

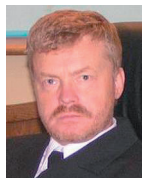
# Механизм взаимодействия российских арктических портов при формировании транспортной системы совместного использования



**А. А. Давыденко,**  
канд. экон. наук, советник  
президента Российской  
Федерации



**А. В. Кириченко,**  
д-р техн. наук,  
профессор, заведующий  
кафедрой портов и  
грузовых терминалов  
Государственного  
университета морского  
и речного флота  
(ГУМРФ) им. адмирала  
С. О. Макарова



**А. Л. Кузнецов,**  
д-р техн. наук,  
профессор кафедры портов  
и грузовых терминалов  
ГУМРФ им. адмирала  
С. О. Макарова

Централизованное планирование формирования и функционирования портовой инфраструктуры для обработки консолидированного потока грузов и управление этими процессами наиболее целесообразны при реализации планов развития территорий в Арктическом регионе России. Указанный подход возможен при организации транспортной системы совместного использования, действующей в корпоративных интересах федеральных органов исполнительной власти и иных хозяйствующих субъектов.

Сегодня Россия уделяет серьезное внимание развитию Арктики. Дальнейшее освоение северного региона, важного для экономики страны, включает строительство в нем ряда промышленных и транспортных объектов [1–3]. Это требует повышения интенсивности морских перевозок, а значит, и развития опережающими темпами инфраструктурной сети, прежде всего, портов и портопунктов различного назначения.

Из результатов анализа следует, что арктические порты и портопункты (рейдовые пункты) сегодня подразделяются на отдельные функциональные группы, обслуживающие:

- коммерческие потоки внешнеторговых грузов (традиционные порты, например, Мурманск, Архангельск);
- входящий поток грузов обеспечения и исходящий поток экспортных сырьевых грузов (порт Дудинка – структурное подразделение ЗФ ОАО «ГМК „Норильский никель“», в перспективе – порт Сабетта);
- исходящий поток экспортных углеводородов (СМЛЮП «Варандей», МЛСП «Приразломная»);
- входящий поток строительных грузов для собственного строительства (реконструкции) и строительства обеспечиваемых промышленных и транспортных объектов (Харасавэй, Сабетта);

- прием и распределение сезонного потока социально значимых грузов обеспечения («навигационный завоз»);
- прием сезонных партий социально значимых грузов обеспечения («экспедиционный завоз»).

Очевидно, что функции объектов могут иметь комплексные задачи и по возможности консолидировать поток грузов сходной номенклатуры, особенно при реализации навигационного завоза в адрес многочисленных грузополучателей различной ведомственной принадлежности совместное использование федеральными органами исполнительной власти и хозяйствующими субъектами объектов инфраструктуры и транспортных средств в Арктическом регионе поможет минимизировать совокупные бюджетные затраты на выполнение перевозок материальных средств (средств снабжения). Это создаст предпосылки для появления эффекта масштабной экономии. Предложенная гипотеза может быть реализована при формировании транспортной системы совместного использования.

Очевидно, что для решения указанной задачи необходимы исследования фундаментальных механизмов, отвечающих за развитие системы взаимодействующих объектов транспортной инфраструктуры. В статье представлена базовая модель развития взаимодействующих условных портов.

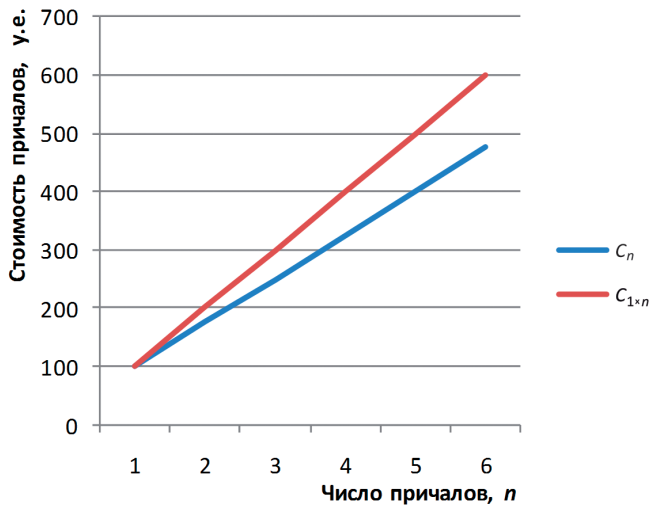


Рис. 1. Рост стоимости группы причалов

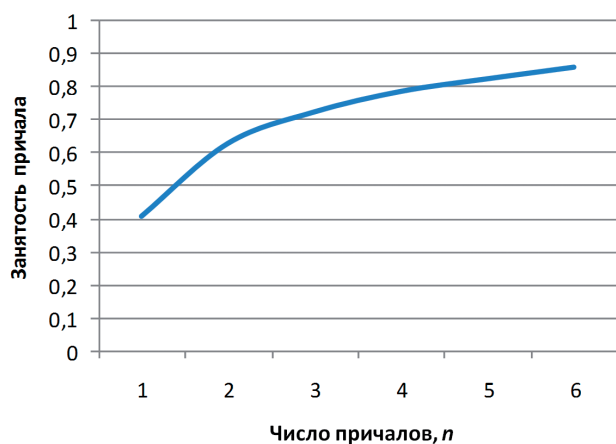


Рис. 2. Допустимая занятость причала при  $T_w = 0,5$

**Сравнение экономической эффективности малых и крупных портов (портопунктов)**

Пусть имеется некоторый порт с одним причалом. Его совокупные эксплуатационные расходы составляют величину  $C_1$ . Как известно из теории массового обслуживания, для обеспечения приемлемой величины относительного ожидания судов в очереди к причалу  $T_w = \frac{T_{wait}}{T_{hand}}$  занятость причала не должна превышать некоторой рассчитываемой величины  $k^1_{occ}$  [4]. Предположим, что установленное на причале оборудование обеспечивает суточную производительность причала  $P^1_{berth}$  и, следовательно, максимальный годовой грузооборот  $Q^1_{max} = P^1_{year}$  = 365 ·  $P^1_{berth}$  ·  $k^1_{occ}$ . В первом приближении себестоимость перевалки единицы груза при обработке реального грузооборота  $Q^1 \leq Q^1_{max}$  составит величину  $c^1_{unit} = \frac{C_1}{Q^1}$ , а минимальная себестоимость  $c^1_{min} = \frac{C_1}{Q^1_{max}}$ .

Теперь рассмотрим порт, в котором насчитывается  $n$  причалов. Его совокупные эксплуатационные расходы составляют величину  $C_n$ . Вследствие действия эффекта масштабной экономии величина  $C_n$  будет меньше, чем  $n \cdot C_1$ , т. е.  $C_n \leq n \cdot C_1$ . Предположим, что эта зависимость линейна:  $C_n = C_1 \cdot (\gamma \cdot n + (1 - \gamma))$ , где  $\gamma < 1$  (рис. 1).

Из теории массового обслуживания известно, что в группе

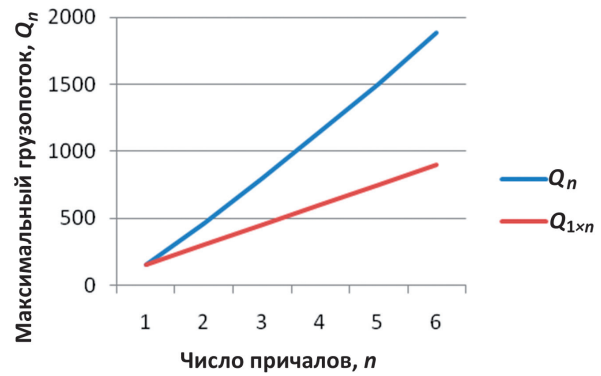


Рис. 3. Максимальный грузооборот группы причалов

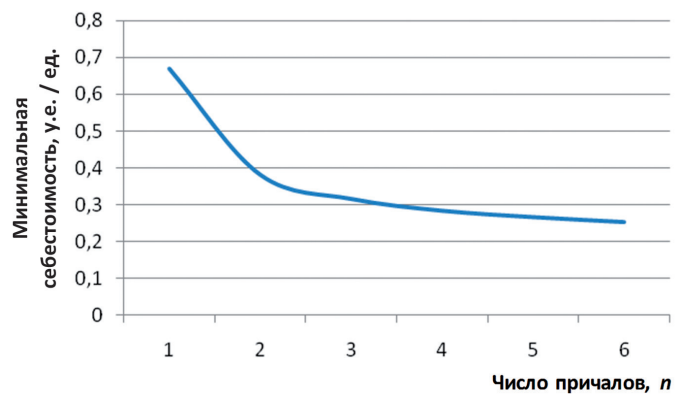


Рис. 4. Минимальная себестоимость при полной загрузке причалов

из  $n$  причалов та же величина относительного ожидания  $T_w$  будет достигаться при коэффициенте занятости  $k^n_{occ} > k^1_{occ}$  [4]. Так, на рис. 2 приведена занятость каждого причала в группе для обеспечения допустимой величины относительного ожидания 0,5 (в среднем судно ожидает обработки 50 % от времени обслуживания).

Следовательно, максимальный грузооборот через группу из  $n$  причалов составит  $Q^n_{max} = P^n_{year} = 365 \cdot P^1_{berth} \cdot n \cdot k^n_{occ}$ , и  $Q^n_{max} \geq n \cdot Q^1_{max}$  (рис. 3).

Себестоимость перевалки единицы груза при обработке реального грузооборота  $Q^n \leq Q^n_{max}$  будет составлять величину  $c^n_{unit} = \frac{C_n}{Q^n}$ , при этом минимальная себестоимость  $c^n_{min} = \frac{C_n}{Q^n_{max}}$ . Таким образом,  $c^n_{min} < c^1_{min}$  (рис. 4).

Иными словами, себестоимость перевалки единицы груза в порту, где причалов  $n > 1$ , будет меньше, чем в порту с одним грузовым причалом. В этом и проявляется эффект масштабной экономии. Крупный порт при унифицированных тарифах будет получать большую прибыль с каждой единицы груза. При свободных тарифах крупный порт может снизить их так, чтобы остаться доходным, в то время как его менее масштабные конкуренты выйдут за порог себестоимости.

В то же время положение крупного порта не представляется неуязвимым. Показанные на рис. 3 и 4 зависимости справедливы лишь для случая полной загрузки портовых мощностей. Если, к примеру, весь грузооборот порта приравнивается к максимальному значению годовой производительности одного причала, то перевалка такого грузооборота через  $n$  причалов будет связана со значительным ростом себестоимости (рис. 5).

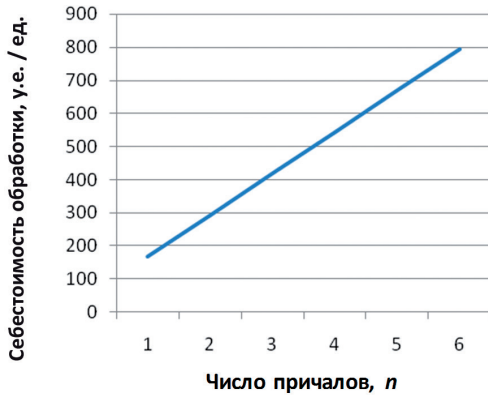


Рис. 5. Рост себестоимости при недогрузке причалов

В этом случае малый порт оказывается в условиях рыночного доминирования, обеспечивая себе более высокую доходность или имея возможность устанавливать низкие тарифы.

**Конкурентное взаимодействие двух портов**

Пусть на некотором морском бассейне единой территории грузового тяготения находятся два порта, один из них имеет один причал, другой – два причала. Эксплуатационные расходы этих портов  $C_1$  и  $C_2$  соответственно, их максимальные грузовые потоки  $Q^1_{max}$  и  $Q^2_{max}$ . Предположим, что порты готовы работать на грани безубыточности, устанавливая тариф на уровне себестоимости. Потенциальный грузопоток, связанный с территорией грузового тяготения этих двух портов, обозначим  $Q$ . Очевидно, что те или иные соотношения величин  $Q$ ,  $Q^1_{max}$  и  $Q^2_{max}$  определяют различные операционные сценарии для рассматриваемых нами портов.

**Сценарий 1.** Потенциал грузопотока превышает суммарную пропускную способность обоих портов:  $Q \geq Q^1_{max} + Q^2_{max}$ . Независимо от устанавливаемых портами тарифов будет оставаться необслуженный грузопоток, что стимулирует развитие дополнительных мощностей. В зависимости от объема дефицита, возможностей расширения, стабильности прогноза и прочего это может быть расширение существующих портов или строительство нового. В любом случае оба порта будут работать с минимальной себестоимостью (полной загрузкой), располагая рыночной свободой назначения тарифов по принципу «сколько выдержит рынок» (*asmarketcanbear*) или извлекающая максимальную прибыль при фиксированных тарифах в условиях транспортной системы совместного использования. Сейчас порты не испытывают конкуренции, но должны учитывать ее при планировании дальнейшего развития.

**Сценарий 2.** Случай тривиальнее предыдущего – грузопотока в лучшем случае хватает на малый порт:  $Q \leq \min\{Q^1_{max}, Q^2_{max}\} = Q^1_{max}$ . Из приведенных раньше рассуждений следует, что весь грузопоток должен обрабатываться в меньшем порту – именно в нем себестоимость обработки будет минимальна. Крупный порт-опponent может некоторое время удерживать цену ниже себестоимости в надежде «пересидеть» более приспособленного к малому грузопотоку конкурента, но при этом расходуется его «неприкосновенный» финансовый запас для выживания.

**Сценарий 3.** Объем грузопотока слишком велик для малого порта, но недостаточен для полной загрузки более круп-

ного:  $Q^1_{max} < Q < Q^2_{max}$ . Как будут распределяться грузопотоки между малым портом и более крупным?

Чтобы найти ответ на этот вопрос, обозначим долю грузопотока, проходящего через порт с одним причалом, как  $x$ . Иными словами, через малый порт будет проходить грузопоток объема  $x \cdot Q$ , а через более крупный порт – объема  $(1 - x) \cdot Q$ . Себестоимость перевалки через первый порт будет

определяться как  $\frac{C_1}{x \cdot Q}$ , а через второй – как  $\frac{C_2}{(1 - x) \cdot Q}$ . Из условия равенства себестоимости перевалки через оба порта

$\frac{C_1}{x \cdot Q} = \frac{C_2}{(1 - x) \cdot Q}$  можно найти значение доли грузопотока че-

рез первый порт:  $C_1 \cdot (1 - x) = C_2 \cdot x$ . Следовательно,  $C_1 - C_1 \cdot x = C_2 \cdot x$ , или  $C_1 = C_1 \cdot x + C_2 \cdot x$ ,  $C_1 = x \cdot (C_1 + C_2)$  и, наконец,  $x = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ .

Итак, распределив указанным образом грузопоток между двумя портами, можно обеспечить равенство себестоимости их операций. Это, очевидно, можно сделать в условиях оговоренного единого управления портами и консолидированным грузопотоком. Система управления стремится обеспечить для портов одинаковые условия.

При раздельном владении портами неизбежная их конкуренция заставляет отдать малому порту весь грузопоток, соответствующий его мощности и обеспечивающий тем самым минимум его себестоимости, оставляя для избыточно вооруженного порта лишь «непереваренный» малым портом остаток. Сколь долго остаточный грузопоток, доход от обработки которого меньше себестоимости, позволит продержаться «на плаву» большему порту, зависит от его запаса прочности. В то же время лучшая экономика более крупного порта позволит ему сравняться с малым по себестоимости перевалки и при неполной загрузке. Объем остаточного грузопотока можно найти из соотношения  $\frac{C_1}{Q^1_{max}} = \frac{C_2}{Q - Q^1_{max}}$ , откуда  $Q_{-} = Q^1_{max} + \frac{Q^1_{max} \cdot C_2}{C_1}$ . Иными словами, при объеме грузопотока  $Q > Q^1_{max} + Q_{-}$  перевалка через более крупный порт становится менее затратной. В этом случае появляется предпосылка проводить всю перевалку через этот порт.

**Смена сценариев.** Предположим теперь, что грузопоток  $Q$  монотонно возрастает от нуля до значения  $Q \geq Q^1_{max} + Q^2_{max}$ . На *первой стадии* при соблюдении соотношения  $Q \leq Q^1_{max}$  весь груз обрабатывается в малом порту.

На *второй стадии* при  $Q^1_{max} < Q \leq Q^1_{max} + Q_{-}$  малый порт полностью загружен и лишь избыточная часть груза объемом  $Q - Q^1_{max}$  обрабатывается в крупном порту.

На *третьей стадии* при  $Q^1_{max} + Q_{-} < Q \leq Q^1_{max} + Q^2_{max}$  крупный порт загружен полностью и отдает малому порту излишек грузопотока объемом  $Q - Q^2_{max}$ .

На *четвертой стадии* при  $Q \geq Q^1_{max} + Q^2_{max}$  оба порта загружены полностью. Необработанный излишек грузопотока объемом  $Q - (Q^1_{max} + Q^2_{max})$  стимулирует расширение и/или развитие портов рассматриваемого условного региона.

На *рис. 6* показаны графики грузопотоков через порты  $Q^1$  и  $Q^2$ , отражающие последовательную смену сценариев при линейном росте грузопотока  $Q$ .

Представленные графики доказывают адекватность созданной математической модели. Теперь с ее помощью можно проанализировать распределение грузопотоков между двумя рассматриваемыми портами побережья при случай-

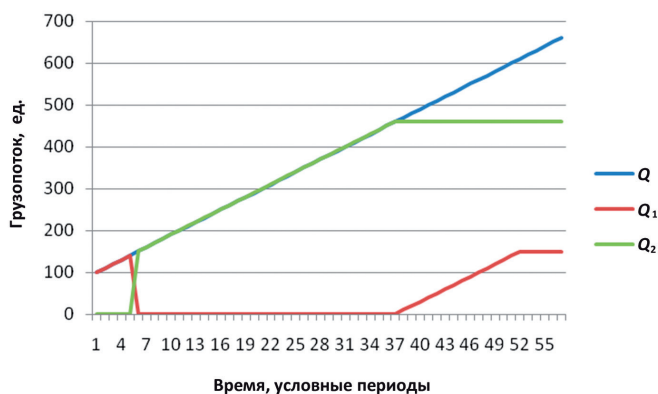


Рис. 6. Распределение грузопотоков между двумя портами:  
 $Q$  – общий поток,  $Q_1, Q_2$  – поток, приходящийся на первый и второй порт соответственно

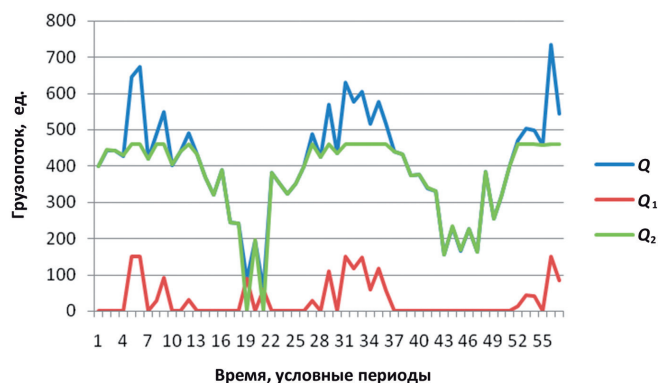


Рис. 7. Распределение грузопотоков при случайных колебаниях

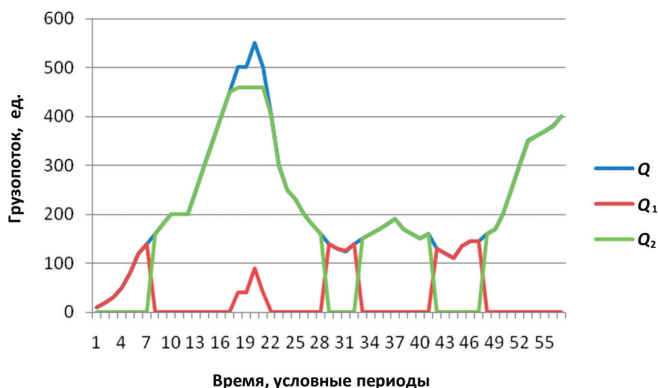


Рис. 8. Пример анализа распределения грузопотоков для прогнозируемых трендов

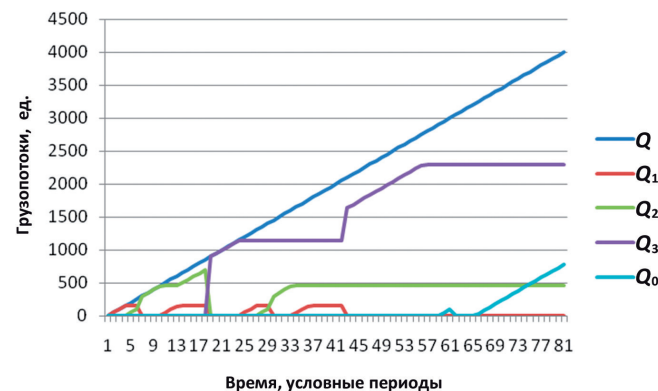


Рис. 9. Распределение грузопотоков между тремя портами:  
 $Q_0$  – дефицит портовых мощностей

ных флуктуациях общего грузопотока, вызванных, например, влиянием внешних рыночных условий. Пример такого анализа для псевдослучайного полного потока приведен на рис. 7.

На рис. 8 показано, как перераспределятся грузопотоки для предполагаемых трендов при изменении регионального грузопотока.

### Конкурентное взаимодействие трех портов

Аналогичные рассуждения можно привести для трех портов. Пусть, к примеру, порт 1 имеет один причал, порт 2 – два причала, порт 3 – четыре причала. Распределение грузопотоков между причалами при линейном монотонно возрастающем региональном грузопотоке показано на рис. 9. Как и в предыдущем случае, этот график служит доказательством валидности модели и общему пониманию действующих механизмов.

Распределение грузопотоков для произвольного изменения регионального грузопотока показано на рис. 10.

Поведение системы (рис. 6–10) установлено в результате работы имитационной дискретно-событийной модели. Оно отражает ожидания, основанные на предварительном расчете и «ручном» анализе поведения для простых случаев входных воздействий, т. е. валидность модели можно считать доказанной. Принцип построения модели и ее реализация приведены далее.

### Описание поведения системы как процесса пошаговой смены состояний

Приведенная концепция предполагает разбиение изучаемой системы на последовательные пространственные звенья, характеризующиеся некоторым своим состоянием в последовательные интервалы времени. Здесь мы сталкиваемся с системой, которая по-разному реагирует на наступление внешних событий в текущий момент. Точнее, мы имеем дело с системами, состояние которых в каждый следующий момент будет определяться не только «управляющими» внешними воздействиями, но и состоянием систем в текущий момент. Системы подобного рода называются автоматами с памятью, в отличие от комбинационных схем, где состояние выходов полностью определяется только входными сигналами.

Управляющее воздействие в некоторый текущий момент в общем случае может состоять не из единственного события, а из некоторого набора событий. Тогда говорят, что управляющее воздействие представляет собой «многомерную» или

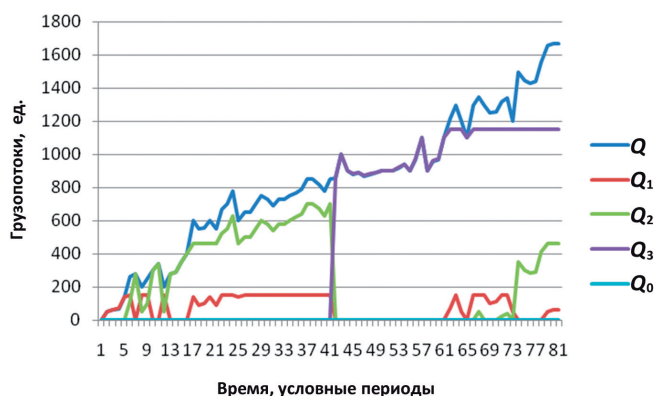


Рис. 10. Распределение грузопотоков между тремя портами при случайном росте региональных требований

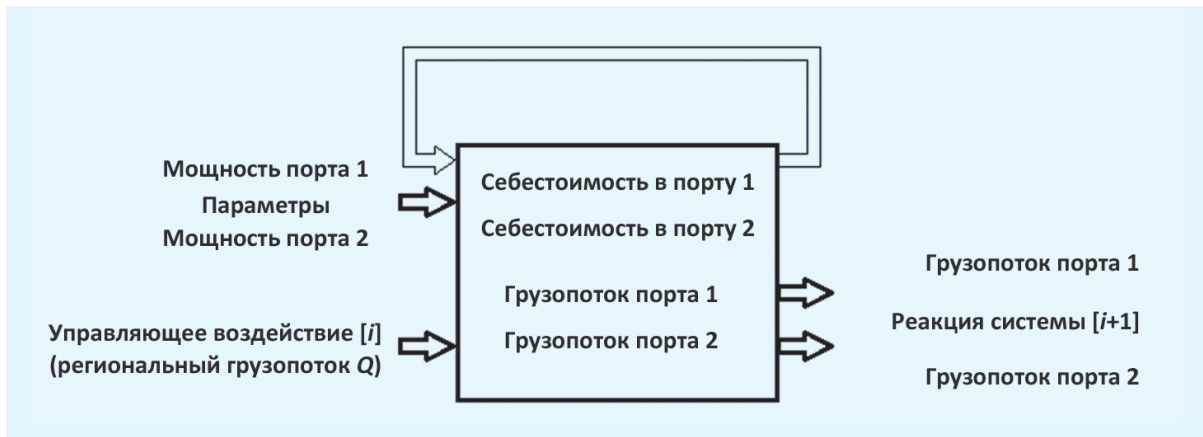


Рис. 11. Модель взаимодействия двух портов

«векторную» величину, состоящую из отдельных простых («одномерных») компонент.

То же можно сказать и о состоянии системы: оно складывается из состояния всех ее компонент, образуя такую же по форме векторную величину. Изменение состояния элементов (и, таким образом, всей системы) с течением времени называется поведением системы. Одна часть состояний системных компонент необходима для формирования состояния системы в следующий момент, другая не оказывает влияния на это. Состояния некоторых элементов могут интересовать нас в плане исследования системы. Такие состояния элементов называют (многомерным) выходом системы.

Выход системы и ее состояние в следующий момент называют реакцией системы, т. е. реакцией на управляющее воздействие с учетом ее состояния в предыдущий момент.

Структурные связи между всеми элементами системы в простейшем случае не меняются с течением времени, меняются лишь входные и выходные «сигналы» и состояние элементов.

Иными словами, внутренние связи системы, «спрятанные» на рис. 11 внутри прямоугольника (в кибернетике такой белый прямоугольник называют «черным ящиком» вследствие его непрозрачности), заставляют систему менять состояние от шага к шагу. На рис. 11 даны лишь три произвольных последовательных момента: предыдущий [i-1], текущий [i] и следующий [i+1]. Реальное поведение системы описывается длинной последовательностью.

Внутренние связи (алгоритм формирования) управляющего воздействия, грузопотоков и себестоимости обработки в портах 1 и 2 показаны на рис. 12.

Таким образом, реализуя планы развития территорий в Арктическом регионе России, целесообразно применить централизованное планирование и управление формированием и функционированием портовой инфраструктуры для обработки консолидированного потока грузов. Указанный подход возможен при создании транспортной системы совместного использования, действующей в кор-

поративных интересах заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и иных хозяйствующих субъектов. ■

**Литература**

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу: утв. Президентом Российской Федерации 18 сент. 2008 г. № Пр-1969.
2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года: утв. Президентом Российской Федерации 20 фев. 2013 г.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 апр. 2014 г. № 366 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации „Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года“».
4. Кузнецов А. Л., Изотов О. А., Кириченко А. В. Технология работы порта / под общ. ред. А. В. Кириченко. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. С. О. Макарова, 2014. – 183 с.

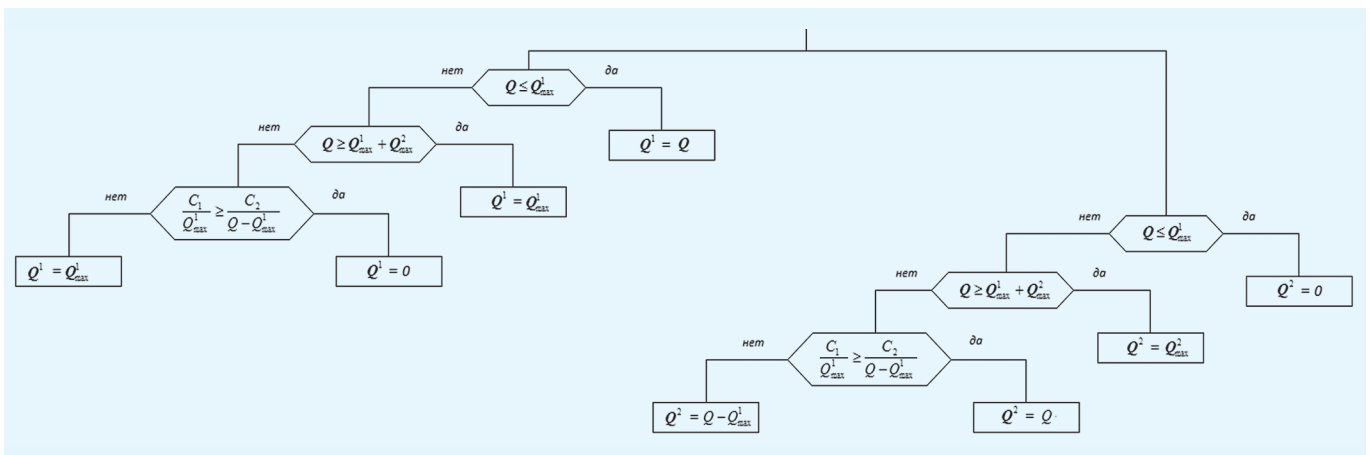


Рис. 12. Фрагмент алгоритма, формирующий реакции системы на внешние воздействия