

# БУФЕРНАЯ РОЛЬ МОРСКОГО ТЕРМИНАЛА И ОЦЕНКА РАЗМЕРА ЕГО СКЛАДА



ЛЮБОЙ ТЕРМИНАЛ ЯВЛЯЕТСЯ НЕКОТОРОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ, СВЯЗАННОЙ ВОЕДИНО ПРОХОДЯЩИМ ЧЕРЕЗ ЕЕ ЗВЕНЬЯ МАТЕРИАЛЬНЫМ ГРУЗОПОТОКОМ. КАЖДЫЕ ЗВЕНЬЯ ИМЕЮТ РАЗЛИЧНЫЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ (МОЩНОСТИ ОПЕРАЦИЙ). ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВСЕЙ ЦЕПИ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ МОЩНОСТЬЮ САМОГО СЛАБОГО (НИЗКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО) ЗВЕНА, КОТОРОЕ РАБОТАЕТ С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ (СТЕПЕНЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОСТИ). ПОСКОЛЬКУ ГРУЗОПОТОК ЕДИН, ТО ОСТАЛЬНЫЕ ЗВЕНЬЯ РАБОТАЮТ С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕМ НИЖЕ, ЧЕМ ВЫШЕ ИХ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ.

МОЩНОСТЬ МОРСКИХ ПОРТОВ ПРАКТИЧЕСКИ НИКОГДА НЕ ОГРАНИЧИВАЕТСЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИЧАЛЬНОГО ФРОНТА, КОТОРАЯ ИЗУЧАЛАСЬ В ПРЕДЫДУЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ НА ДАННУЮ ТЕМУ (СМ. НАЧАЛО В «МП» №4, №6 ЗА 2012 Г.). ОГРАНИЧИВАЮЩИМ ЗВЕНОМ ЧАЩЕ ВСЕГО СЛУЖАТ ИЛИ ВОЗМОЖНОСТИ СМЕЖНОГО ТРАНСПОРТА, ИЛИ ЖЕ ИНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗВЕНЬЯ САМОГО ТЕРМИНАЛА. В ЭТОЙ СТАТЬЕ БУДЕТ ИЗУЧЕНА ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕРМИНАЛА – СКЛАДА.

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

**Р**оль склада в портовых операциях невозможно переоценить, она изучалась различными авторами и вошла во многие работы, ставшие каноническими [1]. Контейнерные транспортно-технологические схемы привели к коренному изменению этой роли, повышению требований к качеству складских операций и точности оценки требуемых ресурсов. Это понимание нашло отражение в работах многих зарубежных [2] и отечественных ученых [3]. В данной работе проводится простой алгебраический анализ для исследования поведения склада контейнерного терминала, который позволяет сформировать целостное впечатление о назначении и свойствах этого важнейшего функционального элемента.

## ПРЯМАЯ ПЕРЕВАЛКА

Перед изучением контейнерного терминала рассмотрим сначала бо-

лее наглядный случай произвольного грузопотока одного направления, импортного или экспортного. Для простоты предположим, что этот судопоток реализован одинаковыми по вместимости судами, приходящими в порт через регулярные интервалы времени. Это же предположение сделаем для наземного транспорта.

Очевидно, что в этом случае наличие груза на складе порта будет определяться разницей между входным потоком на терминал и выходным потоком с него. На рисунке 1 показан равномерный постоянный поток поступления груза (1 а) и такой же равномерный постоянный поток вывоза груза с терминала (1 б). Поскольку интенсивности завоза и вывоза груза (скорости или количество груза в единицу времени, или наклон кривой на графике) в этом случае равны, то и объем хранимого груза, являющийся собой мгновенную разность входного и выходного потоков, в этом случае

равен нулю (1 с). Этот случай, как известно, называется «прямой перевалкой» и характеризуется отсутствием необходимости склада на территории терминала.

Отсутствие склада является безусловным преимуществом для оператора терминала, но достигается оно лишь ценой уравнивания интенсивности обработки сухопутного транспорта (характеризующегося малыми грузовыми партиями и низкой стоимостью эксплуатации транспортных средств) и морского транспорта (характеризующегося большими грузовыми партиями и высокой стоимостью эксплуатации).

## ПОЯВЛЕНИЕ ГРУЗА НА СКЛАДЕ

Оператор морских перевозок обычно требует, чтобы его транспортные средства (суда) обрабатывались с максимальной скоростью, то есть с максимальной производительностью, и

не находились в очереди в ожидании этого обслуживания. Оператор же сухопутных перевозок обычно требует такого от порта не может по чисто деловым соображениям, являясь клиентом «второго сорта» по причине более низкой капитализации. Как следствие, производительность морских грузовых операций всегда оказывается существенно выше производительности тыловых операций. Рисунок 2 показывает появление груза на складе как следствие этой неравномерности (импортное направление).

Поскольку входной и выходной потоки за достаточно длинный период  $T$  (например, год) представляют собой один и тот же грузопоток через терминал  $QT$ , то очевидны соотношения:

$$Q_{вх} = Q_{вых} = QT$$

$$R_{вх} * T * k_{вх} = R_{вых} * T * k_{вых}$$

$$R_{вх} * k_{вх} = R_{вых} * k_{вых}$$

$$R_{вх} / R_{вых} = k_{вых} / k_{вх}$$

Здесь  $R_{вх}$  и  $R_{вых}$  обозначают интенсивности операций по обработке входного и выходного потоков, а  $k_{вх}$  и  $k_{вых}$  — коэффициенты использования перегрузочного оборудования на соответствующих грузовых фронтах. Очевидно, что высокопроизводительное оборудование справляется с обработкой груза быстрее и вынуждено простаивать пока с этим же объемом работы справится низкопроизводительное оборудование. Хотя высокопроизводительное оборудование стоит дороже, степень его использования ниже, поскольку она обратно пропорциональна производительности.

Рисунок 3 показывает различную динамику поведения объема накапливаемого на складе груза в зависимости от производительности морских грузовых операций. Производительность  $P$  определяется временем  $T_{обр}$ , требуемым для обработки (здесь — разгрузки) судовой партии объемом  $V$ . Иными словами, производительность есть  $P = V / T_{обр}$ . Если производительность морских операций будет ниже производительности тыловых операций, объем хранения груза на складе будет неограниченно возрастать.

Как мы убедились, чем выше производительность операций по обработке судна, тем ниже степень использования причального оборудования. Этот факт является ценой, которую порт должен платить за свою конкурентоспособность. При этом чем ниже производительность, тем меньше максимальный объем хранения груза на складе. В то же время максимальный объем хранения всегда вдвое больше среднего значения, поскольку «зубцы пилы» представлены сочетанием двух

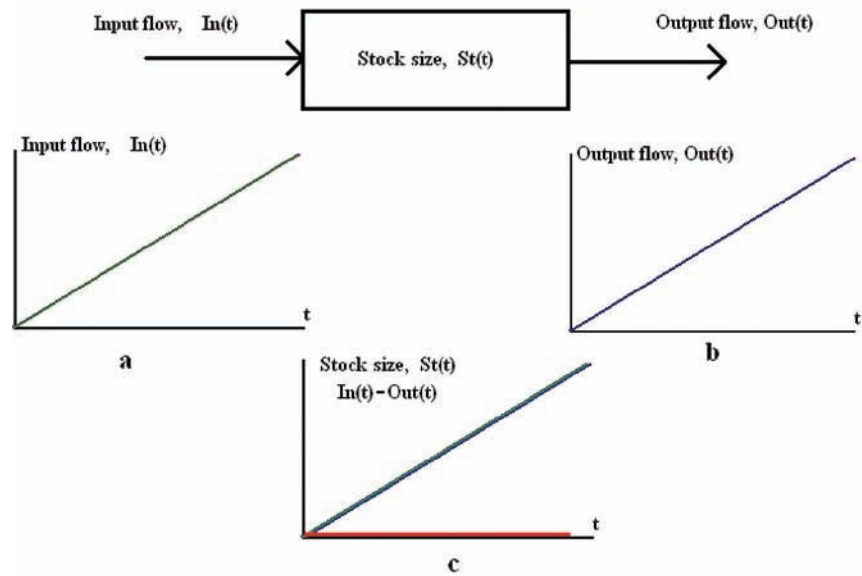


РИС. 1. ПРЯМАЯ ПЕРЕВАЛКА ГРУЗА: А – ВХОДНОЙ ПОТОК; В – ВЫХОДНОЙ ПОТОК; С – ОБЪЕМ ХРАНЕНИЯ

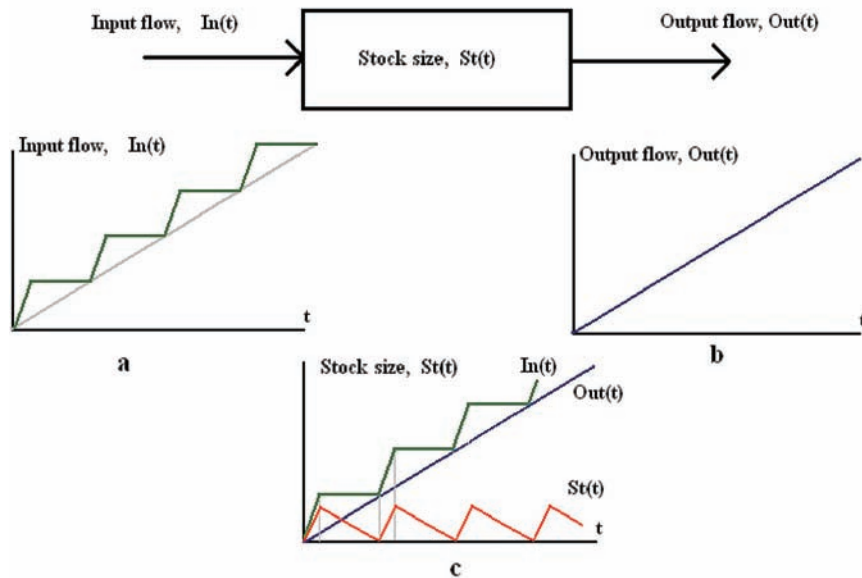


РИС. 2. ГРУЗООБРАБОТКА ЧЕРЕЗ СКЛАД: А – ВХОДНОЙ ПОТОК; В – ВЫХОДНОЙ ПОТОК; С – ОБЪЕМ ХРАНЕНИЯ

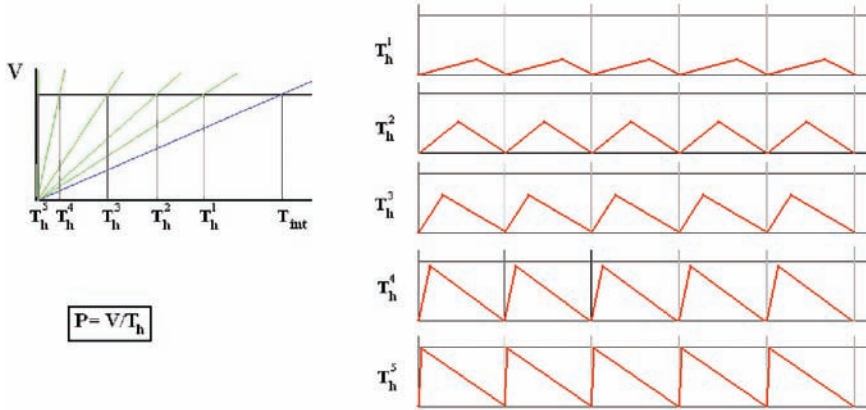


РИС. 3. ДИНАМИКА СКЛАДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОРСКИХ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

прямоугольных треугольников, и использование максимальной вместимости склада (его «размера») составляет 50%.

Аналогичные рассуждения справедливы и в отношении экспортного грузопотока. Как и в случае импортного, чем больше разница производительности морского и тылового фронтов, тем больший объем груза на складе требуется для их согласования.

### КОНТЕЙНЕРНЫЙ СКЛАД

Теперь мы можем рассмотреть поведение склада контейнерного терминала. Принципиальной разницей этого типа терминалов является обработка через одни и те же мощности грузов одновременно экспортного и импортного направлений. Очевидно, что если после разгрузки каждой единицы импортного груза с судна имеется возможность сразу же погрузить на него грузовую единицу экспортного направления (так называемый «двой-

ной подъем» или параллельная работа по разгрузке-погрузке), то можно говорить о прямом варианте работы в импортно-экспортном направлении.

В практических случаях такой вариант работы представляется маловероятным по причине крайней сложности планирования операций с учетом конфликтности требований плана разгрузки-погрузки и каргоплана самого судна.

Пришедшее в порт судно обычно сначала выгружает всю импортную грузовую партию на причал и лишь после этого начинает погрузку с причала экспортной партии (последовательная работа по разгрузке-погрузке). Каково бы ни было время обработки судна (разгрузка плюс погрузка), в течение этого времени на терминал параллельно прибывает и убывает по суше количество груза, которое через морской фронт обрабатывается последовательно. Отсюда производительность морского фронта должна быть как мини-

мум вдвое выше производительности тылового фронта. Это будет соответствовать случаю постоянной занятости причала грузовыми операциями: весь интервал судозахода будет занят разгрузкой и последующей погрузкой одного судна.

В случае времени обслуживания, меньшего интервала судозахода, минимально возможная производительность морского фронта должна позволить за половину этого интервала разгрузить судно, а за вторую половину интервала – погрузить его (в предположении того, что равномерные импортные и экспортные тыловые грузопотоки взаимно поглощаются). Это показано на рисунке 4, где красным цветом показана динамика изменения импортного склада, синим – экспортного склада, а черным – полного объема хранения.

Для первого случая (минимально возможной производительности складских операций) этот процесс подробно рассмотрен на рисунке 5, где объясняется формирование совпадающих по форме профилей импортного и экспортного склада. Аналогично могут быть проанализированы и остальные случаи.

Кроме графических построений, можно вывести несколько алгебраических зависимостей:

1. Пусть подвозка и отвозка груза по суше осуществляются с постоянной интенсивностью операций  $V/T_{int}$ .

2. Пусть погрузка и разгрузка судна осуществляются в течение интервала  $T_{op}$  с постоянной интенсивностью операций  $V/T_{op}$ .

3. Сначала выполняется разгрузка судна. К концу разгрузки из выгруженной партии  $V$  некоторая часть  $V \cdot T_{op}/T_{int}$  уже покидает порт.

4. После завершения разгрузки судна немедленно начинается его погрузка, которая продолжается в течение интервала  $T_{op}$  с интенсивностью  $V/T_{op}$ . К тому моменту, когда она начинается, в порт еще не прибыл весь объем груза для формирования всей партии  $V$ , и эта недостающая часть  $V \cdot T_{op}/T_{int}$  доставляется на склад во время погрузки судна.

5. Как следствие, общий объем груза на складе терминала имеет динамику, показанную на рисунке 6.

6. Рисунок 6 позволяет рассчитать требуемый объем хранения груза на складе терминала, а также средний срок хранения груза на терминале, который является следствием накопления и расформирования грузовых партий (рисунок 7).

Как мы уже установили ранее,  $0 \leq T_{op} \leq T_{int}/2$ . Значение  $T_{op} = 0$  отра-

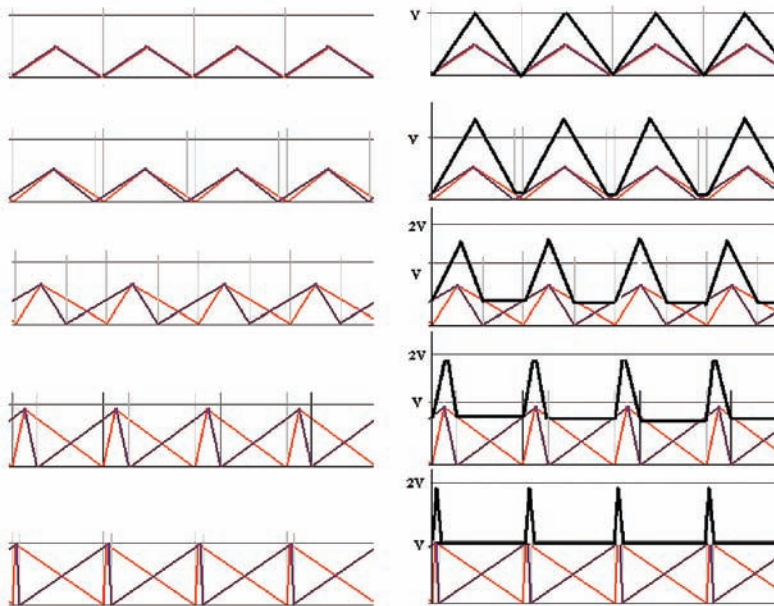


РИС. 4. ДИНАМИКА СКЛАДА ИМПОРТНОГО И ЭКСПОРТНОГО НАПРАВЛЕНИЙ



жает идеальный случай неограниченно высокой интенсивности операций.

В этом случае максимальный объем груза на складе наблюдается в короткий период времени и равен  $2V$ : он соответствует моменту времени, когда импортная партия выгружена, а экспортная партия еще не начата погрузкой. Средний объем складирования составляет величину  $S=V \cdot T_{int}$ , размер склада обеспечивает  $2VT_{int}$  судосуток хранения, что определяет степень использования вместимости склада на уровне 0,5.

Уровень  $T_{op}=T_{int}/2$  задает значение минимально возможной производительности операций. Максимальный объем склада есть  $V$ ; площадь объема складирования в складо-сутках есть  $S=V(T_{int}-T_{op})=VT_{int}/2$ ; склад обеспечивает возможность хранения  $VT_{int}$ , что дает степень использования на уровне 0,5.

Итак, мы видим, что различные уровни производительности сказываются на объеме хранения, оставляя степень использования склада на одном и том же уровне – 50%. Это справедливо для любой интенсивности операций. Действительно, из рисунка 7 мы имеем (рисунок 8).

**СРОК ХРАНЕНИЯ**

Как мы уже установили, накопление экспортной и расформирование импортной партии груза связаны с определенным сроком пребывания груза на терминале. Этот срок обычно описывается параметром, называемым «средним сроком хранения»  $T_{dwell}$ .

Кроме рассмотренных «естественных» причин пребывания груза на терминале, имеется еще ряд причин внешнего свойства – коммерческих, логистических, административных и пр. Эти причины вызывают увеличение среднего срока хранения по сравнению с указанным выше.

При этом следует отметить, что интенсивности операций в общем случае остаются прежними – они лишь вовлекают не вновь прибывший на терминал груз, а груз, прибывший некоторое время ранее. Если обозначить это время задержки операций как  $T_{delay}$ , то процесс грузообработки можно представить рисунком 9.

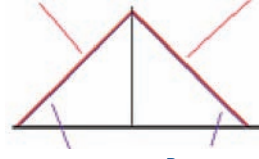
Эту новую компоненту склада можно выразить в виде хорошо известного соотношения (рисунок 10).

Действительно, из подобия треугольников на рисунке 10 мы имеем  $Q/365=E/T_{delay}$  и далее  $E=QT_{delay}/365$ .

Поскольку  $Q$  реализуется  $N$  судами вместимостью  $V$ , или  $Q=N \cdot V$ , мы также можем получить

Импортный груз разгружается с судна со скоростью вдвое большей отвозки по суше. Следовательно, импортный склад растет со скоростью, равной скорости вывоза.

Разгрузка судна прекращается, и отвозка по суше начинает вывозить накопившийся объем груза.



Экспортный груз завозится по суше со скоростью, равной скорости отвозки. Морской фронт занят операциями разгрузки, и экспортный склад растет с этой скоростью.

Разгрузка судна прекращается, начинается погрузка со скоростью вдвое большей скорости подвоза. Хотя завоз груза по суше продолжается, удвоенная скорость погрузки судна позволяет погрузить весь груз со склада на судно.

РИС. 5. ПОЯСНЕНИЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

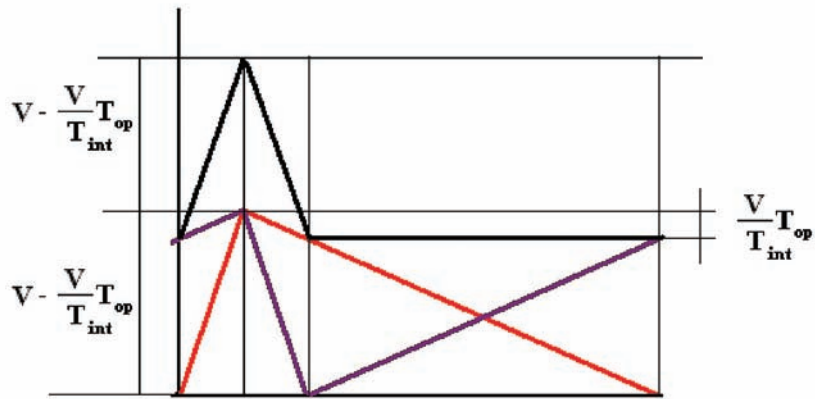


РИС. 6. ФОРМИРОВАНИЕ СУММАРНОГО СКЛАДА

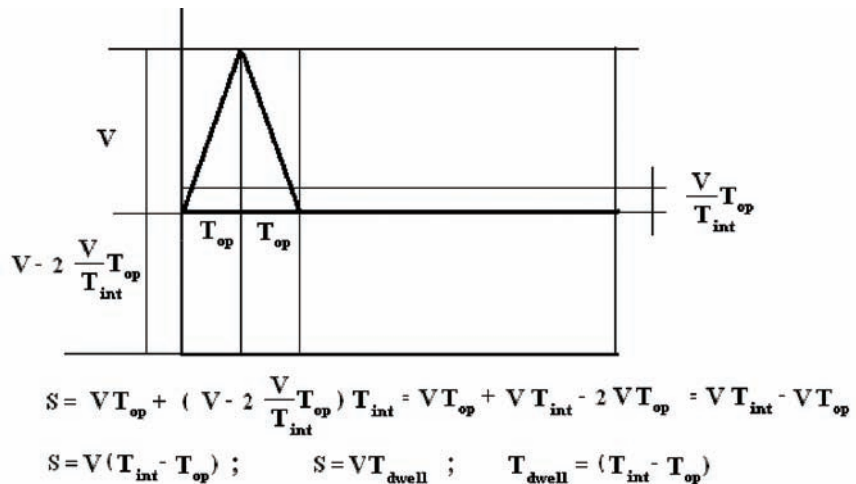


РИС. 7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СУММАРНОГО СКЛАДА

$$Max = V + V - 2 \frac{V}{T_{int}} T_{op} = 2V(1 - \frac{T_{op}}{T_{int}}) = 2V \frac{(T_{int} - T_{op})}{T_{int}};$$

$$S_{max} = T_{int} Max = 2V(T_{int} - T_{op})$$

$$utilisation = \frac{S}{S_{max}} = \frac{V(T_{int} - T_{op})}{2V(T_{int} - T_{op})} = \frac{1}{2}$$

РИС. 8

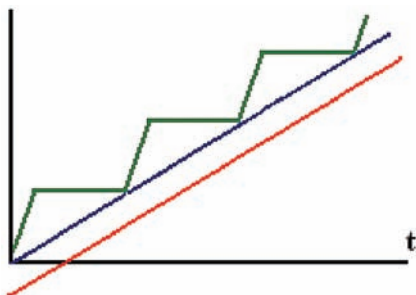


РИС. 9. ЗАДЕРЖКА ВЫВОЗА ГРУЗА СО СКЛАДА

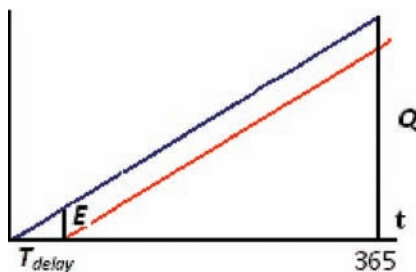


РИС. 10. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ СКЛАДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДЕРЖКИ ВЫВОЗА

иное выражение:  $E = VT_{delay} / T_{int}$ .

Смысл вновь полученной формулы очевиден:  $T_{delay} / T_{int}$  есть число судов, прибывающих на терминал в течении срока хранения, то есть дает оценку числа одновременно хранимых судовых партий. Умножение этой величины на величину объема партии  $V$  дает величину склада, получаемого из-за этой задержки обработки грузов.

Эта величина может быть весьма значительна. Если объем годового грузопотока равен 2 млн TEU, а средний срок хранения составляет 7 суток, то объем складирования составит около 40 тыс. TEU. Эти величины делают незначительными всплески, вызываемые обработкой судов вместимостью, скажем, 2500 TEU. В случае же больших судов и малых сроков хранения доминирующей может стать именно эта компонента.

Третьей компонентой, отвечающей за появление груза на складе терминала, является стохастический характер транспортных потоков. Кроме того, что вместимости судов и размеры судовых партий могут меняться, существенную роль может оказывать неравномерность прибытия транспортных средств. Естественно, что наиболее

явно это проявляется для транспортных потоков с большими судовыми партиями, то есть в нашем случае – морских судов.

Действительно, пусть мы рассчитывали справиться с накоплением и расформированием судовых партий так, как это показано на рисунке 11.

Наличие неравномерностей в расписании прибытия судов будет приводить к переполнению склада прибывшим на судне импортным грузом (при еще не вывезенном остатке предыдущей партии) и нехватке груза для погрузки экспортных партий при раннем прибытии и накоплению импортного груза (при отсутствии вывоза экспорта) при опозданиях. Это иллюстрирует рисунок 12.

Итак, на динамику поведения склада оказывают влияние три основных фактора: 1) необходимость согласования транспортных партий; 2) неравномерности объемов грузовых партий и интервалов прибытия судов и 3) необходимость хранения контейнеров на терминале. В зависимости от конкретных обстоятельств, каждый из них может быть доминирующим.

Например, мировая практика крупных контейнерных портов показывает,

что если терминал принадлежит одной линии (dedicated terminal), то, как правило, основная часть импортного и экспортного груза обрабатывается во время интервала между судозаходами. При этом стратегии раздельного или смешанного хранения груза разных направлений не экономят требуемую вместимость склада: в любом случае необходимо иметь возможность хранить две судовые партии, а использование этого ресурса находится на уровне около 50%.

Сдругой стороны, в первом случае для обслуживания пикового всплеска может использоваться отдельный «буферный» штабель, расположенный вблизи причальной зоны и не подходящий для обычного складирования контейнеров. Как правило, этот штабель содержит экспортные контейнеры, выкладываемые в обратном порядке по отношению к плану загрузки (каргоплану).

Если на терминале организовано обслуживание нескольких линий или же если груз задерживается на терминале по административным или коммерческим причинам (например, по требованию таможни или вследствие отсутствия у импортера своего склада), то формирование и расформирование партий могут занимать больше времени, чем интервал подхода судов. Это было показано на рисунках 9-10.

В этом случае средние значения заполнения склада будут определяться средними сроками хранения на терминале контейнеров импортного и экспортного направления, которые могут отличаться. Вопрос раздельного и совместного хранения принципиально решается аналогично предыдущему случаю.

Реальная картина импортного и экспортного склада контейнерного терминала в случае действия всех трех факторов может быть достаточно сложной.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ветренко Л.Д. Управление работой морского порта: Учебное пособие для вузов водного транспорта. – СПб.: ЭЛМОП, 1995. – 79 с.: ил.
2. Container Terminal Planning – A Theoretical Approach / Itsuro WATANABE. World Cargo News, 2003. p.245.
3. Погодин В.А. Мощность портового контейнерного терминала как фактор конкурентоспособности // Научно-технические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации объектов водного транспорта: Сборник научных трудов. – СПб.: Судостроение, 2005. 156-167 стр. ■

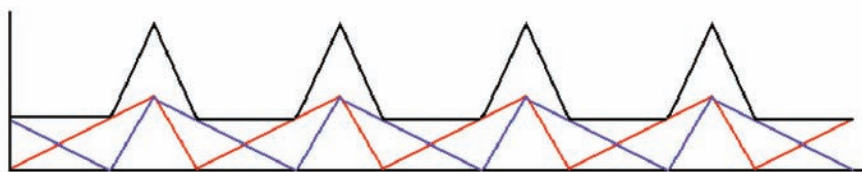


РИС. 11. РАСЧЕТНАЯ ДИНАМИКА ИМПОРТНОГО, ЭКСПОРТНОГО И СУММАРНОГО СКЛАДА

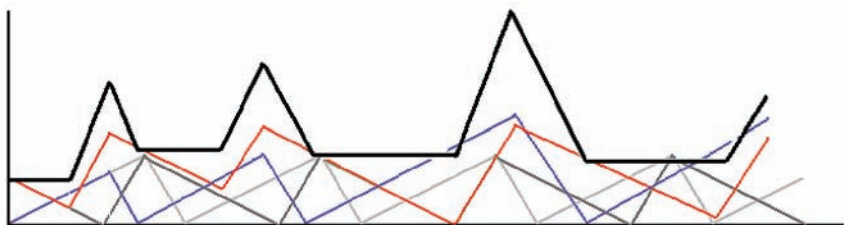


РИС. 12. ДИНАМИКА ИМПОРТНОГО, ЭКСПОРТНОГО И СУММАРНОГО СКЛАДА ПРИ НЕРАВНОМЕРНОСТЯХ