

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: КАК ЭТО РАБОТАЕТ

В ПРЕДЫДУЩИХ ДВУХ ПУБЛИКАЦИЯХ (НАЧАЛО СМ. «К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ КОШЕК» В «МП» №6-2013, «ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ В ПОРТУ ТАМАНЬ» В «МП» №7-2013) БЫЛИ ПРИВЕДЕНЫ НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЗНАКОМСТВА С СОВРЕМЕННЫМ ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ПОРТОВ, А ТАКЖЕ ОПИСАНА КОМПОНЕНТА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, СВЯЗАННАЯ С ИНТЕРФЕЙСОМ «СУДНО-БЕРЕГ». В ЭТОЙ ЧАСТИ ОПИСЫВАЕТСЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ.

ПО УКАЗАННОЙ В КОНЦЕ ПУБЛИКАЦИИ ССЫЛКЕ ЧИТАТЕЛИ СМОГУТ НАЙТИ ДЕМОСТРАЦИОННУЮ ВЕРСИЮ МОДУЛЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО РАСЧИТАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MSExcel. АВТОРЫ НАДЕЮТСЯ, ЧТО САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НАШИХ ЧИТАТЕЛЕЙ БУДУТ СПОСОБСТВОВАТЬ ПОНИМАНИЮ ПРИРОДЫ ОПИСЫВАЕМЫХ В СТАТЬЕ НОВЫХ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ, ИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПРЕИМУЩЕСТВ.

А.Л.КУЗНЕЦОВ, Д.Т.Н., ПРОФЕССОР ГУМРФ ИМ. АДМИРАЛА С.О.МАКАРОВА; **И.М.РУСУ**, ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ООО «РМП-ТАМАНЬ»; **М.Н.ГОРЫНЦЕВ**, К.Т.Н., ДИРЕКТОР ПРОЕКТА ОАО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»; **С.Н.ПРОТОПОВИЧ**, ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ООО «ТРАНСПОСОФТ»; **А.М.КОРШУНОВА**, ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА ООО «НПЦЕНТР СММ»; **Е.Д.ГРОМОВ**, РУКОВОДИТЕЛЬ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ООО «НПЦЕНТР СММ».

ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ

Имитационная модель порта может использоваться самыми разными категориями специалистов, что объясняется широким, практически неограниченным, спектром ее функциональных свойств. Тем не менее, глубина анализа, его направленность и границы всего исследования изменяются от задачи к задаче.

Финансовых аналитиков интересуют одни аспекты функционирования, обычно связанные с затратами на строительство и эксплуатацию мощностей по сравнению с поступлением выручки от операций. Проектировщиков порта, в частности технологов, интересуют пространственно-временные

характеристики и технические данные. Специалисты по внешним транспортным сетям и экологи интересуются нагрузками на транспортные коммуникации, и в особенности их пиковыми значениями. Эксперты по безопасности мореплавания и специалисты администраций морских портов проявляют интерес к оперативному планированию расстановки флота на акватории порта и у его причалов. Операторы морского терминала интересуют все аспекты в той или иной мере, но прежде всего характеристики качества обслуживания: длины очередей, времени ожидания причала и обработки у них судна, потери и выигрыши от избытка или недостатка оборудования. Судовладельцев все это

так же интересует, но ровно с противоположной стороны: какое качество услуг он получит за свои, желательно минимальные, деньги.

Как следствие, разность интересов и уровня подготовки упомянутых групп выдвигает разные требования к функциональным характеристикам имитационной модели, ее интерфейсу, трудоемкости освоения. В используемом авторами подходе это разнообразие достигается путем создания нескольких вариантов реализации модели, базирующихся на одном алгоритме, но различающихся средой реализации интерфейса.

Сложные профессиональные версии построены на платформе Microsoft. NetC# с применением множества паттернов дизайна и архитектуры приложений. Простые версии, разработанные для демонстрационных целей, основаны на привычном для всех продукте Excel пакета MicrosoftOffice. Вся сложная алгоритмическая начинка, также реализованная на Microsoft. NetC#, спрятана «под капот» электронных таблиц в виде надстроек, работа которых управляется расширениями в виде макросов. В этом случае у пользователя создается впечатление работы в привычной и хорошо знакомой среде MSOffice, не вызывая про-

Параметр	ед.измерения	обозначение	значение	
Общая длина причальной стенки	[м]	L	3 840	
Грузопоток за интервал	[теу/длина интервала]	Q	1 350 000	
Производительность крана	[дв/час]	P _к	25	
ТЕУ фактор	[теу/конт]	K _{теу}	1,75	
Загрузка судна		K _{суд}	0,90	
Интервал швартовки от длины судна		K _{шв}	0,10	
Снижение P от числа линий		K _{лин}	0,80	
Длина временного интервала моделирования	[час]	T	8 760	
Грузопоток за год	[теу/год]	Q _{год}	1 350 000	
Серия экспериментов		Начало	Конец	Шаг
Грузопоток за год		750 000	1 350 000	50 000
				Кол-во шагов
				12

РИС. 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

блемы отторжения вследствие появления барьера трудоемкости освоения нового программного продукта.

Именно эта версия выбрана в данной статье для иллюстрации. Еще конкретнее описание проводится для контейнерного грузопотока, хотя модель позволяет без существенных изменений (касающихся названия единиц измерения и значений производительности операций) исследовать грузопотоки произвольной природы. Основные параметры моделирования задаются таблицей, показанной на рисунке 1.

Как в интерфейсе модели, так и в иллюстрациях к ее описанию, красным шрифтом выделяются изменяемые параметры, синим – вычисляемые и производные параметры. Например, в приведенной таблице годовой грузопоток задан на уровне 11000000 TEU, а интервалом моделирования выбран год или 8760 часов. В этом случае грузопоток за интервал моделирования совпадает с заданным годовым. Если значение интервала будет уменьшено или увеличено (до двух лет в описываемой версии модели), грузопоток за интервал моделирования будет соответствующим образом пересчитан.

На рисунке 2 показаны таблица, определяющая характеристики судов и образуемого ими моделируемого судопотока.

Суда в этой таблице характеризуются своей вместимостью, использование которой характеризует параметр загрузки судна, определяющий размеры импортной и экспортной партии. При желании эти партии для каждого судна могут быть изменены: в частности, для навалочных грузов объемы импортной или экспортной партии могут быть равны нулю.

В данной таблице также задается вклад судов того или иного типа в об-

щий грузопоток, что позволяет считать среднее число судозаходов за интервал моделирования для каждого типа. Заданные доли участия судов в освоении грузопотока и рассчитанные на основании этого судозаходы для разных типов судов показаны на рисунке 3.

Здесь же задается оптимальное число кранов (технологических линий) для обработки судна. Это позволяет с учетом заданных значений средней производительности крана и коэффициентом снижения производительности от числа технологических линий (рисунок 1) определить номинальное время выполнения погрузо-разгрузочных работ для каждого судна. Добавляя к нему время непроизводительных стоянок и вспомогательных операций, можно оценить ожидаемое время стоянки судна под грузовыми операциями.

Получив средний интервал между судозаходами по типам судов, можно рассчитать средний интервал между ними. Распределение случайных значений интервала вокруг этого среднего задается некоторым законом распределения. В рассматриваемом примере таким законом выбрано распределение Эрланга, порядок которого может быть различен для каждого типа судна. Низкие порядки этого распределения характеризуют более случайные разбросы, высокие – все более и более равномерные интервалы.

На рисунке 4 показана таблица, описывающая вовлекаемые в моделирование причалы и их характеристики.

В таблице для каждого причала указывается его длина (что позволяет считать общую длину морского грузового фронта, указанную на рисунке 1), число имеющихся на причале кранов. Кроме того, значение 1 на пересечении соответствующей причалу строки

и столбца, соответствующего судну, говорит о том, что это судно может обрабатываться у данного причала. Отсутствие значения 1 говорит о том, что по коммерческим или технологическим причинам это судно не может обрабатываться у данного причала.

Здесь следует подчеркнуть, что при постановке одного и того же судна к разным причалам количество доступных кранов может отличаться от оптимального для данного судна. В этом случае выбирается меньшее из двух значений, то есть на некоторых причалах судно будет обрабатываться медленнее расчетного периода.

В трех последних столбцах будут представлены результаты моделирования: использование ресурса причала по длине и времени, использование крана на данном причале, занятость причала в традиционном смысле (по времени).

Управление процессом моделирования сосредоточено на вкладке «настройки». На этой вкладке можно выбрать режим «прогрева» модели (перехода от нулевых начальных условий к стационарным установившимся значениям) или отказаться от него. На этой же вкладке осуществляется выбор алгоритма распределения судов по причалам: использование первого свободного в некоторой последовательности или выбор оптимального для данного судна, а затем наименее загруженного до этого момента. Это правило призвано обеспечить более равномерное использование причалов.

Запустив моделирование для заданного значения грузопотока (рисунок 1) с помощью кнопки «запуск», можно переходить к анализу его результатов, представленных в графической форме на вкладках «динамика очереди» и «спектр очереди».

>>

Типы судов			v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10
Вместимость	[teu]	v_i	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Импортная партия	[teu]	$Im v_i$	900	1800	2700	3600	4500	5400	6300	7200	8100	9000
Экспортная партия	[teu]	$Ex v_i$	900	1800	2700	3600	4500	5400	6300	7200	8100	9000
Доля в грузопотоке		$?_i$	0,05	0,05	0,075	0,15	0,2	0,15	0,15	0,075	0,05	0,05
Число судозаходов		N_i	306	153	153	229	244	153	131	57	34	31
Число кранов на судно		n_i	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Длина судна (LOA)	[м]	l_i	200	210	250	280	300	350	400	400	400	400
Время вспомогат.операций	[час]	$?_i$	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
Время PRP	[час]	t_i	22,9	45,7	47,5	63,3	60,5	72,6	68,6	78,4	74,1	82,3
из него время разгрузки	[час]	$Im t_i$	11,42857	22,85714	23,73628	31,64835	30,2521	36,30252	34,28571	39,18367	37,02857	41,14286
из него время погрузки	[час]	$Ex t_i$	11,42857	22,85714	23,73628	31,64835	30,2521	36,30252	34,28571	39,18367	37,02857	41,14286
Время обслуживания	[час]	T_i	23,9	46,7	49,5	65,3	62,5	74,6	71,6	81,4	77,1	85,3
Распределение интервала	код		эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг	эрланг
Параметр распределения 1			2	2	3	3	4	4	5	5	5	5
Параметр распределения 2												
Средний интервал между заходами	[час]		29	57	57	38	36	57	67	153	258	287

РИС. 2. ПАРАМЕТРЫ СУДОПОТОКА

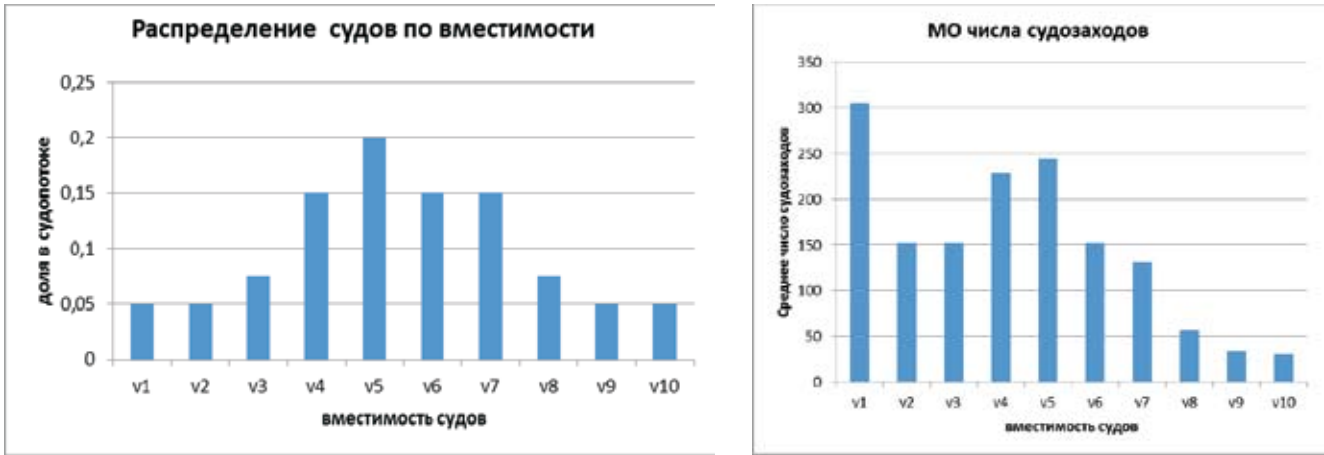


РИС. 3. ДОЛИ СУДОВ В ГРУЗОПОТОКЕ И РАСЧЕТНЫЕ СУДОЗАХОДЫ

Чтобы получить зависимость параметров обслуживания и использования причалов, необходимо выполнить серию экспериментов. Для этого задаются начальное, конечное значение и шаг увеличения (рисунок 1), после чего выбирается функция «рассчитать серию» (рисунок 5).

Пример результатов, получаемых на вкладках «Относительное ожидание» и «Занятость причалов», показан на рисунках 6 и 7.

Сравнение с нормативными расчетами и теорией массового обслуживания

Для доказательства адекватности модели необходимо сравнить получаемые с ее помощью результаты с результатами, получаемыми классической теорией массового обслуживания (ТМО). Очевидно, что это можно сделать за счет приведения модели к случаю однородных каналов и стандартных характеристик поступления заявок на обслуживание. Если результаты будут совпадать, то с большой долей уверенности можно считать адекватной модель, работающую в более общих случаях.

Кроме того, по «административным» соображениям следует сравнить результаты, получаемые моделированием, с рекомендациями «Норм технологического проектирования морских портов». Строго говоря, эти две задачи практически тождествен-

ны, поскольку «Нормы» неявно опираются именно на ТМО – точнее, на ее подмножество, полученное целым рядом упрощений.

Наиболее важным для выбранной цели в «Нормах» является раздел 5.1 «Грузовые причалы», цитируемый ниже.

«Интенсивность погрузочно-разгрузочных работ $P_{сут}$ в тоннах в сутки определяют исходя из продолжительности грузовых работ и производственных стоянок при обработке расчетных судов как средневзвешенную величину:

$$P_{сут} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{A_j (t_{зрj} + t_{н.сj})}{24 D_j}}$$

где m – количество типов расчетных судов;

A_j – доля расчетных судов типа j в общем объеме расчетного грузооборота;

$t_{зрj}$ – время занятости причала выполнением грузовых работ при обработке судна типа j , ч;

$t_{н.сj}$ – среднее время занятости причала под производственными стоянками судна типа j , ч;

D_j – расчетная загрузка судна типа j , т.»

Логика расчета в «Нормах» такова: судно расчетной загрузки D_j разгружается за время $(t_{зрj} + t_{н.сj})$, откуда валовая часовая интенсивность грузовых

операций при работе на судно есть $D_j / (t_{зрj} + t_{н.сj})$ и суточная, соответственно, $p_j = 24 D_j / (t_{зрj} + t_{н.сj})$.

Весовая доля грузооборота расчетных судов типа j в общем грузообороте Q есть $A_j Q$, отсюда общее время обработки расчетных судов типа j есть $T_j = A_j Q / p_j$. Поделив весь объем грузооборота Q на общее время его обработки $T = \sum T_j$, получаем приводимую в «Нормах» формулу.

Далее «Нормы» рекомендуют годовую навигационную пропускную способность причала $P_{год}$ в тоннах рассчитывать по формуле

$$P_{год} = \frac{30 P_{сут} \cdot K_{мес} \cdot K_{зан} \cdot N_m}{K_{мес}}$$

где $K_{мес}$ – коэффициент месячной неравномерности (по навигации);

N_m – число месяцев навигации.

Иными словами, годовая (навигационная) пропускная способность причала есть тот объем грузооборота, который причал может обеспечить при заданном коэффициенте его использования (среди прочих заданных величин). Этот объем меньше «мощности» причала, которая есть его способность работать со 100%-ный использованием.

Наконец, в «Нормах» рекомендуется выбирать число причалов из соотношения

СУДА	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	Длина причала	Число кранов	Исп. длины	Исп. кранов	Исп. времени
число кранов на судно	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	[м]	[шт]			
Причал В1	1	1	1								280	2			
Причал В2	1	1	1								280	2			
Причал В3	1	1	1	1	1	1					380	3			
Причал В4	1	1	1	1	1	1	1				380	3			
Причал В5				1	1	1	1				380	4			
Причал В6				1	1	1	1				380	4			
Причал В7				1	1	1	1	1	1	1	440	5			
Причал В8				1	1	1	1	1	1	1	440	5			
Причал В9							1	1	1	1	440	6			
Причал В10							1	1	1	1	440	6			

РИС. 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИЧАЛОВ

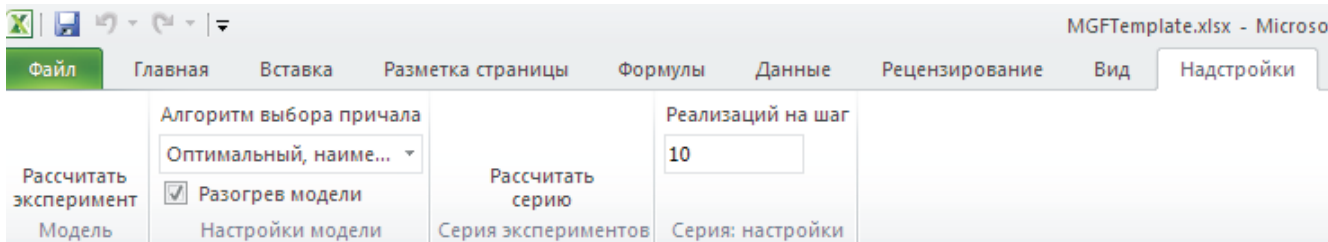


РИС. 5. ПАНЕЛЬ С ФУНКЦИЯМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

$$N_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{мес}}}{30 P_{\text{сут}} \cdot K_{\text{мет}} \cdot K_{\text{зах}}}$$

где $Q_{\text{мес}}$ – расчетный грузооборот причального фронта в месяц наибольшей работы, т/мес;

$P_{\text{сут}}$ – интенсивность погрузочно-разгрузочных работ, т/сут;

$K_{\text{мет}}$ – коэффициент использования бюджета рабочего времени причала по метеорологическим причинам в месяц наибольшей работы.

Иными словами, требуемый годовой грузооборот всего порта или терминала нужно поделить на расчетный годовой грузооборот одного причала, что и даст необходимое число причалов.

При этом в «Нормах» сказано, что полученное значение необходимо округлять до большего значения, но не более 0,5. Более понятными словами, рекомендуется производить округление до ближайшего целого. При этом не рассматривается эффект этого округления на исходное значение коэффициента занятости.

Проведем теперь несколько экспериментов. Предположим, что суда будут одинаковыми, вместимостью по 1000 TEU, а загрузка их в импорте и экспорте будет составлять 90%. Обработка 1800 TEU двумя кранами с производительностью 25 движений займет 22,9 часа. Пусть производственные стоянки потребуют еще 1,1 часа, что даст полное время стоянки – 24 часа. Суточная производительность, таким образом,

составит величину 1800 TEU.

Эти данные могут быть получены и расчетами по «Нормам», и расчетами по исходным данным модели. Очевидно, что максимальный грузопоток через причал за год, то есть при постоянной непрерывной работе, составит величину 657000 TEU. Эта величина называется мощностью причала. Пропускная способность причала – это степень использования его мощности, которая по «Нормам» задается коэффициентом занятости около 0,7. Следовательно, пропускная способность причала составляет величину 460000 TEU.

Рассмотрим теперь результаты моделирования (рисунок 8).

Из этого рисунка видно, что относительное ожидание при приближении к мощности причала быстро возрастает, а в районе пропускной способности коэффициент занятости близок к 0,7 при относительном ожидании несколько менее 0,2. Таким образом, в рассматриваемом случае одного причала результаты моделирования и вычисления по «Нормам» полностью совпадают.

Рассмотрим теперь результаты моделирования для случая двух причалов (рисунок 9).

Очевидно, что совокупная мощность двух причалов составит величину 1314000 TEU, а пропускная способность, рекомендуемая «Нормами», составит 920000 TEU. Из рисунка 9 видно, что при приближении грузопотока

к мощности причалов относительное ожидание быстро возрастает, как и в предыдущем случае. В то же время рекомендованная «Нормами» пропускная способность, определяемая тем же коэффициентом занятости 0,7, связана с меньшим относительным ожиданием. Иными словами, причал мог бы работать с большей занятостью при том же относительном ожидании.

Еще виднее этот разрыв становится при большем количестве причалов, например 5, как показано на рисунке 10.

В этом случае относительное ожидание на уровне 0,2 появляется при занятости причала на уровне 0,9 (давая грузопоток около 3100000 TEU), в то время как рекомендуемая «Нормами» занятость 0,7 ограничивает пропускную способность группы причалов значением 2300000 TEU.

Этот факт хорошо известен из теории массового обслуживания: с ростом числа каналов одно и то же среднее относительное ожидание достигается при большем коэффициенте занятости. Иными словами, рекомендуемая занятость причала зависит от числа причалов в группе. В крупных портах с большим числом причалов каждый из них может работать с большей отдачей, радуя владельца. Как было сказано в «Руководстве проектировщика порта», опубликованном UNCTAD, «это является еще одним проявлением эффекта экономии от масштаба: большие деньги работают лучше».

>>

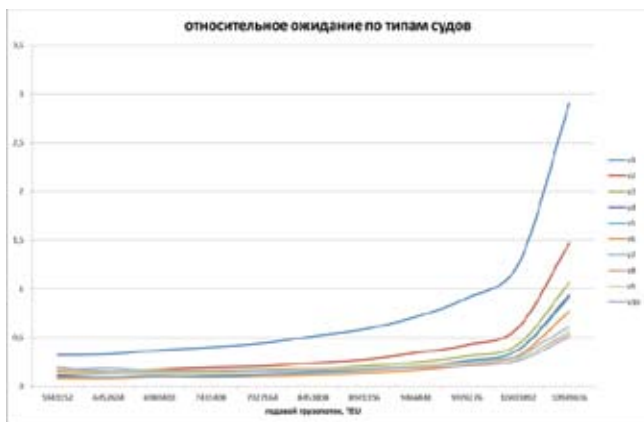


РИС. 6. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОЖИДАНИЕ ПО ТИПАМ СУДОВ

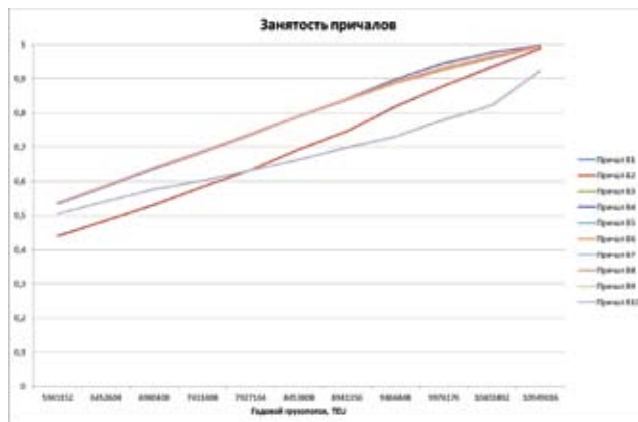


РИС. 7. ЗАНЯТОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЧАЛОВ

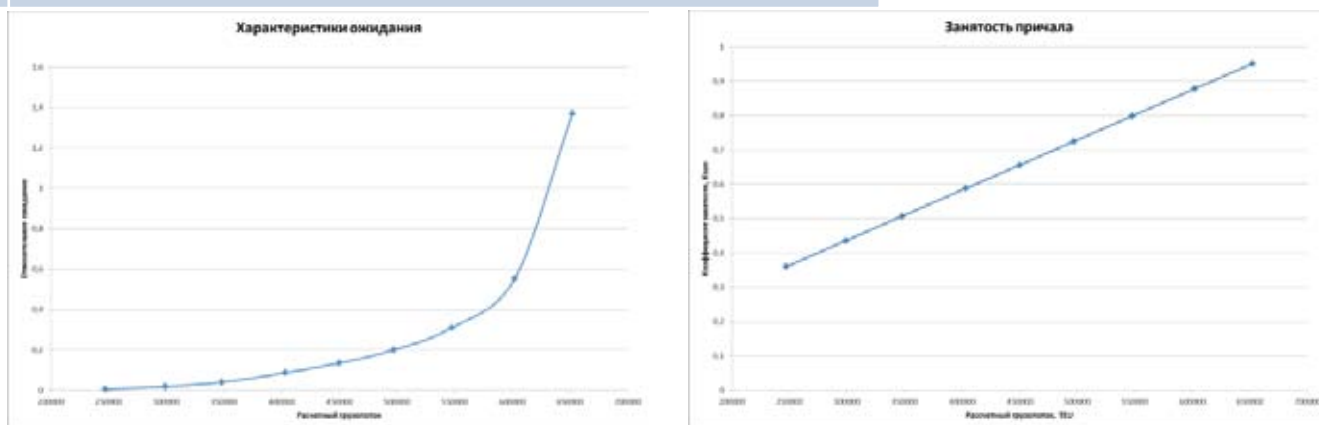


РИС. 8. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОЖИДАНИЕ И ЗАНЯТОСТЬ ДЛЯ СЛУЧАЯ ОДНОГО ПРИЧАЛА

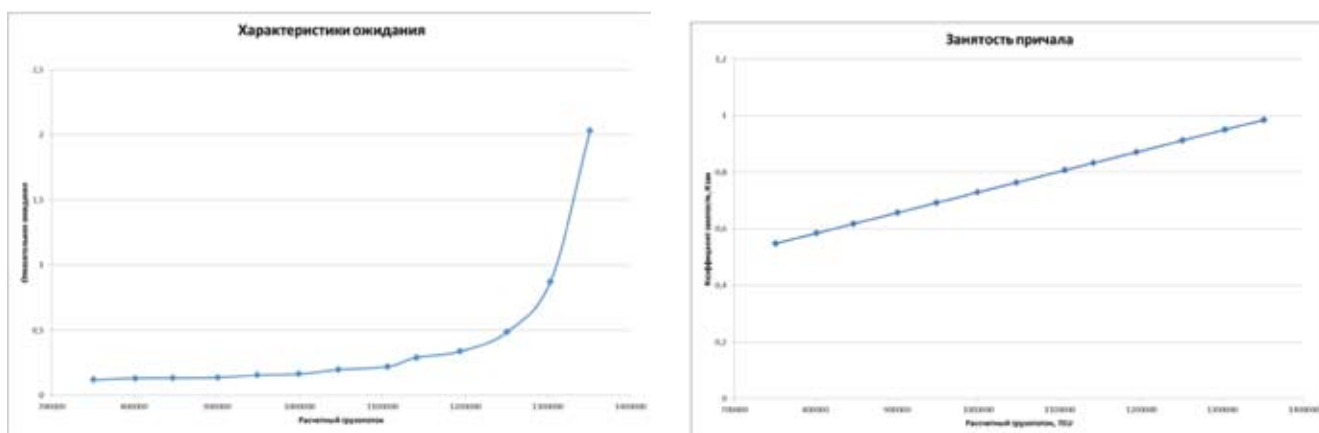


РИС. 9. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОЖИДАНИЕ И ЗАНЯТОСТЬ ДЛЯ СЛУЧАЯ ДВУХ ПРИЧАЛОВ

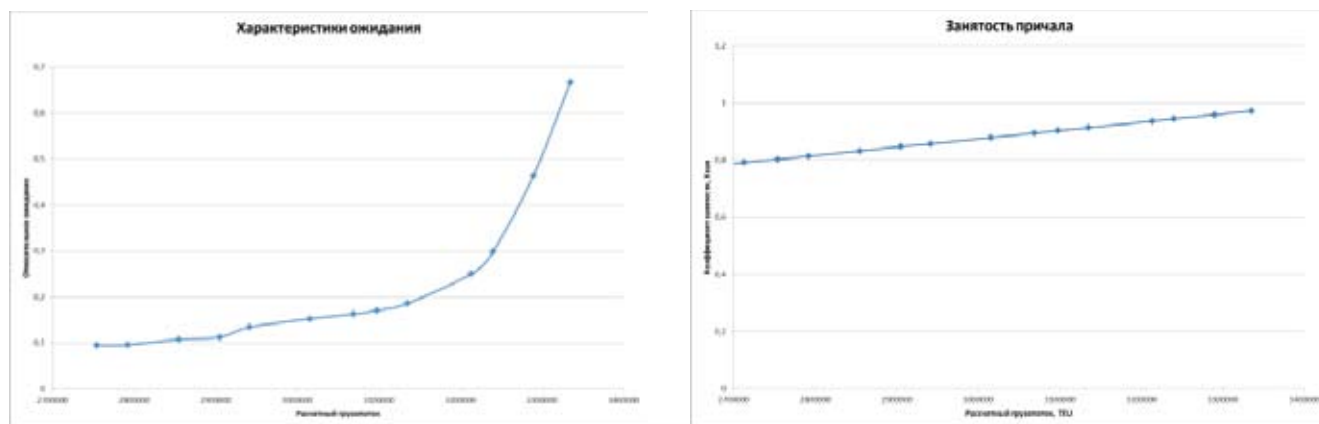


РИС. 10. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОЖИДАНИЕ И ЗАНЯТОСТЬ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПЯТИ ПРИЧАЛОВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные кратко в данной статье эксперименты позволяют заключить, что описываемая модель полностью соответствует теории массового обслуживания в тех случаях, когда последняя может быть использована. Иными словами, модель является расширением этой теории на некоторый класс прикладных задач за счет использования современного аппарата имитационного моделирования.

В тех (еще более узких) случаях, когда могут быть использованы «Нор-

мы технологического проектирования морских портов», результаты моделирования совпадают и с их рекомендациями. В то же время используемые в «Нормах» методики не могут быть однозначно применены к расчетам современных портов. Это не является критикой самих «Норм», в отношении технологических вопросов они носят достаточно общий характер и должны рассматриваться лишь как общие рекомендации проектировщикам.

В то же время прямое использование «Норм» для экспертизы проект-

ных технологических решений следует признать нецелесообразным. Как показывают эксперименты, различие между «моделируемой реальностью» и «нормированной реальностью» оказывается слишком велико. Но если моделирование свою правоту может доказать, то нормирование — только «приказать».

Заинтересовавшиеся этой темой читатели могут «скачать» демонстрационную версию модели и руководство по работе с ней, зайдя на сайт www.transposoft.ru ■