

*Корнюшин П.С., к.т.н., доцент  
доцент департамента морских арктических технологий  
Дальневосточный федеральный университет  
Россия, Владивосток*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УГОЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА**

*Аннотация: В статье рассмотрена задача имитационного моделирования работы причала. Представлены особенности постановки и решения задачи. Использован метод теории массового обслуживания.*

*Ключевые слова: причал, уголь, грузооборот, моделирование, расчет.*

*Kornyushin P.S., Ph.D., Associate professor  
Associate professor, Department of Marine Arctic Technologie,  
Far Eastern Federal University  
Russia, Vladivostok*

## **SIMULATION OF THE COAL TERMINAL OPERATION**

*Abstract: The paper presents the problem of simulation modeling of the berth operation. The features of the formulation and solution of the problem are presented. The method of mass maintenance theory is used.*

*Keywords: berth, coal, cargo turnover, modeling, calculation.*

Воднотранспортные пути между поставщиками экспортных энергоресурсов, в частности бурых углей, и потребителями в Азии являются одним из основных элементов межгосударственных связей России со странами Юго-Восточной Азии. Россия благодаря своему географическому положению является одним из лидеров в транспортной отрасли России. Порты Приморского и Хабаровского краев, Сахалинской области и северокорейский порт Раджин (реконструирован с помощью России) производят перевалку значительных объемов угля. Были построены новые порты (Суходол и др.), другие прошли модернизацию,

либо часть причалов были переориентированы на погрузку угля (Находка, порт Восточный, Шахтерск и др.).

Но кроме угля также важны грузы северного завоза и каботажные грузы (генгрузы, наливные и пр.). Это требует необходимой перегрузочной техники, наработанных навыков по погрузке грузов различной структуры. Для решения транспортных проблем морского порта, повышения эффективности грузовых терминалов с помощью совершенствования перегрузочного оборудования, повышения качества эксплуатации используют современные информационные технологии.

Применяются следующие виды моделирования пропускной способности: аналитическое; имитационное; навигационное; физическое и математическое моделирование [1]. СП 350.1326000.2018 базируются на аналитических методах, имеющих дело с детерминированными величинами, хотя уже используются вероятностные методы. Данные нормы рекомендуют использовать набор коэффициентов: использования рабочего времени с учетом метеоусловий, занятости причала и неравномерности судопотока, но рекомендуемые для проектирования причалов коэффициенты основаны на статистике начала 2000-х, что приводит к занижению результатов. Согласно рекомендациям 350.1326000.2018 для детальных расчетов в эксплуатационной стадии следует использовать имитационный метод.

Цель имитационного моделирования - создать компьютерную модель (симулятор) работы причала, которая позволяет проводить эксперименты в различных режимах работы и отслеживать динамику изменения состояния и показателей работы [1].

Потоковая диаграмма позволяет выявить элементы грузопотока, в которых могут возникнуть задержки, которые можно разделить на технические, технологические и специфические для порта. Технические - это отказ оборудования, неработоспособное состояние элементов причала и т.д., технологические - перестановка погрузочной машины,

вспомогательные операции; специфические портовые факторы - погодные (штормы и волнение, осадки, туманы, штормовой ветер и т.д.) и организационные (изменения экономической конъюнктуры, нормативных документов, ограничения периода навигации и т.д.).

Имитационные моделирования проводятся для элементов потоковой диаграммы. Анализ информации показал, что определяющими элементами для угольных портов являются технологические линии перегрузки на причалах. Поэтому эксплуатационные пропускные способности причалов будут определяться фактической производительностью перегрузочных устройств/машин. Возможен детерминированный (приближенный) и вероятностный (требуется большой объем статистических данных) расчет. Для решения задачи используют компьютерные программы, например Arena, Anylogic [2] и др.

В прил. Г СП 350.13260002018 рекомендует для детальных расчетов применять имитационный метод. Анализ научных исследований по работе морских портов, включая угольные терминала, показал, что в основном применяется метод Монте-Карло и методы теории массового обслуживания. На практике они реализуются редко, т.к. требуют привлечения научных кадров высокой квалификации, достаточного набора статистических данных, специальных компьютерных программ и выполнения верификации и калибровки. В имитационных моделях работы угольного терминала делается упор на логистическое взаимодействие нескольких видов транспорта и складское обслуживание.

В работе применена модель системы массового обслуживания с ожиданием и отказами. Среднее время хранения партии на складе в этом случае может быть интерпретировано как среднее время обслуживание заявки. Чтобы учитывать потери из-за простоев, теория массового обслуживания использует уравнения для определения средней длины очереди и среднего времени ожидания.

Имитационное моделирование применительно к грузообороту причалов позволяет проанализировать количество тонн груза, проходящего через причал с учётом различных факторов (интенсивности потока судов, длительности обслуживания и др.), выявить проблемы, например возникновения очередей при обработке грузов и оптимизировать работу причалов [3]. Так как перегрузка угля производится по долговременным контрактам, проблема очередей возникает из-за каботажных грузов небольших партий, заявки на обработку которых поступают в случайном порядке.

Основные данные для имитационного моделирования:

- профиль поступления отгружаемой продукции за расчетный период времени;
- профиль отгрузки продукции;
- гидрометеоинформация;
- параметры причалов и средств механизации;
- параметры акватории и подходного канала и т.д.

Рассматриваемый угольный причал обслуживают разные заявки за разное время. Принимается допущение, что поток заявок является пуассоновским, и характеризующимся стационарностью (непрерывностью), ординарностью (между поступающими заявками имеется интервал времени), отсутствием последствия (заявки приходят независимо друг от друга).

Возможные сценарии следующие: задержки обработки судов и грузов; график загруженности автодорог, складов, причалов, операционной акватории, подходного канала; количество судозаходов; потребность в буксирах; потребность в перегрузочном оборудовании, буксирах.

Пусть  $\lambda$  – среднее число заявок в месяц. Тогда вероятность появления  $k$  заявок за месяц определяется по формуле Пуассона. Выполняется расчет средней длины очереди и среднего времени ожидания в ней. Отказ в обслуживании будет наступать в случае занятости всех каналов

(причалов). Состояние системы обслуживания при неравномерном потоке будет описываться формулой Эрланга.

Дано: средняя интенсивность захода судов в сутки к причалу переменная в зависимости от месяца равна 0,4 судна/сут., для пикового месяца. Среднее время погрузки одного судна составляет 1 сутки. Очередь ограниченной длины.

Найти показатели эффективности работы причала, а также вероятность того, что в пиковый месяц ожидают разгрузки не более чем 1 судно.

Решение. Имеем  $\rho = \lambda / \mu = \mu t = 0,4 \cdot 1 = 0,4$ . Вероятность того, что причал свободен,  $p_0 = 1 - 0,4 = 0,6$ , а вероятность того, что он занят,  $P_{зан} = 1 - 0,6 = 0,4$ . Вероятность того, что ожидают разгрузки 0, 1, 2 судна, равна соответственно  $p_1 = 0,4(1 - 0,4) = 0,66$ ;  $p_2 = 0,4^2 \cdot (1 - 0,4) = 0,27$ ;  $p_3 = 0,4^3 \cdot (1 - 0,4) = 0,11$ . Вероятность того, что ожидают разгрузку не более чем 2 судна, равна  $P = p_1 + p_2 + p_3 = 1,02$ . Среднее число судов, ожидающих разгрузки  $L = 0,4^2 / (1 - 0,4) = 0,27$ ; среднее время ожидания разгрузки  $T_{оч} = 1,02 / 0,4 = 2,5$  сут. Среднее число судов, находящихся у причала,  $L = 0,4 / (1 - 0,4) = 0,66$  сут., среднее время стоянки  $T = 0,66 / 0,4 = 1,5$  сут.

Таким образом, аппарат теории массового обслуживания оказывается важным и востребованным при решении многих частных задач технологического проектирования.

#### **Использованные источники:**

1. Dragović B. Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović // Maritime Policy & Management. 2006. Vol. 33. 3. P. 281–299.

2. Купцов Н.В. Вероятностная оценка пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / Н. В. Купцов, А.В. Галин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей VI Всероссийской научно-практич. конференции. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020. С. 98-103.

3. Морозков А.Г., Язвенко М.Р. Моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания в среде AnyLogic // Системный анализ и логистика.2020. № 4. С. 59-66