

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

*Дерябин Виктор Владимирович* —  
кандидат технических наук.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
*gmavitder@mail.ru*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*Deryabin Victor Vladimirovich* —  
PhD.  
Admiral Makarov State University  
of Maritime and Inland Shipping  
*gmavitder@mail.ru*

*Статья поступила в редакцию 13 июля 2015.*

**УДК 656.1**

**А. В. Галин**

**ОБОБЩЕННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПОРТОВ**

*В работе рассмотрены существующие модели развития портов и терминалов, движущие силы и ограничения, определяющие этот процесс. Выявлены причины интереса транспортного сообщества к моделированию развития портов. Определена необходимость создания модели нового типа портового развития и требования, которым она должна соответствовать. Обоснован выбор методической основы, опирающейся на грузоведческие аспекты портовых операций. Выделены основные действующие факторы, изучено их индивидуальное и совместное влияние на порт как единую систему. Разработан и обоснован алгоритм работы имитационной модели. Проведены испытания работы модели при различных вариантах развития грузопотоков. Определена адекватность работы имитационной модели. Показано, что модель, предложенная в работе, является математическим аппаратом. Модель не только объясняет существующее состояние порта и причины, приведшие к нему, но и дает определенный прогноз развития в будущем, что является наиболее ценным для практического применения.*

*Ключевые слова: порт, терминал, имитационная модель, логистика.*

**Введение**

Теоретические подходы к развитию портов формировались на протяжении многих лет, в течение которых различные исследователи пытались объяснить комплексный процесс портового развития путем предложения различных моделей, имеющих качественный, дескриптивный характер. Если бы теория развития портов имела сугубо описательный характер и ее целью являлся анализ того, как и почему тот или иной порт достиг своего состояния развития, то этого могло бы быть достаточно [1] – [8]. К сожалению, в отличие от теории, на практике, в лице более чем прагматичных специалистов по управлению портами, требуется не ретроспективное объяснение причин создавшейся ситуации и их влияния на характеристики того или иного порта, а то, что обычно является необходимым в прикладной теории — практические рекомендации по выбору направлений развития и установлению ограничений его возможностей [9]. В данной работе предпринята попытка построения на основе одной из наиболее известных качественных моделей — *модели количественной*. Использование ее позволит не только выполнять качественный и количественный анализ процесса развития порта, но и осуществлять прогнозирование результатов наиболее вероятных направлений развития порта.

**Основная часть**

В качестве методической основы в работе взята дескриптивная модель, предложенная Конференцией ООН по торговле и развитию (UNCTAD) в 1985 г. [8]. Эта модель воплотила концепцию

развития портов, обобщающую полученные различными учеными и специалистами результаты, делая основной упор на грузоведческих аспектах портовых операций. Представленная концепция основывалась как на широко известной модели Берда [3], так и на том, что движущей силой развития портов является рост объемов и изменение структуры грузопотоков [8]. В соответствии с данной концепцией предлагалось выделять в развитии портов пять фаз [9], которые обычно проходит порт в процессе своего развития (рис. 1). В условном виде ширина прямоугольных блоков на рисунке отражает суммарную длину соответствующих причалов, а высота — грузооборот через них.

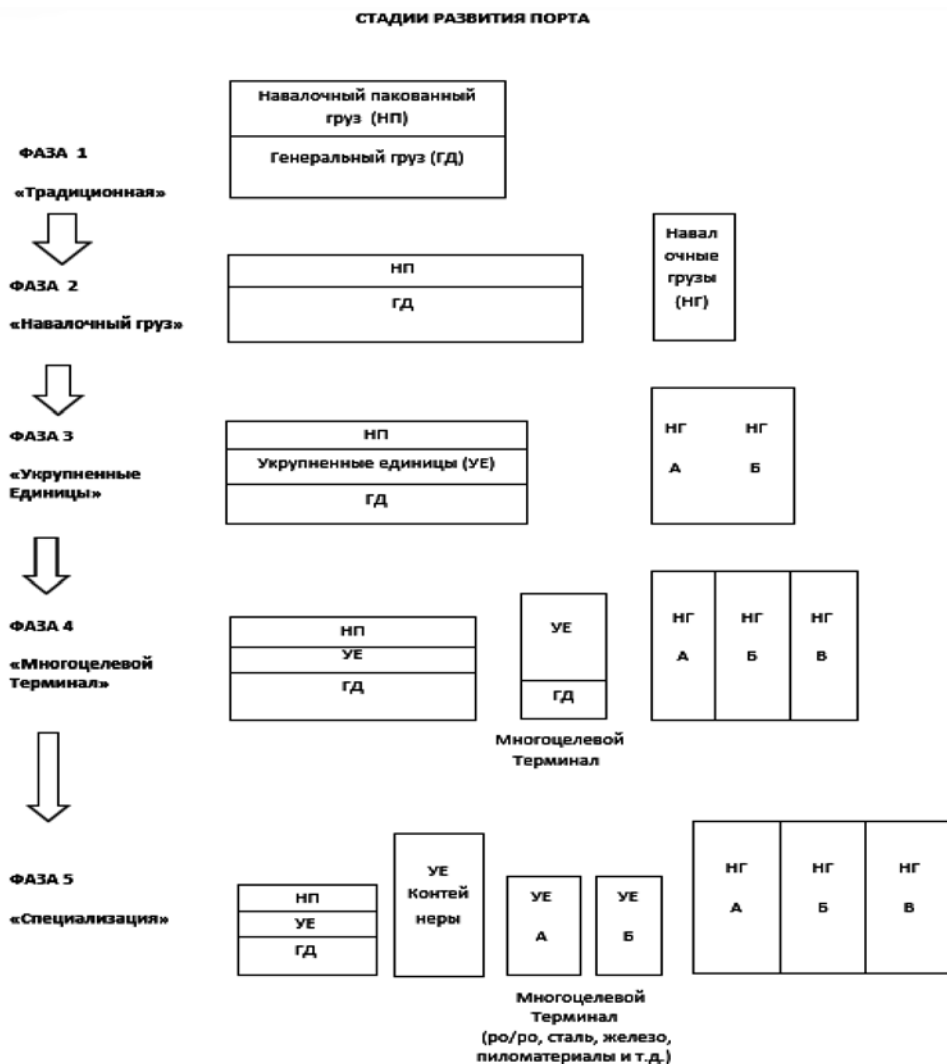


Рис. 1. Модель развития порта

Фаза 1. *Конвенциональный (традиционный) порт.* На этом этапе развития порт представляет собой группу причалов общего назначения, способных переваливать генеральный груз, т. е. штучные и навалочные грузы в упакованном виде (например, пшеница в мешках, нефть в бочках, удобрения в пакетах).

Фаза 2. *Появление навалочного груза.* При достижении размеров партий навалочного груза определенного порога и развитии судостроения, экономически целесообразной становится перевозка груза навалочным способом на специализированных судах-балкерах. За счет этого из общей массы тарно-штучных грузов выделяется частный грузопоток нового вида — навалочного груза, для обработки которого порт должен предоставить отдельный причал со специализированным подъемно-перегрузочным оборудованием. Таким образом, объективно необходимым становится появление терминала навалочных грузов. Параллельно на этом этапе проводятся модернизация

оборудования для перегрузки генерального груза и увеличение длины причальной линии как следствие постоянного роста грузопотоком и размеров судов.

**Фаза 3. Появление укрупненных грузовых единиц (УГЕ).** Данный этап характеризуется двумя основными тенденциями. Первая тенденция — это появление средств укрупнения тарноштучных грузов: паллеты, биг-бэги, ящики, крейты, контейнеры, пакеты (металл в пакетах, паке-тированные пиломатериалы, трубы в связках и др.). Вначале они представляют небольшую долю грузопотока, и обработка данного вида груза происходит на причалах генеральных грузов, а перевозка — на конвенциональных судах. Вторая тенденция состоит в постоянном снижении объема генерального груза за счет выделения из него новых объемов навалочных грузов. Одновременно объемы навалочных грузов достигают значения, когда для различных видов навалочных грузов требуются разные терминалы.

**Фаза 4. Транзитивный многоцелевой терминал.** Рост использования УГЕ и появление специализированных судов для их перевозки (лесовозы, автомобилевозы, ро-ро суда, контейнеровозы ячеистого типа и др.) требуют специального перегрузочного оборудования для обслуживания. В то же время, грузопотоки каждого вида УГЕ невелики, а приоритет определенной УГЕ в будущем грузопотоке неясен, что обуславливает потребность в гибком многоцелевом терминале, который сможет заменить часть старых причалов для генеральных грузов. Этот терминал с более или менее приемлемым качеством справляется со всеми категориями груза и легко может быть превращен в специализированный терминал для того груза, который окажется приоритетным в ближайшем будущем. Параллельно на данном этапе продолжается рост и диверсификация грузопотока сухих навалочных грузов.

**Фаза 5. Специализация терминалов.** Конечным этапом развития любого вида грузопотока является достижение им такого объема, когда целесообразным является использование специализированного флота для его перевозки морем и специализированных терминалов для его обработки в порту. В этом случае многоцелевые терминалы легко конвертируются в специализированные для переработки данного груза путем закупки дополнительного и незначительно модифицированного оборудования. Ко времени достижения данного этапа развития остаточный объем генерального груза значительно сокращается, а обработка основных альтернативных грузов (лес, чугун, сталь) группируется на многоцелевых терминалах.

**Концепция количественной модели.** Указанные качественные модели являются основой для разработки концепции количественной модели, главной гносеологической задачей которой является прогнозирование развития порта. Именно это необходимо специалистам порта для принятия управленческих решений о способах и выборе направлений развития порта. При построении модели постулировалось положение о том, что развитие порта происходит под влиянием внешнего побудительного воздействия [10], [11]. В роли такого внешнего воздействия выступает грузопоток, изменение которого принуждает проводить определенные изменения в работе порта. Грузопоток может изменяться не только количественно, увеличиваясь или уменьшаясь со временем, он может изменяться качественно. С развитием производства появляются новые виды грузопотоков (например, укрупненные единицы или контейнеры), разрабатываются новые типы судов для удешевления перевозки уже существующих видов груза, требующие новых способов перевалки (например, навалочные, наливные грузы и т. д.).

Грузопоток  $Q$  в представленной модели развития порта является обобщенной независимой переменной, потребностью, которую необходимо удовлетворить. В модель заложена возможность структурного изменения типов грузопотоков  $Q_n$  как исходных данных, а также возможность изменения процентного соотношения составляющих грузопотоков, которое может меняться в зависимости от сложившейся ситуации.

Принцип выделения отдельного грузопотока из общей массы груза связан с возможностью использования для его перевозки специализированного судна. Выделение грузопотока в самостоятельный (отдельный) вид происходит в тот момент, когда объем этого груза становится достаточным для использования специализированного судна. На основании возможности использования

судна выделяется (создается) специализированный причал, так как эффективная обработка специализированного судна возможна только на специализированном причале. Т. е. в определенный момент времени  $t_n$  возникает потребность в специализированном судне и, следовательно, под это судно выделяется причал. До этого момента груз, в силу своего незначительного количества, вначале обрабатывается на причале для переработки того грузопотока, из которого он выделился, и затем перевозится на соответствующем типе судна.

В модель введен управляемый параметр «задаваемая грузоподъемность судна»  $D_n$  и разработан алгоритм выделения грузопотока в момент времени  $t_n$  (рис. 2) при достижении грузопотоком такого размера  $Q_n$ , когда может использоваться специализированное судно, начинается его использование, и выделяется (строится) специализированный причал для обработки судна. В модели предусмотрена возможность изменения типа и грузоподъемности судов, т. е. существует возможность выполнения расчетов для различных типоразмеров судов в зависимости от портовых ограничений и наличия определенного свободного тоннажа на рынке.

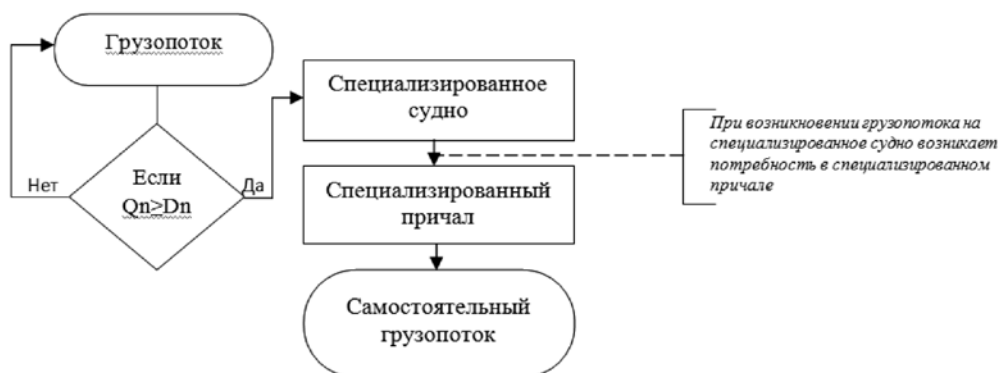


Рис. 2. Блок-схема выделения грузопотока:

$Q_n$  — грузопоток определенного вида;

$D_n$  — грузоподъемность специализированного судна

**Установление адекватности работы модели.** С помощью использования созданной модели были выполнены расчеты и рассмотрена динамика изменения структуры грузопотоков по специализированным причалам на основе пяти выбранных грузопотоков: генеральный груз, навалочный, наливной, укрупненных грузовых единиц и контейнеров, и определенных типоразмеров судов. Для проведения расчетов было выбрано три варианта развития грузопотока, а также использован вариант изменения размеров судов и скорости их обработки.

**Вариант 1. Равномерное развитие грузопотоков.** В этом варианте рассмотрено равномерное развитие грузопотоков, их динамика приведена на рис. 3.

*График «Грузопоток через причал для генерального груза»* отражает первичность существования грузопотока через причал для обработки генеральных грузов, последовательное выделение из него укрупненных грузовых единиц, навалочного и наливного груза, что приводит к замедлению роста грузопотока через причал для генеральных грузов, а потом к его падению. С общим ростом грузопотока рост грузопотока через причал для генеральных грузов возобновляется, но уже с гораздо меньшей интенсивностью.

*График «Наливной и навалочный грузопотоки».* С достижением определенного размера грузопотока, достаточного для использования специализированного судна, вначале происходит выделение грузопотоков для обработки на соответствующих причалах, а затем — их самостоятельное развитие.

*График «Грузопоток через причал для укрупненных единиц».* Общая тенденция развития грузопотока схожа с грузопотоком через причал для генеральных грузов. Изменение грузопотока является плавным и не таким значительным, так как из него выделяется только поток контейнеризированных грузов.

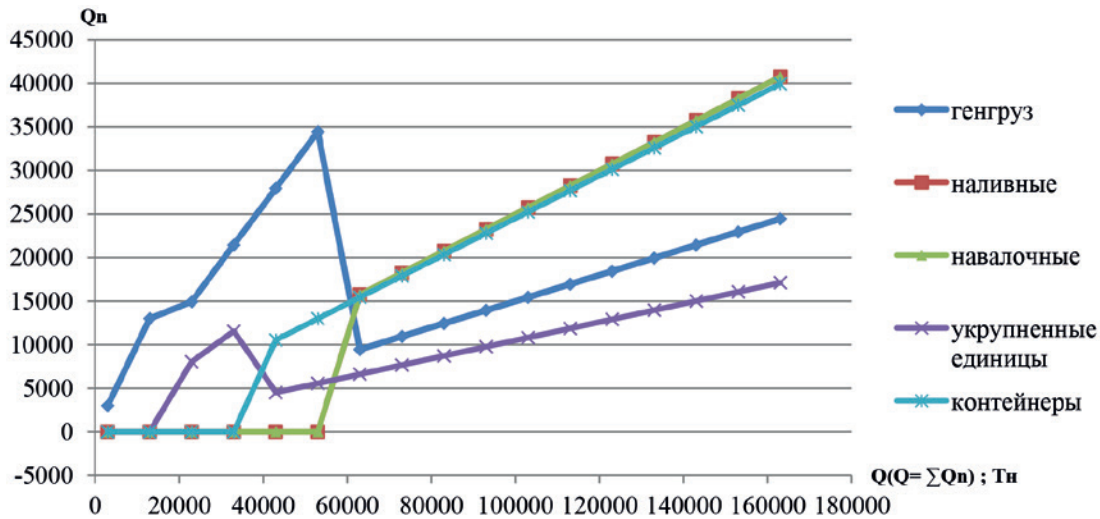


Рис. 3. Графики распределения грузопотоков по специализированным причалам на основании равномерного развития

График «Контейнерный грузопоток». Контейнеризированный грузопоток выделяется из грузопотока, обрабатываемого на причале для укрупненного груза. Поведение этих двух грузопотоков схоже с описанным выше поведением грузопотоков через причал для генеральных грузов и укрупненных грузовых единиц.

На основе полученных данных, на рис. 4 представлено визуальное развитие порта во времени под влиянием изменения грузопотока. Высота прямоугольников схематично отражает размер определенного грузопотока.

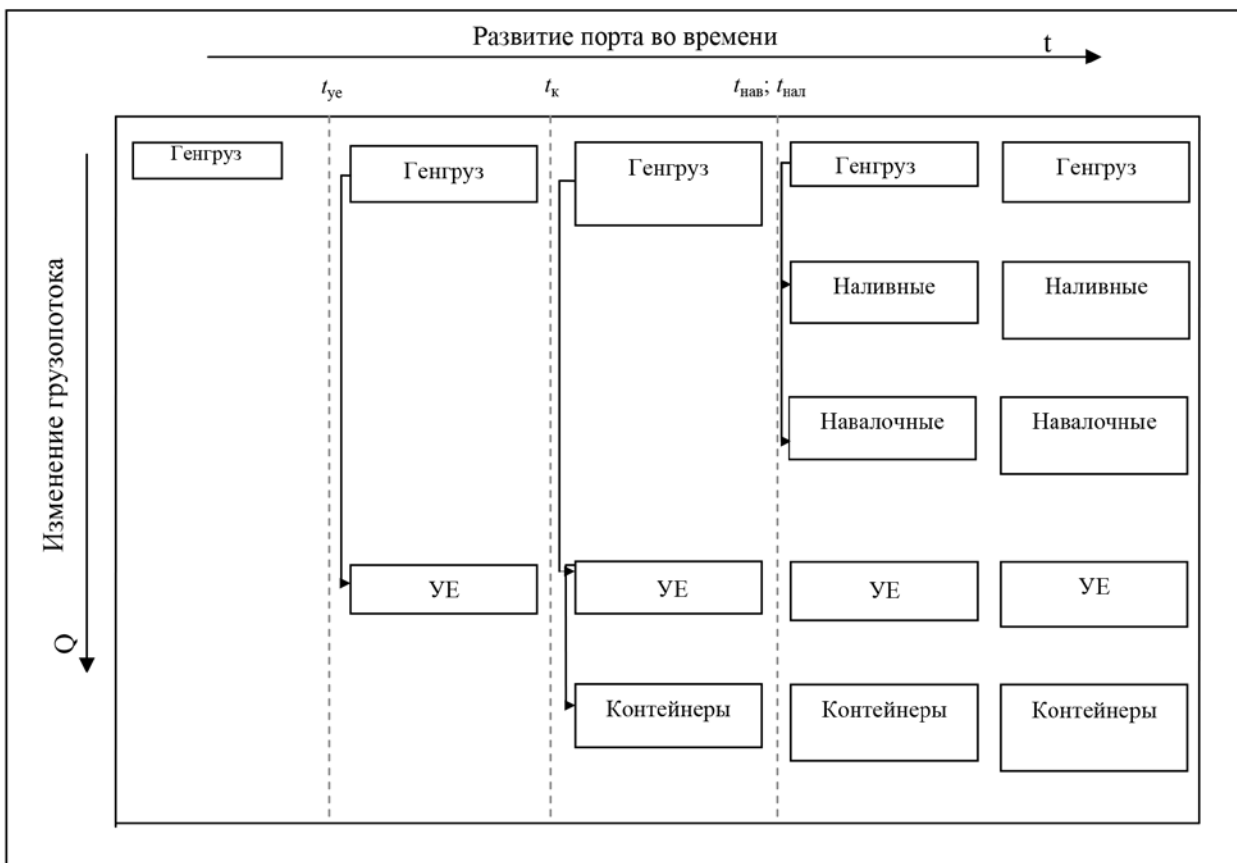


Рис. 4. Схема развития порта во времени с изменением грузопотока

**Вариант 2. Приоритетное развитие контейнерного грузопотока.** В этом варианте расчета рассмотрено возможное ускоренное развитие одного из грузопотоков, а именно контейнеризированных грузов (рис. 5).

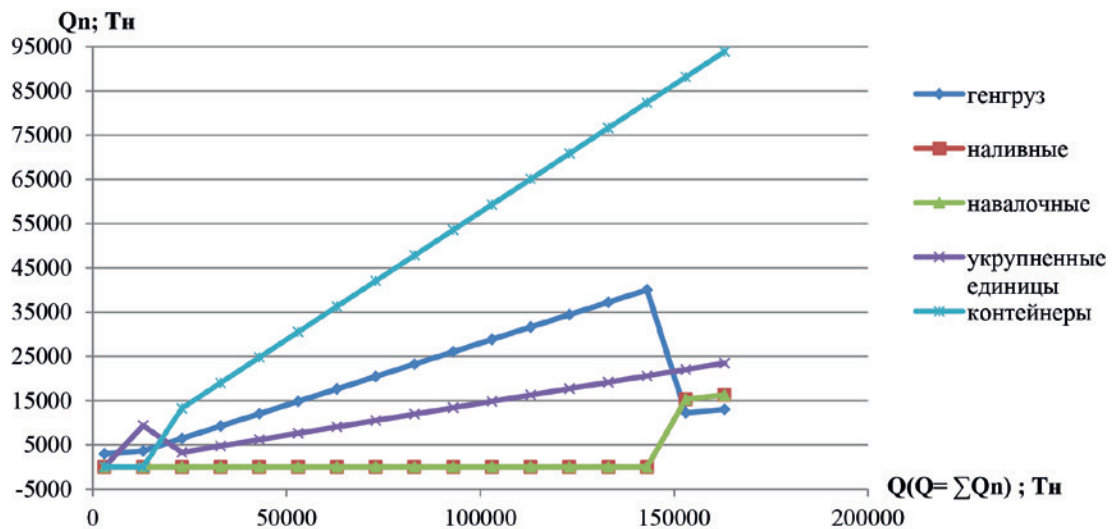


Рис. 5. Графики распределения грузопотоков по причалам на основании приоритетного развития одного из потоков

По сравнению с распределением на основании первоначальных параметров заметно более раннее выделение грузопотока укрупненных единиц и, соответственно, выделение контейнеризированного груза, а также его дальнейший активный рост. Развитие других типов груза происходит замедленно и выделение грузопотоков для обработки на других специализированных причалах происходит гораздо позже. На рис. 6 приведено визуальное развитие порта при доминировании контейнеризированного груза.

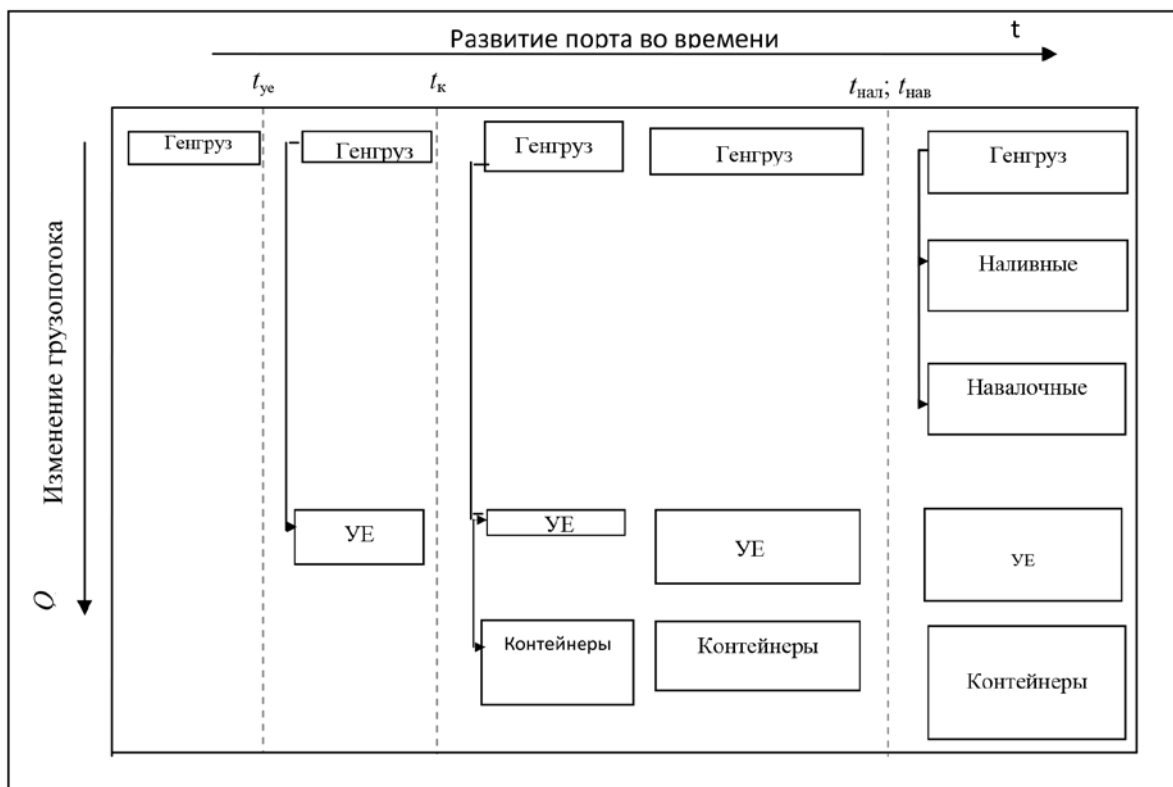


Рис. 6. Схема развития порта при доминировании контейнеризированного груза



**Вариант 3. Развитие порта при изменении размеров судов и скорости их обработки.**

В этом варианте расчета представлено развитие порта при изменении размеров судов и скорости их обработки (рис. 7). Показано, что при изменении размеров судов (уменьшении) происходит более раннее выделение грузов для обработки на специализированных причалах. Это связано с возможностью скорейшего использования специализированного флота, а следовательно, и обработки грузов на специализированных причалах. При увеличении размера специализированных судов будет наблюдаться обратная картина.

Рост скорости обработки судов ведет к уменьшению времени рейса, а следовательно, к уменьшению количества используемых судов, увеличению количества обрабатываемого груза / судов на причале и уменьшению потребного количества причалов. Уменьшение скорости обработки судов ведет к обратной картине.

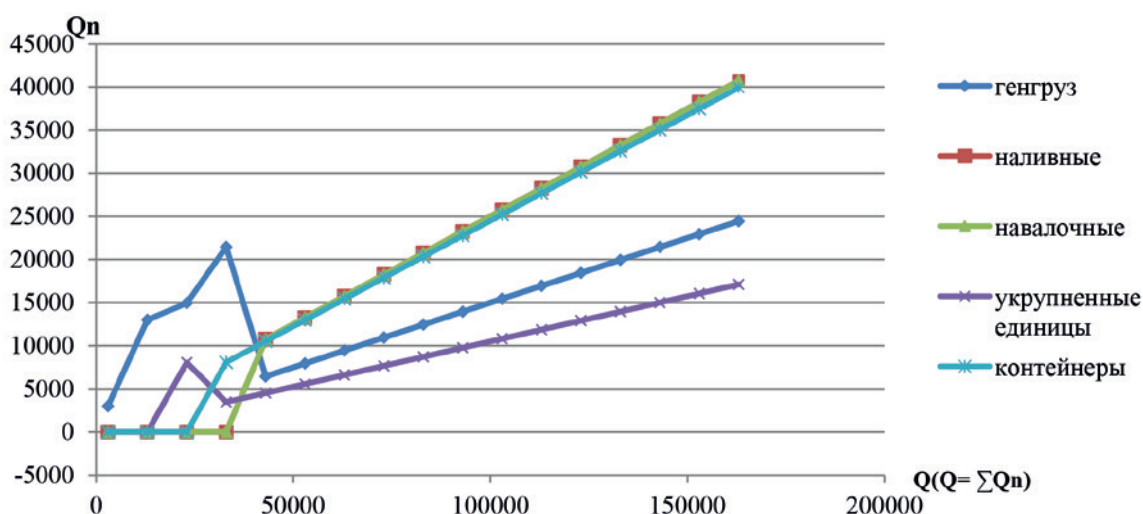


Рис. 7. Графики распределения грузопотоков по специализированным причалам при уменьшении размера судов и более высокой скорости их обработки

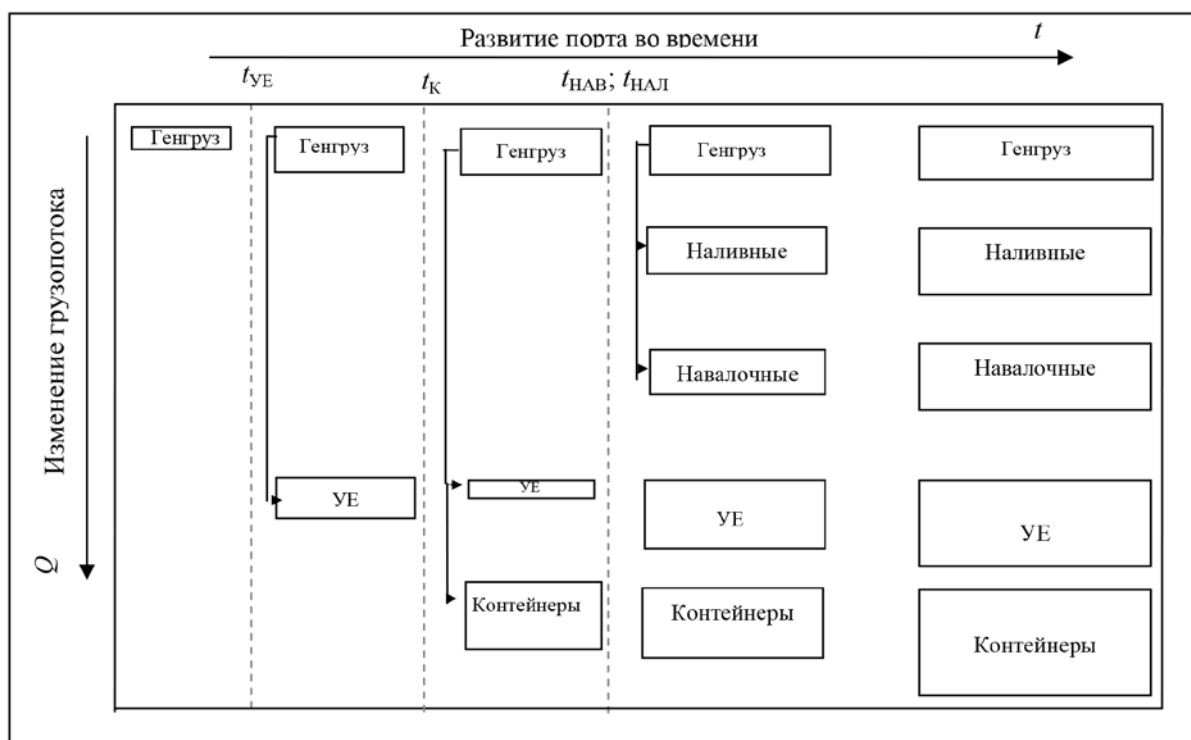


Рис. 8. Схема развития порта при изменении параметров судов и сроков обработки

На основе полученных данных представлено визуальное развитие порта во времени под влиянием воздействия внешних факторов. Высота прямоугольника схематично отражает размер определенного грузопотока (рис. 8).

### Выводы

В качестве методологической основы исследования выбрана модель развития портов, предложенная Конференцией ООН по торговле и развитию (UNCTAD), базирующаяся на грузоведческих аспектах портовых операций. Грузопоток  $Q$  в представленной модели развития порта является обобщенной независимой переменной, а также потребностью, которую необходимо удовлетворить.

Развитие порта базируется на принципе выделения отдельного грузопотока из общей массы груза. Данный принцип связан с возможностью использования для перевозки груза специализированного судна, обработка которого, в свою очередь, требует специализированного причала. На основе этого разработан алгоритм функционирования имитационной модели и проведены испытания ее работы.

Результаты проверки работы модели в различных условиях развития грузопотоков наглядно продемонстрировали следующее:

- модель адекватно отражает этапы развития порта;
- модель отражает изменения в развитии порта при количественном и качественном изменении грузопотока;
- модель демонстрирует ускорение или замедление развития порта при соответствующем изменении грузопотока;
- с помощью данной модели, на основе данных о росте грузопотоков, используемом специализированном флоте и перегрузочном оборудовании, стало возможным определять время введения в эксплуатацию новых перегрузочных комплексов.

Предложенная в настоящей работе модель является математическим аппаратом и способна не только объяснить существующее состояние порта и причины, приведшие к этому, но и дать определенный прогноз развития в будущем, что является наиболее ценным для практического применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pesquera M. A.* UNCTAD monographs on port management. Sustainable development strategies for cities and ports / M. A. Pesquera, J. R. Ruiz. — New York and Geneva: United Nation, 1996. — 41 p.
2. *Bird J.* Seaports and Seaport Terminals / J. Bird. — London: Hutchinson University Library, 1980. — 117 p.
3. *Notteboom T. E.* Port regionalization: towards a new phase in port development / T. E. Notteboom, J. P. Rodrigue // *Maritime Policy & Management*. — 2005. — Vol. 32. — № 3. — Pp. 297–313. DOI:10.1016/j.retrec.2009.12.004.
4. *Beresford A. K.* The UNCTAD and WORKPORT models of port development: evolution or revolution? / A. K. C. Beresford, B. M. Gardner, S. J. Pettit, A. Naniopoulos, C. F. Wooldridge // *Maritime Policy & Management*. — 2004. — Vol. 31. — № 2. — Pp. 93–107.
5. *Roso V.* Evaluation of the dry port concept from an environmental perspective: A note / V. Roso // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. — 2007. — Vol. 12. — № 7. — Pp. 523–527.
6. *Bichou K.* A logistics and supply chain management approach to port performance measurement / K. Bichou, R. Gray // *Maritime Policy & Management*. — 2004. — Vol. 31. — № 1. — Pp. 47–67.
7. *Roso V.* A review of dry ports / V. Roso, K. Lumsden // *Maritime Economics & Logistics*. — 2010. — Vol. 12. — № 2. — Pp. 196–213.
8. *Port development*. — New York: UNCTAD, 1985. — 228 p.
9. Кузнецов А. Л. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 2 (30). — С. 141–153.
10. Кузнецов А. Л. Базовая модель логистических потоков через контейнерный терминал / А. Л. Кузнецов, Е. Ю. Козлова // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2008. — № 2. — С. 18–20.



11. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование как инструмент проектирования морских и наземных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, В. А. Блудкина // Тезисы докладов научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и курсантов. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2008. — С. 237–240.

## GENERALIZED IMITATION MODEL OF PORTS DEVELOPMENT PROCESS

*The models for ports and terminals development are treated, as well as main driving forces and constraints affecting these processes. The reasons of interest to the ports models development are explained. The need to create a model of a new type of port development was identified as well as requirements to be met. The choice of methodological framework, based on cargo aspects of port operations was done. It were identified the basic acting factors, studied their individual and joint impact on the port as a unified system. Algorithm of the imitation model was developed and proved. Tests of the model with different kinds of cargo flows were done. The adequacy of the simulation model was determined. It is shown that the model proposed in the paper is a mathematical one. Model is able not only to explain existing condition of the port and the causes that led up to it, but also to give a certain prediction of the development in the future, which is the most valuable for practical application.*

*Keywords: port, terminal, imitation model, logistics.*

## REFERENCES

1. Pesquera M. A., and J. R. Ruiz. *UNCTAD monographs on port management. Sustainable development strategies for cities and ports*. New York and Geneva: United Nation, 1996.
2. Bird J. *Seaports and Seaport Terminals*. London: Hutchinson University Library, 1980.
3. Notteboom, Theo E., and Jean-Paul Rodrigue. "Port regionalization: towards a new phase in port development." *Maritime Policy & Management* 32.3 (2005): 297–313.
4. Beresford, Anthony Kenneth Charles, B. M. Gardner, S. J. Pettit, A. Naniopoulos, and C. F. Wooldridge. "The UNCTAD and WORKPORT models of port development: evolution or revolution?" *Maritime Policy & Management* 31.2 (2004): 93–107.
5. Roso, Violeta. "Evaluation of the dry port concept from an environmental perspective: A note." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 12.7 (2007): 523–527.
6. Bichou, Khalid, and Richard Gray. "A logistics and supply chain management approach to port performance measurement." *Maritime Policy & Management* 31.1 (2004): 47–67.
7. Roso, Violeta, and Kent Lumsden. "A review of dry ports." *Maritime Economics & Logistics* 12.2 (2010): 196–213.
8. *Port development*. New York: UNCTAD, 1985.
9. Kuznecov, A. L., and A. V. Galin. "The genesis of port development models in modern transportation science." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(30) (2015): 141–153
10. Kuznetsov, A. L., and E. Yu. Kozlova. "Basic model of logistical flows through container terminal." *Jekspluatacija morskogo transporta* 2 (2008): 18–20.
11. Kuznecov, A. L., and V. A. Bludkina. "Imitacionnoe modelirovanie kak instrument proektirovanija morskikh i nazemnyh kontejnernih terminalov." *Tezisy dokladov nauchno-tehnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i kursantov*. SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S. O. Makarova, 2008: 237–240.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Галин Александр Валентинович —  
кандидат технических наук, доцент.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С.О. Макарова»  
Galina2403@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Galina Aleksandr Valentinovic —  
PhD, associate professor.  
Admiral Makarov State University  
of Maritime and Inland Shipping  
Galina2403@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22 октября 2015.