

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

КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА БУКСИРНОГО ФЛОТА ПОРТА

В работе рассмотрена актуальная задача повышения эффективности буксирного флота порта и предложена концепция оптимального выбора состава буксирного обеспечения. В основу концепции положены методы статистического моделирования, теории массового обслуживания и теории корабля. Предложен алгоритм формирования ордера с определением необходимого количества буксиров для выполнения маневренных операций в текущих гидрометеорологических условиях порта.

Ключевые слова: буксир, порт, эффективность, буксирное обеспечение, оптимизация.

Постановка проблемы. Буксирное обеспечение порта является важнейшей составляющей его эффективности и безопасности. Состав буксирного флота, необходимый для выполнения требуемых операций, зависит от географического положения порта, количества заходящих судов и их дедвейта, уровня технологического оснащения порта.

Количественный состав буксиров порта в первую очередь определяется методикой расчета необходимого количества буксиров для выполнения буксировочных операций в порту и требуемой тяги. В настоящее время данный расчет может быть выполнен несколькими способами.

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

- ✓ год утверждения РД [1]. С тех времен характеристики буксиров претерпели значительные изменения;
- ✓ РД полностью не охватывает все типы судов и их дедвейт. В частности нет данных по накатным судам, судам-автомобилевозам;
- ✓ с момента утверждения РД существенным образом изменились характеристики судов, например, танкеров, контейнеровозов. На большинстве судов устанавливаются подруливающие устройства;
- ✓ выбор буксиров проводится 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, винто-рулевой колонки, крыльчатого движителя;
- ✓ нормы буксирного обеспечения установлены на основе предельных значений ветра и волнения и не учитывают особенности портов.

Второй способ основан на использовании приближенных зависимостей и различных графиков для оценки требуемых характеристик буксиров. В качестве недостатка этого подхода следует отметить, что очень часто неизвестно на основе каких данных и для каких гидрометеорологических условий получены эти формулы.

Таким образом, в настоящее время актуальной является задача разработки концепции формирования оптимального состава флота портовых буксиров, а также методики расчета

необходимого количества и тяги буксиров для выполнения швартовных операций применительно к конкретному порту и текущим погодным условиям.

Анализ последних исследований и публикаций. Выполненный анализ исследований и публикаций позволяет сделать вывод о незначительном количестве статей по данной тематике. В первую очередь следует назвать работу [2], в которой собраны данные по различным портам мира и предложены графики выбора количества буксиров и их тяги в зависимости от типа судна и его дедвейта. Также она содержит рекомендации по расчету требуемой тяги буксиров. Некоторые зависимости по оценке тяги буксиров приведены в работах [3] и [4]. В тоже время в указанных работах не рассматривается вопрос выбора оптимального состава буксирного обеспечения порта.

Наиболее комплексным исследованием является работа [5] в которой автором предложена методика выбора оптимального состава буксирного флота порта. Главным недостатком указанной методики является применение детерминированного подхода. Но, как свидетельствуют статистические данные, количество судозаходов в порт, 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.

Цель статьи – создание концепции выбора оптимального количества и характеристик буксирных судов для порта.

Изложение основного материала. Разработанная авторами концепция предусматривает возможность решения задачи выбора оптимального состава флота портовых буксиров двумя методами.

В основу первого метода заложено формирование оптимального состава буксирного обеспечения порта из существующих типов буксиров порта, а также предварительно сформированного множества проектов с известными тяговыми характеристиками. Матрица буксиров должна содержать следующие данные: имя буксира, количество экипажа, упор, мощность, скорость, стоимость, почасовая ставка, месячный фонд зарплаты, расходы на ремонт и снабжение, годовые амортизационные отчисления.

В этом 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 буксировочных операций.

В качестве целевой функции может быть выбран показатель максимума прибыли или минимума суммарной тяги.

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

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max},$$

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

$$Z_i^{\min} \leq Z_i \leq Z_i^{\max},$$

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 [9].

В основу предлагаемой концепции положены:

1. Разработанный метод расчета сил, действующих на суда при их транспортировке к причалам порта и перевода этих сил в необходимую суммарную тягу буксиров.
2. Алгоритм формирования ордера с определением необходимого количества буксиров для выполнения маневренных операций в текущих гидрометеорологических условиях порта.
3. Разработанная модель функционирования буксирного флота порта.
4. Метод расчета экономических показателей работы портовых буксиров, занятых в маневренных операциях.
5. Формулировка и решение принципиально новой оптимизационной задачи определения необходимого состава буксирного флота порта.

Сущность предлагаемой концепции состоит в следующем. Для порта разрабатывается модель функционирования буксирного флота, с помощью которой проводится выбор оптимального с точки зрения экономической эффективности состава флота.

В основу этой модели положены методы теории массового обслуживания [8]. При этом подходной канал, причалы и буксиры являются обслуживаемыми устройствами, которые могут быть в двух состояниях: «свободен» или «занят». Прибытие судов в порт рассматривается в виде потока заявок, распределяемых по причалам и требующих обслуживания.

Совокупность причалов порта представляется многоканальной системой массового обслуживания, находящейся в переменных (случайных) погодных условиях эксплуатации при случайном потоке заявок. Для реализации потока заявок каждому причалу назначается своя интенсивность судопотока – количество причаливаемых судов в единицу времени (один год), дифференцируемая по типу судов и их дедвейту. Случайная величина дедвейта определяется законом распределения и его параметрами – средним значением случайной величины, дисперсией и т.д. Гистограмма такого распределения и ее аппроксимация для сухогрузных судов, швартующихся к причалу № 2 с интенсивностью в среднем 25 судов в год, представлена на рис. 1.

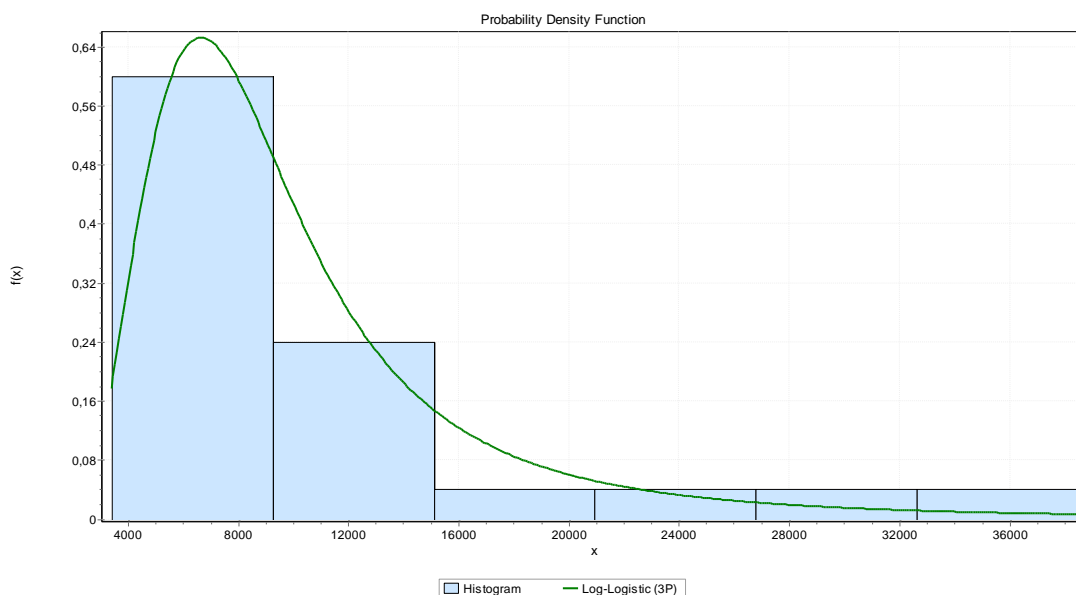


Рис. 1. Распределение сухогрузных судов по дедвейту (2 причал)

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 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 имеется достаточное количество буксиров требуемой тяги.

При выполнении всех указанных условий моделируется проведение следующих этапов буксировочных операций: эскортирования или сопровождения судна по подходному каналу, транспортировки его к причалу и причаливания – швартовки. При этом для выбранных для причаливания буксиров меняется статус со «свободен» на «занятый и определяются промежутки времени этапов выполнения буксировочных операций. Операция эскортирования судна по подходному каналу до входа в порт обычно осуществляется одним буксиром, а сопровождения на этом же участке – двумя. Операцией «швартовки» условно называется перемещение судна от входа в порт до причала.

Случайные величины промежутков времени выполнения этапов буксировочных 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 буксировочных 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 оборудования причала. Случайная величина производительности каждого причала определяется соответствующим законом распределения производительности 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, требуемые для вывода судна из порта, выполняются, то из числа незанятых, выбирается необходимое количество буксиров (их статус становится «занятым»), определяются промежутки времени операций по отчаливанию и доставки судна к выходу из порта (отшвартовки) и прохождения канала (эскортирования или сопровождения), канал переводится в статус «занят», моделируется выполнение буксировочных операций.

Случайные величины промежутков времени выполнения этапов этих буксировочных 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 скоростей 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 завершению времени буксировочных 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, равном одной минуте.

Начальным состоянием системы принимается состояние, при котором все причалы считаются незанятыми, буксиры – свободными, подходной канал – свободным.

Рассмотренная модель функционирования буксирного флота порта графически представлена на рис. 2.

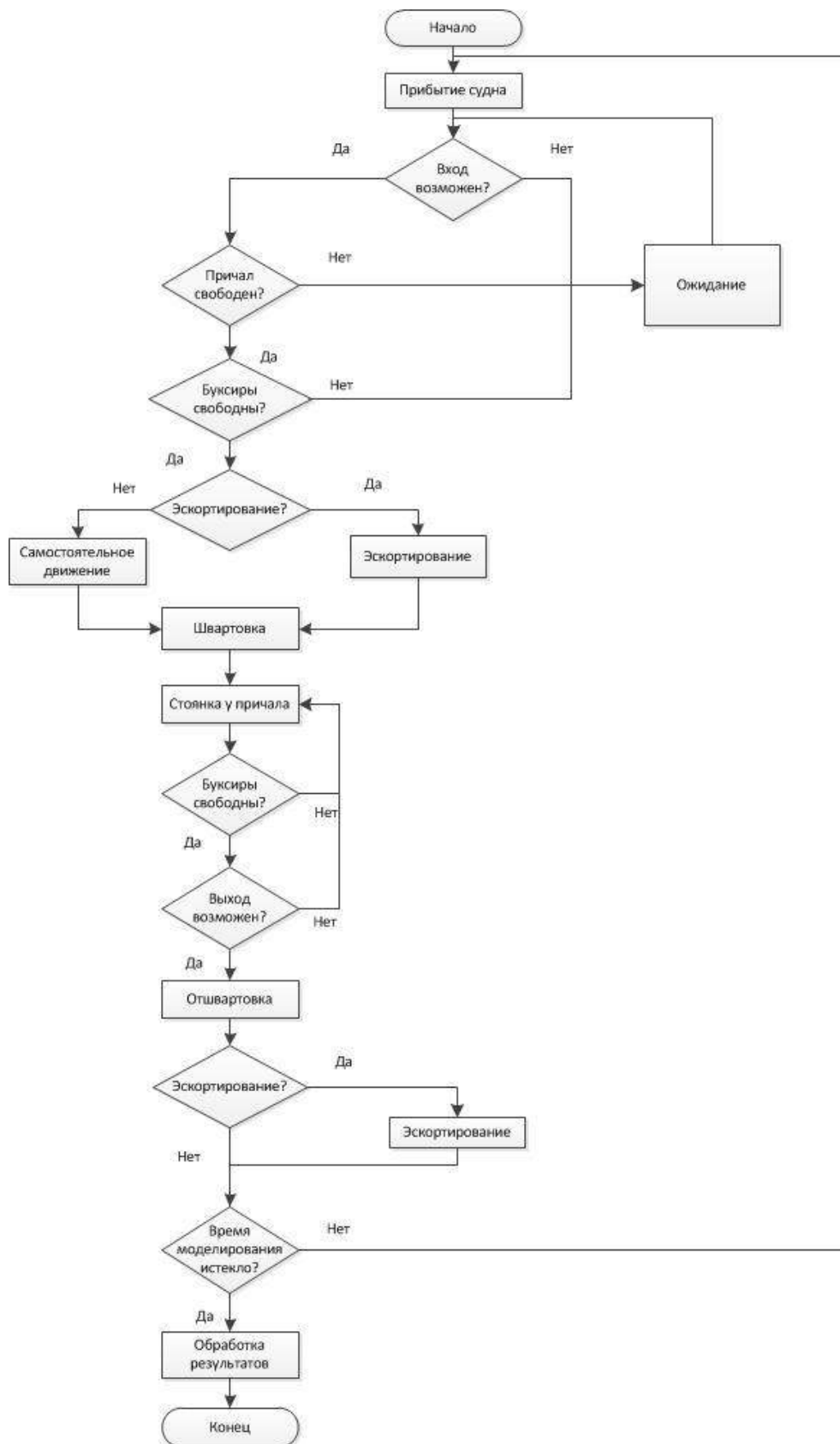


Рис. 2. Модель функционирования буксиров порта

Разработанная модель функционирования дополнена блоком расчета показателей эффективности портовых буксиров. Основными операциями портового буксира, учитываемыми при оценке эффективности, являются:

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

С учетом специфики работы портовых буксиров предполагается, что доход буксира состоит из двух составляющих:

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

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

Расходы на ремонт и техобслуживание определяются по следующей формуле

$$P_{\text{рем}} = \frac{q_{\text{рем}} \cdot K}{100},$$

где $q_{\text{рем}}$ – норма расходов на ремонт, %;

K – стоимость портового буксира;

Расходы на докование

$$P_{\text{док}} = \frac{q_{\text{док}} \cdot K}{100},$$

где $q_{\text{док}}$ – норма расходов на докование, %;

Амортизационные расходы

$$P_{\text{ам}} = \frac{q_{\text{ам}} \cdot K}{100},$$

где $q_{\text{ам}}$ – норма амортизационных расходов, %;

Расходы на содержание персонала буксиров (экипажей)

$$P_{\text{эк}} = q_{\text{эк}} \cdot N_{\text{эк}} \cdot 11,$$

где $N_{\text{эк}}$ – количество экипажа;

$q_{\text{эк}}$ – средняя зарплата одного члена экипажа в месяц;

Расходы на топливо определяются с помощью следующего выражения:

$$P_{\text{тп}} = \frac{q_{\text{тп}} \cdot Ne \cdot t}{1000000},$$

где $q_{\text{тп}}$ – удельный расход топлива, г/(кВт час);

Ne – требуемая для выполнения портовой операции мощность главных двигателей буксира, кВт;

t – время буксирной операции или операции сопровождения, определяемое в модели функционирования, час.

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

Для реализации предлагаемой концепции 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, окно моделирования которой представлено на рис. 3.

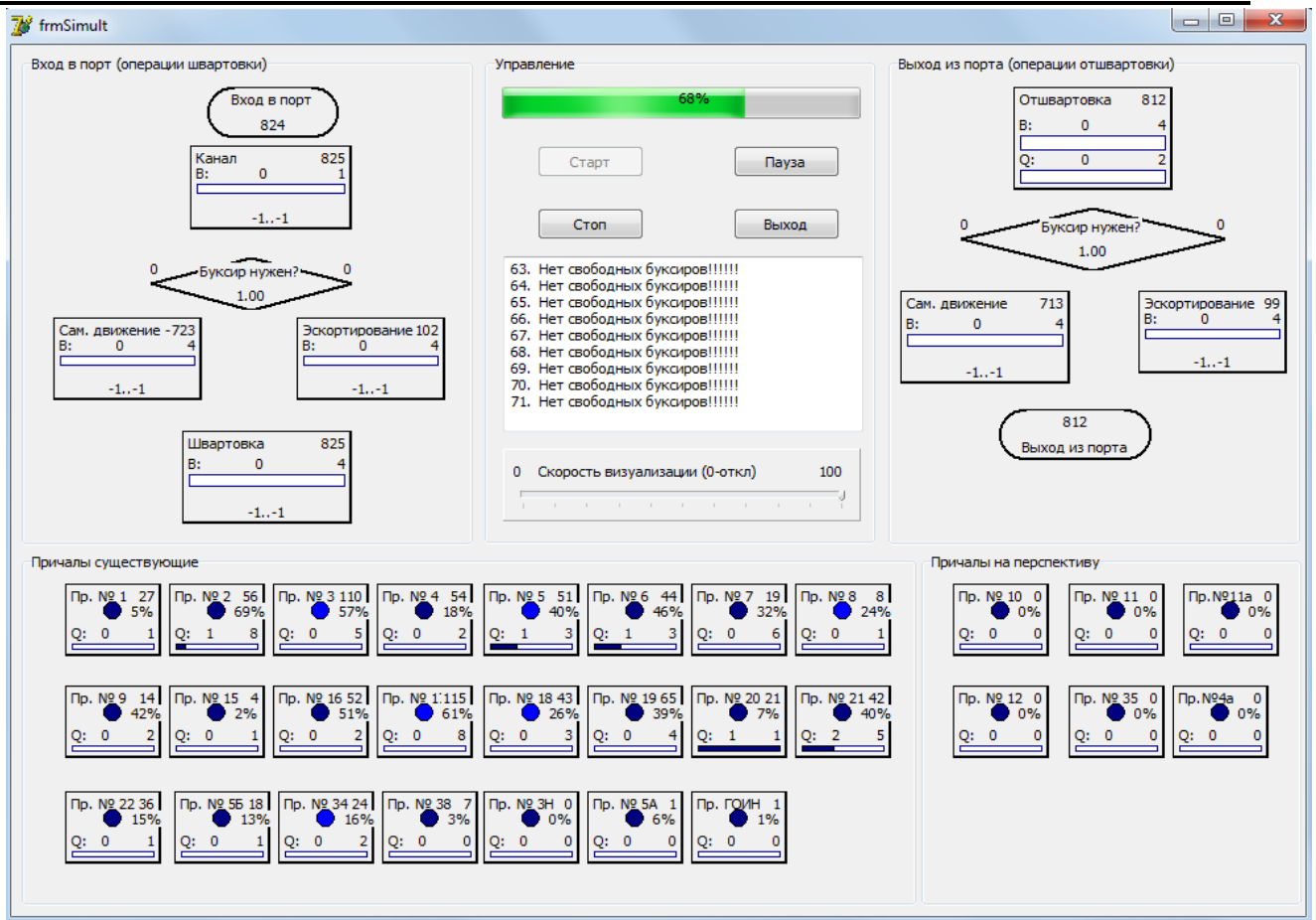


Рис. 3. Окно моделирования процессов эскортирования и сопровождения судов буксирами по подходному каналу, их «швартовки» и «отшвартовки» в существующем комплексе причалов и комплексе причалов будущего

Выводы. Разработанные концепция и программный продукт обеспечивают:

- оптимизацию состава существующего или обновленного буксирного обеспечения порта по типам буксиров и развиваемым ими тяговым усилиям, выполняемую в соответствии с особенностями акватории порта и подходов к ней, количеством причальных стенок порта и производительностью портового оборудования;
- 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.

Возможно и другое применение концепции 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 обновления «Обязательных требований порта к количеству и мощности буксиров, обслуживающих посещающие порт суда»;
- подготовку и выполнение корректировки соответствующих разделов «Норм технологического проектирования морских портов Украины».

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 31.31.37-78. Нормы технологического проектирования морских портов. Основные положения [Текст] – М.: Минморфлот СССР, 1978. – 122 с.
2. Hensen, H. Tug use in port. A practical guide: Second edition [Text] / H.Hensen. – Port Rotterdam, Nautical Institute, 2003. – 192p.
3. Tugs and Tows – A Practical Safety and Operational Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shipownersclub.com/loss-prevention/publications>.
4. Справочник капитана дальнего плавания [Текст] / Л.Р. Аксютин, В.М. Бондарь, Г.Г. Ермолаев и др.; Под ред. Г.Г. Ермолаева. – М.: Транспорт, 1988. – 248 с.
5. Алявдина, Т.Ф. Разработка методики выбора оптимальных типов и количества буксиров для морского порта [Текст] // Т.Ф. Алявдина. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта [Текст]. – Ленинград: ЛВИМУ, 1984. – 239с.
6. Кельтон, В. Д. Имитационное моделирование. Классика CS [Текст] / В. Д. Кельтон, А. М. Лоу. – СПб. : Питер; Киев : Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
7. Советов, Б.Я. Моделирование систем [Текст] / Б.Я Советов, С.А. Яковлев. – М: Высш. шк., 2001. – 343с.
8. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1966. – 432 с.
9. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

Бондаренко О.В., Некрасов В.О., Ястреба О.П.

КОНЦЕПЦІЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ БУКСИРНОГО ФЛОТУ ПОРТУ

У роботі розглянута актуальна задача підвищення ефективності буксирного флоту порту та запропонована концепція оптимального вибору складу буксирного забезпечення. В основу концепції покладено методи статистичного моделювання, теорії масового обслуговування та теорії корабля. Запропоновано алгоритм формування ордеру з визначенням необхідної кількості буксирів для виконання маневрових операцій в поточних гідрометеорологічних умовах порту.

Ключові слова: *буксир, порт, ефективність, буксирне забезпечення, оптимізація.*

Bondarenko O., Nekrasov V., Yastreba A.

CONCEPTION OF SELECTION OF OPTIMAL COMPOSITION OF THE TUG FLEET OF THE PORT

The paper considers the current task of improving the efficiency of the tug fleet of the port. The conception of optimal selection of the composition of the tug support is suggested. The concept is based on the methods of statistical modeling, queuing theory and the theory of the ship. 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.

Keywords: *tug, port, efficiency, tug capabilities, optimization.*