

УДК 529.5.01

А. В. Бондаренко,
канд. техн. наук, доц.;

В. А. Некрасов,
д-р техн. наук, проф.;

А. П. Ястреба,
ст. преп.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА БУКСИРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОРТА

METHODOLOGY OF SELECTION OF OPTIMAL STRUCTURE OF THE FLEET HARBOUR TUG

В статье рассмотрена актуальная задача повышения эффективности буксирного флота порта и предложена методика выбора оптимального состава буксирного обеспечения, в основу которой положены методы статистического моделирования, теории массового обслуживания и теории корабля, а также разработанные авторами алгоритмы. Описан метод расчета сил, действующих на суда при их транспортировке к причалам порта, и перевода этих сил в необходимую суммарную тягу буксиров. Приведен метод расчета экономических показателей работы портовых буксиров, занятых в маневровых операциях. Предложен алгоритм формирования ордера с определением необходимого количества буксиров для выполнения маневренных операций в текущих гидрометеорологических условиях порта. Разработана модель функционирования портовых буксиров. Сформулирована и решена принципиально новая оптимизационная задача определения необходимого состава буксирного флота порта.

The article deals with the current task of improving the efficiency of the harbour tug fleet. The methodology of the selection of optimal composition of the towing supply is suggested. The technique is based on the methods of statistical modeling, queuing theory and the theory of the ship, as well as algorithms developed by the authors. The method of calculating the forces which act on the vessels during their transportation to the port quay, and the transfer of these forces to the required total bollar pull of tugs. The method for calculating the economic performance of the port tugs engaged in mooring operations is considered. The algorithm for the formation of the order with the determination of the required number of tugs to carry out maneuver operations in the current hydrometeorological conditions of the port is suggested. The model of the functioning of the port tugs is developed. The new optimization problem of the determination of the required composition of the port towing fleet is formulated and fundamentally solved.

Ключевые слова: портовый буксир, порт, модель функционирования, эффективность, буксирное обеспечение, оптимизация, методика, тяга, маневровые операции, моделирование.

Key words: harbor tug, port, model of functioning, efficiency, tug assist, optimization, methodology, bollar pull, harbor towage, simulation.

БУКСИРНОЕ обеспечение порта является важнейшей составляющей его эффективности и безопасности. Состав буксирного флота в порту зависит от количества заходящих судов и их дедвейта, географического положения, а также уровня технологического оснащения причалов. Кроме того, на количество буксиров оказывают влияние принятые нормы буксирного обеспечения по швартовке/отшвартовке и сопровождению судов. В разных странах мира действуют различные подходы к формированию норм или установлению количественного состава буксиров для выполнения маневровых операций.

Первый подход, принятый в России и Украине, основан на применении руководящих документов (РД) [1], [2], устанавливающих количество буксиров и мощности их главных двигателей в зависимости от типа судна и его дедвейта. Выполненный анализ этих документов позволяет поставить под сомнение целесообразность их использования. В качестве аргументов можно указать следующее:

– год утверждения РД [1], поскольку с того времени характеристики буксиров претерпели значительные изменения;

– РД [1], [2] полностью не охватывают все типы судов и их дедвейт (в частности, отсутствуют данные по судам-автомобилевозам).

– с момента утверждения РД существенным образом изменились характеристики судов (например, нормы не охватывают танкеры дедвейтом свыше 230 тыс. т, контейнеровозы — свыше 40 тыс. т, навалочники — свыше 160 тыс. т);

– выбор буксиров производится на основе мощности их главных двигателей, а не тяги, между тем современный буксир с меньшей мощностью может иметь тягу большую, чем буксир с большей мощностью более ранних лет постройки, да и сама тяга буксира зависит от типа движителя: винта, винторулевой колонки, крыльчатого движителя;

– нормы буксирного обеспечения установлены на основе предельных значений ветра и волнения без учета индивидуальных особенностей портов: района расположения, климата и т. д.

Второй подход, принятый во многих портах мира, основан на использовании приближенных зависимостей и различных таблиц или графиков для оценки требуемых характеристик буксиров. В качестве его недостатка следует отметить, что зачастую неизвестно, на основе каких данных и для каких гидрометеорологических условий получены эти формулы.

Таким образом, в настоящее время актуальной является задача разработки методики формирования оптимального состава флота портовых буксиров, а также метода расчета необходимого количества и тяги буксиров для выполнения маневровых операций применительно к конкретному порту и текущим погодным условиям.

Выполненный анализ исследований и публикаций позволяет сделать вывод о незначительном количестве статей по данной тематике. В первую очередь, следует отметить работу [3], в которой приведены данные по различным портам мира и предложены графики выбора количества буксиров и их тяги в зависимости от типа судна и его дедвейта. Эта работа содержит рекомендации по расчету требуемой тяги буксиров. Некоторые зависимости по оценке тяги буксиров приведены в работах [4] и [5]. В то же время, в указанных статьях не рассматривается вопрос выбора оптимального состава буксирного обеспечения порта.

Наиболее комплексным исследованием является работа [6], в которой предложена методика выбора оптимального состава буксирного флота порта. Главным недостатком этой методики является применение детерминированного подхода. Однако, как свидетельствуют статистические данные, количество судозаходов в порт и продолжительность операций являются случайными величинами. Таким образом, можно сделать вывод, что задача выбора оптимального состава флота портовых буксиров с учетом случайного характера исходных данных является малоизученной и актуальной.

Для выбора оптимального, с точки зрения экономической эффективности, состава буксирного флота порта авторами разработана методика, основу которой составляют:

– метод расчета сил, действующих на суда при их транспортировке к причалам порта, и перевод этих сил в необходимую суммарную тягу буксиров;

– алгоритм формирования ордера с определением необходимого количества буксиров для выполнения маневровых операций в текущих гидрометеорологических условиях порта;

– модель функционирования буксирного флота порта;

– алгоритм расчета экономических показателей работы портовых буксиров, занятых в маневровых операциях;

– формулировка и решение принципиально новой оптимизационной задачи определения необходимого состава буксирного флота порта.

Основными факторами, влияющими на суммарную величину потребной тяги буксиров, являются:

– размер сопровождаемого судна;

– аэродинамические нагрузки на его надводную часть;

- силы гидродинамической природы, действующие на погруженную в воду часть корпуса;
- инерционные силы, вызванные изменением скорости судна при его перемещениях в акватории порта.

Корректное определение этих сил обеспечивает не только выбор достаточного количества буксиров и значений их тяговых усилий, но и согласование процессов моделирования движения судна с натурными данными его буксировок в акватории порта.

В данной методике для определения необходимого количества буксиров-кантовщиков и их тяговых характеристик используется метод «накрытия» всех возможных расчетных схем одной схемой, которая выделяет наиболее ответственные стадии операций причаливания-отчаливания, обычно сопровождающиеся наибольшими развивающимися усилиями. Среди множества стадий кантования судна сопровождающими его буксирами, в стесненной акватории порта, таковыми являются финальная стадия причаливания и начальная стадия отчаливания. В обоих случаях судно располагается параллельно причалу, и развивающиеся усилия ориентированы в направлении, перпендикулярном его диаметральной плоскости. Эта расчетная ситуация традиционно находится в основе всех методик выбора необходимого количества и мощности буксиров-кантовщиков [3], [7], [8].

Реализация расчетной схемы осуществляется поэтапно, путем определения усилий от действия ветра и волнения, а также вызываемых движением самого судна и инерцией процессов его торможения и ускоренного перемещения. Итоговое значение усилия, определяющее величину потребной тяги буксиров в зависимости от водоизмещения или дедвейта швартуемого / отшвартовываемого судна, определяется по формуле

$$F = S_f (F_1 + F_2 + F_3 + F_4), \quad (1)$$

где S_f — коэффициент запаса; F_1 — усилие от ветра, т; F_2 — усилие от действия волн, т; F_3 — гидродинамическая сила, т; F_4 — инерционная сила, т.

Сила от действия ветра [3], [7], [8] определяется по следующей общепринятой формуле:

$$F_1 = \frac{1}{2} \frac{\rho_1 V_1 A_1 C_1}{g 10^3}, \quad (2)$$

где ρ_1 — плотность воздуха, кг/м³; V_1 — расчетная скорость ветра, м/с; A_1 — площадь парусности судна, м²; C_1 — коэффициент аэродинамического сопротивления.

Значения расчетной скорости ветра в текущий момент времени V_1 генерируются с помощью датчика случайных чисел в соответствии с заданным законом распределения. Площади парусности A_1 рассчитываются в зависимости от типа судна, его дедвейта и состояния загрузки: «в полном грузу» или «в балласте» [9], [10].

Для приближенной оценки волнового воздействия в практике проектирования портов [3], [7], [8] используется следующая формула:

$$F_3 = 0,112 L_{BP} H_{1/3}^2, \quad (3)$$

где L_{BP} — длина судна между перпендикулярами, м; $H_{1/3}$ — высота значительных волн, м.

Сила сопротивления воды, действующая на погруженную часть корпуса перемещающегося по акватории порта судна [3], [7], [8], рассчитывается по формуле

$$F_2 = \frac{1}{2} \frac{\rho_2 V_2 A_2 C_2}{g 10^3}, \quad (4)$$

где ρ_2 — плотность морской воды, кг/м³; V_2 — расчетная скорость движения при швартовке, м/с; A_2 — проекция погруженной части корпуса на диаметральную плоскость, м²; C_2 — коэффициент гидродинамического сопротивления.

Определение величины F_2 выполняется при следующих данных: $\rho_2 = 1025$ кг/м³, $V_2 = 0,3$ м/с, $C_2 = 0,7$. Значение площади A_2 определяется в зависимости от типа и дедвейта судна, состояния загрузки («в полном грузу» или «в балласте») [9], [10].

В процессе рассматриваемых стадий маневровых операций судно движется лагом с переменной скоростью. Возникающие при этом массовые и гидродинамические инерционные силы определяются величиной водоизмещения судна и коэффициента присоединенных масс μ_{22} . В практике проектирования портов суммарную инерционную нагрузку, необходимую для завершения движения судна при причаливании или для разгона до определенной величины при отчаливании [3], [8], рекомендуется вычислять по формуле

$$F_4 = f_4 \frac{0,07V_4^2 \Delta}{S_4}, \quad (5)$$

где f_4 — инерционный коэффициент, принимаемый для морских транспортных судов равным $f_4 = 1,6$; V_4 — начальная или конечная скорость, рекомендуемое значение которой $V_4 = 0,5$ уз ($V_4 = V_0 = 0,26$ м/с); Δ — водоизмещение судна, т; S_4 — дистанция перемещения судна, $S_4 = S_0 = 40$ м.

Для решения задачи выбора оптимального количества буксиров, занятых в маневровой операции, был разработан алгоритм формирования ордера, обеспечивающего заданную тягу и удовлетворяющего следующим условиям [6]:

- требуемая суммарная тяга буксиров, участвующих в маневровой операции, должна быть не более фактической тяги выбранных буксиров;
- количество буксиров, занятых в маневровой операции, должно быть не менее двух и не более пяти;
- в одной маневровой операции является допустимым применение буксиров только из смежных групп (ограничение по тяге).

Процесс формирования ордера начинается с определения минимального количества буксиров — N_{\min} . Для судов дедвейтом не более 150 тыс. т задается два буксира, в противном случае — три. Предполагается, что вначале выбираются буксиры из одной группы, затем определяется минимальная требуемая тяга одного буксира

$$Z = \frac{Z_{req}}{N_{\min}} \quad (6)$$

и производится выбор буксиров по условию

$$Z_j \geq Z, \quad (7)$$

где $Z_{req} = F$ — суммарная тяга буксиров, рассчитываемая по формуле (1).

Если свободных буксиров с тягой, равной или большей Z , не оказалось, то увеличивается минимальное количество буксиров на единицу. Операция увеличения продолжается до тех пор, пока не будет превышено максимально допустимое в ордере количество буксиров или при выполнении условия (7). В первом случае выдается сообщение об отсутствии свободных буксиров и судно становится в очередь на обслуживание в ожидании освобождения требуемых буксиров. Во втором случае в цикле выполняется выбор требуемых буксиров по формуле

$$Z_j \geq Z_{req_j}, \quad (8)$$

где j — порядковый номер буксира в ордере ($j = 1, \dots, N_{\min}$); Z_{req_j} — требуемая тяга для j -го буксира.

Требуемая тяга для j -го буксира рассчитывается по формуле

$$Z_{req_j} = \frac{Z_{req} - Z_{sum}}{N_{\min} - j - 1}. \quad (9)$$

Здесь Z_{sum} — суммарная тяга выбранных для буксировки буксиров;

Выбранным буксирам присваивается статус «занят». Также операция буксировки не может быть выполнена, если требуемое количество буксиров больше количества буксиров, свободных в текущий момент времени.

В основу модели функционирования буксирного флота положены методы теории массового обслуживания [11] – [13] и имитационного моделирования [14] – [16]. Предполагается, что моделируемая система «порт» состоит из следующих элементов: *подходной канал, причалы и буксиры*. При этом данные элементы являются обслуживающими устройствами, которые могут находиться в двух состояниях: «свободен» или «занят». Прибытие судов в порт рассматривается в виде потока заявок, распределляемых по причалам и требующих обслуживания.

Совокупность причалов порта представляется многоканальной системой массового обслуживания, находящейся в переменных (случайных) погодных условиях эксплуатации при случайному потоке заявок. Интенсивность этого потока определяется на основе статистических данных за рассматриваемый период (обычно календарный год). Затем поток заявок распределяется по причалам в соответствии с заданной интенсивностью — количеством причаливаемых судов в единицу времени (один год), дифференцируемым по типу судов и их дедвейту (рис. 1).

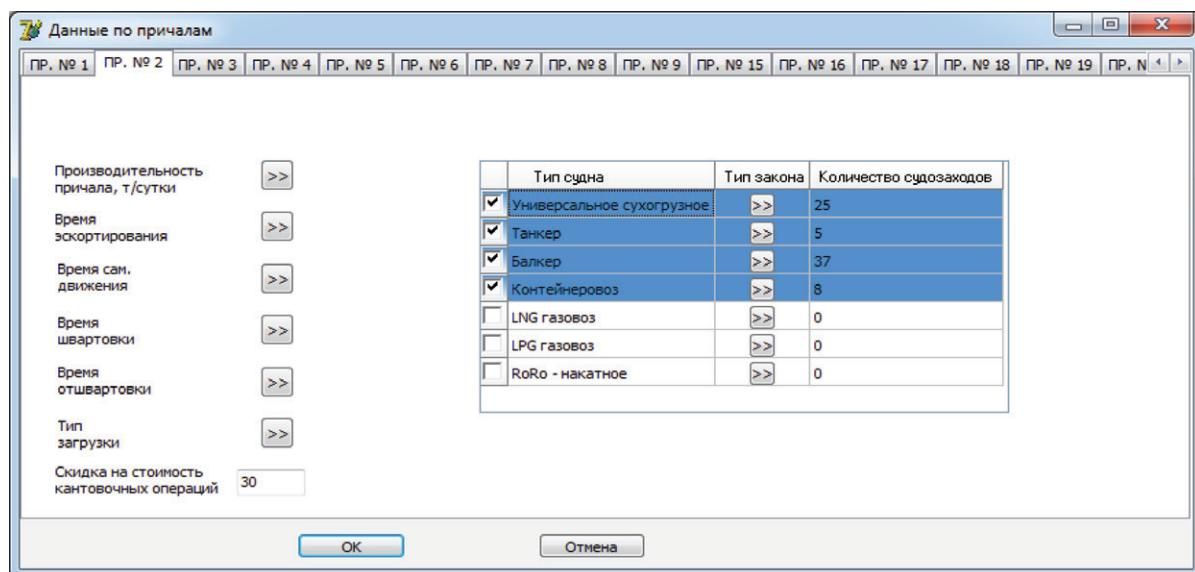


Рис. 1. Данные по судопотоку для причала № 2

Случайная величина дедвейта определяется согласно закону распределения и его параметрам — математическому ожиданию, дисперсии и т. д. В качестве примера приведена гистограмма такого распределения и ее аппроксимация логнормальным законом для сухогрузных судов, швартующихся к причалу № 2 одного из портов Украины с интенсивностью в среднем 25 судов в год (рис. 2).

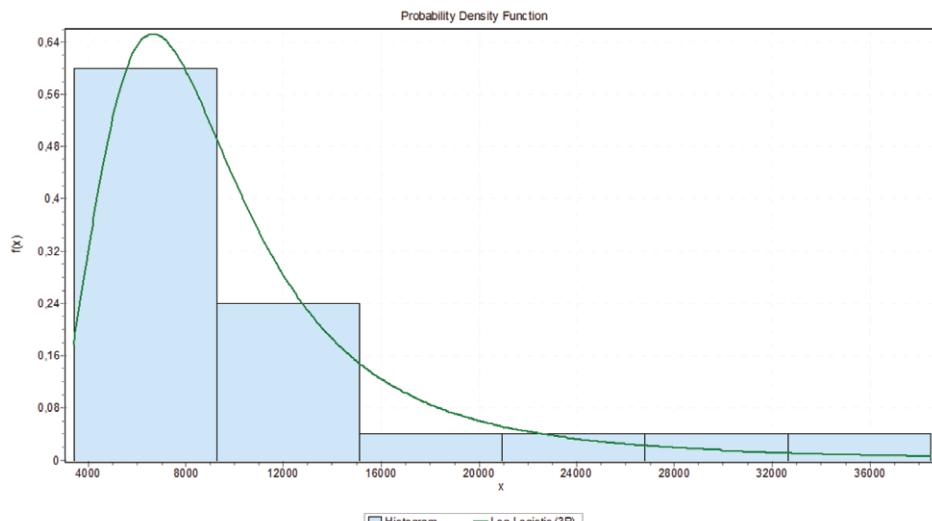


Рис. 2. Распределение сухогрузных судов по дедвейту (причал № 2)

Если дедвейт входящих в порт судов нельзя описать ни одним из известных законов распределения, то для генерации значения случайной величины используется гистограмма (рис. 3).

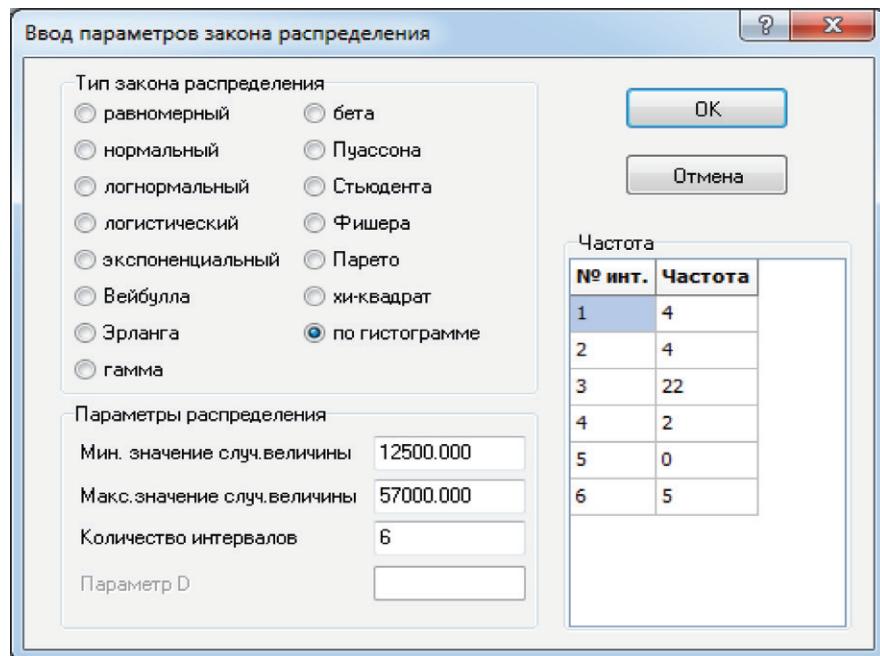


Рис. 3. Диалоговое окно выбора закона распределения случайной величины

При реализации модели функционирования для каждого причала генерируется время появления очередного судна — заявки на обслуживание. Для полученной заявки в зависимости от типа судна, его дедвейта и погодных условий на время проведения маневренных операций по формуле (1) определяется суммарный требуемый упор портовых буксиров и подбирается их количество из существующего состава буксирного флота порта с учетом занятости буксиров на операциях с другими судами. Проверяется возможность входа судна в порт. Для этого должны выполняться следующие условия: причал должен быть в состоянии «свободен», канал — «свободен», погодные условия — «допустимые» и иметься в наличии достаточное количество свободных буксиров требуемой тяги.

При выполнении всех указанных условий моделируется проведение следующих этапов маневровых операций: эскортирование (сопровождение) судна по подходному каналу, транспортировка его к причалу и причаливание — швартовка. При этом для выбранных буксиров меняется статус со «свободен» на «занят» и определяются промежутки времени этапов выполнения маневровых операций. Операция эскортирования судна по подходному каналу до входа в порт обычно осуществляется одним буксиром, а операция сопровождения на этом же участке — двумя. Предусмотрена возможность установления и других режимов плавания в зависимости от требований порта. Операцией «швартовки» условно называется перемещение судна от входа в порт до причала.

Случайные величины промежутков времени выполнения этапов маневровых операций определяются соответствующими законами распределения времени эскортирования или сопровождения, транспортировки к причалу и причаливания (швартовки), а также параметрами этих законов распределения, такими как среднее значение промежутка времени, его дисперсия и т. д. В случае невыполнения условий входа судна в порт заявка ставится в очередь на обслуживание, т. е. моделируется событие «якорная стоянка судна». После выполнения маневровых операций по эскортированию и доставке судна к причалу буксиры, занятые эскортированием и транспортировкой, освобождаются (получают статус — «свободен»).

Время стоянки судна у причала при выполнении погрузочно-разгрузочных работ у причала моделируется в зависимости от производительности его оборудования. Случайная величина про-

изводительности каждого причала определяется соответствующим законом распределения и его параметрами. После завершения операции по погрузке-разгрузке проверяется возможность отхода судна от причала (наличие свободных буксиров, незанятости подходного канала и допустимости погодных условий). При невыполнении этих условий судно остается у причала и дожидается своей очереди на обслуживание.

Если условия, необходимые для вывода судна из порта, выполняются, то из числа незанятых выбирается необходимое количество буксиров (получают статус «занят»), определяются промежутки времени операций по отчаливанию и доставке судна к выходу из порта (отшвартовки), а также прохождению канала (эскортирование, или сопровождение), канал переводится в статус «занят», моделируется выполнение маневровых операций. Случайные величины промежутков времени выполнения этапов этих маневровых операций также определяются соответствующими законами распределения времени отчаливания и транспортировки к выходу из порта, прохождения подходного канала, а также параметрами этих законов распределения.

Погодные условия эксплуатации порта задаются с помощью долговременного закона распределения скорости ветра в районе его географического расположения. Оценка законов распределения характеристик производительности оборудования причалов порта производится по средним значениям производительности причалов порта и по статистическим данным времени стоянки судов в этом порту под погрузкой-разгрузкой за календарный год.

Оценка законов распределения времени эскортирования судов в подходном канале порта, буксировки его от входа в порт к причалам и обратно осуществляется также по статистическим данным работы буксиров порта. По завершении времени маневровых операций с судном, покидающим порт, заявка уходит из модели, буксиры и канал освобождаются.

Процесс моделирования производится на промежутке времени, равном календарному году, с шагом по времени, равным одной минуте. За начальное состояние системы принимается такое, при котором все причалы считаются незанятыми, буксиры — свободными, подходной канал — свободным.

Разработанная модель функционирования дополнена блоком расчета показателей эффективности портовых буксиров. Оценка эффективности выполняется путем расчета расходов и доходов портовых буксиров при выполнении ими следующих основных операций:

- эскортирование (сопровождение);
- швартовка / отшвартовка / перестановка;
- ожидание (простой).

Метод расчета экономических показателей работы портовых буксиров учитывает накопление всех доходов от указанных операций, а также основные статьи эксплуатационных расходов. При этом расходы топлива определяются не максимальными значениями мощности двигателей буксиров, а текущими затратами мощности, необходимыми для развития потребной тяги, обеспечивающей выполнение маневровой операции при текущих погодных условиях с учетом дополнительного силового воздействия, обусловленного кинематикой судна при выполнении текущей операции. С учетом специфики работы предполагается, что доход портового буксира состоит из двух составляющих:

- почасовой платы за сопровождение (эскортирование);
- платы за выполнение маневровых операций (буксирного сбора).

Эксплуатационные расходы портового буксира включают расходы на топливо, экипаж, амортизацию, ремонт, техническое обслуживание, докование и классификационное освидетельствование.

Расходы на ремонт и техническое обслуживание определяются по следующей формуле:

$$P_{\text{рем}} = \frac{q_{\text{рем}} \cdot K}{100}, \quad (10)$$

где $q_{\text{рем}}$ — норма расходов на ремонт, %; K — стоимость портового буксира.

Расходы на докование

$$P_{\text{док}} = \frac{q_{\text{док}} \cdot K}{100}, \quad (11)$$

где $q_{\text{док}}$ — норма расходов на докование, %.

Амортизационные расходы

$$P_{\text{ам}} = \frac{q_{\text{ам}} \cdot K}{100}, \quad (12)$$

где $q_{\text{ам}}$ — норма амортизационных расходов, %.

Расходы на содержание персонала (экипажей)

$$P_{\text{эк}} = q_{\text{эк}} \cdot N_{\text{эк}} \cdot 11, \quad (13)$$

где $N_{\text{эк}}$ — количество экипажа; $q_{\text{эк}}$ — средняя зарплата одного члена экипажа в месяц.

Расходы на топливо определяются с помощью следующего выражения:

$$P_{\text{тп}} = \frac{q_{\text{тп}} \cdot N_{\text{тп}} \cdot t}{1000000}, \quad (14)$$

где $q_{\text{тп}}$ — удельный расход топлива, г/(кВт·ч); $N_{\text{тп}}$ — необходимая для выполнения портовой операции мощность главных двигателей буксира, кВт; t — время маневровой операции или операции сопровождения, определяемое в модели функционирования, ч.

Исходя из ранее изложенного, для расчета такого показателя эффективности, как прибыль от эксплуатации флота портовых буксиров, в первом приближении необходимо определить доходы от маневровых операций и расходы на эксплуатацию буксира, которые выражаются через время функциональных операций и количество используемых буксиров.

Для реализации предлагаемой методики была разработана соответствующая 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. Диалоговое окно моделирования этой программы представлено на рис. 4.

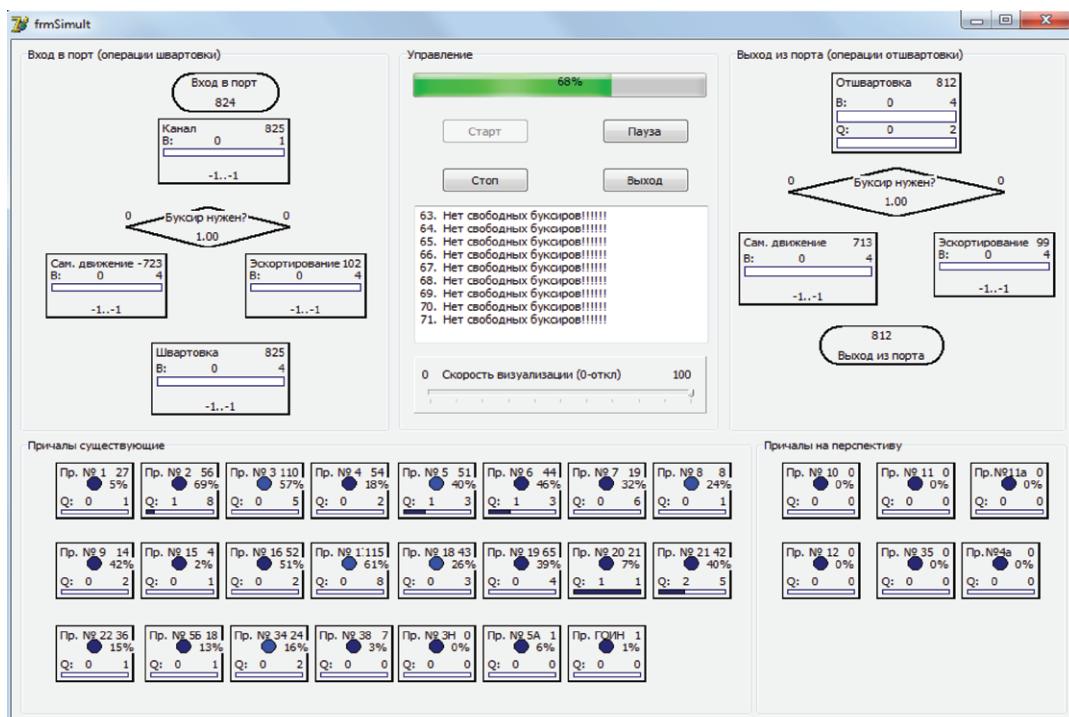


Рис. 4. Главное диалоговое окно программы определения эффективности существующего или назначаемого состава буксиров

Разработанная авторами методика предусматривает возможность решения задачи выбора оптимального состава флота портовых буксиров двумя методами. В основу первого метода заложено формирование оптимального состава буксирного обеспечения порта из имеющихся в порту буксиров, а также предварительно сформированного множества проектов с известными тяговыми характеристиками. Матрица буксиров должна содержать следующие данные: название буксира, количество экипажа, упор, мощность, скорость, стоимость, почасовая ставка, месячный фонд зарплаты, расходы на ремонт и снабжение, годовые амортизационные отчисления. В данном случае выбор оптимального состава буксирного обеспечения порта проводится на основе анализа времени использования буксиров каждого типа. Буксиры с минимальным временем использования нецелесообразно оставлять в составе флота.

Второй метод предусматривает решение оптимизационной задачи. При этом предполагаются известными количество типов буксиров, которые могут быть использованы для выполнения маневровых операций. В качестве целевой функции может быть выбран показатель максимума прибыли или минимума суммарной тяги буксиров. Вектор независимых переменных включает тягу на гаке Z_i и количество буксиров i -го типа x_i .

Система ограничений задачи содержит требования:

– к количеству буксиров определенного типа

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad (15)$$

где $x_i^{\min} = 0$ — минимальное количество буксиров i -го типа; x_i^{\max} — максимальное количество буксиров i -го типа;

– к тяге на гаке буксиров определенного типа

$$Z_i^{\min} \leq Z_i \leq Z_i^{\max}, \quad (16)$$

где Z_i^{\min} — минимальная тяга буксиров i -го типа; Z_i^{\max} — максимальная тяга буксиров i -го типа.

Для решения поставленной оптимизационной задачи применяется генетический алгоритм [17], [18].

Выводы

1. Разработанная методика и программный продукт обеспечивают реализацию следующих функций:

– выбор оптимального состава существующего или обновленного буксирного обеспечения порта по типам буксиров и их тяговым характеристикам с учетом индивидуальных особенностей акватории порта, климата, количества причалов и установленного режима плавания;

– определение экономических результатов безопасного обслуживания судов в комплексе действующих или расширяемых причалов порта существующим или назначаемым составом буксирного флота;

– решение основных проблем проектирования портовых буксиров, в частности создание ряда типоразмеров таких судов в зависимости от потребной тяги.

2. Полученные в ходе исследования результаты предлагается использовать для оптимизации состава существующего или обновленного буксирного обеспечения порта, а также выбора проектных характеристик портовых буксиров.

3. Возможно и другое применение методики и программного комплекса. В частности, их можно использовать для решения следующих задач:

– оперативное решение всех текущих вопросов эскортного сопровождения и швартовки / отшвартовки судов в современном порту с помощью мощных буксиров;

– формирование обновлений раздела «Нормы занятости буксиров-кантовщиков на маневровых операциях с одним судном» обязательного Постановления порта;

– подготовка и выполнение корректировки соответствующих разделов «Норм технологического проектирования морских портов» для Украины [1].

Список литературы

1. РД 31.31.37–78. Нормы технологического проектирования морских портов. Основные положения. — М.: Минморфлот СССР, 1978. — 122 с.
2. РД 31.3.05–97. Нормы технологического проектирования морских портов. — М.: Министерство транспорта Российской Федерации, 1998. — 177 с.
3. *Hensen H.* Tug use in port. A practical guide. — 2-nd edition / H. Hensen. — Port Rotterdam: Nautical Institute, 2003. — 192 p.
4. *Tugs and Tows — A Practical Safety and Operational Guide* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.shipownersclub.com/loss-prevention/publications> (дата обращения: 24.06.2015 г.).
5. *Ермолов Г. Г.* Справочник капитана дальнего плавания / Г. Г. Ермолов. — М.: Книга по требованию, 2013. — 245 с.
6. *Алявдина Т. Ф.* Разработка методики выбора оптимальных типов и количества буксиров для морского порта / Т. Ф. Алявдина: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. — Л.: ЛВИМУ им. адм. С. О. Макарова, 1984. — 239 с.
7. *Agerschou H.* Planning and designing of ports and marine terminals. — 2-nd edition / H. Agerschou, I. Dand, T. Ernst. — London: Thomas Telford, 2004. — 444 p.
8. *Gaythwaite J. W.* Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels / J. W. Gaythwaite. — Reston: ASCE Press, 2004. — 564 p.
9. *Yasuhiro A.* Ship Dimensions of Design Ship under Given Confidence Limits / A. Yasuhiro, T. Hironao // Technical Note of the Port and Harbour Research Institute. — 1998. — № 911. — 25 p.
10. *Hironao T.* Study on Standards for Main Dimensions of the Design Ship / T. Hironao, G. Ayako, A. Motohisa // Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management. — 2006. — № 309. — June. — 103 p.
11. *Гнеденко Б. В.* Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. — Изд. 4-е, испр. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007. — 397 с.
12. *Саати Т. Л.* Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т. Л. Саати. — Изд. 3-е. — М.: ЛИБРОКОМ, 2010. — 520 с.
13. *Stewart W. J.* Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling / W. J. Stewart. — Princeton: Princeton University Press, 2009. — 776 p.
14. *Law A. M.* Simulation modeling and analysis. — 5-th edition / A. M. Law. — New York: McGraw-Hill, 2015. — 804 p.
15. *Chan V.* Theory and Applications of Monte Carlo Simulations / V. Chan. — InTech, 2013. — 284 p.
16. *Советов Б. Я.* Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 6-е изд., стер. — М.: Высш. школа, 2009. — 342 с.
17. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 452 с.
18. *Sivanandam S. N.* Introduction to Genetic Algorithms / S. N. Sivanandam, S. N. Deepa. — New York: Springer, 2007. — 442 p.