

Инна А. Лапкина, Николай А. Малаксиано  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ  
СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ ЧЕРЕЗ ОДЕССКИЙ ПОРТ**

*В статье исследована задача оптимизации мультимодальной системы доставки импортных скоропортящихся грузов в условиях непостоянной интенсивности грузопотока. Предложена имитационная модель, позволяющая анализировать и оптимизировать показатели эффективности различных схем доставки цитрусовых через Одесский порт. Ключевые слова: мультимодальные перевозки; схема доставки; управление запасами; скоропортящиеся грузы; имитационное моделирование.*  
Форм. 11. Рис. 10. Табл. 2. Лит. 11.

Инна О. Лапкина, Микола О. Малаксиано  
**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ  
ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ ЧЕРЕЗ ОДЕСЬКИЙ ПОРТ**

*У статті досліджено задачу оптимізації мультимодальної системи доставки імпортих швидкопсувних вантажів за умов непостійної інтенсивності вантажопотоку. Запропоновано імітаційну модель, що надає можливість аналізувати й оптимізувати показники ефективності різних схем доставки цитрусових через Одеський порт. Ключові слова: мультимодальні перевезення; схема доставки; управління запасами; швидкопсувні вантажі; імітаційне моделювання.*

Inna O. Lapkina<sup>1</sup>, Mykola O. Malaksiano<sup>2</sup>  
**MODELLING AND OPTIMIZATION OF PERISHABLE CARGO  
DELIVERY SYSTEM THROUGH ODESA PORT**

*The optimization problem for the multimodal delivery system of import perishable cargoes is studied in the case when intensity of cargo traffic is prone to stochastic and seasonal variations. To investigate the problem an appropriate discrete-event simulation model is introduced. The model allows analyzing and optimizing key indicators for different delivery schemes which include the port of Odesa.*  
*Keywords: multimodal transport; delivery scheme; inventory management; perishable goods; simulation modelling.*

**Постановка проблеми.** Расходы на транспортировку и хранение составляют значительную часть (согласно [3, 35] — до 70%) конечной стоимости товаров. В ряде случаев для перевозки грузов целесообразно или даже необходимо использовать достаточно сложные системы транспортировки и хранения с использованием дорогостоящего оборудования. Поэтому большой практический интерес представляет развитие новых технологий транспортировки грузов и совершенствование методов проектирования и управления транспортными системами. Эта непростая задача существенно усложняется, если объемы грузопотоков и условия доставки грузов подвержены влиянию случайных факторов. На практике для того, чтобы удовлетворительно осваивать грузопотоки, имеющие неравномерную, случайным образом меняющуюся интенсивность, при проектировании транспортных систем обычно предусматривается некоторый запас резервов. Однако, несмотря на большую

---

<sup>1</sup> Odesa National Maritime University, Ukraine.

<sup>2</sup> Odesa National Maritime University, Ukraine.

практическую важность, вопросы экономического обоснования объема таких резервов исследованы все еще недостаточно. Методы классической теории массового обслуживания позволяют проводить исчерпывающий анализ транспортных систем, работающих в условиях неопределенности, лишь в простейших случаях и при достаточно жестких ограничениях. Поэтому при исследовании большинства практически важных задач, возникающих в этом направлении, единственным выходом является разработка и использование специального программного обеспечения, сочетающего в себе как аналитические методы оптимизации, так и статистические методы, а также имитационное моделирование [11]. В связи с этим, помимо развития классических подходов, значительный практический интерес представляет разработка методов построения математических моделей и соответствующих компьютерных информационных систем, развитие и совершенствование алгоритмической и вычислительной базы, повышение уровня эффективности и адекватности моделей, а также поиск новых подходов, позволяющих расширить круг вопросов, которые можно исследовать с их помощью.

До этого года Украина ежегодно импортировала 300–350 тыс. т цитрусовых. В зависимости от сезона цитрусовые в Украину поставляются из разных стран: из Средиземноморского региона, ЮАР, стран Латинской и Южной Америки, однако большая их часть (более 70%) ввозится в Украину из Турции. Это объясняется тем, что турецкие цитрусовые недорогие, их недалеко транспортировать в Украину и сезон плодоношения цитрусовых в Турции длится достаточно долго. На практике используются два альтернативных варианта морской транспортировки цитрусовых в Украину: с помощью рефрижераторных судов и с помощью судов-контейнеровозов с рефрижераторными контейнерами. Сезонный спрос на цитрусовые является главным фактором, определяющим интенсивность заходов в Одесский порт рефрижераторных судов. Так, для перевозки цитрусовых в пик сезона между турецким портом Зонгулдак и Одесским портом обычно постоянно курсируют несколько рефрижераторных судов, обеспечивая по крайней мере два судозахода в неделю и способные освоить грузопоток импортных цитрусовых до 50–70 т за сезон. Однако в межсезонье, когда грузопоток цитрусовых небольшой, рефрижераторные суда из Турции в украинские порты заходят реже. Исключением из многолетней тенденции роста грузопотока цитрусовых в Украину стал обвал в 2014–2015 гг., вызванный изменением потребительских настроений [2]. Последнее падение потребительских настроений очень негативно отразилось на экономических показателях компаний, специализирующихся на импорте экзотических фруктов. Некоторые компании были вынуждены свернуть свою деятельность, для остальных остро встал вопрос поиска путей экономии и повышения эффективности результатов своей работы. В связи с этим особую актуальность приобрели вопросы оптимизации расходов на доставку и хранение груза, поскольку эти расходы составляют значительную часть цены цитрусовых для конечного потребителя.

Доставка цитрусовых судами-рефрижераторами имеет преимущество перед доставкой в рефконтейнерах на контейнеровозах в том, что рефрижераторные суда не привязаны к жесткому расписанию и в период наибольшего

спроса доставляют груз быстрее и дешевле, чем работающие на линиях контейнеровозы. При этом хранить груз в портовом холодильнике значительно дешевле, чем содержать подключенный рефконтейнер в порту. С другой стороны, цитрусовые лучше хранятся в рефконтейнерах, а их использование создает возможность вывоза груза из портов, связанных линейным сервисом с Одесским портом; причем судозаходы контейнеровозов обеспечиваются точно по расписанию, в отличие от рефрижераторных судов, движение которых зависит от того, как формируются судовые партии, что становится особенно неудобным в межсезонье, когда грузопоток цитрусовых значительно снижается.

Для дальнейшего анализа рассмотрим следующую, достаточно общую, схему работы компании-импортера цитрусовых. Заказы на доставку партий груза от фирм-клиентов, находящихся в разных регионах Украины, поступают к компании-импортеру. Если на момент поступления заявки на складе импортера есть достаточный запас цитрусовых, то груз по заявке немедленно отгружается и отправляется спецавтотранспортом в город, где расположен склад клиента. Если на момент поступления заявки на складе компании-импортера нет груза, то заявка ожидает до тех пор, пока либо появится возможность ее выполнить, либо пока она не будет просрочена, что для импортера будет означать потерю заказа. В момент времени, когда в порт прибывает судно с партией цитрусовых, та часть груза, под которую уже есть заявки, ожидающие в пуле, отгружается по прямому варианту и прямо из порта вывозится клиентам. Остальной груз транспортируется на склад и хранится до поступления заявок.

Необходимо учитывать, что цитрусовые – скоропортящийся груз, его хранение и транспортировка требуют специальных условий. Поэтому длительное хранение сопряжено с дополнительными расходами. Кроме того, при длительном хранении даже в специальных условиях цитрусовые портятся. Таким образом, увеличение срока хранения цитрусовых влечет значительное увеличение расходов в связи с их порчей. Сокращение объемов запасов груза на складе, с одной стороны, обеспечивает уменьшение расходов на хранение и порчу груза, с другой – может привести к увеличению числа просроченных заявок от фирм-клиентов и снизить прибыль импортера из-за потерянных возможностей. К тому же, это может негативно отразиться на репутации фирмы. В связи с этим перед импортером возникает задача организации оптимальных схем доставки цитрусовых и рационального планирования объемов запасов с учетом специфики выбранных схем и прогнозов возможной интенсивности потоков заявок от клиентов.

**Анализ исследований и публикаций.** В случае, если бы интенсивность поступления заявок и интенсивность судозаходов являлись постоянными величинами, не представляло бы большой сложности, используя классические методы [3; 5–7], рассчитать и сравнить оптимальные параметры выбранных схем доставки. Однако на практике поток заявок от фирм-клиентов носит случайный характер, причем, в зависимости от времени года и конъюнктуры рынка существенно меняются не только среднее значение и стандартное отклонение, но и форма функций распределения времени между заявками. В свою очередь, интенсивность и равномерность движения рефрижераторных

судов существенно зависит от объемов грузопотоков скоропортящихся грузов, которые определяются рядом факторов, в т.ч. и тех, которые не всегда легко предвидеть. Все это существенно усложняет рассматриваемую задачу экономически обоснованного выбора схем доставки груза. Изучению близких вопросов посвящены работы ряда авторов [1; 4; 6; 8; 10], однако некоторые практически важные аспекты этой задачи до сих пор остаются исследованными недостаточно.

**Цель исследования** состоит в исследовании эффективных схем доставки импортных цитрусовых через Одесский морской торговый порт, которые позволят компаниям-импортерам повысить результативность деятельности, снизить затраты на транспортировку и обеспечить конечному потребителю более доступный в ценовом отношении товар.

**Основные результаты исследования.** Введем некоторые обозначения:  $T$  – горизонт планирования;  $N$  – количество поступивших заявок;  $N_{deliv}$  – количество отгруженного груза за промежуток времени  $T$ . Общую прибыль будем считать по формуле:

$$P = D - R_{perm} - R_{var}, \quad (1)$$

где  $D$  – совокупные доходы;  $R_{perm}$  – совокупные постоянные издержки;  $R_{var}$  – совокупные переменные издержки.

Величина среднесуточной прибыли равна

$$P_d = \frac{P}{T}. \quad (2)$$

Совокупные доходы рассчитываются по формуле

$$D = \sum_{k=1}^{N_{deliv}} I_k, \quad (3)$$

где  $N_{deliv}$  – количество единиц доставленного груза;  $I_k$  – стоимость  $k$ -й единицы груза для фирмы-потребителя в Украине.

Расчет составляющих издержек будем проводить с позиций общих издержек собственника для компании-поставщика [9, 169–174]. Совокупные постоянные издержки равны

$$R_{perm} = (r_{adm} + r_{stor}) \times T, \quad (4)$$

где  $r_{adm}$  – среднесуточные административные издержки;  $r_{stor}$  – среднесуточные расходы на аренду складских площадей.

Совокупные переменные издержки определяются как

$$R_{var} = \sum_{k=1}^{N_{deliv}} r_k, \quad (5)$$

где  $r_k$  – величина переменных издержек, приходящаяся на  $k$ -ю единицу груза.

Переменные издержки по  $k$ -й единице груза имеют следующий вид

$$r_k = r_{c,k} + r_{sea,k} + r_{at,k} + r_{spoil,k}, \quad (6)$$

где  $r_{c,k}$  – закупочная стоимость  $k$ -й единицы груза в Турции;  $r_{sea,k}$  – расходы на перевозку по морю, включая погрузо-разгрузочные работы (ПРР);  $r_{at,k}$  –

расходы на перевозку автотранспортом, включая ПРР;  $r_{spoil,k}$  – потери в связи с порчей груза во время его хранения и транспортировки.

Потери в связи с порчей единицы груза находятся как

$$r_{spoil,k} = r_{c,k} \times f_{spoil}(\tau_k) \quad (7)$$

где  $f_{spoil}(\tau)$  – функция, описывающая увеличение доли испорченного груза в зависимости от времени его хранения и транспортировки  $\tau$ ; для каждого вида груза и условий его хранения вид этой функции следует определять отдельно;  $\tau_k$  – суммарное время, которое  $k$ -я единица груза находится в пути и на складе от момента ее погрузки на судно до момента доставки конечному потребителю.

На основании статистического анализа для рассматриваемого груза и данных условий хранения была получена следующая зависимость изменения доли испорченного груза от времени его хранения и транспортировки

$$f_{spoil}(\tau) = \min(0,0002 \times e^{0,3225\tau}, 1). \quad (8)$$

Суммарное время, которое  $k$ -я единица груза находится в пути и на складе от момента погрузки на судно до момента доставки конечному потребителю составляет

$$\tau_k = \tau_{sea,k} + \tau_{at,k} + \tau_{stor,k}, \quad (9)$$

где  $\tau_{sea,k}$  – время морской транспортировки;  $\tau_{at,k}$  – время транспортировки автотранспортом;  $\tau_{stor,k}$  – время хранения на складе.

Средняя величина совокупных издержек, приходящихся на единицу груза, равна

$$R_{unit} = \frac{R_{perm} + R_{var}}{N_{deliv}}. \quad (10)$$

Обозначим через  $v$  объем цитрусовых, заказываемый компанией-импортером в одной судовой партии. Пусть  $u$  – минимальный уровень запаса груза на складе, при достижении которого компании-импортеру следует позаботиться о пополнении запаса цитрусовых на складе. И при доставке груза с использованием рефрижераторных судов, и при использовании рефконтейнеров выбор значений параметров  $u$  и  $v$  существенно влияет на результативные показатели системы доставки. Поэтому для того, чтобы сделать обоснованный выбор наиболее эффективной схемы доставки при различных условиях, необходимо сначала выяснить, при каких значениях параметров  $u$  и  $v$  каждая из рассматриваемых схем имеет в среднем наилучшее значение показателя доходов.

Из-за случайности потоков заявок и судозаходов все зависящие от них показатели системы доставки, включая средние издержки на перевозку единицы груза и доходы от деятельности компании-импортера, являются случайными величинами. Поэтому при оценке организации работы компании целесообразно рассматривать математические ожидания этих величин. В терминах приведенных выше обозначений вопрос нахождения рациональных значений  $u$  и  $v$  можно сформулировать в виде следующей задачи оптимального управления:

$$E(D_d(u,v)) \rightarrow \max_{u,v} \quad (11)$$

где  $E(D_d)$  – математическое ожидание среднесуточных доходов компании-импортера.

В зависимости от времени года и конъюнктуры рынка могут существенно меняться не только математические ожидания и дисперсии времени между заказами клиентов и времени между приходом рефрижераторных судов, но и формы их функций распределения, иногда приближаясь к экспоненциальному распределению, а иногда по форме напоминая нормальное распределение. В табл. 1 и на рис. 1 и 2 представлены типичные значения показателей законов распределений времени между заказами фирм-потребителей и времени между заходами в Одесский порт судов-рефрижераторов из Турции в течение одного сезона. Для описания этих случайных величин будем использовать гамма-распределение с соответствующим образом подобранными параметрами.

Таблица 1. Сезонные изменения интенсивностей судозаходов и заказов груза, сутки, авторская разработка

дата	№ наблюдения	Показатели потока судозаходов рефрижераторных судов		Показатели потока заказов фирм-клиентов	
		Средний интервал между судозаходами	Отклонение интервала между судозаходами	Средний интервал между заказами	Отклонение интервала между заказами
13 сентября	1	13	5	3	4,2
23 сентября	2	10	4	2,7	3,8
3 октября	3	8	3	2,5	3,4
13 октября	4	6,5	2,5	2,3	3,1
23 октября	5	5,2	2	2,1	2,8
2 ноября	6	4,3	1,5	1,9	2,5
12 ноября	7	3,6	1,2	1,7	2,2
22 ноября	8	3,3	1,1	1,5	2
2 декабря	9	3,1	0,9	1,4	1,8
12 декабря	10	3	0,8	1,3	1,7
22 декабря	11	3	1	1,2	1,6
1 января	12	3,1	1,1	1,2	1,5
11 января	13	3,1	1,1	1,2	1,44
21 января	14	3,3	1,2	1,2	1,44
31 января	15	3,8	1,3	1,2	1,44
10 февраля	16	4,4	1,4	1,3	1,52
20 февраля	17	5,2	1,6	1,35	1,6
2 марта	18	6	2	1,4	1,7
12 марта	19	6,8	2,6	1,5	1,85
22 марта	20	7,9	3,1	1,6	1,9
1 апреля	21	8,7	3,7	1,8	2,1
2 апреля	22	9,9	4,5	2	2,3
3 апреля	23	11	5,5	2,1	2,5
4 апреля	24	12,5	6,4	2,3	2,9
5 апреля	25	14	7,5	2,6	3,2

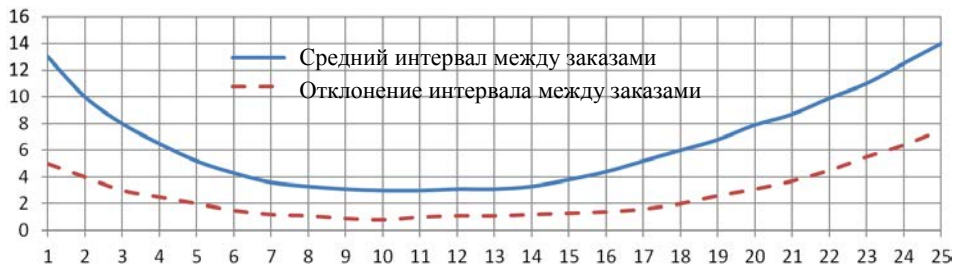


Рис. 1. Середні значення і стандартні відхилення інтервалів часу між замовленнями фірм-клієнтів, сутки, авторська розробка



Рис. 2. Середні значення і стандартні відхилення інтервалів часу між судозаходами, сутки, авторська розробка

Как уже отмечалось, значительная часть цитрусовых поступает в Одесский порт на рефрижераторных судах из турецкого порта Зонгулдак. Время перехода, включая ППР, составляет около 3,5 суток. Перевозка цитрусовых в рефконтейнерах может осуществляться только из тех портов, через которые проходят контейнерные линии, соединяющие их с Одесским портом, например, Стамбул и Измир. С одной стороны, это удобно, что движение контейнеровозов организовано по определенному расписанию и имеется достаточное количество линий таких известных перевозчиков как ZIM, CMA CGM, Maersk, Arakas, MSC, связывающих турецкие порты с Одессой. Однако не все линии соединяют указанные порты напрямую. Из-за наличия промежуточных портов на пути следования из порта отправления в порт назначения время доставки груза существенно увеличивается, а доставка становится дороже. Наибольшее количество контейнерных линий, связывающих турецкие порты с Одессой, проходят через Стамбул. Поэтому в дальнейших расчетах будем предполагать, что груз в контейнерах доставляется из Стамбула. Доставка груза из Одессы к потребителям, находящимся в различных регионах Украины, осуществляется грузовым автотранспортом с рефрижераторными прицепами вместимостью 21 т.

Далее в качестве неделимой единицы груза, не нарушая общности, выбрана партия груза массой 21 т, поскольку именно столько цитрусовых на паллетах вмещается и в стандартный сорокафутовый контейнер, и в рефрижераторный автоприцеп.

Для того, чтобы исследовать и оптимизировать описанную систему доставки, построена дискретно-событийная имитационная модель. На рис. 3 представлено окно модели во время ее прогона.

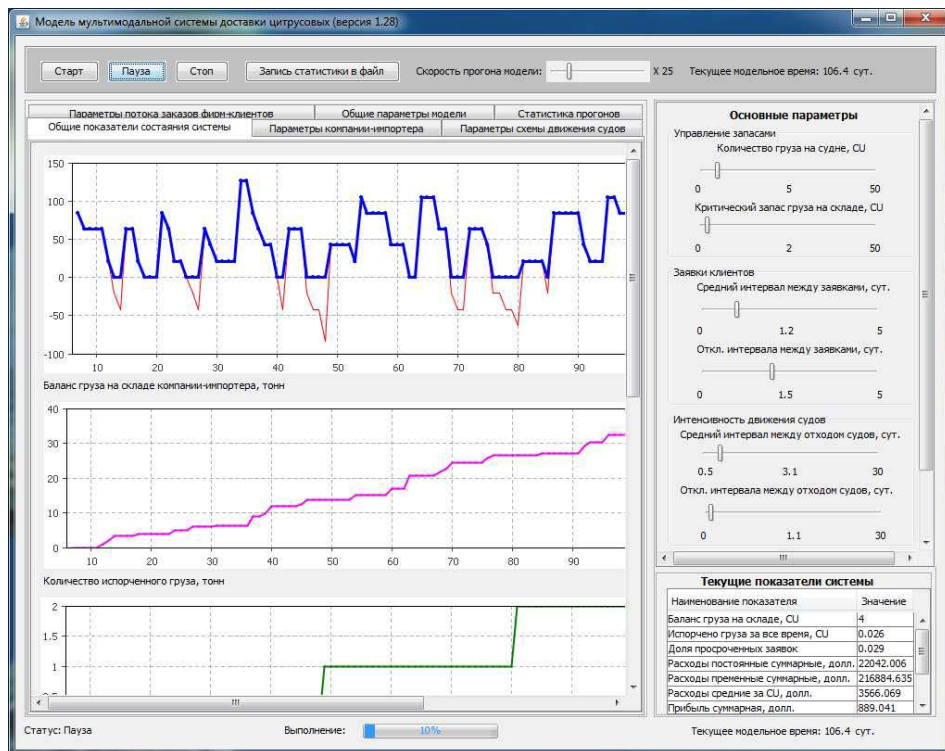


Рис. 3. Окно модели во время прогона, авторская разработка

На рис. 4 представлен фрагмент кривой изменения баланса груза на складе фирмы-импортера во время одного из прогонов модели при  $v = 5$  и  $u = 2$ . Жирной линией изображен объем запаса груза на складе, тонкой – уровень дефицита, показывающий необходимое количество груза для удовлетворения всех накопленных заявок в моменты времени, когда на складе нет груза. На рис. 5 для сравнения представлен аналогичный график при  $v = 4$  и  $u = 1$ .

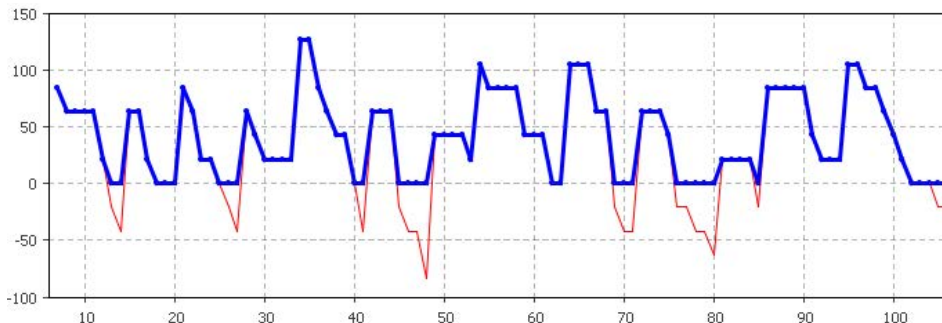


Рис. 4. Баланс груза на складе фирмы-импортера при  $v = 5$  и  $u = 2$ , авторская разработка

Кроме возможности наглядного представления текущего состояния системы во время прогона, имитационная модель позволяет собирать всю ста-



тистику и оценивать такие показатели, как себестоимость перевозки единицы груза, доходы и расходы на транспортировку и ряд других показателей. В результате серии прогонов модели можно получить достаточно данных для статистической оценки эффективности выбора тех или иных значений параметров при различных интенсивностях грузопотоков и судозаходов. В табл. 2 представлены решения задачи оптимального управления запасами (11) и соответствующие оптимальные показатели схем доставки, полученные с помощью построенной имитационной модели для значений интенсивностей грузопотоков и судозаходов, приведенных в табл. 1.

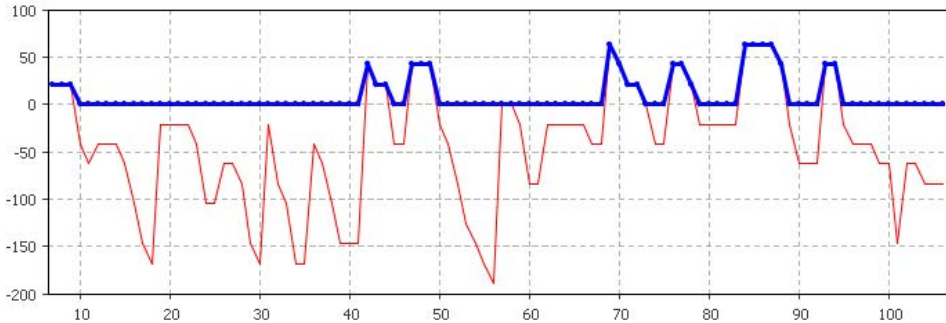


Рис. 5. **Баланс груза на складе фирмы-импортера при  $v = 4$  и  $u = 1$ ,**  
*авторская разработка*

На рис. 6. представлены максимальные значения среднесуточной прибыли импортера при оптимальном управлении запасами для схем транспортировки цитрусовых, основанных на использовании рефрижераторных судов и судов-контейнеровозов. Как видно, использование рефрижераторных судов в пик сезона при правильном планировании заказов и запасов приносит большую прибыль, чем использование контейнеровозов. Однако, когда интенсивности потоков заказов и судозаходов уменьшаются, использование контейнеровозов становится более выгодным. И даже при оптимальном управлении запасами в межсезонье наблюдается существенное увеличение доли испорченного груза (рис. 7) и доли просроченных заявок, что влечет существенное увеличение себестоимости перевозки груза и уменьшение прибыли компании-импортера.

Если поступившая заявка не может быть удовлетворена в ближайшее время, то фирма-клиент может ее аннулировать и обратиться к конкурирующей компании. Хотя рассмотренная здесь модель в своей целевой функции предусматривает негативные последствия для компании-импортера от такой ситуации в виде упущенной выгоды, на практике чрезмерное увеличение доли отказов в дополнение к этому может иметь не такие явные, но еще более нежелательные последствия, связанные с потерей репутации надежного поставщика и, как следствие, оттоком части клиентов. Поэтому практический интерес представляет задача управления количеством неудовлетворенных заявок клиентов в результате выбора той или иной схемы доставки груза. На рис. 8 представлены кривые изменения доли отказов на поставки партий цитрусовых при оптимальных с точки зрения прибыли компании-импортера

Таблиця 2. Оптимальні показателі перевезки цитрусових при різних значеннях інтенсивностей грузопотоку і судозаходів, авторська розробка

Дата	№ наближення	Рефрижераторні судна										Контейнеровози				
		Оптимальний об'єм груза на судне у, т	Оптимальний об'єм остатка на складі u, т	Макс. середня прибыль в сутки (E(D)), дол. США	Доля просрочен- них заявок, %	Доля испорчен- ного груза, %	Средняя величина общих приходящих (R <sub>sum</sub> ), дол. США	Оптимальный об'єм груза на судне у, т	Оптимальный об'єм остатка на складі u, т	Макс. середня прибыль в сутки (E(D)), дол. США	Доля просрочен- них заявок, %	Доля испорчен- ного груза, %	Средняя величина общих приходящих (R <sub>sum</sub> ), дол. США			
13 сентября	1	3	1	60	45,4	6,1	4674	2	0	127	39,0	4,5	4379			
23 сентября	2	4	1	128	31,7	6,8	4493	3	1	195	20,6	6,5	4357			
3 октября	3	4	1	245	26,3	5,3	4194	3	1	235	19,9	5,8	4256			
13 октября	4	3	1	316	32,2	3,3	3952	3	1	292	21,8	4,9	4122			
23 октября	5	4	1	419	20,6	3,8	3898	3	1	372	25,0	3,8	3964			
2 ноября	6	4	2	520	13,2	4,2	3863	4	1	456	18,6	4,3	3941			
12 ноября	7	4	1	659	19,0	2,3	3627	4	2	562	15,8	4,2	3880			
22 ноября	8	5	2	793	11,3	3,3	3670	5	2	691	13,7	4,1	3822			
2 декабря	9	5	2	916	10,7	2,7	3578	5	3	781	11,1	4,2	3805			
12 декабря	10	6	1	1003	12,8	2,4	3525	5	2	855	17,3	3,1	3670			
22 декабря	11	6	2	1135	10,7	2,4	3502	6	3	953	11,2	3,9	3735			
1 января	12	6	1	1137	14,4	1,7	3438	6	2	987	13,9	3,1	3649			
11 января	13	7	1	1142	9,9	2,2	3490	7	2	982	8,9	3,8	3717			
21 января	14	5	3	1127	12,3	2,1	3483	7	2	982	8,9	3,8	3717			
31 января	15	6	3	1128	9,3	2,6	3535	7	2	982	8,9	3,8	3717			
10 февраля	16	5	3	998	12,2	2,4	3542	5	3	893	10,8	3,5	3705			
20 февраля	17	5	3	911	12,4	2,7	3593	5	2	846	13,4	3,1	3680			
2 марта	18	6	3	812	12,1	3,7	3719	6	2	788	9,4	4,3	3806			
12 марта	19	6	2	697	18,2	3,4	3728	4	4	716	13,7	4,0	3813			
22 марта	20	5	2	616	25,6	2,7	3700	4	2	641	15,2	3,6	3785			
1 апреля	21	5	2	473	24,8	3,8	3875	4	2	545	10,6	4,4	3902			
2 апреля	22	4	2	366	34,0	3,1	3912	3	2	447	16,7	4,0	3924			
3 апреля	23	5	2	296	31,0	4,8	4120	3	1	411	21,7	3,5	3901			
4 апреля	24	4	1	195	43,0	4,0	4208	3	1	329	22,1	4,4	4047			
5 апреля	25	4	2	113	39,1	6,1	4513	2	1	247	30,2	3,6	4087			

стратегиях управления запасами для разных интенсивностей потоков заказов и судозаходов рефрижераторных судов.

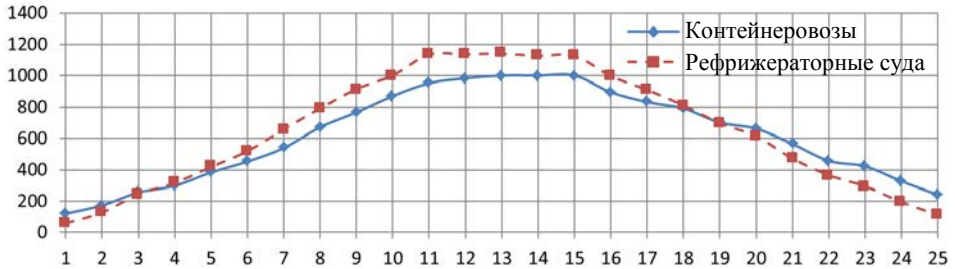


Рис. 6. Среднесуточные значения прибыли при оптимальном управлении запасами для схем транспортировки цитрусовых, основанных на использовании рефрижераторных судов и контейнеровозов, авторская разработка

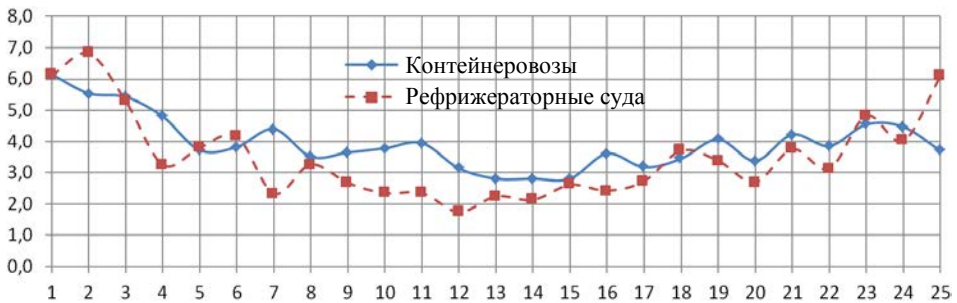


Рис. 7. Доля испорченного груза при оптимальном управлении запасами для схем транспортировки цитрусовых, основанных на использовании рефрижераторных судов и контейнеровозов, авторская разработка

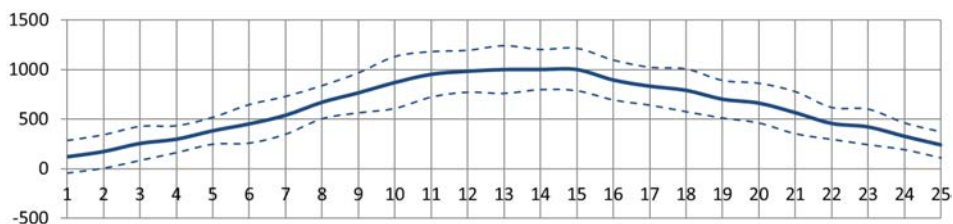


Рис. 8. Изменение доли отказов на поставки партий цитрусовых при оптимальных стратегиях управления запасами для разных интенсивностей потоков заказов и судозаходов рефрижераторных судов, авторская разработка

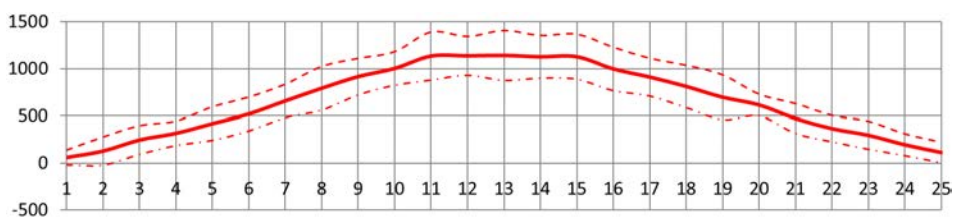
Из рис. 8 видно, что выбранные стратегии управления запасами влекут значительное увеличение доли просроченных заявок в межсезонье. Это показывает целесообразность проведения дополнительных исследований, направленных на поиск и обоснование альтернативных стратегий управления запасами, которые могли бы обеспечить уменьшение доли отказов за счет незначительного уменьшения уровня прибыли импортера. Наиболее простым

подходом к решению данной проблемы могло бы быть решение поставленной в данной работе задачи оптимального управления (11) с добавлением ограничения на максимальный уровень отказов. Более глубокий анализ задачи сокращения доли отказов можно провести с использованием методов многокритериальной оптимизации. Оба подхода могут быть успешно реализованы с использованием модели, предложенной в данной работе.

Отдельный интерес представляет исследование устойчивости показателей эффективности системы доставки к возможным случайным изменениям внешних факторов. На рис. 9 и 10 представлены графики значений среднесуточной прибыли компании-импортера, наблюдаемых на протяжении одного месяца, и их 25% и 75% квантили при оптимальном управлении запасами для рассматриваемых схем доставки.



**Рис. 9. Среднесуточные значения прибыли и их 25% и 75% квантили для схемы доставки цитрусовых с использованием контейнеровозов, авторская разработка**



**Рис. 10. Среднесуточные значения прибыли и их 25% и 75% квантили для схемы доставки цитрусовых с использованием рефрижераторных судов, авторская разработка**

Как видно из рис. 9 и 10, величины возможных отклонений среднесуточных значений прибыли для обеих схем отличаются несущественно.

**Выводы.** В работе исследованы вопросы экономически обоснованного выбора схемы доставки цитрусовых с использованием рефрижераторных судов и судов-контейнеровозов при непостоянном, случайном образом меняющемся грузопотоке. Для этого построена имитационная модель, позволяющая решать задачу оптимального управления запасами в системе доставки импортных скоропортящихся грузов через Одесский порт. Предложенная модель позволила оценивать и оптимизировать такие параметры системы доставки, как средняя себестоимость перевозки единицы груза, средний доход компании-импортера, среднее число просроченных заявок, среднее время нахождения груза на складе и в пути и ряд других параметров, а также дала возможность проводить анализ устойчивости этих показателей.

1. *Белый О.В., Кокаев О.Г., Попов С.А.* Архитектура и методология транспортных систем. – СПб.: Элмор, 2002. – 256 с.
2. В Одесском порту стартовал сезон импорта цитрусовых из Турции // [www.port.odessa.ua](http://www.port.odessa.ua).
3. *Гаджинский А.М.* Логистика. – М.: Маркетинг, 2000. – 375 с.
4. Логистические цепи сложных технологических производств / Л.Б. Миротин, В.А. Корчагин, С.А. Ляпин, А.Г. Некрасов. – М.: Экзамен, 2005. – 288 с.
5. *Лукинский В.С.* Модели и методы теории логистики. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
6. *Миротин Л.Б.* Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы). – М.: Экзамен, 2003. – 448 с.
7. *Неруш Ю.М.* Логистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 389 с.
8. *Постан М.Я.* Экономико-математические модели смешанных перевозок. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.
9. Стратегическое управление цепочками поставок: теория, организационные принципы и практика эффективного снабжения / П. Кунис, Р. Ламминг, Б. Лоусон, Б. Сквир; Пер. с англ. и науч. ред. В.М. Дудникова. – М.: Дело и Сервис, 2010. – 302 с.
10. *Branch, A.E.* (1998). Maritime economics management and marketing. NY: Routledge. 472 p.
11. *Law, A.M.* (2006). Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management. 4 ed. 792 p.

Стаття надійшла до редакції 2.10.2015.