



С.А. Пестриков, М.Г. Бояршинов, В.И. Старцев

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК СОТРУДНИКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ СОБСТВЕННЫМИ АВТОБУСАМИ И ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ АУТСОРСЕРОВ

Задачи оптимизации в транспортной отрасли являются весьма актуальными, и их решение достаточно эффективно может быть выполнено посредством использования оптимизационных математических методов. Предложена математическая модель для решения задачи оптимизации на транспорте. Определена целевая функция $F(x)$, минимум (или максимум) которой соответствует достижению требуемого состояния изучаемой системы. Поиск решения задачи сводится к минимизации затрат на перевозку сотрудников предприятия. Математическая модель позволяет рассчитать оптимальный вариант планирования и использования парка имеющейся в наличии техники, который может быть использован в качестве эталона. Результаты анализа математических моделей выше, чем решения, основанные на «ручном» анализе альтернативных вариантов. С похожими задачами поиска оптимального решения сталкивается большинство работников планово-финансовых, производственно-технических отделов и других подразделений транспортных служб. Задача поставлена корректно, если существует какой-либо перечень критериев. В качестве объекта оптимизации рассмотрена компания ПАО «Протон-ПМ», решающая задачу перевозки сотрудников на отдаленную производственную площадку из центра города. В статье обосновано, что управленческие решения сложных оптимизационных задач планирования на всех уровнях управления эксплуатацией транспорта и транспортными процессами должны приниматься на принципах системности и обоснованности в соответствии с целями и возможностями заказчика и исполнителя услуг. Данное решение сформировано на основе качественной оценки управленческой задачи. Для формирования исходных данных учтены два способа перевозки сотрудников предприятия: собственным подвижным составом и арендованными автобусами у сторонних организаций. Определены маршруты перевозки и число сотрудников, нуждающихся в одновременном направлении на работу и в обратном направлении с работы. Рассчитано значение целевой функции, характеризующее минимальные затраты на данную перевозку. Получена зависимость затрат от сочетания различных вариантов использования подвижного состава ПАО «Протон-ПМ».

Ключевые слова: *себестоимость, затраты, математическая модель, целевая функция, оптимизация, автобусные перевозки, транспортная отрасль.*

Перемещение населения является важным фактором, влияющим на развитие городской среды. Основной движущей силой данного процесса является потребность человека в перемещении между определенными пунктами в городе [1].

© Пестриков С.А., Бояршинов М.Г., Старцев В.И., 2021

Пестриков Сергей Анатольевич – канд. экон. наук, доцент кафедры автомобилей и технологических машин ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: pestrikovsa@mail.ru.

Бояршинов Михаил Геннадьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры автомобилей и технологических машин ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: atm@pstu.ru.

Старцев Владислав Игоревич – аспирант кафедры автомобилей и технологических машин ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: vladik.startzev@yandex.ru.

Задачи оптимизации в транспортной отрасли являются весьма актуальными, и их решение достаточно продуктивно может быть реализовано посредством использования оптимизационных математических методов [2]. Несомненно то, что управленческие решения сложных оптимизационных задач планирования на всех уровнях управления эксплуатацией транспорта и транспортными процессами должны приниматься на принципах системности и обоснованности, отвечающих целям и возможностям как заказчика, так и исполнителя услуг [3]. Так, на транспортном предприятии обычно принимается решение об очередности задействования парка грузовиков и автобусов на основе исключительно опыта и интуиции сотрудников службы эксплуатации. Таким образом, данное решение продуцировано на основе только лишь качественной оценки управленческой задачи [4]. При этом считается, что уже сама задача поставлена корректно, если существует какой-либо перечень критериев (это могут быть заявки заказчиков, достижение нормативного коэффициента выпуска на линию автотранспорта, коэффициентов загрузки грузовых автомобилей или показателей использования пассажироместимости) [5].

Математическая модель позволяет рассчитать оптимальный вариант планирования и использования парка имеющейся в наличии техники; он может быть использован в качестве эталона [6]. Логично, что результаты анализа математических моделей выше, чем принимающих решения на основе «ручного» анализа возможных вариантов решения сотрудниками. С подобными задачами поиска оптимального решения сталкивается большинство работников планово-финансовых, производственно-технических отделов и других подразделений транспортных служб [7].

Задача оптимально может быть решена с использованием методов математического моделирования [8].

Постановка задачи оптимизации. Определим некоторую целевую функцию $F(x)$, минимум (или максимум) которой соответствует достижению требуемого состояния изучаемой системы. x – независимая переменная. Необходимо найти такое значение x^* независимой переменной, что для всех других значений x имеет место неравенство

$$F(x^*) \leq F(x), \quad \forall x \in (-\infty, +\infty),$$

т.е. $F(x^*) = \min_{x \in (-\infty, +\infty)} F(x)$, в точке x^* достигается минимальное значение целевой функции $F(x)$.

Возможна иная формулировка оптимизационной задачи: найти такое значение x^* независимой переменной, что для всех других значений x имеет место неравенство

$$F(x^*) \geq F(x), \quad \forall x \in (-\infty, +\infty).$$

В этом случае $F(x^*) = \max_{x \in (-\infty, +\infty)} F(x)$, и в точке x^* достигается максимальное значение целевой функции $F(x)$.

В качестве объекта оптимизации рассмотрена компания ПАО «Протон – Пермские моторы» (ПАО «Протон–ПМ»). В настоящее время это динамично развивающееся предприятие, одно из основных в холдинге ПАО «Пермские моторы». ПАО «Протон–ПМ» – одно из крупнейших предприятий аэрокосмической промышленности России, основанное в 1958 г. Основной деятельности ПАО «Протон–ПМ» является производство жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) первой ступени ракеты-носителя тяжелого класса «Протон» [9].

В составе «Протон–ПМ» 16 цехов, они территориально расположены на двух производственных площадках: 10 – на территории основного производства в Свердловском районе г. Перми; 6 – на полигоне в Новых Лядах. Выделяют цехи организации основные (испытательный, сборочный, гальванический и т.д.) и вспомогательные (транспортный, энергетический и др.). Всего на предприятии трудится более 4000 чел. [10].

В настоящее время реализуется федеральный проект инновационного территориального кластера «Технополис «Новый Звездный», который предполагает перенос основных производств на площадку в п. Новые Ляды, расположенную в 30 км от краевого центра. В связи с этим возникла потребность перемещения работников предприятия из центральных районов города в п. Новые Ляды на работу и в обратном направлении с работы. Данную практическую задачу предлагается решить методом нелинейной оптимизации (нелинейного программирования).

Транспортный и технологический парк обслуживается преимущественно на собственной производственно-технической базе в транспортном цехе № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» [11]. Проводится техническое обслуживание, текущий ремонт, капитальный ремонт, ремонт узлов и агрегатов, ремонт стартеров и генераторов, шиномонтажные работы, кузовные работы, сварочные работы, ремонт, токарные работы [12].

Цех № 80 имеет порядка 200 сотрудников: руководство – 10 чел., специалистов – около 20 чел.; остальные – вспомогательные работники. Подвижной парк автобусов цеха составляет 20 автобусов.

Задачу оптимального перемещения большей части своих сотрудников 1500–2000 чел. к новому месту работы можно решить методом нелинейного программирования. Для построения математической модели формируем исходные данные.

Для формирования исходных данных выявлены возможные способы перевозки сотрудников [13]:

- 1) задействование существующего подвижного состава;
- 2) аренда автобусов у сторонних организаций.

Определим количество сотрудников, которых необходимо доставить от дома до места работы и обратно.

В данный момент ПАО «Протон–ПМ» обслуживает два маршрута. Один путь – до м/р Крохалева, второй – до м/р Нагорный. На данных направлениях работает по одному автобусу. Одной из первых задач является проработка маршрутов, а именно: из каких районов города нужно запустить маршруты, по которым будут задействованы автобусы, осуществляя перевозки сотрудников численностью от 1,5 до 2 тыс. чел.

Проанализируем марки и количество собственных автобусов для планирования перевозки (табл. 1).

Таблица 1

Список автобусов транспортного цеха № 80
ПАО «Протон–ПМ» [14]

№ п/п	Марка, модель, модификация	№ п/п	Марка, модель, модификация
1	УАЗ-22069	11	ЛИАЗ-5256 36-01
2	УАЗ-2206	12	ЛИАЗ-5256 36-01
3	ГАЗ-322130	13	ЛИАЗ
4	КАВЗ-3976	14	ЛИАЗ
5	ЛАЗ-695Н	15	ЛАЗ-695Н
6	ЛИАЗ-5256	16	ЛАЗ-695Н
7	ЛАЗ-695Н	17	ЛАЗ-695Н
8	SCANIA	18	ГАЗ-66
9	ГАЗ 322132	19	Паз 4230-01
10	ГАЗ 2217	20	Лиаз 525660

Из этого списка подходящими автобусами для перевозки людей являются автобусы ЛАЗ и ЛИАЗ. Их суммарное количество составляет 11 шт. Номинальная вместимость (с учетом стоящих пассажиров) составляет 89 чел.

Далее произведем расчет максимальной себестоимости 1 км пробега автобусов [15]. В расчетах используем действующий нормативный документ – Приказ Минтранса РФ от 08.12.2017 № 513 [16].

Максимальная себестоимость 1 км пробега транспортных средств i -го класса в t -й год определяется по формуле с учетом всех норм, указанных в документах [17–19].

$$S_{it} = P_{\text{Отв}it} + CP_{it} + P_{\text{пт}it} + P_{\text{СМ}it} + P_{\text{Ш}it} + P_{\text{ТО}it} + \text{ПКР}_{it}, \text{ руб./ км}, \quad (1)$$

где $P_{\text{Отв}it}$ – расходы на оплату труда водителей транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

CP_{it} – отчисления на социальные нужды от оплаты труда водителей и кондукторов транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

$P_{\pi ti}$ – расходы на топливо для транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

P_{CMti} – расходы на смазочные и прочие эксплуатационные материалы для транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

$P_{Шti}$ – расходы на износ и ремонт шин транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

$P_{ТОti}$ – расходы на техническое обслуживание и ремонт транспортных средств i -го класса в t -й год срока действия контракта в расчете на 1 км пробега;

$ПКР_{ti}$ – прочие расходы по обычным видам деятельности в сумме с косвенными расходами для транспортных средств i -го класса в t -м году срока действия контракта.

$$S_{ii} = P_{OTvti} + CP_{ii} + P_{\pi ti} + P_{CMti} + P_{Шti} + P_{ТОti} + ПКР_{ti} =$$

$$= 17,94 + 5,42 + 21,592 + 1,62 + 0,85 + 8,241 + 19,34 = 75,00 \text{ руб./км.}$$

По итогам расчета максимальная себестоимость 1 км пробега составляет 75 руб./км.

Экспресс-анализ рынка по предоставлению аренды автобусов. Для определения затрат по аренде автобусов были проанализированы три компании, предоставляющие услуги аренды автобусов (табл. 2). На данном этапе ценовой критерий был выбран определяющим.

Таблица 2

Сравнительная стоимость и вместимость арендованных автобусов компаний, предоставляющих услуги аренды автобусов

Название компании	Вместимость автобуса, чел.	Стоимость, руб./ч
Avtobus1.ru	65	1600
Пульс цен	53	1400
Автобус-Пермь.рф	50	1500–1700

Средняя вместимость одного автобуса составляет 56 чел. Средняя стоимость аренды за 1 ч составляет 1500 руб./ч.

Формирование математической модели. Рассмотрим один маршрут от м/р Площадь Восстания до ПАО «Протон–ПМ».

Расстояние составляет 24,1 км.

Количество людей, необходимых для перевозки, – 200 чел.

Средняя вместительность человек одного автобуса составляет 50 чел.

Следовательно, необходимо 4 автобуса.

Затраты на перевозку людей утром и вечером – по 3 ч. Значит, на аренду одного автобуса нужно 9000 руб. в день, 36 000 руб. в день – на 4 автобуса.

Уравнение целевой функции математической модели будет иметь вид

$$F = c_1x_1 + c_2x_2, \quad (2)$$

где c_1 – затраты на 1 автобус транспортного цеха №80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день, руб.;

c_2 – затраты на 1 автобус у арендованной компании за один день, руб.;

x_1 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ», ед.;

x_2 – количество арендованных автобусов, ед.

Далее необходимо ввести ограничения для математической модели:

$$89 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 200;$$

$$89 \cdot x_1 + 56 \cdot x_2 \geq 150;$$

$$x_1 \leq 11;$$

$$x_2 \leq 100.$$

Поиск решения задачи сводится к минимизации затрат на перевозку сотрудников предприятия.

Уравнение целевой функции математической модели будет сводиться к следующему виду:

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 + c_6x_6 + c_7x_7 + c_8x_8 + c_9x_9 + c_{10}x_{10} + c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12}, \quad (3)$$

где c_1 – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Площадь Восстания;

x_1 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Площадь Восстания;

c_2 – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Площадь Восстания;

x_2 – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Площадь Восстания;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_1 + 56 \cdot x_2 \leq 200;$$

$$89 \cdot x_1 + 56 \cdot x_2 \geq 150;$$

c_3 – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Нагорный;

x_3 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Нагорный;

c_4 – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Нагорный;

x_4 – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Нагорный;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_3 + 56 \cdot x_4 \leq 320;$$

$$89 \cdot x_3 + 56 \cdot x_4 \geq 280;$$

c_5 – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Южный;

x_5 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Южный;

c_6 – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Южный;

x_6 – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Южный;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_5 + 56 \cdot x_6 \leq 270;$$

$$89 \cdot x_5 + 56 \cdot x_6 \geq 230;$$

c_7 – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Закамск;

x_7 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Закамск;

c_8 – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Закамск;

x_8 – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Закамск;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_7 + 56 \cdot x_8 \leq 370;$$

$$89 \cdot x_7 + 56 \cdot x_8 \geq 330;$$

c_9 – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Крохалева;

x_9 – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Крохалева;

c_{10} – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Крохалева;

x_{10} – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Крохалева;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_9 + 56 \cdot x_{10} \leq 220;$$

$$89 \cdot x_9 + 56 \cdot x_{10} \geq 180;$$

c_{11} – затраты на 1 автобус транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» за один день на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Гайва;

x_{11} – количество автобусов транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Гайва;

c_{12} – затраты на 1 автобус у арендованной компании на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Гайва;

x_{12} – количество арендованных автобусов на маршрут ПАО «Протон–ПМ» – м/р Гайва;

ограничения по количеству человек:

$$89 \cdot x_{11} + 56 \cdot x_{12} \leq 270;$$

$$89 \cdot x_{11} + 56 \cdot x_{12} \geq 240;$$

ограничения по количеству автобусов:

$$x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11} \leq 11;$$

$$x_2 + x_4 + x_6 + x_8 + x_{10} + x_{12} \leq 100.$$

Расчеты математической модели показали следующие искомые результаты (табл. 3). Для перевозки заданной транспортной работы всех сотрудников предприятия по заданным маршрутам оптимально задействовать 8 автобусов предприятия и привлечь 11 арендованных автобусов.

Таблица 3

Результаты расчетов математической модели

Маршрут	Количество собственных автобусов ПАО «Протон–ПМ», ед.	Количество арендованных автобусов, ед.
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Площадь Восстания	1	0
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Нагорный	2	2
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Южный	2	1
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Закамск	0	6
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Крохалева	1	1
ПАО «Протон–ПМ» – м/р Гайва	2	1
ИТОГО	8	11

Решено уравнение целевой функции математической модели $F = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 + c_6x_6 + c_7x_7 + c_8x_8 + c_9x_9 + c_{10}x_{10} + c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12}$.

Значение целевой функции $F(x) = 182\,730$ руб. в день характеризует минимальные затраты на данную перевозку. Получена зависимость затрат от сочетания различных вариантов использования подвижного состава ПАО «Протон–ПМ» [20].

Список литературы

1. Зварыч Е.Б., Корягин М.Е. Ситуация равновесия НЭША на рынке городских пассажирских перевозок при перемещении пассажиров с пересадками // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – № 5. – С. 124–128.
2. Воронов Ю.Е. Основы системного анализа: учеб. пособие / Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2011. – 78 с.
3. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
4. Рахмангулов А.Н. Математические методы в организации и управлении перевозками: учеб. пособие / Магнитогор. гос. горно-металлург. акад. им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 1998. – 114 с.
5. Лаптев Ю.В., Титов Р.С., Яковлев А.М. Математическая модель оптимизации производительности карьерного автомобильного транспорта // Известия вузов. Горное дело. – 2013. – № 4. – С. 126–135.
6. Бояршинов М.Г. Методы вычислительной математики: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 241 с.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учеб. для вузов. – М.: Дрофа, 2004. – 208 с.
8. Пестриков С.А., Балабанов С.Д. Оптимизация затрат на диагностику и ремонт подвижного состава на примере автотранспортного предприятия ОАО «МРСК Урала» – «Пермэнерго» // Финансовая экономика. – 2019. – № 7 (ч. 2). – С. 199–204.
9. ПАО «Протон-ПМ» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.protonpm.ru/> (дата обращения: 05.04.2019).
10. Отчет открытого акционерного общества «Протон – Пермские моторы» на соискание премии «Лидер управления Прикамья – 2011». – Пермь, 2011.
11. Малиновский М.В., Тищенко Н.Т. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автомобильного сервиса: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. арх.-стр. ун-та, 2012. – 176 с.
12. Гладкий П.П. Организационно-экономический механизм управления развитием систем «человек–техника» на рабочих местах ремонтных рабочих СТОА и АТП // Вестник Северокавказского технического университета. – 2006. – № 3. – С. 34.
13. Старцев В.И. Перспективы организации поста по обслуживанию транспортных средств, работающих на метане на базе транспортного цеха № 80 предприятия ПАО «Протон–ПМ» // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 3. – С. 54–63.
14. Ушакова М.А., Свиридов Д.А. Проблемы эксплуатации устаревших транспортных средств на городском пассажирском транспорте // Символ науки. – 2017. – № 3. – С. 124.
15. Об утверждении Инструкции по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на автомобильном транспорте: приказ Минтранса РФ

от 24.06.2003 № 153 (зарегистрировано в Минюсте РФ 24.07.2003 № 4916). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

16. О порядке определения начальной (максимальной) цены [Электронный ресурс]: приказ Минтранса РФ от 08.12.2017 № 513. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287437/ (дата обращения: 29.04.2019).

17. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: Распоряжение М-ва транспорта Рос. Федерации от 14 марта 2008 г. № ам-23-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

18. О порядке разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочный период и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Рос. Федерации от 14 ноября 2015 г. № 1234 // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2015. – № 47, ст. 6598; 2017. – № 38, ст. 5627.

19. ЕМИС. Государственная статистика [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/57823>. (дата обращения: 22.04.2019).

20. Пестриков С.А. Экономика транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 247 с.

References

1. Zvarych E.B., Koriagin M.E. Situatsiia ravnovesiia NEShA na rynke gorodskikh passazhirskikh perevozk pri peremeshchenii passazhirov s peresadkami [Situation of Nash's balance in the market of city passenger transportations at moving of passengers with changes]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, no. 5, pp. 124–128.

2. Voronov Iu.E. Osnovy sistemnogo analiza [Fundamentals of system analysis]. Kemerovo, Kuzbass State Technical University, 2011, 78 p.

3. Tsypkin Ia.Z. Adaptatsiia i obuchenie v avtomaticheskikh sistemakh [Adaptation and training in automatic systems]. Moscow, Nauka, 1968, 400 p.

4. Rakhmangulov A.N. Matematicheskie metody v organizatsii i upravlenii perevozkami [Mathematical methods in transportation management]. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, 1998, 114 p.

5. Laptev Iu.V., Titov R.S., Iakovlev A.M. Matematicheskaiia model' optimizatsii proizvoditel'nosti kar'ernogo avtomobil'nogo transporta [Mathematical model of automation of performance of open pit road transport]. *Izvestiia vuzov. Gornoe delo*, 2013, no. 4, pp. 126–135.

6. Boiarshinov M.G. Metody vychislitel'noi matematiki [Methods of computational mathematics]. Perm, Perm State Technical University, 2008, 241 p.

7. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsii: zadachi, printsipy, metodologiya [Operations research: Objectives, principles, methodology]. Moscow, Drofa, 2004, 208 p.

8. Pestrikov S.A., Balabanov S.D. Optimizatsiia zatrat na diagnostiku i remont podvizhnogo sostava na primere avtotransportnogo predpriiatiia OAO “MRSK Urala” – “Permenergo” [Optimization of costs for diagnostics and repair of rolling stock on the example of the motor transport enterprise of OAO “IDGC of Urals” – “Permenergo”]. *Finansovaia ekonomika*, 2019, no. 7 (part 2), pp. 199–204.

9. PAO “Proton-PM” [“Proton” Perm motors]. Available at: <http://www.protonpm.ru/> (accessed 05.04.2019).

10. OTChET otkrytogo aktsionernogo obshchestva “Proton – Permskie motory” na soiskanie premii “Lider upravleniia Prikam'ia – 2011” [Report of OAO Proton – Perm Motors for the award “Leader of the Prikamye – 2011”]. Perm, 2011.

11. Malinovskii M.V., Tishchenko N.T. Proizvodstvenno-tekhnicheskaiia infrastruktura predpriiatiia avtomobil'nogo servisa [Industrial and technical infrastructure of automotive service enterprises]. Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Building, 2012, 176 p.

12. Gladkii P.P. Organizatsionno-ekonomicheskii mekhanizm upravleniia razvitiem sistem “chelovek–tekhnika” na rabochikh mestakh remontnykh rabochikh STOА i ATP [Organizational and economic mechanism for managing the development of “human-technology” systems at the workplaces of repair workers of service stations and ATE]. *Vestnik Severokavkazskogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 3, 34 p.

13. Startsev V.I. Perspektivy organizatsii posta po obsluzhivaniiu transportnykh sredstv, rabotaiushchikh na metane na baze transportnogo tsekha №80 predpriiatiia PAO “Proton-PM” [Prospects of the organization of service post for maintenance of methane powered vehicle, based on transport department no. 80 of Proton-PM PJSC]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2019, no. 3, pp. 54–63.

14. Ushakova M.A., Sviridov D.A. Problemy ekspluatatsii ustarevshikh transportnykh sredstv na gorodskom passazhirskom transporte [Problems of operating outdated vehicles in urban passenger transport]. *Simvol nauki*, 2017, no. 3, 124 p.

15. Ob utverzhdenii Instruktsii po uchetu dokhodov i raskhodov po obychnym vidam deiatel'nosti na avtomobil'nom transporte [On approval of the Instruction for recording income and expenses for ordinary activities in road transport]. Order of the RF Ministry of Transport of June 24, 2003 no. 153. ConsultantPlus reference system.

16. O poriadke opredeleniia nachal'noi (maksimal'noi) tseny [On the procedure for determining the initial (maximum) price]. Order of the RF Ministry of Transport of Dec. 08, 2017 no. 513. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287437/ (accessed 29.04.2019).

17. O vvedenii v deistvie metodicheskikh rekomendatsii “Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte” [On the implementation of the guidelines “Rates of consumption of fuels and lubricants in transport”]. Order of the RF Ministry of Transport of March 14, 2008 no. am-23-r]. ConsultantPlus reference system.

18. O poriadke razrabotki, korrekcirovki, osushchestvleniia monitoringa i kontroliia realizatsii prognoza sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia Rossiiskoi Federatsii na sredne-srochnyi period i priznanii utrativshimi silu nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossiiskoi

Federatsii [On the procedure for the development, adjustment, monitoring and control of the implementation of the forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for the medium term and the recognition of some acts of the RF Government as obsolete] [Resolution of the RF Government of Nov. 14, 2015 no. 1234]. Corpus of Legislation of the Russian Federation, 2015, no. 47, Art. 6598; 2017, no. 38, Art. 5627.

19. EMISS. Gosudarstvennaia statistika [EMISS. State statistics]. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/57823> (accessed 22.04.2019).

20. Pestrikov S.A. *Ekonomika transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Economy of transport and transport-technological machines and complexes]. Perm, PNRPU, 2019, 247 p.

Оригинальность 78 %

Получено 23.09.2020 Принято 15.10.2020 Опубликовано 31.03.2021

S.A. Pestrikov, M.G. Boyarshinov, V.I. Startsev

OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION OF INDUSTRIAL EMPLOYEES BY OWN BUSES AND OUTSOURCED TRANSPORT

Optimization problems in the transport industry are very relevant and their solution can be performed quite efficiently by using optimization mathematical methods. Mathematical model is proposed to solve the transport optimization issue. The objective function F_x is defined, the minimum (or maximum) of which corresponds to the achievement of the required state of the system studied. Solutions to the problem aim to minimize the cost of transportation of employees. The mathematical model allows one to calculate the best option for planning and using the fleet of available vehicles, which can be used as a reference. The results of the analysis of mathematical models are better than the solutions based on the "manual" analysis of alternatives. The majority of employees of planning and financial, production and technical departments and other divisions of transport services face similar tasks of search of the optimal solution. The task is set correctly, if there is any list of criteria. As a test platform of optimization, the company "PROTON-PM" has been chosen, looking for improvements in transporting employees from the city center to a remote production site. The article proves that management decisions of complex optimization planning tasks at all levels of management of transport operation and transport processes should be made on the principles of consistency and relevance in accordance with the goals and capabilities of the customer and the service provider. This decision is formed on the basis of a qualitative assessment of the management problem. To form the initial data, two methods of transportation of employees of the enterprise are taken into account: own rolling stock and leased buses from third parties. The routes of transportation and the number of employees to be transported at the same time are determined. The value of the objective function characterizing the minimum costs for such a transportation is calculated. The dependence of costs on a combination of different options for the use of rolling stock of PJSC "PROTON-PM" was obtained. When calculating the maximum cost of 1 km of bus run the existing regulation documents are used.

Keywords: costs, mathematical model, objective function, optimization, bus transportation, transport industry.

Sergei A. Pestrikov – Cand. Econ. Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: pestrikovsa@mail.ru.

Mikhail G. Boyarshinov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: 9128841776@mail.ru.

Vladislav I. Startsev – Postgraduate Student, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: vladik.startsev@yandex.ru.

Received 23.09.2020 Accepted 15.10.2020 Published 31.03.2021