

С.С. Забара, Н.Т. Дехтярук

Оптимизация функционирования транспортно-технологических систем перевозки грузов

Разработана автоматизированная система определения оптимального размера партии груза и оптимальной периодичности его доставки в контейнерах и без них с целью минимизации суммарных затрат на перевозку.

The automated system of measuring the optimum size of the consignment and the optimum periodicity of its delivery for cargoes which are transported in the containers and without them, for the purpose of minimisation of the total transportation expenses is developed.

Розроблено автоматизовану систему визначення оптимального розміру партії вантажу та оптимальної періодичності його доставки у контейнерах та без них з метою мінімізації сумарних затрат на перевезення.

Введение. Главной задачей транспорта есть своевременное, качественное и полное выполнение потребностей народного хозяйства и населения. Важнейшим элементом разработки технологии перевозок грузов есть выбор транспортно-технологической системы. Каждая такая система может быть представлена в виде набора типичных операций, сформированных в блоки, основными из которых есть: груз, пункты сосредоточения груза, транспортная сеть, подвижной состав, погрузочно-разгрузочные средства, участники логистических процессов, тара и упаковка [1].

На основе этих блоков формируется вся технологическая цепочка. Главными факторами, определяющими выбор транспортно-технологических систем, есть локальные технологические процессы, происходящие во всех звеньях транспортной системы, имеющие ряд особенностей и зависящие от рода груза, вида транспорта и его структуры, отраслевой характеристики, состояния элементов логистического процесса [2].

Для успешного функционирования транспортно-технологической системы перевозки грузов необходимо, чтобы разнородные логистические технологии могли быть сведены в единый технологический процесс, в котором необходимо соблюдение единых логистических принципов и требований [1, 2].

Проблемам оптимизации транспортных логистических систем, как показывает анализ научных публикаций, уделяется повышенное внимание [3–8]. В этих публикациях используются разные аналитические методы оптимизации

режимов работы логистических систем, или они носят обобщающий характер.

Постановка задачи

Значительные достижения в области информационных технологий и информационных систем дали возможность существенно повысить эффективность транспортной логистики [2]. Информационные системы автоматизации логистических процессов позволяют автоматизировать всю информационно-технологическую деятельность транспортных предприятий, участвующих в процессах организации грузовых перевозок. Автоматизация транспортной логистики необходима для повышения эффективности и оптимизации перевозок. Благодаря компьютерной обработке данных, внедрению информационных систем маршрутизации, учета и планирования на транспортном предприятии, логистика выходит на качественно новый уровень.

При проектировании и автоматизации транспортных логистических систем существенное значение имеют методы компьютерного моделирования [9]. Компьютерные модели – это программа, которая шаг за шагом воссоздает события, происходящие в реальной системе. Преимущество таких моделей – возможность замены процесса изменения событий в исследуемой системе в масштабе реального времени на ускоренный процесс их изменения. В результате за несколько минут можно воссоздать работу системы на протяжении определенного времени (нескольких дней, недель, месяцев), что дает возможность оценить работу исследуемой системы в широком диапазоне изменяемых параметров.

В моделировании систем особое место занимают модели систем массового обслуживания (СМО). Это важно при проектировании и автоматизации транспортных логистических систем, поскольку любую транспортную систему, элементами которой есть транспортные (автомобили) и погрузочно-разгрузочные средства (пункты обслуживания), можно рассматривать как замкнутую СМО, в которой каналы обслуживания – это погрузочно-разгрузочные средства, а заявки на обслуживание – автомобили [10].

Цель данной статьи – представить использование современных компьютерных информационных технологий для моделирования и оптимизации режимов работы транспортных логистических систем. С помощью системы визуального проектирования C++ *Builder* разработана автоматизированная система определения оптимального размера партии груза и оптимальной периодичности их доставки, для грузов, перевозимых в контейнерах и без них, с целью минимизации суммарных затрат на перевозку.

Математическая модель функционирования транспортно-технологических систем перевозки грузов

Совокупность материальных элементов на всем пути перемещения грузов – составов, транспортных и погрузочно-разгрузочных средств, а также запасы грузов представляют собой транспортно-технологическую структуру системы доставки грузов.

Перемещение грузов из сферы добычи или производства в сферу потребления состоит из нескольких этапов: накопление грузов на складах добычи или производства, концентрация их на складах системы материально-технического снабжения и доставка к непосредственным потребителям.

Проектирование схемы и технологии организации перевозок нуждается в последовательной разработке комплекса вопросов: выбора вида транспорта и подвижного состава, расчета необходимых запасов продукции, обеспечивающих бесперебойное производство, разработки специальных конструкций тары, определение потребности в ней и др. Оптимизация производства и

условий потребления, работы транспорта и складов обеспечивает минимизацию затрат всей системы.

Рассмотрим простейшую модель управления запасами – систему с фиксированным размером заказа [10]. В такой системе размер заказа есть постоянная величина, и повторный заказ подается при уменьшении наличных запасов к определенному критическому уровню (точка заказа).

Пусть g – размер партии, t_d – интервал времени между очередными доставками, P – потребность предприятия в какой-либо продукции на весь планируемый период T . Тогда число партий на все время T равно P/g , а $t_d = Tg/P$. Если интервал t_d начинается в момент, когда на складе есть g тонн продукции, и заканчивается при отсутствии запасов, то величина среднего запаса составляет $g/2$.

При доставке грузов без оборотной тары (контейнеров) система с фиксированным размером заказа основана на выборе такого размера партии груза, при котором минимизируются общие затраты на управление запасами. Предполагается, что общие затраты состоят из затрат на выполнение заказа и затрат на его хранение.

Затраты на выполнение заказа – это затраты, связанные с организацией доставки новой партии. Допустим, что они не зависят от размера партии. Суммарные затраты на выполнение заказов на любой планируемый период составляют PC_3/g , где C_3 – затраты на выполнение заказа.

Затраты на хранение запасов включают в себя затраты, связанные с хранением грузов на складе, и возможные потери вследствие сокращения оборотности средств. Размер последних определяется стоимостью хранения продукции.

Обозначим затраты на хранение единицы груза (запаса) на планируемый период времени (сутки, неделя, месяц), через $C_{хр.г}$. При постоянной интенсивности сбыта затраты на хранение запасов на планируемый период составляют $C_{хр.г} \cdot g/2$. При увеличении размера заказа эти затраты линейно возрастают.

Суммарные затраты на управление запасами на планируемый период

$$S_{y.z.} = \frac{PC_3}{g} + \frac{C_{xp.zn} \cdot g}{2} \quad (1)$$

На рис. 1 изображены зависимости суммарных затрат на управление запасами на планируемый период $S_{y.c.}$ (кривая 1), рассчитанные на основе зависимости (1), и ее составляющие – суммарные затраты выполнения заказов на планируемый период $P \cdot C_3 / g$ (кривая 2) и затраты на хранение запасов на планируемый период $C_{xp.g.} \cdot g / 2$ (кривая 3), от размера партии грузов g . Расчеты выполнены при значениях $P = 150$ т, $C_3 = 200$ у.с.е. (условных стоимостных единиц), $C_{xp.g.} = 100$ у.с.е.

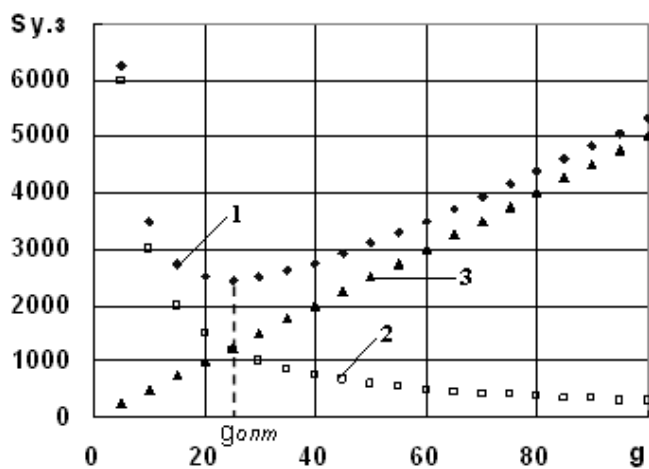


Рис. 1. Зависимость затрат управления запасами от размера партии грузов

Из рис. 1 видно, что зависимость суммарных затрат на управление запасами $S_{y.c.}$ от размера партии грузов g (кривая 1) имеет два фактора, действующих в противоположных направлениях (кривые 2, 3) и определяющих оптимальный размер партии грузов $g_{opt.}$.

Тогда из уравнения

$$\frac{\partial S_{y.z.}}{\partial g} = -\frac{PC_3}{g^2} + \frac{C_{xp.zn}}{2} = 0 \quad (2)$$

определим оптимальный размер партии груза, доставляемого без оборотной тары (контейнеров):

$$g_{opt.} = \sqrt{\frac{2PC_3}{C_{xp.zn}}} \quad (3)$$

Если во входных данных заданный спрос на продукцию в единицу времени $r = P/T$ и стоимость хранения единицы продукции $C_{xp.} = C_{xp.g.} / T$, то формула для определения оптимального размера партии груза $g_{opt.}$ преобразуется

$$g_{opt.} = \sqrt{\frac{2rC_3}{C_{xp.z.}}} \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) называются формулами Уилсона [10].

Из формулы (3) видно, что оптимальный размер партии груза $g_{opt.}$ пропорционален \sqrt{P} . Итак, при увеличении потребления продукции на планируемый период, например в четыре раза, оптимальный размер партии возрастет только вдвое. Если предположить, что величина P постоянна, то величина $g_{opt.}$ будет прямо пропорциональна корню квадратному из затрат на заказ новой партии $\sqrt{C_3}$ и обратно пропорциональна корню квадратному из удельных затрат хранения $\sqrt{C_{xp.z.}}$.

Как видно из рис. 1, кривая общих затрат $S_{y.c.}$ возле точки минимума весьма полого. Поскольку вблизи этой точки изменение размера поступившей партии грузов, особенно в сторону увеличения g , не приводит к существенному изменению общих затрат, то в отсутствие необходимых автомобилей, а также в случае, когда применять их невозможно по условиям движения или заезда на пункт погрузки (разгрузки), выбирают подвижной состав наибольшей грузоподъемности из имеющегося.

В рассмотренных условиях имели значение только затраты на выполнение заказа и стоимость хранения, а также предполагалось, что себестоимость перевозок не зависит от размера партии груза. При доставке ограниченных партий их размер – главный фактор, определяющий выбор подвижного состава, чем, соответственно, определяется себестоимость перевозок.

Зависимость себестоимости перевозок от размера завезенных партий грузов и грузоподъемности подвижного состава позволяют уточнить и комплексно проанализировать мо-

дели управления запасами и выбора транспортных средств.

Себестоимость перевозки грузов зависит от условий доставки. В случае, когда размер партии груза g превышает грузоподъемность $\gamma_{ст.}$ имеющихся автомобилей $g\gamma_{ст.} (g > g\gamma_{ст.})$, себестоимость перевозки не зависит от размера партии груза, т.е. себестоимость доставки 1 т груза при этом варианте постоянна

$$S_{тр.}^{(1)}(g) = a_1, \quad g > g\gamma_{ст.} \quad (5)$$

Если размер партии груза (а соответственно и периодичность его поступлений) равна грузоподъемности автомобиля ($g = g\gamma_{ст.}$), себестоимость доставки 1 т груза, в зависимости от грузоподъемности автомобиля, можно определить по формуле себестоимости перевозок на развозочных маршрутах, преобразованной для частного случая на маятниковых маршрутах. В этом случае зависимость себестоимости доставки 1 т груза от размера перевезенной партии груза выразится функцией

$$S_{тр.}^{(2)}(g) = a_2 + \frac{b_2}{g} + c_2g, \quad g = g\gamma_{ст.} \quad (6)$$

В случае, когда размер партии груза меньше грузоподъемности автомобиля ($g < g\gamma_{ст.}$), себестоимость доставки 1 т груза, осуществляемой на развозочных маршрутах, в зависимости от среднего размера партий груза рассчитывают по формуле

$$S_{тр.}^{(3)}(g) = a_3 + \frac{b_3}{g}, \quad g < g\gamma_{ст.}, \quad (7)$$

где a, b, c – постоянные величины, зависящие от условий эксплуатации автомобилей.

Затраты на хранение продукции состоят собственно из затрат на хранение, из потерь, вызванных естественными затратами, потерь вследствие снижения потребительских качеств продукции и потерь, связанных с «замораживанием» средств, вложенных в сохраняемую продукцию (запасы).

При доставке грузов в оборотной таре (контейнерах) приходится, кроме того, учитывать затраты, связанные с удалением тары из обращения. Стоимость хранения запаса x в течение единицы времени составит

$$S_{xp.}(x) = xC_{xp.} + C_{тар.}g_{тар.}k_{п.в.}, \quad (8)$$

где $C_{xp.}$, $C_{тар.}$ – затраты на хранение соответственно 1 т товара и тары в единицу времени; $g_{тар.}$ – масса тары в одной партии завоза, т; $k_{п.в.} = t_{в.т.}/t_{д.}$ – коэффициент периодичности вывоза тары ($t_{в.т.}$ и $t_{д.}$ – интервалы времени соответственно между очередными вывозами тары и очередными доставками продукции).

Поскольку размер партии груза

$$g = g_{тар.} + g_{п.} = \left(1 + \frac{1}{k_{тар.}}\right)g_{тар.}, \quad (9)$$

где $g_{п.}$ – масса продукции в одной партии поставки, т, $k_{тар.} = g_{тар.}/g_{п.}$ – коэффициент тары, то, подставив (9) в (8), получим стоимость хранения запаса

$$S_{xp.}(x) = xC_{xp.} + \frac{C_{тар.}k_{п.в.}k_{тар.}}{1+k_{тар.}}g. \quad (10)$$

Для простой модели управления запасами затраты на выполнение заказа не зависят от размера партии груза. Однако более распространен случай, когда стоимость выполнения заказа партии груза зависит от ее размера g

$$S_3(g) = a_{в.з.} + b_{в.з.}g, \quad (11)$$

где $a_{в.з.}$ и $b_{в.з.}$ – постоянные величины выполнения заказа, в значительной степени зависящие от дорожных, атмосферно-климатических и других условий эксплуатации автомобилей.

Тогда, используя полученные зависимости, модель затрат можно представить так: стоимость организации заказа партии груза

$$S_3(g) = \begin{cases} a_{в.з.} + b_{в.з.}g, & g > 0, \\ 0, & g = 0, \end{cases} \quad (12)$$

стоимость доставки 1 т груза при поставке партии размера g

$$S_{тр.}(g) = \begin{cases} a_1, & g > q\gamma_{ст.}, \\ a_2 + \frac{b_2}{g} + c_2g, & g = q\gamma_{ст.}, \\ a_3 + \frac{b_3}{g}, & g < q\gamma_{ст.}, \end{cases} \quad (13)$$

стоимость хранения запаса x в течение единицы времени

$$S_{\text{xp.}}(x) = \begin{cases} C_{\text{xp.}}x + Pg, & g \geq 0, \\ Pg, & g < 0. \end{cases} \quad (14)$$

Для простейшей модели управления запасами однородной продукции, доставляемой в контейнерах, при известном постоянном спросе с интенсивностью r , размер поставки g связан с размером поступившей партии продукции зависимостью $g_{\text{п.}} = g / (1 + k_{\text{тар.}})$. При детерминированном спросе и поставке не возникает необходимость в страховых запасах – заказ повторяют после его расходования. Функция $x(t) = g_{\text{п.}} - rt$ характеризует текущее значение запаса в момент времени t .

Для каждого интервала доставки $t_{\text{д.}} = g_{\text{п.}}/r$, определенного условием $x(t_{\text{д.}}) = 0$, динамическую задачу решают независимо, т.е. рассматривают последовательность независимых статических задач.

Среднее значение запаса за период равно

$$\bar{x} = \frac{1}{t_{\text{д.}}} \int_0^{t_{\text{д.}}} x(t) dt = \frac{g_{\text{п.}}}{2} = \frac{g}{2(1 + k_{\text{тар.}})}. \quad (15)$$

Зависимость суммарных затрат на 1 т груза от размера партии груза имеет вид

$$S(g) = \frac{S_3(g)}{g} + S_{\text{тр.}}(g) + \frac{S_{\text{xp.}}(\bar{x})t_{\text{д.}}}{g}. \quad (16)$$

Рассмотренные варианты поставок груза различаются функцией себестоимости доставки $S_{\text{тр.}}(g)$. Однако во всех случаях зависимость суммарных затрат от размера партии груза выражается одной и той же формулой

$$S(g) = a + \frac{b}{g} + cg, \quad (17)$$

где разные значения имеют только коэффициенты a , b и c (таблица), содержащие *сменные* затраты (на топливо, эксплуатационные материалы, шины, техническое обслуживание и текущий ремонт подвижного состава), а также *постоянные* (заработная плата водителей, накладные расходы и амортизационные отчисления на восстановление подвижного состава).

Постоянные коэффициенты для определения суммарных затрат по формуле (17)

Вариант поставок	Коэффициент		
	a	b	c
$g > g\gamma_{\text{ст.}}$	$a_1 + a_{\text{в.з.}}$	$a_{\text{в.з.}}$	$\frac{0,5C_{\text{xp.}} + C_{\text{тар.}}k_{\text{п.в.}}k_{\text{тар.}}}{(1 + k_{\text{тар.}})^2 r}$
$g = g\gamma_{\text{ст.}}$	$a_2 + b_{\text{в.з.}}$	$a_{\text{в.з.}} + b_2$	$\frac{0,5C_{\text{xp.}} + C_{\text{тар.}}k_{\text{п.в.}}k_{\text{тар.}}}{(1 + k_{\text{тар.}})^2 r} + c_2$
$g < g\gamma_{\text{ст.}}$	$a_3 + b_{\text{в.з.}}$	$a_{\text{в.з.}} + b_3$	$\frac{0,5C_{\text{xp.}} + C_{\text{тар.}}k_{\text{п.в.}}k_{\text{тар.}}}{(1 + k_{\text{тар.}})^2 r}$

Из выражения $(\partial S(g)/\partial g) = 0$ найдем оптимальный размер партии груза, доставляемого в контейнерах

$$g_{\text{опт.}} = \sqrt{\frac{b}{c}}. \quad (18)$$

Оптимальная периодичность доставки грузов

$$t_{\text{д.опт.}} = \frac{g_{\text{п.опт.}}}{r} = \frac{1}{(1 + k_{\text{тар.}})r} \sqrt{\frac{b}{c}}, \quad (19)$$

где значения коэффициентов b и c приведены в таблице.

Приняв в (18), что в первом варианте поставок ($g > q\gamma_{\text{ст.}}$) груз доставляют без контейнеров, т.е. $k_{\text{тар.}} = 0$, приходим к формуле Уилсона (4).

В первой модели ($g > q\gamma_{\text{ст.}}$) имеют значение только затраты на выполнение заказа и стоимость хранения. Частые заказы малыми партиями увеличивают затраты на организацию заказа, а редкие, осуществляемые большими партиями, – затраты на хранение.

В третьей модели ($g < q\gamma_{\text{ст.}}$) также дополнительно учитывают изменение себестоимости доставки в зависимости от размера партии груза для условий развозочного маршрута. Формула (18) в этой модели определяет оптимальный средний размер партии груза для нескольких потребителей, включенных в один маршрут, а для каждого потребителя следует выбирать размер партии пропорционально спросу.

Коэффициент c в третьей модели зависит от тех же факторов, что и в первой, а значение коэффициента b больше на величину коэффициента b_3 , зависящего от среднего расстояния пробега автомобиля между смежными пунктами поставки груза, нулевого пробега автомо-

бия, дополнительного времени его простоя в каждом пункте поставки и др.

Структура программного комплекса

На основе математической модели, согласно формулам (1) – (19), разработана автоматизированная система для определения оптимального размера партии грузов $g_{\text{опт}}$ и оптимальной периодичности их доставки $t_{\text{д.опт}}$ в контейнерах и без них, зависимо от соотношения между размером поставки и грузоподъемностью имеющегося подвижного состава (автомобилей) ($g \Leftrightarrow g_{\text{гст}}$) с целью минимизации суммарных затрат на перевозку.

Автоматизированная система реализована в виде программного компьютерного комплекса, разработанного с применением среды визуального проектирования C++ Builder – графической автоматизированной оболочки над объектно-ориентированным языком программирования C++ [11]. Программный комплекс состоит из главной формы *Form1*, откуда загружаются отдельные подпрограммы (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид главного окна программы

Оптимизация доставки грузов в контейнерах. Подпрограмма дает возможность найти оптимальный размер партии груза, перевозимого в контейнерах при разных значениях соотношения ($g \Leftrightarrow g_{\text{гст}}$), с целью минимизации суммарных затрат на перевозку. Расчеты выполняются на основе формулы (18).

Для поиска оптимального размера партии груза $g_{\text{опт}}$ необходимо нажать кнопку *Доставка грузов в контейнерах* на главной форме (см. рис. 2). В окне, которое появилось (рис. 3),

следует ввести такие входные данные – $C_{\text{хр}}$, $C_{\text{тар}}$, r .

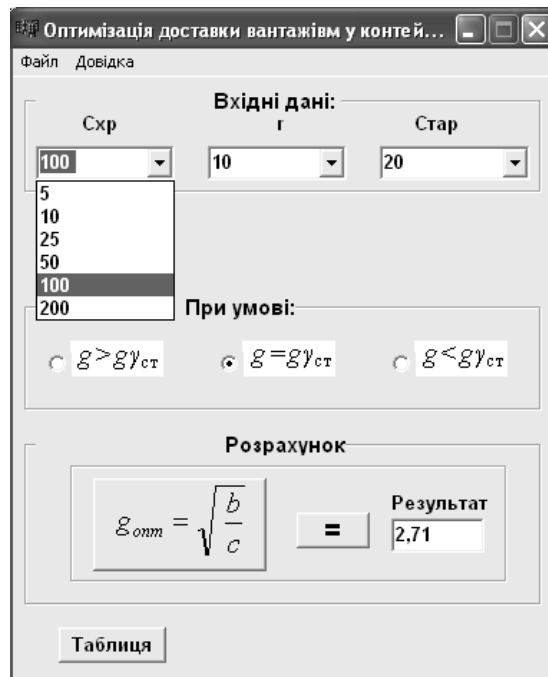


Рис. 3. Окно оптимизации доставки грузов в контейнерах

Входные данные вводятся с использованием компонента *ComboBox* (комбинированный список выбора), который представляет собой комбинацию ниспадающего списка выбора и текстового редактора. Это позволяет вносить значения этих величин для грузов разного типа с разными значениями и соответственно при расчетах выбирать необходимое.

После введения входных данных следует выбрать один из вариантов соотношения ($g \Leftrightarrow g_{\text{гст}}$), затем нажать кнопку $=$. В окне *Результат* будет показано значение оптимального размера партии груза для введенных входных данных. Так, при значениях входных данных – $C_{\text{хр}} = 100$, $r = 20$, $C_{\text{тар}} = 10$, как показано на рис. 3, при разных вариантах соотношения ($g \Leftrightarrow g_{\text{гст}}$) для грузов, перевозимых в контейнерах, значение оптимального размера партии груза $g_{\text{опт}}$, будут иметь следующие значения:

$$\begin{aligned} g > g_{\text{гст}} - g_{\text{опт}} &= 1,45 \text{ т,} \\ g = g_{\text{гст}} - g_{\text{опт}} &= 2,71 \text{ т,} \\ g < g_{\text{гст}} - g_{\text{опт}} &= 2,29 \text{ т.} \end{aligned}$$

При нажатии на кнопку *Таблиця* на экран выводится таблица с данными для коэффи-

циентов a , b , c при разных соотношениях ($g \Leftrightarrow g\gamma_{ст.}$). Очистка окна *Результат* с данными расчета происходит при выполнении команды *Обнулить результат* в пункте главного меню *Файл*. Команда *Выход* завершает работу данной программы, которая находится там же. В пункте главного меню *Справка* приведены справочные данные о программе.

Оптимизация доставки грузов без оборотной тары. Подпрограмма позволяет найти оптимальный размер партии груза $g_{2opt.}$, когда груз доставляется без контейнеров. Расчеты выполняются на основе формулы (4).

Для запуска подпрограммы необходимо нажать кнопку *Доставка грузов без тары* на главной форме (см. рис. 2). В окне (рис. 4) нужно ввести входные данные $C_{xp.}$, $C_3.$, r . Входные данные также вводятся с использованием компонента *ComboBox*, который позволяет вносить значения этих величин для грузов разного типа с разными значениями и соответственно при расчетах выбирать необходимое.

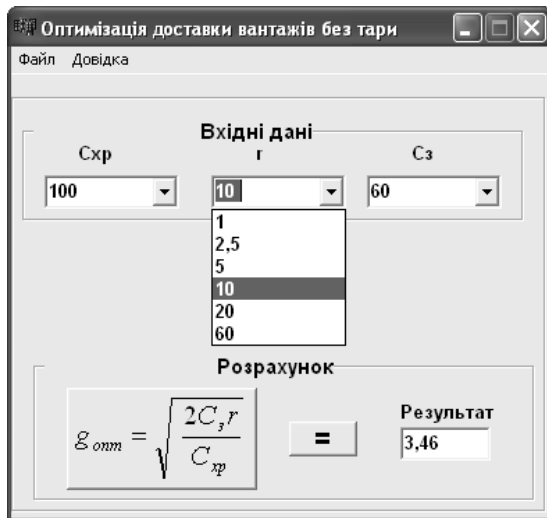


Рис. 4. Окно оптимизации доставки грузов без оборотной тары

После введения входных данных нажать кнопку $=$. В окне *Результат* будет показано значение оптимального размера партии груза для введенных входных данных. Для значений входных данных $C_{xp.} = 100$, $r = 20$, $C_3 = 60$ (см. рис. 4), для грузов, перевозимых без оборотной тары, значение оптимального размера партии груза $g_{opt.} = 3,46$ т.

Оптимизация интервала доставки грузов. Подпрограмма запускается с помощью соот-

ветствующей кнопки на главной форме (см. рис. 2) и дает возможность найти оптимальный интервал доставки грузов. Расчеты выполняются на основе формулы (19). Окно данной подпрограммы имеет вид, аналогичный окну подпрограммы оптимизации доставки грузов в контейнерах (см. рис. 3).

После введения входных данных $C_{xp.}$, $C_{тар.}$, r и выбора одного из вариантов соотношения ($g \Leftrightarrow g\gamma_{ст.}$), расчет величины оптимального интервала доставки грузов $t_{д.опт.}$ выполняется при нажатии кнопки $=$. Результаты расчета выводятся в окне *Результат*.

В данном случае при значениях входных данных $C_{xp.} = 100$, $r = 20$, $C_{тар.} = 10$ значение величины оптимального интервала доставки грузов $t_{д.опт.}$ для разных вариантов соотношения ($g \Leftrightarrow g\gamma_{ст.}$) для грузов, перевозимых в контейнерах, на планируемый период будут иметь следующие значения:

$$g > g\gamma_{ст.} - t_{д.опт.} = 1,81 \text{ т,}$$

$$g = g\gamma_{ст.} - t_{д.опт.} = 3,39 \text{ т,}$$

$$g < g\gamma_{ст.} - t_{д.опт.} = 2,86 \text{ т.}$$

Заключение. На основе математической модели разработана автоматизированная система оптимизации перевозки грузов с целью минимизации суммарных затрат на перевозку. Система реализована в виде программного компьютерного комплекса с применением среды визуального проектирования *C++ Builder*.

Программный комплекс состоит из главной формы *Form1*, из которой загружаются отдельные подпрограммы, позволяющие найти оптимальный размер партии грузов $g_{opt.}$ и интервалы его доставки $t_{д.опт.}$ для грузов, перевозимых в контейнерах и без них, при разных значениях соотношения грузоподъемности имеющегося подвижного состава (автомобилей) и размера поставок.

1. *Логистика автомобильного транспорта: Учеб. пособие / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.*
2. *Смирнов И.Г., Косарева Т.В. Транспортна логістика: Навч. посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2008. – 224 с.*

3. *Hosny M.I., Mumford C.L.* Investigating genetic algorithms for solving the multiple vehicle pickup and delivery problem with time windows / *Metaheuristic Int. Conf. «MIC 2009»*, 2009.
4. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України / Тези доп. за матеріалами сьомої наук.-практ. міжнар. конф. (30 трав. – 4 черв. 2011 р., смт. Коктебель). – http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vetp/2011_34/11dtdzep.pdf*
5. *Dabia S., Ropke S., Van Woensel T.* Branch and cut and price for the time dependent vehicle routing problem with time windows // *Transportation Science.* – 2010. – **361**, N 11. – P. 56–62.
6. *Кічка О.І.* Моделювання поведінки транспортно-складської системи // *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля* – 2012. – № 6(177). – Ч. 1. – С. 312–314.
7. *Дудукалов Ю.В.* Применение методов нечеткого моделирования для оптимизации транспортных систем // *Вісн. СевНТУ: Зб. наук. пр.* – 2011. – **122**. Серія: *Машиноприладобудування та транспорт.* – 2011. – С. 61–64.
8. *Kholodenko A., Gorb O.* Supply chain equilibriums under non-linear cost functions of participants // *Montenegrin j. of econ.* – 2010. – N 6. – P. 5–8.
9. *Томашевський В.Н.* Моделювання систем. – К.: Видав. група *BHV*, 2007. – 352 с.
10. *Воркут А.И.* Грузовые автомобильные перевозки. – К.: Вища шк., 1986. – 447 с.
11. *Глушаков С.В., Зорянский В.Н., Хоменко С.Н.* Программирование в среде *Borland C++ Builder 6.* – Харьков: Фолио, 2008. – 508 с.

Поступила 02.07.2014

Тел. для справок: +38 044 957-4513, 424-6274, 452-4068,
450-7725, 409-2414, 122-6922 (Киев)

E-mail: dekh@ukr.net

© С.С. Забара, Н.Т. Дехтярук, 2014