкой сопряжения двух транспортных систем: морской и сухопутной. Через терминал проходят материальные грузовые потоки импортного направления, доставляемые на него морскими судами и вывозимые с него наземным транспортом, и экспортного направления – доставляемые на терминал наземным транспортом и вывозимые

морскими судами (рис. 1).

Все эти грузопотоки не являются непрерывными («аналоговыми») – они имеют дискретную природу, поскольку образованы отдельными партиями транспортных средств. Морские суда характеризуются большими размерами судовых партий, сухопутный транспорт, особенно автомобильный, малыми. Как следствие, во многих случаях дискретный поток сухопутного транспорта может с достаточной

точностью интерпретироваться как непрерывный (рис. 2).

В данном разделе мы рассмотрим взаимодействие на терминале транспортных средств морской и сухопутной систем.

Предположим, что мы хотим организовать новую судоходную линию между двумя произвольными портами на разных океанских побережьях. Пусть для определенности расстояние D между этими портами составляет 8450 морских миль. На эту линию мы собираемся поставить суда, имеющие эксплуатационную скорость $V_{суд}$ в 22 узла. С этой скоростью каждое судно будет в сутки проходить расстояние $D_{сут} = 24 * V_{суд} = 528$ миль, и время в пути между выбранными портами составит $ТАБ = D/D_{сут} = 16$ суток (рис. 3).

Пусть в каждом порту захода судно обслуживается (принимает лоцмана, проходит подходным каналом, буксируется по акватории, швартуется, проходит входные комиссии, швартуется, разгружается, загружается, проходит выходные комиссии, отшвартовывается, буксируется, выходит из порта) в течение некоторого времени $T_{порт}$, например, 2 суток, что дает общую длительность кругового рейса $Трейс = 2 * (ТАБ + T_{порт}) = 2 * (16+2) = 36$ суток. Таким образом, одно судно может выполнить

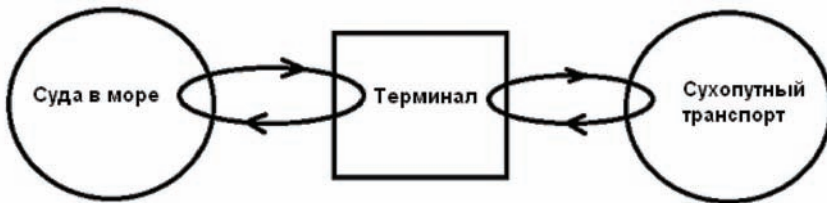


РИС. 1. ТЕРМИНАЛ КАК ИНТЕРФЕЙС ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

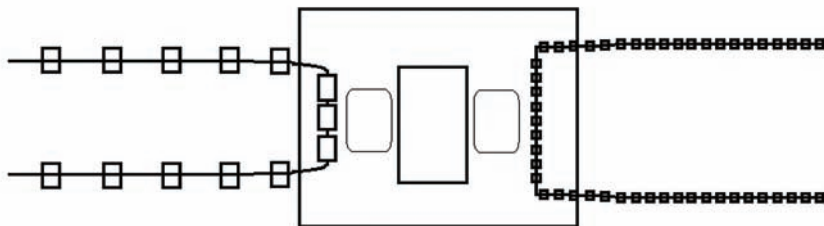


РИС. 2. ТЕРМИНАЛ КАК МЕСТО ОБРАБОТКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ



в год $N_{рейс} = 365/Т_{рейс} = 10$ круговых рейсов (рис. 4).

Заметим, что доля времени в пути $2 * T_{AB}$ от общей длительности кругового рейса $T_{рейс}$ составит величину $S_{ход} = 2 * T_{AB}/T_{рейс} = 32/36 = 0,89$, а доля стояночного времени $2 * T_{порт}$ будет соответственно $S_{порт} = 2 * T_{порт}/T_{рейс} = 4/36 = 0,11$.

Каждый заход судна в порт связан с определенными объемами выгружаемой и загружаемой партий груза, которые в сумме называют «размером судозахода». При загрузке судна V , например, 2500 TEU, эта величина может находиться в пределах от V до $2V$, что определяется характером коммерческой работы на маршруте: доставив по назначению полную партию груза, судно может не найти обратного груза на полную партию или получить равную по объему партию обратного направления.

В контейнерном бизнесе размер судозахода обычно считается равным $2V$ (рис. 5), поскольку в любом случае линии стараются привлечь в порт как экспортный груз, хотя бы порожние контейнеры, использованные ранее в

этом направлении для доставки импортного груза.

Обратим внимание, что загрузка судна V обычно составляет около 0,8–0,9 от полной вместимости судна V_{max} . Это объясняется тем, что на использование теоретической вместимости, наряду с необходимостью поддерживать расписание и не дожидаться заполнения провозного объема влияет соотношение тяжелых и легких контейнеров, их разные размеры, наличие опасных грузов, адресация в

разные порты и пр.

С учетом сказанного, вклад одного судна в годовой грузопоток составляет величину $Q_{суд} = 2 * V * N_{рейс} = 2 * 2500 * 10 = 50000$ TEU/год (рис. 6).

Средний интервал между заходами в порт одного судна составит величину $T_{суд} = 365/N_{рейс} = 365/10 = 36,5$ суток. Безусловно, этот интервал будет слишком велик для среднего грузоотправителя. Для поддержания привлекательной частоты сервиса судовладелец должен поставить на маршрут >>

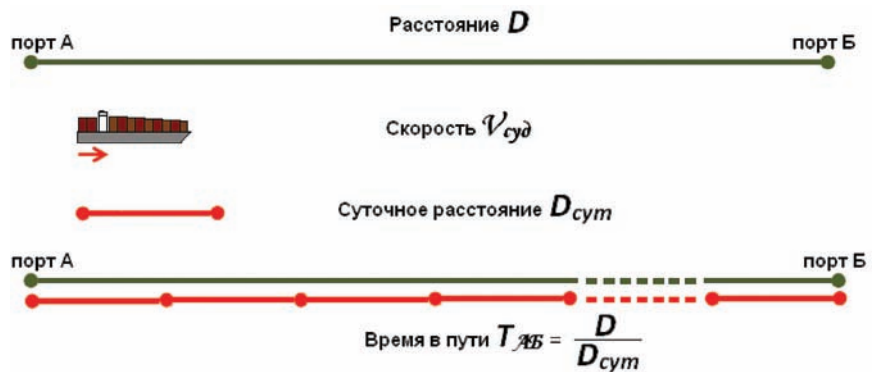


РИС. 3. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ В ПУТИ

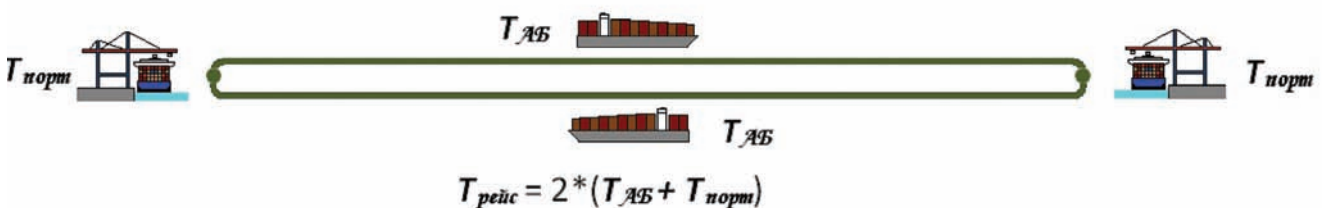


РИС. 4. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ КРУГОВОГО РЕЙСА

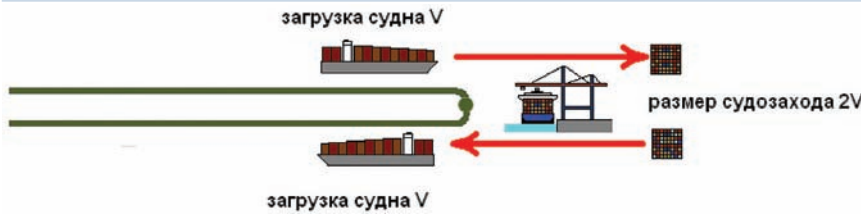


РИС. 5. ВМЕСТИМОСТЬ СУДНА И РАЗМЕР СУДОЗАХОДА

несколько судов, например, $N_{суд} = 10$. В этом случае интервал между судозаходами снизится до значения $T_{лин} = 365/N_{суд}/N_{рейс} = 3,65$ суток, таким образом обеспечивая сервис «дважды в неделю». Пять судов на этом маршруте $N_{суд} = 5$ обеспечат сервис «раз в неделю».

Грузооборот одного линейного маршрута в первом случае (сервис «дважды в неделю») составит величину $Q_{лин} = Q_{суд} * N_{суд} = 500000$ TEU/год. Если порт или терминал сумеет привлечь, скажем, $N_{лин} = 4$ линии – это позволит ему обеспечить годовой грузооборот на уровне $Q = N_{лин} * Q_{лин} = 2000000$ TEU/год (рис. 7).

Этот грузооборот предполагает общее число судозаходов $N_{зах} = Q/2/V = 400$ и средний интервал между судами (все суда всех линий) $T_{зах} = 365/N_{зах} = 0,9$ суток (рис. 8).

Как было указано выше, в любое время лишь часть $s_{ход}$ всех судов $N_{флот} = N_{лин} * N_{суд} = 40$, работающих на данном направлении, будет находиться в движении, и их число составит $N_{ход} = s_{ход} * N_{флот} = 35,6$ судов, в то время как $N_{порт} = s_{порт} * N_{флот} = 4,4$ судна всегда будут находиться под обработкой у причала в том или другом порту. Таким образом, в одном порту в сред-

нем должно все время обслуживаться $N_{обсл} = N_{порт}/2 = 2,2$ судна.

В любое время идущие морем суда будут перевозить общий объем груза $V_{ход} = N_{ход} * V = 35,6 * 2500 = 88891$ TEU. Как мы увидим позже, для обслуживания грузопотока в 2000000 TEU при типичном сроке хранения груза в порту 7 суток на площадке хранения контейнеров должно находиться в среднем около 40000 TEU. Таким образом, для нашего примера «запас на ходу» в два раза больше запаса в порту.

Средняя стоимость судна указанной вместимости составляет около \$100 млн. Таким образом, общая капитализированная стоимость всех $N_{флот} = 40$ судов, работающих на обслуживании форленда порта, составляет \$4 млрд – без учета стоимости контейнеров и прочего судового оборудования. Это намного превышает капитализацию порта.

АНАЛИЗ ТЫЛОВОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА: АВТОМОБИЛИ

Вначале для простоты рассуждений предположим, что суточный объем подвоза-отвоза на терминал составляет величину $Q_{сут} = Q/365 = 72$ TEU. Пусть мы используем автомобили

вместимостью $V_{авто} = 1$ с эксплуатационной скоростью $V_{авто} = 30$ км/час на маршруте между портом и пунктом назначения длиной, скажем, $D_{марш} = 30$ км.

Время в пути в этом случае будет составлять $T_{движ} = D_{марш}/V_{авто} = 30/30 = 1$ час. Если время обработки автомобиля в порту и на наземном терминале будет составлять $T_{терм} = 0,5$ час в каждом, то общее время кругового рейса автомобиля составит величину $T_{круг} = 2 * (T_{движ} + T_{терм}) = 3$ часа. При продолжительности смены $T_{смен} = 9$ час каждый автомобиль может выполнить $N_{круг} = T_{смен}/T_{круг} = 3$ поездки в смену.

В некоторых случаях автомобиль, доставивший груз по назначению, будет иметь обратную загрузку, в иных случаях этого не будет. В первом случае визит грузовика будет связан с завозом одного и вывозом еще одного контейнера, во втором – только завозом одного контейнера. Это учитывается введением коэффициента обратной загрузки $кобр$, значение которого заключено в интервале от 1 до 2. В нашем случае для простоты предположим полную загрузку автотранспорта, то есть $кобр = 2$.

Каждый автомобиль в смену обеспечит долю в грузообороте $q_{авт} = V_{авто} * N_{круг} * K_{г} = 6$ TEU за смену. Суточный объем подвоза-отвоза потребует, таким образом, работы $N_{авто} = Q_{сут}/q_{авт} = 12$ автомобилей (рис. 9).

На рисунке 9 показан график движения автомобилей на фоне временной сетки с шагом 15 минут. Например, автомобиль 1 проводит полчаса в порту А (коричневый прямоугольник), затем движется в течение часа от А до



РИС. 6. ВКЛАД ОДНОГО СУДНА В ГОДОВОЙ ГРУЗОПОТОК

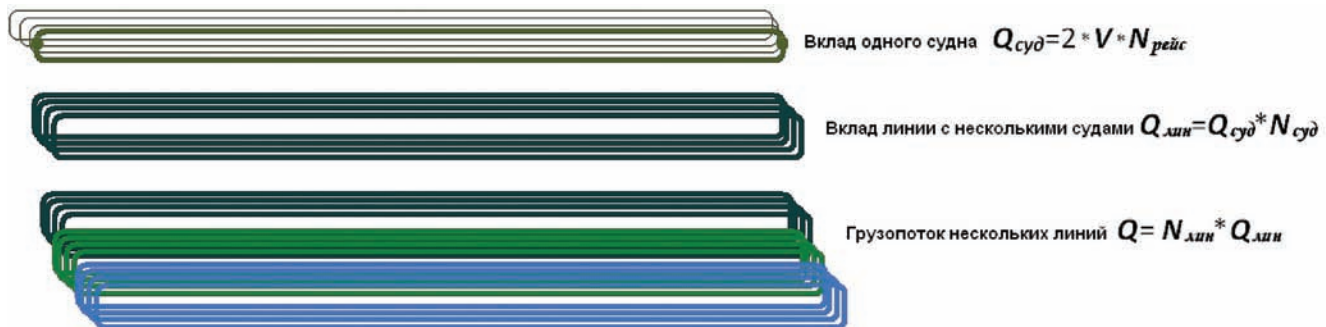


РИС. 7. ПОЛНЫЙ ГРУЗОБОРОТ НЕСКОЛЬКИХ ЛИНИЙ

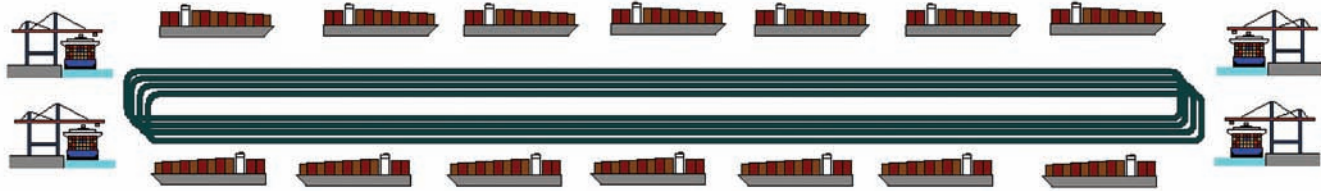


РИС. 8. ДВИЖЕНИЕ СУДОВ МЕЖДУ ПОРТАМИ

В, обрабатывается на терминале В полчаса (желтый прямоугольник), отправляется обратно в А и прибывает туда через час, тем самым завершая круговой рейс. На этой идеализированной картинке расписание каждого следующего автомобиля сдвинуто на 15 минут, чтобы за счет равномерного распределения избежать заторов и пиков.

Число автомобилей, прибывающих на терминал за час, есть $N_{\text{час}} = Q_{\text{сут}} / (k_{\text{обр}} / T_{\text{смен}} / V_{\text{авто}}) = 4$, что видно и на рисунке 9: в каждом вертикальном столбце всегда обрабатывается ровно 4 автомобиля, например, в первом столбце это автомобили №№ 1, 6, 7 и 12.

Интервал между прибытием автомобилей есть $T_{\text{инт}} = 1 / N_{\text{час}} = 0,25$ час = 15 мин, что также показывает рис. 9. Число автомобилей, обслуживаемых на каждом терминале, определяется числом прибывающих автомобилей за время обслуживания одного, то есть $N_{\text{терм}} = T_{\text{терм}} / T_{\text{инт}} = 2$, поскольку в любом столбце в точках А и В всегда обрабатываются по два автомобиля.

Каждый автомобиль проводит $T_{\text{движ}}$ в движении и $T_{\text{терм}}$ под обработкой, откуда доля времени движения составляет для этого случая $S_{\text{движ}} = T_{\text{движ}} / (T_{\text{движ}} + T_{\text{терм}}) = 67\%$ и доля времени обработки $S_{\text{терм}} = T_{\text{терм}} / (T_{\text{движ}} + T_{\text{терм}}) = 33\%$. Иными словами, в любое время $S_{\text{движ}}$ часть автомобилей будет находиться в движении и $S_{\text{терм}}$ в обслуживании. Отсюда для нашего примера в движении будет находиться $N_{\text{движ}} = N_{\text{авто}} * S_{\text{движ}} = 8$ автомобилей, и под обработкой $N_{\text{терм}} = N_{\text{авто}} * S_{\text{терм}} = 4$ (2 автомобиля – в точке А и 2 автомобиля – в точке В, как мы уже видели выше). Все это можно видеть на рисунке 7.

Общее число $N_{\text{движ}}$ автомобилей в круговом движении между точками А и В в среднем будет двигаться на расстоянии $d = D_{\text{марш}} * 2 / N_{\text{движ}} = 7,5$ км друг от друга.

После разбора этих примеров и вычислений их можно легко выполнить для более сложного случая грузопотока, рассмотренного для морского фронта с более реальными значениями длительностей смен, вместимостей

и коэффициентов обратной загрузки.

Эти данные приведены в таблице 1. Из нее видно, что в рассматриваемом примере нам потребуется привлечь для тыловой транспортировки около 302 автомобилей, и в обработке из них будут одновременно находиться 76 автомобилей (в порту и наземном терминале).

АНАЛИЗ ТЫЛОВОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА: ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА

Пусть для завоза и вывоза мы будем использовать железнодорожные поезда, состоящие из $N_{\text{плф}}$ (платформ), каждая из которых имеет длину $L_{\text{плф}}$ FEU (эквивалент сорокафутовых контейнеров) и высоту $H_{\text{плф}}$ ярусов. Воз-

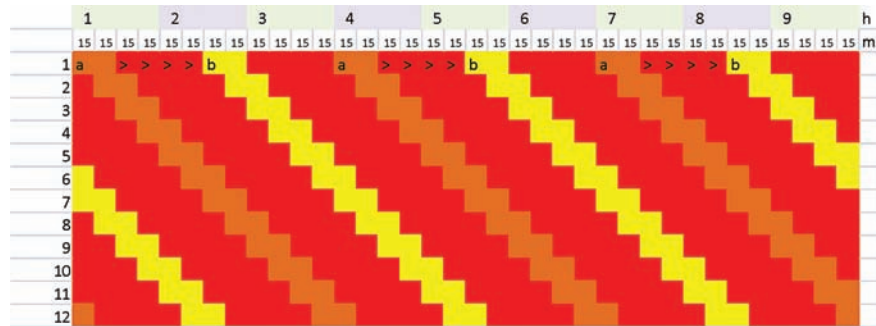


РИС. 9. ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Суточный объем	$Q_{\text{сут}}$	$Q_{\text{сут}} = Q / 365$	5479,45	[ТЕУ]
Вместимость а/м	$V_{\text{авто}}$		2	[ТЕУ]
Скорость	$V_{\text{авто}}$		30,00	[км/ч]
Длина маршрута	$D_{\text{марш}}$		30,00	[км]
Время в пути	$T_{\text{движ}}$	$T_{\text{движ}} = D_{\text{марш}} / V_{\text{авто}}$	1,00	[ч]
Время обработки	$T_{\text{терм}}$		0,50	[ч]
Время рейса	$T_{\text{круг}}$	$T_{\text{круг}} = 2 * (T_{\text{движ}} + T_{\text{терм}})$	3,00	[ч]
Длительность смены	$T_{\text{смен}}$		9,00	[ч]
Ходок в смену	$N_{\text{круг}}$	$N_{\text{круг}} = T_{\text{смен}} / T_{\text{круг}}$	3,00	[1/смена]
К обр. загрузки	$k_{\text{обр}}$		2,00	
Вклад одного а/м	$q_{\text{авт}}$	$q_{\text{авт}} = V_{\text{авто}} * N_{\text{круг}} * k_{\text{обр}}$	12	[ТЕУ/авто]
К-во а/м в сутки	$N_{\text{авто}}$	$N_{\text{авто}} = Q_{\text{сут}} / q_{\text{авт}}$	457	[1/сут]
А/м в час	$N_{\text{час}}$	$N_{\text{час}} = Q_{\text{сут}} / k_{\text{обр}} / T_{\text{смен}} / V_{\text{авто}}$	152	[1/час]
Интервал между а/м	$T_{\text{инт}}$	$T_{\text{инт}} = 1 / N_{\text{час}}$	0,01	[ч]
А/м на терминале	$N_{\text{терм}}$	$N_{\text{терм}} = T_{\text{терм}} / T_{\text{инт}}$	76	
Доля в движении	$S_{\text{движ}}$	$S_{\text{движ}} = T_{\text{движ}} / (T_{\text{движ}} + T_{\text{терм}})$	0,67	
Доля в стоянке	$S_{\text{терм}}$	$S_{\text{терм}} = T_{\text{терм}} / (T_{\text{движ}} + T_{\text{терм}})$	0,33	
Число в движении	$N_{\text{движ}}$	$N_{\text{движ}} = N_{\text{авто}} * S_{\text{движ}}$	304	
Число в стоянке	$N_{\text{терм}}$	$N_{\text{терм}} = N_{\text{авто}} * S_{\text{терм}}$	152	
Интервал между а/м	d	$d = D_{\text{марш}} * 2 / N_{\text{движ}}$	0,20	[км]

ТАБЛИЦА 1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СЛОЖНОГО СЛУЧАЯ ГРУЗОПОТОКА

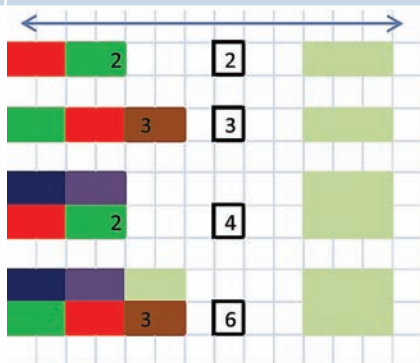


РИС. 10. ВМЕСТИМОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ

можная вместимость одной платформы условно показана на рисунке 10.

Пусть полная вместимость поезда составит величину $V_{\text{поезд}} = N_{\text{плф}} * L_{\text{плф}} * H_{\text{плф}} = 54 * 3 * 2 = 324 \text{ FEU} = 648 \text{ TEU}$. Эти показатели типичны, например, для терминалов Западного побережья США.

Если нам удастся организовать движение $N_{\text{поезд}} = 6$ поездов в сутки, то суточный грузооборот составит величину $q_{\text{сут}} = 2 * N_{\text{поезд}} * V_{\text{поезд}} = 7776 \text{ TEU/сутки}$ (при условии полной обратной загрузки каждого состава). Работая в неделю $w_{\text{нед}} = 5$ дней, эти поезда обеспечат грузооборот $q_{\text{нед}} = q_{\text{сут}} * w_{\text{нед}} = 38880 \text{ TEU}$ в неделю и, соответственно, грузооборот на уровне $Q = q_w * 52 = 2021760 \text{ TEU}$ в год.

При вместимости контейнерного состава 120 TEU, типичной для Европы и России, и работе все дни недели поезда на терминале придется принимать каждый час.

РАСЧЕТ ЧИСЛА ПРИЧАЛОВ

Пусть по-прежнему мы хотим обеспечить через терминал грузооборот $Q = 2000000 \text{ TEU/год}$, и он реализуется

теми же судами вместимостью $V = 2500 \text{ TEU}$. Мы продолжаем считать, что каждое судно в порту выгружает и загружает на борт полную судовую партию, тем самым обеспечивая размер судозахода в $V_{\text{суд}} = 2 * V = 5000 \text{ TEU}$.

Для реализации планируемого грузопотока Q нам необходимо обеспечить $N = Q/V = 400$ судозаходов. Соответственно, средний интервал между ними будет составлять $T_{\text{суд}} = 8760/N = 21,9$ час.

При технической производительности причального перегружателя (STS) $P_0 = 31,5$ движений в час и значении TEU-фактора $K_{\text{теу}} = 1,75$ (TEU/контейнер) каждый из них обеспечит перевалку $P = P_0 * K_{\text{теу}} = 55,1 \text{ TEU}$. Разместив для обработки судна $N_{\text{стс}} = 2$ перегружателя, мы получим производительность грузовых операций одного причала на уровне $R_{\text{прич}} = P * N_{\text{стс}} = 110,25 \text{ TEU/час}$.

Судно с размером судозахода в $V_{\text{суд}} = 2 * V = 5000 \text{ TEU}$ будет обрабатываться в течение $T_{\text{обр}} = V_{\text{суд}}/R_{\text{прич}} = 45,4$ час. Пусть непроизводительные операции составят еще $T_{\text{всп}} = 2,6$ час (таможенный, иммиграционный, пограничный, санитарный, документальный и прочий контроль), тогда полное стояночное время составит $T_{\text{стоян}} = T_{\text{обр}} + T_{\text{всп}} = 48$ час. Все N судов, которые должны зайти в порт, требуют для своей обработки всего $T_{\text{реб}} = T_{\text{стоян}} * N = 19181$ часов в год.

Один причал с коэффициентом готовности $K_{\text{готов}} = 1$ (то есть мы полностью исключаем ремонт, обслуживание, метеословия, аварии и пр., что сделано для сравнения с результатами предыдущих расчетов) обеспечивает бюджет рабочего времени $T_{\text{прич}} = 8760 * K_{\text{готов}} = 8760$ часов в год.

Таким образом, общее число причалов в порту N_0 должно быть таково,

чтобы обеспечить совокупный бюджет больше требуемого $T_{\text{порт}} = N_0 * T_{\text{прич}} \geq T_{\text{реб}}$. В нашем случае нижняя оценка числа причалов составит величину $N = 19181/8760 = 2,2$.

Это, кстати, в точности совпадает со значением, полученным нами при анализе морского фронта чисто арифметическими методами. Иными словами, нам необходимо иметь как минимум три причала $N_0 = 3$.

Насколько именно больше должна быть величина $T_{\text{порт}}$ по сравнению с $T_{\text{реб}}$, определяется требованиями качества обслуживания, в первую очередь, длительностью ожидания освобождения причала. Иными словами, занятость причала $K_{\text{зан}} = T_{\text{реб}}/T_{\text{порт}}$ должна быть достаточно низка для получения приемлемого значения отношения времени ожидания ко времени обслуживания $W = T_{\text{ожид}}/T_{\text{стоян}}$. Здесь $T_{\text{ожид}}$ есть среднее время, которое судно будет проводить в очереди на обслуживание.

Приемлемым значением отношения времени ожидания ко времени обслуживания W является 0,3 (в среднем судно будет находиться в очереди 30% от времени обслуживания), и требуемое для этого число причалов может быть найдено из графика, полученного исходя из теории массового обслуживания (рис. 11).

В нашем случае значение $K_{\text{зан}} = T_{\text{реб}}/T_{\text{порт}} = T_{\text{реб}}/(N_0 * T_{\text{прич}}) = T_{\text{реб}}/(N_0 * 8760 * K_{\text{готов}}) = 19181/(3 * 8760 * 1) = 0,73$ делает необходимым рассмотреть вариант использования еще одного причала, поскольку управляемый параметр находится на грани приемлемого значения.

ВЫВОДЫ

1. Обслуживание судов в порту является «надводной частью айсберга», образованного капиталоемким бизнесом линейного судоходства.

2. Хранимые в порту по технологическим причинам объемы контейнерного груза сопоставимы с объемами, в каждый момент времени находящимися на борту судов.

3. Любые сбои и неравномерности транспортировки могут приводить к резким всплескам требований к терминальным услугам, а любые сбои в работе портов – к нарушениям всего пространственно-временного шаблона организации работы транспорта.

4. Плотность морской составляющей транспортного грузопотока, обусловленная использованием судов большой вместимости, приводит к крайне жестким требованиям к пропускной способности системы смежного сухопутного транспорта. ■

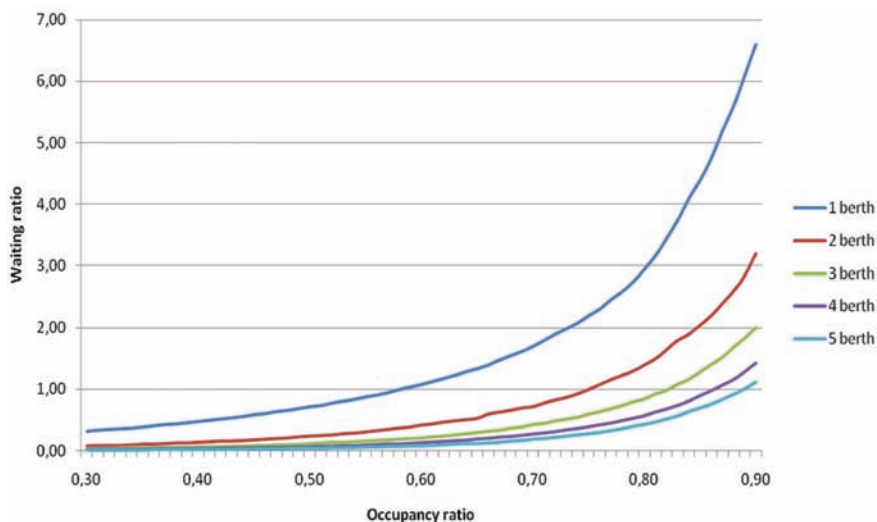


РИС. 11. ОТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ КО ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТ ЗАНЯТОСТИ И ЧИСЛА ПРИЧАЛОВ