

УДК 629.124

В.А. Некрасов, А.В. Бондаренко, А.П. Ястреба

**РАСЧЕТНЫЕ И НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
БУКСИРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ ПОРТОВ УКРАИНЫ**

*На основі застосування методів теорії корабля і оптимального проектування суден вирішена проблема оптимального вибору складу буксирного флоту сучасного морського порту за критеріями економічної ефективності та гарантованої безпеки експлуатації. Складені програми оперативного вибору буксирів та корегування їх складу. Дано рекомендації з формування сучасних вимог до буксирного забезпечення порту, що включаються в його обов'язкові постанови.*

**Ключові слова:** морський порт, флот портових буксирів, оперативне управління, ефективність, безпека.

*На основе применения методов теории корабля и оптимального проектирования судов решена проблема оптимального выбора состава буксирного флота современного морского порта по критериям экономической эффективности и гарантированной безопасности эксплуатации. Разработаны программы оперативного выбора буксиров и корректировки их состава. Даны рекомендации по формированию современных требований к буксирному обеспечению порта, включаемых в его обязательные постановления.*

**Ключевые слова:** морской порт, флот портовых буксиров, оперативное управление, эффективность, безопасность.

*The problem of the optimal composition of the towing fleet of modern seaport is solved on the basis of application of the ship theory and ship optimal design on the criteria of economic efficiency and guaranteed safe navigation. Programs of operating choice of tugs and correcting their composition are developed. Recommendations on the formation of the present requirements for towing port security which to be included in port binding regulations are given.*

**Keywords:** seaport, harbor tug fleet, operational management, efficiency, safety.

**Постановка проблеми сучасного буксирного забезпечення порту.** Наблюдаемая еволюція портових буксирів характеризується неперервним нарощуванням їх потужностей і удосконаленням характеристик управляємості. Розміри портових буксирів також неперервно змінюються. Більш потужні двигатели встановлюються в корпусах менших розмірів. Небольші, дуже потужні і маневренні буксири стають необхідними для розвитку портів, так як їх простір з збільшенням продуктивності причалів і збільшенням розмірів обслуговуваних судів залишається обмеженим.

© Некрасов В.А., Бондаренко А.В., Ястреба А.П., 2015

Вслед за увеличением мощности портовых буксиров повсеместно наблюдается и относительное уменьшение их числа в обслуживании судов, как в расчете на одно судно, так и в составе буксирного флота порта.

В связи с этим высказываются предположения о том, что сокращение числа буксиров из-за введения более мощных единиц может иметь в целом негативные последствия для портов. Суть этих предположений состоит в следующем [1]:

– уменьшенное число буксиров может вызвать проблемы в случаях появления суровых погодных условий или пиков в движении судов;

– ввод в строй более мощных буксиров, приводящей к сокращению числа буксиров, использующихся на одном судне, например, – от четырех до двух единиц, обусловит появление дополнительных рисков, которые смогут быть компенсированы только соответствующим увеличением надежности используемых технических средств;

– буксиры, к тому же, должны быть подходящими по размерам к размерам судна. Это означает, что малые суда должны предпочтительно управляться малыми буксирами;

– замена ряда малых буксиров более мощным буксиром может принести выгоду владельцу буксирного флота, благодаря сокращению общих расходов и уменьшению расходов на содержание команд. Однако введение в строй более мощных буксиров не будет автоматически означать, что капитаны входящих в порт судов будут заказывать меньше буксиров. В таких случаях буксирная компания, направившая большие инвестиции в развитие своего флота, может понести убытки, так как суда, использующие увеличенное число буксиров, платят те же буксирные сборы.

Несмотря на высказываемые предположения, переход к использованию мощных портовых буксиров повсеместно осуществляется. Обуславливается это экономическими приоритетами заинтересованных сторон [1]. Судовладелец, например, обычно желает ускорения портовых операций, что, в свою очередь, ведет к применению более мощных буксиров. Порт же, с одной стороны, стремится в связи с ожидаемым сокращением расходов использовать более мощные буксиры, однако, с другой – опасается не иметь повторного использования очень больших и мощных буксиров и не вернуть инвестиции, направленные на развитие своего буксирного флота.

Решение этих проблем, очевидно, должно соответствовать балансу, который складывается в среде функциональных операций рассматриваемого порта. Так как каждый порт существенно отличается один от другого, то и требования к количеству и мощности вводимых портовых буксиров должны формироваться индивидуально. При этом использование более мощных буксиров, связанное с увеличением инвестиций в их приобретение и с ростом затрат на эксплуатацию, становится оправданным при соответствующем увеличении продуктивности порта и обслужи-

вании судов с характеристиками, обусловленными увеличением продуктивности.

Тенденция использования все более мощных буксиров обуславливает также появление трудностей в оценке значений их мощности и тяговых усилий с точки зрения обеспечения безопасности управления судами в порту. Надлежащая оценка таких значений особенно важна для больших судов с большим сопротивлением движению, число которых непрерывно растет. Эти значения особенно важно знать портовым властям, когда приходят суда, для которых должно быть реализовано буксирное сопровождение. В таких случаях используются два способа определения искомых значений:

– генерирование текущих оценок необходимого количества буксиров и их мощности в зависимости от габаритов судна, расположения причала и гидрометеорологической обстановки в порту на время выполнения буксирной операции;

– внесение фиксированных значений количества и мощности буксиров в требования порта к буксирному сопровождению, отражаемому в составе планов или схем швартовки судна к каждому из причалов.

Очевидно, что генерирование текущих оценок является удобным направлением решения проблемы необходимого количества буксиров и их тяговых усилий. Однако наиболее приемлемым является путь, в результате которого на основе генерирования текущих оценок необходимого количества буксиров и их тяговых усилий за достаточно длительный период эксплуатации порта формируются его требования к буксирному сопровождению при лоцманских проводках для последующего однозначного решения вопросов взаимодействия капитанов судов с лоцманской службой и властями порта.

Таким образом, до того, как появятся такие решения законодательного характера, процедура выбора необходимого количества буксиров и их тяговых характеристик должна пройти все стадии ретроспективного анализа и перспективного синтеза, которые обычно сопровождают всякую реформу, в том числе и наблюдаемую реформу буксирного обеспечения портов Украины.

**Краткий анализ последних исследований и публикаций.** Рекомендации ИМО. Для определения современного буксирного обеспечения порта Международная морская организация рекомендует руководствоваться изданием Навигационного института, Лондон, «Использование буксира в порту – Практическое руководство» [2; 3]. Основным положением этого руководства является обоснование того, что буксирное обеспечение порта должно формироваться не только в зависимости от назначения и размерений швартуемых судов, но и в соответствии с географическим положением и конкретными климатическими условиями территории порта.

Наиболее близкой к теме статьи является «Методика выбора оптимальных типов и количества буксиров для морского порта», которая

была разработана Т.Ф. Алявдиной в 1984 году [4]. С тех пор существенно изменились, как сами буксиры – в отмеченных выше направлениях компактности, мощности и маневренности, так и модели их функционирования – в направлении более подробного учета взаимодействия с окружающими средами, учета случайности явлений захода судов в порт и погодных факторов эксплуатации, оценки результатов функционирования по критериям рыночной экономики.

**Выделение нерешенных вопросов общей проблемы.** Изложенные обстоятельства обуславливают необходимость последовательного решения следующих проблем:

- определения необходимых тяговых усилий буксиров для швартовки всех типов судов, посещающих морские порты, с целью обеспечения безопасности швартовых операций в соответствии с предложениями Международной морской организации (ИМО) [2], которая рекомендует осуществить это определение на основе рассмотрения аэрогидродинамического взаимодействия транспортируемых к причалам судов с окружающей средой для установления усилий, действующих на них в конкретных гидрометеорологических условиях порта, и назначения соответствующих тяговых усилий буксирного сопровождения [3];

- сравнения полученных результатов с аналогичными данными отечественных и зарубежных нормативных документов;

- разработки оперативного метода выбора необходимого количества и тяговых усилий буксиров из состава существующего или проектируемого буксирного флота порта для всех типов судов, посещающих порт, в текущих гидрометеорологических условиях порта;

- формирования предложений по обновлению требований порта к количеству буксиров, обслуживающих посещающие порт суда;

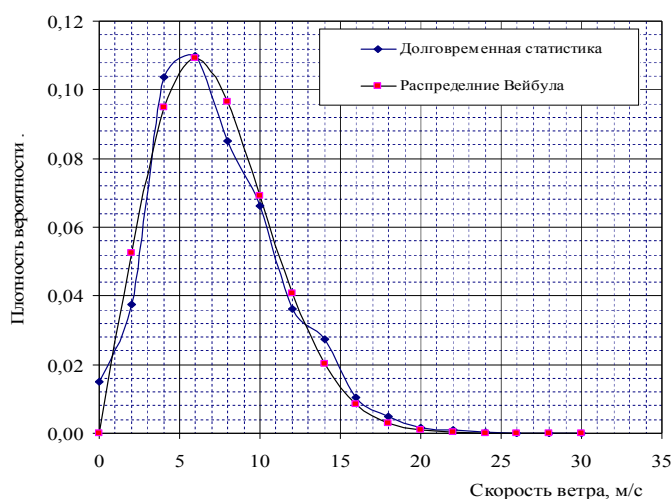
- определения возможных экономических результатов обслуживания существующим или назначаемым составом буксирного флота порта действующего или расширяемого комплекса его причалов;

- оптимизации на основе использования критериев рыночной экономики состава существующего или нового буксирного обеспечения порта по типам буксиров и развиваемым ими тяговым усилиям, выполненной в соответствии с особенностями акватории, количеством причальных стенок порта и производительностью портового оборудования.

Изложенная последовательность решения проблемы выбора буксиров, принимающая во внимание местный опыт швартовки судов, должна привести к более реалистическому и экономически выгодному использованию портовых буксиров и буксирных флотов портов Украины. Улучшение результатов неизбежного выбора более мощных буксиров следует ожидать и при его использовании в процессе передачи местного практического судоводительского опыта соответствующими инструкторами, которые обучат нововведениям судоводителей, лоцманов и капитанов буксиров.

**Постановка проблеми.** Целью статьи является разработка теоретических и практических методов расчета безопасности, эффективности и оперативного управления флотами портовых буксиров, обеспечивающих реформирование этих подразделений портов на основе существенного увеличения продуктивности и прибыльности буксирных операций.

**Метод расчета сил, действующих на суда.** На основе рекомендаций [2; 3] в Национальном университете кораблестроения (НУК) разработан соответствующий метод определения сил, действующих на суда, швартуемые в украинских морских портах [5]. В основу метода положены долговременные распределения интенсивностей ветра над территорией юга Украины (см. рис. 1) и распределение дедвейта всех типов судов, посещающих порты. При этом учтено то, что морские порты Украины расположены в географической зоне, где отсутствуют приливные, отливные и интенсивные речные течения, а также то, что защищенные акватории портов имеют относительно малые разгонные участки ветрового течения и волнообразования.



*Рис. 1. Долговременное распределение скоростей ветра в акваториях морских портов Украины*

Разработка метода осуществлена на основе численного моделирования процессов сопровождения и причаливания/отчаливания судов в условиях ветра, волнения и течения [6]. В результате этого моделирования установлено, что наиболее напряженная ситуация по силовой отдаче буксиров возникает в предельно допустимых погодных условиях функционирования порта по швартовым операциям, в момент расположения судна на расстоянии 40-50 м от причала, параллельно причалу. В этот момент буксирами развиваются тяговые усилия, обеспечивающие последующее погашение скорости движения судна до требуемого значения в момент касания причала. В соответствии с рекомендациями [3], гарантированная

безопасность этого финала буксирной операции достигается в том случае, если выбираемое суммарное тяговое усилие буксиров увеличивается на ~ 25-50 %.

Необходимость такого выбора обуславливается тем, что в процессе движения судна к причалу буксиры могут расположиться не перпендикулярно ДП судна и потерять часть необходимого тягового усилия в направлении причала на создание взаимно компенсирующихся боковых сил.

Произведено сравнение результатов разработанного метода определения действующих на судно сил и перевода их в выбираемую суммарную тягу буксиров, обеспечивающую безопасность швартовых операций, с результатами, определяемыми по методу:

- изложенному в Справочнике проектанта порта [7] (General);
- регламентируемому Британским стандартом проектирования портов [8] (BS 6349-1:2000);
- определяемому Испанским стандартом проектирования портов [9]; (ROM 0.2-90);
- рекомендованному Международным морским форумом нефтяных компаний [10] (OCIMF);
- предложенному Обществом международных операторов транспортировки сжиженных газов [11] (SIGTTO);
- определяемому действующими в Украине Нормами технологического проектирования морских портов [12] (РД 31.31.37-78).

Сравнение выполнено для тех типов и дедефитов судов, которые швартуются в портах Украины в настоящее время и будут швартоваться в будущем. Выбранное для сравнения силовое воздействие определено существующими предельными погодными условиями функционирования портов по швартовым операциям с обеспечением условий безопасности проведения таких операций, а именно:

- при скорости ветра 12,0-14,0 м/с, в зависимости от типа судна, с направлением 90 °, по отношению к ДП судна;
- при волнении, интенсивностью 3 балла, характеризуемого высотой волны (significant wave height)  $H_{1/3} = 0,7$  м ( $h_{3\%} = 0,924$  м), с направлением 90 °, по отношению к ДП судна, и средней длиной волн ~ 20 м;
- при течении со скоростью 0,2 м/с, или при эквивалентной скорости ветрового течения жидкости, или при такой же скорости ветрового дрейфа судна;
- при остаточной скорости движения судна, равной допустимой скорости буксирного сопровождения 0,26 м/с (0,5 узла);
- с начальной скоростью погашения инерции 0,26 м/с на дистанции 40 м от причала;
- с назначенным запасом суммарного усилия буксиров, равным 25 % минимально необходимого суммарного тягового усилия буксиров, ориентированным на обеспечение безопасности швартовой операции.

Результаты сравнения для судов в балласте приведены в табл. 1 и для судов в грузу – в табл. 2.

Таблиця 1

*Суммарные тяговые усилия буксиров, необходимые для выполнения безопасной швартовки судов в балласте в предельных погодных условиях функционирования порта по швартовым операциям*

1	Методы определения действующих на судно сил и потребных тяговых усилий буксиров-кантовщиков							
	2	3	4	5	6	7		
Тип судна дедвейтом 20 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/SIGTTO	РД 31.31.37-78		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	46,8	64,0	43,6	55,6	-	3600	50,4	2
Танкер	38,9	50,5	34,8	45,7	40,8	3600	50,4	2
Балкер	40,8	55,1	37,4	48,2	-	3600	50,4	2
Контейнеровоз	54,2	76,3	52,0	74,9	-	не регламентируется		
Газовоз LNG	65,7	93,4	63,8	79,4	86,2	3600	50,4	2
Газовоз LPG	50,9	71,2	48,6	61,3	48,7	3600	50,4	2
Накатное Ro-Ro	65,3	91,8	62,6	89,9	-	не регламентируется		
Тип судна дедвейтом 50 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/SIGTTO	РД 31.31.37-78		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	62,4	82,0	56,2	71,0	63,6	5800	81,2	3
Балкер	65,8	87,3	59,7	75,3	-	8400	117,6	4
Контейнеровоз	96,8	134,2	92,5	132,0	-	не регламентируется		
Газовоз LNG	112,0	158,4	108,7	132,7	144,9	9000	126,0	4
Газовоз LPG	86,0	120,0	82,2	101,5	80,2	8400	117,6	4
Накатное Ro-Ro	97,4	133,7	90,5	128,0	-	не регламентируется		
Тип судна дедвейтом 100 000т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/SIGTTO	РД 31.31.37-78		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	95,2	121,8	83,7	104,4	93,5	11600	162,4	4
Балкер	97,4	124,8	86,4	107,5	-	11600	162,4	4
Контейнеровоз	148,9	203,5	141,3	199,3	-	не регламентируется		
Газовоз LNG	170,1	237,0	163,6	196,9	215,8	не регламентируется		
Газовоз LPG	130,0	179,0	123,1	149,8	117,7	11600	162,4	4
Накатное Ro-Ro	-	-	-	-	-	-		

*Продолжение табл. 1*

1	2	3	4	5	6	7		
Тип судна дедвейтом 200 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/ SIGTTO	РД 31.31.37-78.		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	146,7	180,1	125,3	153,3	136,5	15800	221,2	4
Балкер	147,2	178,5	127,1	177,6	-	не регламентується		
Контейнеровоз	231,8	309,3	216,7	301,7	-	не регламентується		
Газовоз LNG	261,9	355,6	247,2	293,5	322,3	не регламентується		
Газовоз LPG	199,2	267,8	185,1	222,0	173,8	не регламентується		
Накатное Ro-Ro	-	-	-	-	-	-		

*Таблица 2*

*Суммарные тяговые усилия буксиров, необходимые для выполнения  
безопасной швартовки судов в грузу в предельных погодных условиях  
функционирования порта по швартовым операциям*

		Методы определения действующих на судно сил и потребных тяговых усилий буксиров-кантовщиков						
Тип судна Дедвейтом 20 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/ SIGTTO	РД 31.31.37-78.		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	42,9	50,0	37,2	39,7	-	3600	50,4	2
Танкер	34,3	36,6	26,9	31,6	32,6	3600	50,4	2
Балкер	36,4	41,1	30,5	33,9	-	3600	50,4	2
Контейнеровоз	62,0	81,8	58,4	77,5	-	не регламентується		
Газовоз LNG	63,4	81,1	57,6	56,4	83,0	3600	50,4	2
Газовоз LPG	50,6	63,1	46,8	47,1	66,8	3600	50,4	2
Накатное Ro-Ro	67,2	85,1	61,6	82,0	-	не регламентується		
Тип судна дедвейтом 50 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/ SIGTTO	РД 31.31.37-78.		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	57,4	60,4	49,1	48,8	50,3	5800	81,2	3
Балкер	58,9	60,8	49,4	50,4	-	8400	117,6	4
Контейнеровоз	119,3	153,6	116,5	145,8	-	не регламентується		
Газовоз LNG	111,4	137,8	99,3	93,0	139,6	9000	126,0	4
Газовоз LPG	88,5	110,1	85,3	78,0	112,6	8400	117,6	4
Накатное Ro-Ro	103,1	123,0	86,9	113,7	-	не регламентується		

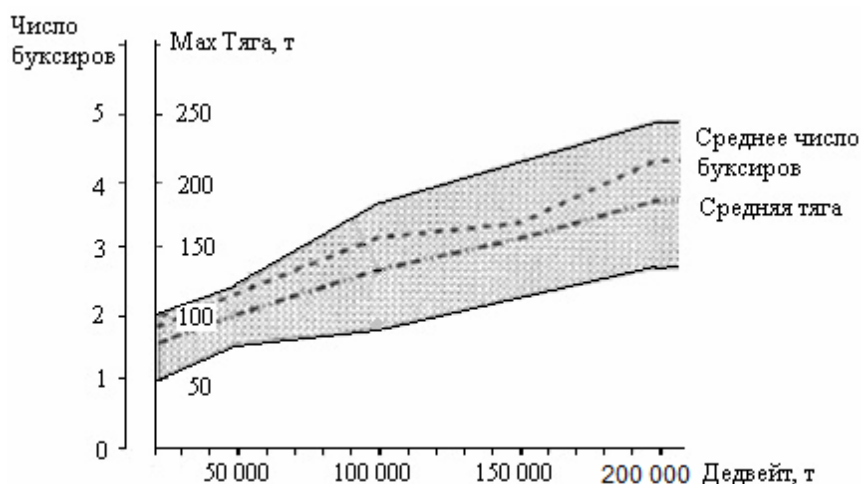


Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7		
Тип судна дедвейтом 100 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/ SIGTTO	РД 31.31.37-78.		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	90,7	88,0	77,0	70,0	72,2	11600	162,4	4
Балкер	89,2	87,7	77,8	70,3	-	11600	162,4	4
Контейнеровоз	193,3	248,9	191,9	228,3	-	не регламентируется		
Газовоз LNG	174,2	206,7	152,7	136,7	207,9	не регламентируется		
Газовоз LPG	138,1	165,0	139,8	115,1	168,0	11600	162,4	4
Накатное Ro-Ro	-	-	-	-	-	-		
Тип судна дедвейтом 200 000 т	НУК	General	ROM 0.2-90	BS 6349 1:2000	OCIMF/ SIGTTO	РД 31.31.37-78.		
	т	т	т	т	т	л.с.	т	шт.
Сухогруз	-	-	-	-	-	-		
Танкер	146,6	142,6	133,8	101,3	104,5	15800	221,2	4
Балкер	140,8	135,7	137,6	100,6	-	не регламентируется		
Контейнеровоз	316,5	395,0	309,6	356,8	-	не регламентируется		
Газовоз LNG	277,7	316,8	239,0	201,8	310,7	не регламентируется		
Газовоз LPG	219,6	262,1	231,3	170,6	251,5	не регламентируется		

Сравнение расчетных и нормативных данных таблиц 1 и 2 показывает, что положения действующего РД 31.31.37-78 не охватывают часть современных типов судов, таких как контейнеровозы и накатные суда, в средней же по дедвейту части регламентируемых типов судов они предлагают, в основном, завышенное по тяговым усилиям и мощности буксирное обеспечение, а в области больших и сверх больших дедвейтов – практически его не регламентируют. В целом РД в области своей регламентации предлагает завышенное для географического положения и климатического состояния портов Украины количество используемых буксиров в расчете на одно судно.

Вопрос о достаточности количества используемых буксиров раскрывается статистическими данными мировой практики портов, приведенными на рис. 2 [3]. Рисунок показывает, что полученные значения необходимых суммарных тяговых усилий буксирного сопровождения судов, посещающих порты Украины, образуют линию, которая располагается ниже линии «Средняя тяга» всемирной статистики и почти совпадает с нижней линией заштрихованной зоны. Это свидетельствует о том, что в тех областях дедвейтов, в которых РД 31.31.37-78 назначает 3-4 буксира, могут успешно использоваться 2-3.



*Рис. 2. Мировые статистические данные по использованию количества буксиров и их суммарной тяги на буксировку танкеров и балкеров в портах*

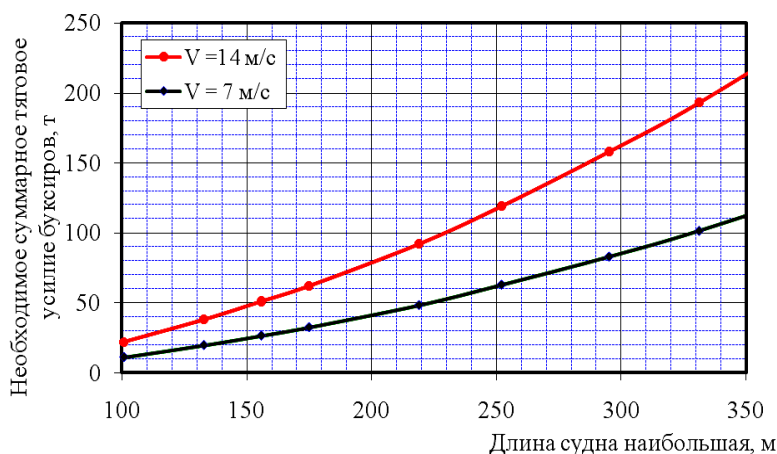
**Оперативный способ определения суммарного тягового усилия буксиров и их количества при маневренных операциях с одним судном.** Предназначен для реализации первого метода определения буксирного сопровождения судна, прибывающего в порт – генерирования оценок необходимого количества буксиров и их мощности в зависимости от текущих погодных условий. В этом случае анализ существующих и осуществление запланированных маневренных операций с одним судном осуществляется на основе созданного метода определения тяговых усилий буксиров с помощью программы вычисления необходимого суммарного тягового усилия и выбора буксиров из состава флота портовых буксиров. Программа предназначена для применения к судам всех типов, во всем диапазоне их дедвейтов и во всем диапазоне погодных условий функционирования порта. Она обуславливает безопасность швартовых операций на основе введенного запаса на суммарное тяговое усилие буксиров и достоверных данных по краткосрочным метеопрогнозам, достаточным по времени для проведения всего комплекса запланированных буксирных операций с судном.

**Способ формирования требований к буксирному обеспечению порта.** Предназначен для реализации второго метода определения буксирного сопровождения судна, прибывающего в порт – внесения фиксированных значений количества и мощности буксиров в требования порта к буксирному сопровождению судна.

На основе программного генерирования текущих по метеоусловиям оценок необходимых тяговых усилий и количества буксиров, обеспечивающих обслуживание характерных для украинских портов судопото-

ков на протяжении длительного периода их эксплуатации, получено обобщение проблемы выбора необходимого количества и тяговых усилий буксиров. Оно сформировалось в результате перехода в рассматриваемых зависимостях от аргумента «дедвейт» к независимой переменной «наибольшая длина судна». В этом случае необходимое суммарное тяговое усилие буксиров становится очень слабо зависящим от типа и нагрузки обслуживаемых судов, но существенно изменяется при вариациях средней скорости ветра.

На рис. 3 представлены такие обобщенные зависимости для двух скоростей ветра, равных 14 и 7 м/с. Первая из них соответствует существующему официальному ограничению функционирования портов по швартовым операциям и может быть определена как граница потребных суммарных тяговых усилий буксирного обеспечения портов. Вторая – соответствует среднему значению скоростей ветра в акваториях портов (см. рис. 1).



*Рис. 3. Обобщенные зависимости необходимых суммарных тяговых усилий буксиров для обслуживания одного судна в морских портах Украины*

Представленные на рис. 3 зависимости свидетельствуют о том, что при достаточно часто встречающихся благоприятных погодных условиях суммарное тяговое усилие буксирного обслуживания порта может быть уменьшено вдвое. Это обстоятельство обуславливает значительную экономическую целесообразность использования обнаруженных закономерностей, оно же определяет необходимость подразделения состава буксирного флота порта на «мощные» и «стандартные» буксиры и сосредоточения внимания на нормативном регламентировании, в основном, мощных единиц.

К числу мощных единиц буксирного флота портов относится Z Peller с тяговым усилием 50 тонн, т.е. ASD буксир фирмы Damen. В качестве стандартного – используется двухвинтовой буксир с тяговым усилием 16 тонн. В связи с этим совокупность наиболее часто используемых «мощных» и «стандартных» буксиров может быть представлена в виде следующего ряда:

- А – Z Peller с тяговым усилием 50 тонн;
- В – Z Peller с тяговым усилием 30 тонн;
- С – двухвинтовой буксир с тяговым усилием 16 тонн.

Примером использования введенной градации буксиров и зависимостей, отображенных на рис. 4, является предложение по обновлению требований к буксирному сопровождению транспортных судов при их лоцманских проводках к специализированным причалам порта «Южный». Эти предложения, ориентированные на формирование новой редакции Обязательных постановлений порта, представлены в табл. 3.

**Модель функционирования буксирного флота порта.** Для определения необходимого состава и характеристик портовых буксиров, обслуживающих комплекс действующих причалов порта или систему причалов ближайшего будущего, составлена соответствующая модель функционирования буксирного флота порта. В основу модели положены методы теории массового обслуживания [13] и теории корабля. При этом подходной канал, причалы и буксиры представлены обслуживающими устройствами, которые могут быть в двух состояниях – свободно или занято, а приходы судов в порт – заявками, распределяемыми по причалам. В целом совокупность причалов порта отражена многоканальной системой массового обслуживания, находящейся в переменных (случайных) погодных условиях эксплуатации при случайном потоке заявок.

При реализации модели функционирования для каждого причала генерируется случайное время появления очередного судна – заявки на обслуживание. Для полученной заявки в зависимости от типа судна, его дедвейта и случайных погодных условий на время проведения маневренных операций определяется суммарный требуемый упор портовых буксиров и подбирается их количество из рассматриваемого состава буксирного флота порта с учетом занятости буксиров в операциях с другими судами. Проверяется возможность входа судна в порт. Для этого должны выполняться следующие условия: канал должен быть свободен, причал – свободен, имеется достаточное количество буксиров требуемой тяги.

При выполнении указанных условий моделируется проведение следующих этапов буксировочных операций: эскортирования или сопровождения судна по подходному каналу, транспортировки его к причалу и причаливания-швартовки. В случае невыполнения условий входа судна в порт, заявка ставится в очередь, а судно – на якорную стоянку.

Таблиця 3

*Швартовка/отшвартовка судов (мощные буксиры) –  
внутренняя акватория порта «Южный» \**

Длина судна наи- большая (Loa) м,от и до включительно	100-120		120-135		135-165		165-210		210-245	245-275	>275	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П				
Борт причаливания												
Причалы 1, 2	Вход	1	1	1	1	2	2	2	2	3**		
	Выход			1	1	1	1	2	2	2		
Причалы 3, 4	Вход	1	2	2	2	2	2					
	Выход			1	1	2	1					
Причалы 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 11А, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22Б	Вход	1	1	1	1	2	2	2	2	3**	4**	***
	Выход			1	1	1	2	2	2	2	3**	***
Причалы 5А, 5Б, 3Н	Вход	1	1	1	1	2	2	2	2	3**	4**	***
	Выход			1	1	1	2	2	2	2	3**	***
Причалы 34, 35, ГОИН	Вход	1	1	1	2	2	2	2	2	3**	4**	***
	Выход			2	1	2	1	2	2	2	3**	***
Причалы 15,16	Вход	1	1	2	2	2	2	2	2			
	Выход			1	2	2	2	2	2			
Причал 22А	Вход	1	1	1	1	2	2	2	2			
	Выход			1	1	1	1	2	2			
Причалы 4А, 22В	Вход	1	1	1	1							
	Выход			1	1							

\* При средних скоростях ветра до 7 м/с мощный буксир может быть заменен стандартным с тягой не менее 16 тонн;

\*\* Число мощных буксиров может быть уменьшено на единицу при условии, что, по крайней мере, два из оставшихся буксиров являются буксирами Z Peller типа с тяговым усилием не менее 50 тонн каждый;

\*\*\* Буксировка судов длиной (Loa) более 275 метров назначается индивидуально, на основе использования программы оперативного определения суммарного тягового усилия буксиров и их количества при операциях с одним судном и местного лоцманского опыта проводки судов. При этом определяющим остается мнение капитана судна.

Время стоянки судна у причала при выполнении погрузочно-разгрузочных работ моделируется в зависимости от производительности оборудования причала, которая также является случайной величиной.

После погрузки или разгрузки судна выполняется аналогичная последовательность операций по выводу его из порта. По завершению времени маневренных операций с судном, покидающим порт, заявка уходит из модели, буксиры и канал освобождаются.

Процесс моделирования производится одновременно ко всем причалам на интервале времени, равном календарному году, с шагом по времени, равном одной минуте.

**Экономические характеристики буксиров.** Разработанная модель функционирования дополнена блоком расчета показателей эффективности портовых буксиров. При этом положено, что доход буксира состоит, в основном, из двух составляющих: почасовой платы за сопровождение при движении по подходному каналу и платы за выполнение швартовных операций (буксирного сбора). У буксиров, обслуживающих суда-газовозы, дополнительный доход определяется эскортированием судна-газовоза в прибрежных водах и дежурством возле судна-газовоза при его стоянке у причала.

В эксплуатационные расходы портового буксира включены расходы на экипаж, амортизацию, ремонт, техобслуживание, докование, классификационное освидетельствование и топливо.

**Определение эффективности буксирного флота порта.** На основе предложенной модели функционирования портовых буксиров и способа расчета показателей эффективности их работы разработана программа определения эффективности существующего или назначаемого состава буксиров, обслуживающего существующий или назначаемый судопоток, распределенный по комплексу всех существующих причалов или по комплексу причалов ближайшего будущего. Программа учитывает накопление всех перечисленных буксирных доходов от операций эскортирования, сопровождения, «швартовки», «отшвартовки» и дежурства у судов, а также перечисленные статьи эксплуатационных расходов. При этом расходы топлива определяются текущими затратами мощности, необходимыми для развития потребной тяги, обеспечивающей выполнение буксирной операции в текущих погодных условиях, с учетом дополнительных сил, обусловленных кинематикой судна и буксиров.

Программа успешно прошла тестирование, включающее сравнение данных моделирования с данными работы буксирного флота порта «Южный» в 2013 году.

**Поиск оптимальных характеристик буксирного обеспечения порта.** Определение оптимальных характеристик буксиров и состава буксирного флота порта выполнено с помощью оптимизационной задачи, в которой в качестве критериев оптимальности рассмотрены критерии минимума используемой суммарной тяги буксирного флота при заданном судопотоке и максимума производительности (прибыли) на интервале времени, равном календарному году. В качестве основного ограничения задачи использована допустимая на этом интервале разность количества судов, вошедших в порт и вышедших из него, минимизирующая ущерб судовладельцев от простоя судов.

Оптимизационные задачи построены таким образом, чтобы получить решения, как для существующего причального комплекса, так и для комплекса причалов ближайшего будущего. Ядром этих задач явилась минимизация суммарного тягового усилия за счет соответствующего подбора буксиров для каждой буксирной операции, производимой в текущих погодных условиях.

**Выводы.** Для буксирного обеспечения портов Украины разработаны:

– методы определения необходимого количества и состава буксиров при практической реализации процессов швартовки/отшвартовки судов в портах, направленные на создание современной оперативной и нормативной базы буксирного обеспечения портов с целью увеличения его эффективности при сохранении безопасности швартовых операций;

– методы оценки эффективности и оптимизации состава буксирного флота порта по критериям достижения в результате выполнения этих операций минимума суммарной тяги флота и максимума его производительности, способствующие увеличению конкурентоспособности подразделений портов, занятых эксплуатацией буксиров.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Captain Henk Hensen. Using experience to asses required tug power / H. Hensen // Port Technology International. – 2003. – № 26. – P. 95-97.*
2. *Ship/Port Interface. Availability of tug assistance [Text] – IMO, Ref. T3/3.01. – 8 Sept. – 2003.*
3. *Henk Hensen. Tug use in port. A practical guide. Second edition. – Port Rotterdam, Nautical Institute, 2003. – 192 p.*
4. *Алявдина Т.Ф. Разработка методики выбора оптимальных типов и количества буксиров для морского порта [Электронный ресурс]: Дис. ... канд. Технические науки: 05.22.19. М.: РГБ, 2007.*
5. *Некрасов В.А. Методика выбора оптимального состава буксирного обеспечения порта [Электронный ресурс] / А.В. Бондаренко, В.А. Некрасов, А.П. Ястреба // Вісник Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2015. – № 4. – С. 43-52.*
6. *Заварукин Л.Г., Некрасов В.А., Бондаренко А.В. Определение необходимого количества и мощности современных буксиров для швартовки судна к причалам АО «СК «Авлита» // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК. – С. 37-39.*

7. *Thoresen C.A. Port Designer's Handbook: Recommendations and guidelines.* – London: Thomas Telford Publishing, 2007. – 549 p.
8. *British Standards.BS 6349 – 1:2000. Maritime structures – Part 1: Code of practice for general criteria.* – London: British Standards Institution, 2003. – 240 p.
9. *ROM 0.2-90. Actions in the Design of Marine and Harbour Works.* – Madrid: Departamento Tecnico de Tecnologia y Normativa, 1994. – 264 p.
10. *OCIMF. Mooring equipment guidelines. Second edition.* – Bermuda: Oil Companies International Marine Forum, 1997. – 185 p.
11. *SIGTTO. Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers.* – London: Society of International Gas Tanker & Terminal Operator, 2007. – 28 p.
12. РД 31.31.37-78. *Нормы технологического проектирования морских портов. Основные положения [Текст]* – М.: Минморфлот СССР, 1978. – 122с.
13. *Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст].* – М.: Советское радио, 1965. – 510 с.
14. *Справочник по теории корабля.* – В 3-х т. / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2015