

## Управление провозной емкостью как инструмент рационализации коммерческого потенциала воздушного судна

И. С. Кородюк<sup>1</sup>, Н. В. Мамонова<sup>1</sup>, Д. М. Гринев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Статья посвящена ключевой проблеме, актуальной для любого вида пассажирского и грузового транспорта, заключающейся в оптимальном заполнении доступной провозной емкости. Решение подобных задач для пассажирских воздушных судов связано с рационализацией потенциала коммерческой емкости самолета путем комбинирования грузовой и пассажирской составляющей коммерческой загрузки. Исследование процессов управления отправкой, связанных с попутной дозагрузкой пассажирских рейсов, показало, что ключевые проблемы сопутствующих грузовых услуг обусловлены отсутствием достоверной оценки грузовых возможностей пассажирских воздушных судов. В качестве рабочей гипотезы исследования выдвигалось предположение о возможности получения достоверной оценки весовых характеристик свободной провозной емкости на основе обработки послевылетной статистической информации.

**Цель.** Исследование рационализации потенциала коммерческой емкости пассажирского самолета, достижение которой предполагает получение ответа на вопрос о том, как пассажирская авиакомпания может достоверно оценить свой сопутствующий грузовой потенциал.

**Задачи.** Для достижения поставленной цели проведен сравнительный анализ применяемых авиакомпаниями методов оценки параметров свободной провозной емкости с фактическими характеристиками, зафиксированными по данным послевылетной статистики, а также их дальнейшее исследование с применением стандартных методов обработки статистической информации.

**Методология.** Наряду с типовыми методами научного познания применялся многомерный регрессионный анализ.

**Результаты.** Проведен анализ «весовой» структуры пассажирского рейса; по уравнению многомерной регрессии исследованы все независимые переменные, выделены наиболее значимые факторы; получена оценка весовых параметров свободной провозной емкости для нескольких уровней надежности при различных уровнях пассажирской продажи.

**Выводы.** Итоговая модель, построенная на основе послевылетной статистической информации, показала приемлемую сходимость расчетных и фактических характеристик. Ее практическое применение способно повысить коммерческую эффективность попутных грузовых услуг пассажирских авиакомпаний путем принятия обоснованных управленческих решений.

**Ключевые слова:** пассажирские авиакомпании, прогнозирование показателей авиаперевозок, послевылетная статистика, грузовые квоты, свободная провозная емкость, бронирование грузовых авиаперевозок, корреляция, регрессия, значимость показателей.

**Для цитирования:** Кородюк И. С., Мамонова Н. В., Гринев Д. М. Управление провозной емкостью как инструмент рационализации коммерческого потенциала воздушного судна // *Экономика и управление*. 2020. Т. 26. № 5. С. 537–550. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-5-537-550>

## Capacity Management as a Tool for Rationalizing the Commercial Potential of Aircraft

I. S. Korodyuk<sup>1</sup>, N. V. Mamonova<sup>1</sup>, D. M. Grinev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Baikal State University, Irkutsk, Russia

The presented study addresses a crucial problem for any type of passenger and cargo transport, which is filling the available capacity in an optimal way. Solving this problem for passenger aircraft involves rationalizing the potential of the aircraft's commercial capacity by combining the cargo and passenger components of payload. Examination of dispatch management processes associated with en route

boarding on passenger flights shows that the key problems of related cargo services are caused by the lack of reliable assessment of the cargo capacity of passenger aircraft. The working hypothesis of this study implies that it is possible to obtain a reliable estimate of the weight characteristics of available capacity by processing post-flight statistics.

**Aim.** The study aims to examine the rationalization of the commercial capacity potential of passenger aircraft, which can be achieved by answering the question of how a passenger airline can reliably assess its cargo potential.

**Tasks.** To achieve the set aim, the authors comparatively analyze methods used by airlines to assess available capacity parameters with the actual characteristics according to post-flight statistics and further examine them using standard methods for processing statistical information.

**Methods.** This study uses multi-dimensional regression analysis along with standard scientific methods of cognition.

**Results.** The “weight” structure of a passenger flight is analyzed; all independent variables are examined using the multi-dimensional regression equation, and the most significant factors are identified; the weight parameters of available capacity are estimated with several levels of reliability at different levels of passenger sales.

**Conclusions.** The final model based on post-flight statistics shows an acceptable convergence of estimated and actual characteristics. Its practical application can improve the commercial efficiency of en route cargo services provided by passenger airlines by allowing managers to make informed decisions.

**Keywords:** *passenger airlines, prediction of air transportation indicators, post-flight statistics, cargo quotas, available capacity, booking of air transportation, correlation, regression, significance of indicators.*

**For citation:** Korodyuk I.S., Mamonova N.V., Grinev D.M. Capacity Management as a Tool for Rationalizing the Commercial Potential of Aircraft. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2020;26(5):537-550 (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-5-537-550>

## Введение

Прогнозирование показателей авиаперевозок является ключевым фактором успешной работы любого авиаперевозчика. Необходимость прогнозирования вытекает из фундаментальных основ теории управления, в соответствии с которыми прогнозирование считается ключевым этапом при выборе оптимальных управляющих воздействий на любые процессы. Достоверный прогноз наиболее значимых для деятельности авиаперевозчика факторов позволяет оценить не только расходную и доходную составляющие бюджета авиакомпании, но и сформировать требования к будущему самолетному парку, провести разработку расписания движения воздушных судов (ВС) и оптимальной маршрутной сети, а также планирование стратегического развития авиакомпании в целом.

Процесс прогнозирования собственных объемов перевозок и объемов перевозок конкурентов включает в себя использование статистических данных о пассажиропотоках, экономических и демографических данных, сведений о ВВП, численности населения, его подвижности, ожидаемом спросе на авиаперевозки в отдельных регионах с учетом конкурирующих видов транспорта. Анализ применяемых в настоящее время методов прогнозирования показал, что наиболее приемлемы с точки зрения статистической точности модели прогнозирования временных рядов с учетом сезонных колебаний, а также модели множественной

регрессии [1, с. 122–127]. Эти модели успешно используются в практической деятельности как российских, так и зарубежных авиакомпаний, показывая высокую степень достоверности прогнозов.

Стоит отметить, что вышеуказанные способы прогнозирования пассажирских и грузовых авиаперевозок применяются для определения спроса в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективе (точнее, для определения потенциальной доли авиаперевозчика в общем объеме «рыночного» спроса). Спрос на авиаперевозки, имея стохастическую природу, чаще всего изменяется непрерывно, а объем предложения всегда изменяется дискретно [2, с. 52]. Увеличение/уменьшение объема предложения осуществляется авиакомпанией либо путем изменения частот выполняемых рейсов, либо путем использования ВС с большей или меньшей пассажироместимостью (для грузовых ВС — грузоместимостью). Для авиаперевозок объем предложения, измеряемый показателями кресельной пассажироместимости (для пассажирских ВС) и весовой грузоместимости (для грузовых ВС), является константой, величина которой закладывается на этапе проектирования и имеет вариативность в разрешенных заводом-изготовителем пределах.

Итак, достоверный прогноз «пассажирского» или «грузового» спроса позволяет осуществить качественный подбор следующего за спросом, дискретно изменяющегося оптимального объ-

ема предложения, с шагом, равным для пассажирских ВС максимальной пассажиропропускной способности, а для грузовых ВС — максимальному тоннажу/объему грузовых отсеков.

### Обзор современного состояния отрасли

Вышеизложенный порядок прогнозирования не является универсальным и в некоторых случаях не подходит. К числу таких случаев относятся дозагрузка пассажирских самолетов грузовыми и почтовыми отправлениями. Почти любой пассажирский рейс обладает не использованной пассажирами свободной провозной емкостью, которая может успешно применяться под грузовые нужды. Подобное комбинирование пассажирской и грузовой составляющей рейса позволяет в целом более рационально использовать потенциал коммерческой емкости самолета [3, с. 126]. Любая авиакомпания, выполняющая регулярные пассажирские рейсы на пассажирских самолетах, выступает на рынке как продавец, предлагающий провозную емкость двух видов: пассажирскую и грузовую. Очередность загрузки при этом четко регламентирована: пассажир и его багаж всегда первичен, груз вторичен. Груз на пассажирских рейсах загружается в порядке дозагрузки на оставшийся свободный тоннаж и свободный объем багажно-грузовых отсеков [4, с. 40].

В настоящее время грузовой авиационный бизнес активно использует три типа моделей грузовых авиаперевозок [5, с. 56]: комбинированные авиаперевозчики, применяющие как свободные емкости пассажирских воздушных судов, так и собственные — грузовых рейсов (например: Люфтганза, Сингапур Эйрлайнс, Кореан Эйр); грузовые авиакомпании, перевозящие груз на регулярных и чартерных грузовых рейсах (например, Волга-Днепр, *Cargolux*); логистические интеграторы, использующие грузовую авиацию как часть собственной системы логистических услуг (например, *UPS*, *DHL*, *FedEx*).

Специфика российской отрасли грузовых авиаперевозок такова, что именно дозагрузка попутным грузом пассажирских рейсов служит основным способом рационализации использования провозной емкости для внутрироссийских авиаперевозок, доля рынка которого в 2018 г. составила 78,1 % по грузообороту и 77,8 % по объему грузовых авиаперевозок [6]. Спрос на авиаперевозки, выполняемые грузовыми самолетами, ограничен как значительной себестоимостью таких услуг, поскольку все расходы, связанные с выполнением рейса, «относятся» целиком на груз, так и несбалансированностью спроса по направлению для большинства маршрутов, приводящей к односторонней загрузке рейсов [7, с. 116].

Пассажирская и грузовая составляющие регулярного пассажирского рейса (РПР) имеют ряд существенных различий относительно и порядка расчета провозной емкости, и сроков бронирования. Так, продажа пассажирских перевозок (речь идет о сроке начала продажи авиабилетов) может начинаться за 20–30 дней до вылета рейса местных воздушных линий и за 1–1,5 года — для магистральных. Начало продажи (бронирования) груза на пассажирский рейс возникает в значительно более поздний период, который в редких случаях превышает две недели (от начала продажи груза до момента вылета ВС). Спрос на «раннее» грузовое бронирование практически отсутствует, и до 90 % запросов на перевозку поступают в текущую рабочую неделю, т. е. за 2–7 дней до вылета рейса.

Срок начала продажи (бронирования) груза зависит и от частот выполнения рейсов, и от времени между ними. Так, при выполнении рейса с частотой раз в две недели минимальный срок начала бронирования груза составляет 14 дней, тогда как для ежедневного рейса этот показатель может составлять 2–3 дня. Столь поздний срок бронирования грузовых авиаперевозок объясняется срочностью большинства отправок, при которой спрос достигает максимальных значений на ближайший к вылету рейс, и именно он запрашивается в первую очередь. Лишь при отсутствии возможности отправки на ближайшем рейсе рассматриваются прочие варианты отправки. Максимальный период грузового бронирования устанавливается каждым авиаперевозчиком самостоятельно. Так, у авиакомпании «Аэрофлот» он составляет 10 дней, у авиакомпании «Ангара» — от 2 до 7 дней.

### Постановка проблемы

Согласно утвержденной отраслевой технологии обслуживания пассажирских рейсов «остаточная» грузовая емкость (не использованный пассажирами тоннаж и объем багажно-грузовых отсеков) достоверно определяется в процессе коммерческого обслуживания рейса за 40 минут до вылета самолета, после регистрации всех пассажиров, взвешивания багажа и ручной клади, а также расчета необходимого на полет количества топлива. Данная величина определяется в два этапа [8].

На первом этапе рассчитывается общая величина коммерческой загрузки рейса (*Payload*), которая определяется как разность между максимальным взлетным весом ВС (*Take-off weight, TOW*) и оперативным весом (*Operating weight, OW*) — весом готового к полету самолета без коммерческой загрузки [9]. Оперативный вес самолета (*OW*) является суммой:

И. С. КОРОДЮК, Н. В. МАМОНОВА, Д. М. ГРИНЕВ Управление провозной емкостью как инструмент рационализации коммерческого потенциала воздушного судна

(*Basic weight, BW*) + (*crew and crew baggage*) + (*Take-off fuel, TOF*), где *Basic weight* — вес пустого снаряженного или базовый вес; *Crew and crew baggage* — вес экипажа, багажа экипажа и бортового питания пассажиров; *Take-off fuel, TOF* — вес топлива, необходимого на полет. (*Basic weight, BW*) + (*crew and crew baggage*) = (*Dry operating weight, DOW*) — сухой оперативный вес или вес готового к полету самолета без топлива, а *DOW* + *TOF* — оперативный вес (*Operating weight, OW*). На втором этапе определяется разность между общей величиной коммерческой загрузки (*Payload*) и весом пассажиров их багажа и ручной клади (общий вес пассажиров определяется как произведение их весовых нормативов на общее число пассажиров на рейсе, а вес багажа и ручной клади — взвешиванием).

Получившийся «остаток» не использованной пассажирами провозной емкости является свободной грузовой емкостью (СГЕ), весовой характеристикой, ограничивающей максимально возможное количество груза, принимаемого к перевозке в условиях предстоящего пассажирского рейса. Альтернативное использование вышеуказанного свободного остатка в случаях значительной разницы в цене на авиакеросин в аэропортах прилета и вылета заключается в дозаправке ВС, с расчетом «на обратную дорогу».

В настоящее время квотирование рейса (оценка величины свободной грузовой емкости пассажирского самолета) происходит путем закрепления за каждым регулярным рейсом определенных грузовых квот, устанавливаемых сотрудниками авиакомпаний, ответственными за планирование и бронирование грузовой загрузки. Процесс подтверждения бронирования происходит либо путем направления «письма-подтверждения», либо посредством автоматизированных систем бронирования (АСБ) при их наличии у авиакомпании. Процесс подтверждения происходит по принципу «запрос-ответ», при котором грузоотправитель или грузовой агент запрашивает возможность перевозки груза, а авиакомпания отказывает/подтверждает эту перевозку. Если запрос на перевозку груза осуществляется в рамках заранее установленной авиаперевозчиком квоты, подтверждение бронирования происходит автоматически.

В действительности все грузовое квотирование рейса (оценка его провозной емкости) происходит на основании понимания и видения ситуации сотрудниками авиакомпании, ответственными за бронирование (менеджерами по бронированию). Результат подобной деятельности, связанной с психологическими и психофизиологическими чертами конкретного человека, несет в себе возможность приня-

тия непреднамеренных ошибочных решений. «Бронировщики» при оценке весовых характеристик рейсов руководствуются усредненными характеристиками провозной емкости для данного типа ВС, которые основываются на данных «послевылетной» статистики, и могут определяться по одному из нижеперечисленных вариантов (сегодня в отрасли не установлен порядок оценки провозной емкости пассажирского самолета):

- среднестатистическим значением величины фактически отправленного груза на вылетевших рейсах;
- среднестатистическим значением «остаточной» СГЕ на вылетевших рейсах;
- наиболее вероятным (гарантированным) значением СГЕ, реализуемым даже при максимальной пассажирской загрузке;
- значениями СГЕ, определяемыми на основании оценки корреляционной связи — «числа пассажиров и количества перевозимого груза».

Зачастую грузовая квота в российских и зарубежных авиакомпаниях устанавливается с учетом типа воздушного судна вне зависимости от величины пассажирской загрузки, например, для Аэробус-319-100 — 1,5 тонны, Аэробус-320-200 — 1,75 тонны, Аэробус-330-300 — 24 тонны [10, с. 116; 11].

Грузовая квота, определяемая по любому из вышеперечисленных вариантов, не является достоверной оценкой свободной провозной емкости на момент вылета ВС. Это происходит из-за того, что в качестве критерия оценки стохастических характеристик провозной емкости используется численное значение грузовых квот-констант, имеющих с ней опосредованную связь. Фактически численная характеристика грузовой квоты, назначенная по одному из вышеперечисленных вариантов, применяется в качестве оценки выборочной совокупности весовых параметров свободной провозной емкости, сформированной из случайных величин, зарегистрированных на реальных рейсах, с неустановленным законом распределения и отсутствием достоверной информации о выборочной средней и дисперсии. В реальности статистическая оценка вариационного ряда весовых параметров СГЕ перевозчиком не осуществляется.

Кроме того, любая «статистическая средняя» может использоваться в качестве эффективной характеристики свободной провозной емкости, если ее значение значительно превышает дисперсию. В противном случае ее использование может привести к значительным ошибкам. Например, если на одном рейсе свободная грузовая емкость по факту составила 1 000 кг, на втором 2 000 кг, то при использовании среднего значения 1 500 кг в качестве



## Сравнительная оценка грузовых квот и фактических параметров грузовой емкости

| По авиакомпании «Ангара»                                                                                                        |         |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|
| Всего рейсов                                                                                                                    | 135     | 100 %    |
| число рейсов, расчетная величина загрузки оказалась больше квоты                                                                | 10      | 7,4 %    |
| число рейсов, расчетная величина загрузки оказалась меньше квоты                                                                | 125     | 92,6 %   |
| число рейсов, на которых грузовая квота попала в интервал с фактическим весом с погрешностью $\pm 25$ %                         | 20      | 14,8 %   |
| число рейсов, на которых грузовая квота попала в интервал с фактическим весом с погрешностью $\pm 50$ %                         | 36      | 26,7 %   |
| общая сумма всех квот                                                                                                           | 71 963  | 100,0 %  |
| сумма фактической провозной емкости                                                                                             | 139 365 | 193,66 % |
| По авиакомпании «Аэрофлот»                                                                                                      |         |          |
| Всего рейсов                                                                                                                    | 99      | 100,0 %  |
| число рейсов, на которых квота была превышена                                                                                   | 10      | 10,1 %   |
| число рейсов, на которых квота была занижена                                                                                    | 89      | 89,9 %   |
| число рейсов, на которых грузовая квота совпала с фактическим весом в пределах $\pm 500$ кг, т.е. попала в интервал $\pm 25$ %  | 12      | 12,1 %   |
| число рейсов, на которых грузовая квота совпала с фактическим весом в пределах $\pm 1000$ кг, т.е. попала в интервал $\pm 50$ % | 25      | 25,3 %   |
| общая сумма всех квот                                                                                                           | 198 000 | 100,0 %  |
| сумма фактической провозной емкости                                                                                             | 507 143 | 256,1 %  |

оценки провозной емкости для каждого рейса получаем 500 кг фактического «перегруза» в первом случае и 500-килограммовый «недогруз» во втором. Подобные систематические ошибки в оценке провозной емкости приводят не только к экономическому ущербу, связанному с упущенной возможностью авиаперевозки, но и к постоянному несоответствию весовых характеристик планируемого к перевозке груза с одной стороны и необходимой для его отправки емкости с другой, что в итоге способствует значительному расхождению запланированных и фактических сроков отправки груза.

Следовательно, установленный для пассажирских рейсов порядок расчета провозной емкости под перевозку груза, достоверно определяемой за час до вылета рейса по расписанию, влечет за собой возникновение проблемной и одновременно парадоксальной ситуации, при которой продажа грузовых услуг на протяжении всего периода бронирования происходит без точной оценки количественных характеристик провозной емкости.

В целях исследования степени расхождения установленных авиаперевозчиком грузовых квот и фактических весовых характеристик грузовой емкости нами проведено их сравнение для 135 различных рейсов авиакомпании «Ангара», выполняемых из Иркутска на самолетах АН-24/26 и АН-148 с 1 по 30 марта 2019 г., а также 87 рейсов авиакомпании «Аэрофлот», выполняемых на самолете Боинг-737-800 с 1 по 30 апреля 2019 г. по маршруту «Иркутск — Москва».

Выбор для исследования именно этих двух авиаперевозчиков обусловлен их различны-

ми подходами к квотированию грузовой емкости: в авиакомпании «Ангара» грузовые квоты устанавливают специалисты по грузовым авиаперевозкам, в ПАО «Аэрофлот» они задаются посредством АСБ. Результаты этой работы представлены в таблице 1.

Количественная оценка степени расхождения установленных авиаперевозчиком грузовых квот и фактических величин оставшегося свободного тоннажа показала практически двукратное расхождение этих показателей. При этом идентичные результаты зафиксированы для обоих методов квотирования (и для «ручного» квотирования, и для квотирования посредством АСБ). Анализ итоговых данных таблицы говорит об общей невысокой точности квотирования вне зависимости от способа бронирования груза. Общее число рейсов, на которых грузовая квота совпала с фактической СГЕ с погрешностью  $\pm 50$  %, составила для рейсов с «ручным» бронированием 27 %, а с автоматизированным бронированием — 26 %. Нельзя не обратить внимание на значительное число рейсов, на которых зафиксировано двух–трехкратное расхождение сравниваемых величин.

Подобные проблемные ситуации, связанные с недостоверной оценкой провозной емкости, возникают исключительно для случаев грузовых авиаперевозок на пассажирских ВС, т. е. в ситуациях, когда один самолет перевозит два вида коммерческой загрузки (пассажиры и груз) одновременно. Для пассажирских авиаперевозок в «чистом» виде объем предлагаемых услуг, равный кресельной пассажироместности ВС, является константой на всем протяжении периода бронирования и продажи.

Рис. 1. Весовая структура рейса ( $M_{\text{взл}} = 100 \%$ )

Для грузовых авиаперевозок, выполняемых на грузовых ВС, объем предлагаемых услуг характеризуется как фиксированный на протяжении всего периода бронирования и продажи. Его максимальная величина ограничена либо объемом грузовых помещений, либо предельной коммерческой загрузкой грузового ВС.

Вариант решения поставленной проблемы — получение вероятностной оценки весовых параметров свободной провозной емкости на момент начала грузового бронирования путем построения зависимости ее величины от вероятности попадания в доверительный интервал с заданным уровнем значимости. Требуемая точность прогноза такова, что нет необходимости поиска точечных значений (интервальной оценки вполне достаточно).

### «Весовая» структура рейса

По нашему мнению авторов, в качестве эффективного варианта решения проблемы недостоверности оценки СГЕ выступает подбор математических методов, повышающих качество прогноза. Математически провозная емкость, представляющая собой разность между максимальным взлетным весом ВС с одной стороны и оперативным весом и коммерческой загрузкой (пассажирами) с другой, определяется по формуле:

$$M_{\text{сге}} = M_{\text{макс вз. вес}} - M_{\text{снр}} - M_{\text{топ}} = N_{\text{общ}} \times (M_{\text{пас}} + M_{\text{баг/рк}}) \quad (1)$$

где  $M_{\text{сге}}$  — свободная грузовая емкость, весовая характеристика грузовой емкости, ограничивающее ее максимальное значение;

$M_{\text{макс вз. вес}}$  — максимальный взлетный вес, весовая константа для данного типа ВС, уста-

навливаемая заводом-изготовителем. Например, для самолетов типа Ан-24 максимальный взлетный вес составляет 22,5 тонны, для Боинг-737-800 — 79 тонн;

$M_{\text{снр}}$  — масса пустого снаряженного самолета без топлива, весовая характеристика, являющаяся суммой базового веса самолета, экипажа, бортового питания, технической аптечки. Для парка ВС одного типа  $M_{\text{снр}}$  может иметь значительную вариативность вследствие различия базовых весов ВС. Базовый вес самолета определяется путем взвешивания ВС на заводе-изготовителе. Во время жизненного цикла самолет претерпевает изменения (за счет веса различного дополнительного оборудования, демонтируемого/устанавливаемого на ВС);

$M_{\text{топ}}$  — общая заправка топливом (масса топлива на взлете). Данная величина определяется летным составом по результатам штурманского расчета непосредственно перед вылетом рейса. Складывается из расчетного значения топлива на полет, уход на запасной аэродром, аэронавигационного запаса;

$M_{\text{пас}}$  — весовой норматив одного взрослого пассажира, составляющий 80 кг для зимнего периода навигации и 75 кг — для летнего (отраслевые требования для расчета) [8];

$N_{\text{общ}}$  — фактическое число зарегистрированных пассажиров на рейсе;

$M_{\text{баг/рк}}$  — вес багажа и ручной клади, в среднем на одного зарегистрированного пассажира.

Графически весовая структура типового пассажирского рейса, состоящая из вышеуказанных величин, представлена на рисунке 1, составленном для условного рейса по маршруту «Иркутск — Бодайбо» на самолете Ан-24 со следующими параметрами:  $M_{\text{взл}}$  — 22 500 кг,  $M_{\text{топ}}$  — 3 600 кг,  $M_{\text{снр}}$  — 15 200 кг, пассажиров — 30 чел., груз — 500 кг.

Вводимые обозначения исследуемых величин

|       |                           |                                                          |                          |
|-------|---------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|
| $Y$   | $M_{сге}$                 | Свободная грузовая емкость                               | Зависимая переменная     |
| $K_1$ | $M_{\text{макс вз. вес}}$ | Максимальный взлетный вес                                | константа                |
| $X_1$ | $M_{\text{снр}}$          | Масса пустого снаряженного самолета (без топлива)        | Независимая переменная 1 |
| $X_2$ | $M_{\text{топ}}$          | Общая заправка топливом (масса топлива на взлете)        | Независимая переменная 2 |
| $X_3$ | $M_{\text{рвп}}$          | Средний вес одного пассажира с багажом                   | Независимая переменная 3 |
| $X_4$ | $N_{\text{общ}}$          | Фактическое число зарегистрированных пассажиров на рейсе | Независимая переменная 4 |

Построение модели исследования

Оценка параметров свободной провозной емкости выполнена авторами на основе данных послевылетной статистики нескольких пассажирских рейсов с применением стандартных математических методов [12]. В качестве рабочей гипотезы исследования выдвигается предположение о возможности получения достоверной оценки весовых характеристик СГЕ путем статистической оценки данных послевылетной статистики. Такая оценка СГЕ должна обеспечить приемлемую с практической точки зрения сходимость установленной авиаперевозчиком грузовой квоты с ее фактическими весовыми характеристиками и, как следствие, возможности принятия обоснованных решений по управлению загрузкой.

На начальный период грузового бронирования, составляющий от 3 до 14 дней до вылета рейса, значения всех показателей уравнения (1) доподлинно неизвестны (значение  $M_{\text{снр}}$  определяется за период от 1 до 3 дней до вылета рейса, после расстановки ВС по маршрутам, значения  $M_{\text{топ}}$ ,  $M_{\text{пас}}$ ,  $M_{\text{баг/рпк}}$  обретают свои окончательные значения за час до вылета рейса). Предварительная оценка этих показателей возможна только по данным послевылетной статистики по уже выполненным рейсам. Все вышеупомянутые статистические показатели, необходимые для расчета свободной провозной емкости, связаны между собой уравнением (1). Это — расчетное уравнение исследуемой модели. Используя более удобное обозначение исследуемых величин, указанных в таблице 2, представим исследуемую зависимость данных в виде уравнения

$$Y = K_1 - X_2 - X_3 - X_3 \times X_4. \tag{2}$$

Для исследования взаимосвязей зависимой и независимых переменных использована статистическая выборка, состоящая из 87 наблюдений, зафиксированных на рейсах авиакомпании ПАО «Аэрофлот» с 1 по 30 апреля 2019 г. по маршруту «Иркутск — Москва», как показано в таблице 3. В данную выборку вошли все исследуемые величины, в том числе и искомая величина  $Y$ , оценка значений вариационного ряда которой позволит в первом приближении получить ее основные числовые характеристики.

По критерию Пирсона на уровне значимости 0,01 доказана гипотеза нормального закона распределения величины  $Y$  (среднее значение 5 544,3 кг; стандартное отклонение 2 481,7; наблюдаемое значение критерия  $\chi^2_0 = 11,24$  меньше критического  $\chi^2 = 13,2$ ). Это даст возможность применить для уравнения (2) регрессионную модель, с дальнейшим построением требуемого прогноза. Случайные ошибки, заложенные в модель, распределенные по нормальному закону, позволяют применить для построения регрессионной модели метод наименьших квадратов. Оценка величины  $Y$  по правилу «трех сигм» дает диапазон значений величины свободной провозной емкости, абсолютно непригодный для практического использования в целях прогнозирования:  $-1\,900,9 \text{ кг} < Y < 12\,989,6 \text{ кг}$ .

Регрессионная модель способствует учету всех рисков и всех переменных, оказывающих влияние на результирующий показатель свободной грузовой емкости  $Y$ . Предполагается, что учет дополнительных переменных уравнения (2) способен значительно улучшить качество прогноза величины  $Y$ . При этом степень улучшения качества прогноза должна зависеть от числа задействованных независимых переменных. При оценке показателя  $Y$  стоит учесть, что максимальная «глубина» бронирования грузовой емкости на РПР находится во временном интервале 3–14 дней, начинающемся от момента открытия грузового бронирования до момента вылета ВС. И в большинстве случаев лишь в последнюю неделю перед вылетом самолета грузовая и пассажирская емкость продаются одновременно. В нашем случае необходимость грузового прогноза на срок, превышающий период грузового бронирования, отсутствует.

Исследование вида распределения независимых переменных  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$ , входящих в уравнение (2), показало, что только два показателя  $X_2$  и  $X_3$  имеют распределение близкое к нормальному, их графическое изображение приведено на рисунках 2 и 3.

Для обеих переменных при заданном уровне значимости 0,01 наблюдаемое значение критерия Пирсона (для фактора  $X_2 - \chi^2_0 = 12,3$ ; для  $X_3 - \chi^2_0 = 10,14$ ) оказалось меньше критического  $\chi^2 = 13,2$ . Основные числовые характеристики

И. С. КОРОДЮК, Н. В. МАМОНОВА, Д. М. ГРИНЕВ Управление провозной емкостью как инструмент рационализации коммерческого потенциала воздушного судна

Сводная статистика по рейсу

| №  | Дата       | Номер рейса | ТИП ВС    | $M_{\text{взл}}$ | $M_{\text{снар без топлива}}$ | $M_{\text{топл}}$ | $M_{\text{бат+прс/на 1пас}}$ | ВЗ  | РБ | РМ | $N_{\text{общ (ВЗ+РБ)}}$ | $M_{\text{багаж + РК}}$ | $M_{\text{пас}}$ | $M_{\text{пас+баг+прс}}$ | $M_{\text{груз (оста-ток)}}$ |
|----|------------|-------------|-----------|------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-----|----|----|--------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1  | 01.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 44 052                        | 19 540            | 13,8                         | 129 | 2  | 1  | 131                      | 1 803                   | 9 750            | 11 553                   | 3 870                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 892                        | 18 840            | 15,1                         | 100 | 3  | 1  | 103                      | 1 555                   | 7 605            | 9 160                    | 7 123                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 830                        | 18 640            | 14,1                         | 97  | 1  | 0  | 98                       | 1 384                   | 7 305            | 8 689                    | 7 856                        |
| 2  | 02.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 923                        | 19 640            | 14,3                         | 105 | 0  | 1  | 105                      | 1 502                   | 7 890            | 9 392                    | 6 060                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 640            | 13,7                         | 68  | 5  | 1  | 73                       | 999                     | 5 265            | 6 264                    | 10 253                       |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 934                        | 19 040            | 11,4                         | 106 | 0  | 0  | 106                      | 1 206                   | 7 950            | 9 156                    | 6 885                        |
| 3  | 03.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 794                        | 18 840            | 11,4                         | 86  | 2  | 0  | 88                       | 1 002                   | 6 510            | 7 512                    | 8 869                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 892                        | 19 340            | 15,2                         | 121 | 0  | 1  | 121                      | 1 842                   | 9 090            | 10 932                   | 4 851                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 878                        | 20 430            | 13,9                         | 130 | 2  | 0  | 132                      | 1 829                   | 9 810            | 11 639                   | 3 068                        |
| 4  | 04.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 934                        | 18 290            | 12,2                         | 83  | 1  | 0  | 84                       | 1 026                   | 6 255            | 7 281                    | 9 510                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 908                        | 18 090            | 14,4                         | 80  | 0  | 0  | 80                       | 1 151                   | 6 000            | 7 151                    | 9 866                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 887                        | 20 190            | 12,2                         | 144 | 4  | 0  | 148                      | 1 804                   | 10 920           | 12 724                   | 2 214                        |
| 5  | 05.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 44 052                        | 17 490            | 16,8                         | 84  | 0  | 1  | 84                       | 1 415                   | 6 315            | 7 730                    | 9 743                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 830                        | 18 590            | 14,7                         | 134 | 12 | 4  | 146                      | 2 151                   | 10 470           | 12 621                   | 3 974                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 902                        | 19 290            | 13,9                         | 115 | 5  | 1  | 120                      | 1 666                   | 8 790            | 10 456                   | 5 367                        |
| 6  | 06.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 882                        | 18 830            | 14,2                         | 119 | 3  | 0  | 122                      | 1 727                   | 9 015            | 10 742                   | 5 561                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 884                        | 17 241            | 19,1                         | 95  | 10 | 4  | 105                      | 2 006                   | 7 485            | 9 491                    | 8 399                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 908                        | 18 690            | 15,5                         | 98  | 4  | 0  | 102                      | 1 583                   | 7 470            | 9 053                    | 7 364                        |
| 7  | 07.04.2019 | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 851                        | 17 290            | 16,1                         | 100 | 2  | 0  | 102                      | 1 646                   | 7 560            | 9 206                    | 8 668                        |
|    |            | Су-1443     | В-737-800 | 79 015           | 43 876                        | 18 990            | 14,7                         | 154 | 4  | 0  | 158                      | 2 327                   | 11 670           | 13 997                   | 2 152                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 690            | 15,5                         | 132 | 1  | 1  | 133                      | 2 060                   | 9 945            | 12 005                   | 4 462                        |
| 8  | 08.04.2019 | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 44 145                        | 20 430            | 13,4                         | 116 | 0  | 1  | 116                      | 1 549                   | 8 715            | 10 264                   | 4 176                        |
|    |            | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 793                        | 18 990            | 12,9                         | 106 | 2  | 0  | 108                      | 1 391                   | 8 010            | 9 401                    | 6 831                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 923                        | 19 590            | 13,4                         | 79  | 3  | 0  | 82                       | 1 098                   | 6 015            | 7 113                    | 8 389                        |
| 9  | 09.04.2019 | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 850                        | 18 890            | 14,7                         | 67  | 3  | 0  | 70                       | 1 028                   | 5 115            | 6 143                    | 10 132                       |
|    |            | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 923                        | 18 890            | 11,9                         | 112 | 1  | 0  | 113                      | 1 340                   | 8 430            | 9 770                    | 6 432                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 848                        | 18 890            | 15,1                         | 70  | 2  | 1  | 72                       | 1 090                   | 5 325            | 6 415                    | 9 862                        |
| 10 | 10.04.2019 | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 44 022                        | 19 790            | 14,1                         | 124 | 1  | 4  | 125                      | 1 759                   | 9 390            | 11 149                   | 4 054                        |
|    |            | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 835                        | 19 290            | 14,0                         | 100 | 0  | 0  | 100                      | 1 401                   | 7 500            | 8 901                    | 6 989                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 908                        | 19 190            | 13,9                         | 105 | 1  | 0  | 106                      | 1 474                   | 7 905            | 9 379                    | 6 538                        |
| 11 | 11.04.2019 | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 902                        | 18 690            | 13,4                         | 123 | 1  | 0  | 124                      | 1 658                   | 9 255            | 10 913                   | 5 510                        |
|    |            | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 835                        | 18 590            | 12,3                         | 95  | 4  | 0  | 99                       | 1 222                   | 7 245            | 8 467                    | 8 123                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 882                        | 18 420            | 13,7                         | 98  | 2  | 0  | 100                      | 1 369                   | 7 410            | 8 779                    | 7 934                        |
| 12 | 12.04.2019 | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 892                        | 19 890            | 15,8                         | 101 | 1  | 0  | 102                      | 1 614                   | 7 605            | 9 219                    | 6 014                        |
|    |            | Су-1441     | В-737-800 | 79 015           | 43 852                        | 20 090            | 11,1                         | 143 | 3  | 0  | 146                      | 1 618                   | 10 815           | 12 433                   | 2 640                        |
|    |            | Су-1563     | В-737-800 | 79 015           | 43 908                        | 19 590            | 13,7                         | 152 | 0  | 0  | 152                      | 2 089                   | 11 400           | 13 489                   | 2 028                        |
|    |            | Су-1445     | В-737-800 | 79 015           | 43 865                        | 19 790            | 16,4                         | 155 | 2  | 0  | 157                      | 2 575                   | 11 685           | 14 260                   | 1 100                        |



| №  | Дата       | Номер рейса | ТИП ВС    | $M_{\text{взл}}$ | $M_{\text{спар без топлива}}$ | $M_{\text{топл}}$ | $M_{\text{блг+рлс/на 1пас}}$ | ВЗ  | РВ | РМ | $N_{\text{ом}}^{\text{вз+рлс}}$ | $M_{\text{блгж+рлс}}$ | $M_{\text{пас}}$ | $M_{\text{пас+блг+рлс}}$ | $M_{\text{груз (оста-ток)}}$ |
|----|------------|-------------|-----------|------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|-----|----|----|---------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| 13 | 13.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 908                        | 20 290            | 13,9                         | 140 | 1  | 0  | 141                             | 1 956                 | 10 530           | 12 486                   | 2 331                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 898                        | 20 190            | 18,3                         | 129 | 0  | 1  | 129                             | 2 359                 | 9 690            | 12 049                   | 2 878                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 894                        | 19 990            | 14,6                         | 155 | 3  | 0  | 158                             | 2 313                 | 11 715           | 14 028                   | 1 103                        |
| 14 | 14.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 890                        | 19 390            | 15,5                         | 152 | 4  | 2  | 156                             | 2 419                 | 11 550           | 13 969                   | 1 766                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 44 022                        | 19 490            | 14,9                         | 140 | 6  | 1  | 146                             | 2 172                 | 10695            | 12 867                   | 2 636                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 878                        | 18 578            | 17,3                         | 152 | 0  | 2  | 152                             | 2 636                 | 11 430           | 14 066                   | 2 493                        |
| 15 | 15.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 892                        | 19 990            | 12,4                         | 144 | 0  | 1  | 144                             | 1 779                 | 10 815           | 12 594                   | 2 539                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 914                        | 18 490            | 12,2                         | 106 | 1  | 1  | 107                             | 1 305                 | 7 995            | 9 300                    | 7 311                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 879                        | 20 430            | 13,8                         | 97  | 1  | 0  | 98                              | 1 357                 | 7 305            | 8 662                    | 6 044                        |
| 16 | 16.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 44 022                        | 18 990            | 13,2                         | 124 | 4  | 1  | 128                             | 1 687                 | 9 435            | 11 122                   | 4 881                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 44 052                        | 18 990            | 15,8                         | 102 | 2  | 1  | 104                             | 1 638                 | 7 725            | 9 363                    | 6 610                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 934                        | 18 790            | 11,7                         | 117 | 2  | 0  | 119                             | 1 389                 | 8 835            | 10 224                   | 6 067                        |
| 17 | 17.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 889                        | 18 890            | 12,2                         | 130 | 1  | 0  | 131                             | 1 603                 | 9 780            | 11 383                   | 4 853                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 879                        | 18 690            | 14,3                         | 140 | 4  | 2  | 144                             | 2 064                 | 10 650           | 12 714                   | 3 732                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 790            | 13,5                         | 135 | 17 | 1  | 152                             | 2 046                 | 10 650           | 12 696                   | 3 671                        |
| 18 | 18.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 898                        | 18 590            | 14,3                         | 136 | 7  | 2  | 143                             | 2 038                 | 10 440           | 12 478                   | 4 049                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 945                        | 17 890            | 13,4                         | 111 | 0  | 0  | 111                             | 1 492                 | 8 325            | 9 817                    | 7 363                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 889                        | 17 990            | 12,9                         | 153 | 0  | 0  | 153                             | 1 978                 | 11 475           | 13 453                   | 3 683                        |
| 19 | 19.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 865                        | 17 390            | 13,5                         | 141 | 3  | 1  | 144                             | 1 941                 | 10 680           | 12 621                   | 5 139                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 879                        | 18 490            | 12,5                         | 147 | 0  | 0  | 147                             | 1 833                 | 11 025           | 12 858                   | 3 788                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 44 022                        | 19 090            | 10,6                         | 156 | 2  | 0  | 158                             | 1 677                 | 11 760           | 13 437                   | 2 466                        |
| 20 | 20.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 882                        | 18 490            | 11,9                         | 111 | 7  | 2  | 118                             | 1 400                 | 8 565            | 9 965                    | 6 678                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 878                        | 17 490            | 14,2                         | 122 | 2  | 1  | 124                             | 1 763                 | 9 225            | 10 988                   | 6 659                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 090            | 13,5                         | 123 | 3  | 0  | 126                             | 1 707                 | 9 315            | 11 022                   | 6 045                        |
| 21 | 21.04.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 882                        | 17 890            | 13,2                         | 110 | 2  | 0  | 112                             | 1 478                 | 8 310            | 9 788                    | 7 455                        |
|    |            | Су-1443     | Б-737-800 | 79 015           | 43 848                        | 18 420            | 14,9                         | 116 | 5  | 1  | 121                             | 1 799                 | 8 865            | 10 664                   | 6 083                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 878                        | 17 790            | 15,4                         | 148 | 5  | 2  | 153                             | 2 357                 | 11 280           | 13 637                   | 3 710                        |
| 22 | 22.04.2019 | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 848                        | 17 990            | 13,5                         | 104 | 0  | 1  | 104                             | 1 403                 | 7 815            | 9 218                    | 7 959                        |
|    |            | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 836                        | 18 390            | 13,2                         | 142 | 6  | 0  | 148                             | 1 956                 | 10 830           | 12 786                   | 4 003                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 894                        | 17 990            | 13,2                         | 143 | 5  | 0  | 148                             | 1 955                 | 10 875           | 12 830                   | 4 301                        |
| 23 | 23.04.2019 | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 851                        | 17 290            | 13,9                         | 95  | 1  | 1  | 96                              | 1 335                 | 7 170            | 8 505                    | 9 369                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 914                        | 19 690            | 12,3                         | 114 | 1  | 1  | 115                             | 1 417                 | 8 595            | 10 012                   | 5 399                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 887                        | 17 390            | 10,9                         | 108 | 4  | 1  | 112                             | 1 221                 | 8 235            | 9 456                    | 8 282                        |
| 24 | 24.04.2019 | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 848                        | 19 290            | 12,0                         | 146 | 0  | 0  | 146                             | 1 746                 | 10 950           | 12 696                   | 3 181                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 44 022                        | 19 790            | 16,4                         | 141 | 12 | 1  | 153                             | 2 503                 | 10 950           | 13 453                   | 1 750                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 878                        | 19 090            | 16,9                         | 145 | 11 | 33 | 156                             | 2 636                 | 11 700           | 14 336                   | 1 711                        |
| 25 | 25.01.2019 | Су-1441     | Б-737-800 | 79 015           | 43 898                        | 18 590            | 13,7                         | 141 | 2  | 0  | 143                             | 1 956                 | 10 635           | 12 591                   | 3 936                        |
|    |            | Су-1563     | Б-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 490            | 13,7                         | 147 | 0  | 2  | 147                             | 2 019                 | 11 055           | 13 074                   | 3 593                        |
|    |            | Су-1445     | Б-737-800 | 79 015           | 43 921                        | 18 790            | 12,1                         | 153 | 5  | 0  | 158                             | 1 913                 | 11 625           | 13 538                   | 2 766                        |

И. С. КОРОДЮК, Н. В. МАМОНОВА, Д. М. ГРИНЕВ Управление провозной емкостью как инструмент рационализации коммерческого потенциала воздушного судна

Окончание таблицы 3

| №                                                           | Дата       | Номер рейса   | ТИП ВС    | $M_{\text{вкл}}$ | $M_{\text{снар без топлива}}$ | $M_{\text{топл}}$ | $M_{\text{бат+рк/на лпас}}$ | ВЗ     | РБ | РМ | $N_{\text{общ}} \text{ (ВЗ+РБ)}$ | $M_{\text{батаж+РБ}}$ | $M_{\text{пас}}$ | $M_{\text{пас+бат+рк}}$ | $M_{\text{груз (остаток)}}$ |
|-------------------------------------------------------------|------------|---------------|-----------|------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|----|----|----------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 27                                                          | 27.04.2019 | Су-1441       | В-737-800 | 79 015           | 43 834                        | 18 290            | 18,4                        | 142    | 0  | 2  | 142                              | 2 617                 | 10 680           | 13 297                  | 3 594                       |
|                                                             |            | Су-1563       | В-737-800 | 79 015           | 43 792                        | 19 290            | 16,5                        | 144    | 3  | 0  | 147                              | 2 432                 | 10 890           | 13 322                  | 2 611                       |
|                                                             |            | Су-1445       | В-737-800 | 79 015           | 43 820                        | 18 290            | 16,0                        | 94     | 4  | 0  | 98                               | 1 569                 | 7 170            | 8 739                   | 8 166                       |
| 28                                                          | 28.04.2019 | Су-1441       | В-737-800 | 79 015           | 43 793                        | 19 290            | 13,3                        | 139    | 9  | 1  | 148                              | 1 975                 | 10 710           | 12 685                  | 3 247                       |
|                                                             |            | Су-1563       | В-737-800 | 79 015           | 43 820                        | 18 390            | 14,3                        | 122    | 10 | 1  | 132                              | 1 894                 | 9 465            | 11 359                  | 5 446                       |
|                                                             |            | Су-1441       | В-737-800 | 79 015           | 43 858                        | 18 290            | 15,8                        | 104    | 11 | 2  | 115                              | 1 820                 | 8 160            | 9 980                   | 6 887                       |
| 29                                                          | 29.04.2019 | Су-1563       | В-737-800 | 79 015           | 43 851                        | 18 290            | 17,7                        | 85     | 3  | 1  | 88                               | 1 555                 | 6 480            | 8 035                   | 8 839                       |
|                                                             |            | Су-1445       | В-737-800 | 79 015           | 43 830                        | 18 090            | 13,1                        | 88     | 2  | 0  | 90                               | 1 176                 | 6 660            | 7 836                   | 9 259                       |
|                                                             |            | Су-1441       | В-737-800 | 79 015           | 43 898                        | 19 090            | 13,8                        | 118    | 20 | 1  | 138                              | 1 911                 | 9 465            | 11 376                  | 4 651                       |
| 29                                                          | 30.04.2019 | Су-1563       | В-737-800 | 79 015           | 43 793                        | 17 490            | 14,6                        | 78     | 8  | 0  | 86                               | 1 257                 | 6 090            | 7 347                   | 10 385                      |
|                                                             |            | Су-1445       | В-737-800 | 79 015           | 43 836                        | 17 790            | 13,3                        | 139    | 4  | 2  | 143                              | 1 907                 | 10 575           | 12 482                  | 4 907                       |
|                                                             |            | Объем выборки |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Наименьшее значение                                         |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Наибольшее значение                                         |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Размах вариации                                             |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Среднее значение                                            |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Дисперсия                                                   |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Среднеквадратичное отклонение                               |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
| Кoeffициент вариации, совокупность однородная (меньше 33 %) |            |               |           |                  |                               |                   |                             |        |    |    |                                  |                       |                  |                         |                             |
|                                                             |            |               |           | 0,0 %            | 0,1 %                         | 4,2 %             | 12,2 %                      | 20,0 % |    |    | 19,9 %                           | 23,6 %                | 20,0 %           | 20,1 %                  | 45,3 %                      |

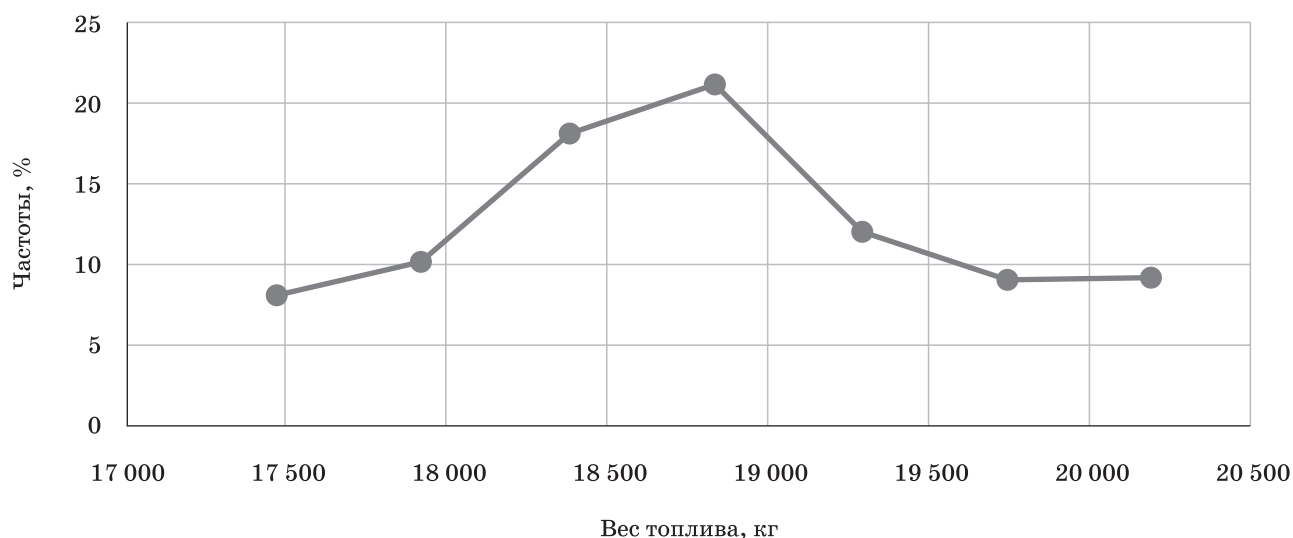


Рис. 2. Распределение  $X_2$  (общей заправки топливом)

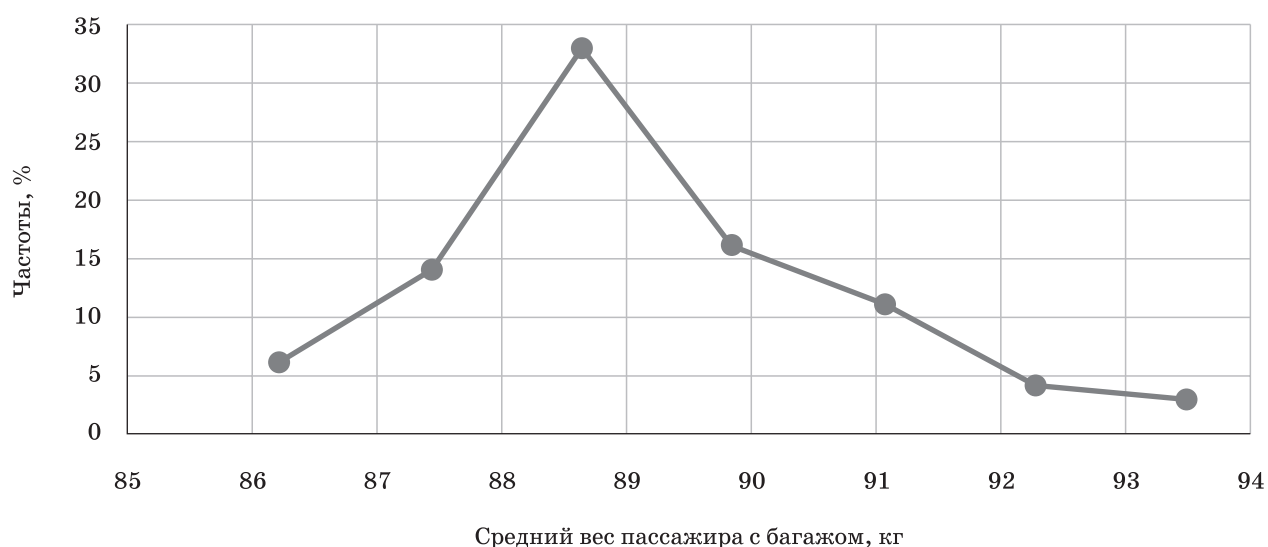


Рис. 3. Распределение  $X_3$  (среднего веса пассажира с багажом)

Таблица 4

#### Основные числовые характеристики

| Общая заправка топливом ( $X_2$ ) |              | Средний вес пассажира с багажом ( $X_3$ ) |           |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------------------------|-----------|
| Среднее                           | 18 811,36782 | Среднее                                   | 89,07597  |
| Стандартная ошибка                | 85,61991676  | Стандартная ошибка                        | 0,1853156 |
| Медиана                           | 18 790       | Медиана                                   | 88,856061 |
| Мода                              | 18 290       | Мода                                      | Не опред. |
| Стандартное отклонение            | 798,6094181  | Стандартное отклонение                    | 1,7285092 |
| Дисперсия выборки                 | 637 777,0027 | Дисперсия выборки                         | 2,987744  |
| Эксцесс                           | -0,45710415  | Эксцесс                                   | 0,424453  |
| Асимметричность                   | 0,077485181  | Асимметричность                           | 0,5741257 |
| Счет                              | 87,00        | Счет                                      | 87,00     |
| Уровень надежности (95,0 %)       | 170,2067613  | Уровень надежности (95,0 %)               | 0,3683953 |

ки показателей  $X_2$  и  $X_3$ , отраженные в таблице 3, также подтверждают нормальность их распределения (коэффициенты асимметрии и эксцесса близки к нулю).

Все вышеизложенное дает возможность получить качественные интервальные оценки исследуемых факторов: с вероятностью 99,8 %  $X_2$  будет находиться в диапазоне

(16598,28 <  $X_2$  < 21020,36), а  $X_3$  — в диапазоне (84,1 <  $X_3$  < 94,2).

Для проверки значимости влияния рассматриваемых факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ) на результирующий показатель  $Y$  использовался корреляционный анализ, в котором значимость влияния изучаемых показателей устанавливалась с помощью критерия Стьюдента. Была

Матрица парных коэффициентов корреляции

|                | Y        | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
|----------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Y              | 1        |                |                |                |                |
| X <sub>1</sub> | -0,16412 | 1              |                |                |                |
| X <sub>2</sub> | -0,53971 | 0,284688       | 1              |                |                |
| X <sub>3</sub> | -0,0348  | -0,05266       | -0,07952       | 1              |                |
| X <sub>4</sub> | -0,94078 | 0,050895       | 0,242614       | -0,02287       | 1              |

построена матрица парных коэффициентов корреляции, что отражено в таблице 5. Из нее видно, что коэффициент корреляции по X<sub>4</sub> (-0,94078) обладает прямо пропорциональной линейной зависимостью с переменной Y (свободная грузовая емкость обратно пропорциональна числу пассажиров на рейсе).

Критерий Стьюдента с надежностью 99 % подтверждает гипотезу о значимости фактора X<sub>4</sub>: наблюдаемое значение  $t_0 = -25,58$  больше по абсолютной величине, чем критическая точка критерия  $t_{kp} = 2,37$ . Таким образом, фактическое число зарегистрированных пассажиров на рейсе является наиболее весомым фактором, влияющим на остаточную свободную грузовую емкость. Однако, если учитывать только этот показатель, то картина будет недостаточно полной.

Проведенное исследование позволяет построить регрессионный анализ по рассматриваемым переменным (эффект мультиколлинеарности отсутствует). Исследуемые статистические данные использованы для построения модели многомерной линейной регрессии, которая связывает все исследуемые величины:

$$\hat{Y} = 99769,63 - 1,22X_1 - 1,03X_2 - 119,4X_3 - 87,72(X_4) \\ (13017) \quad (0,3) \quad (0,02) \quad (10,67) \quad (0,77) \quad (3)$$

В уравнении (3) все найденные коэффициенты регрессии статистически значимы, на строке ниже, в скобках, подписаны их стандартные отклонения. Верификация модели с помощью критерия Фишера показала, что его значение  $F_0 = 4639,95$  значительно больше табличного значения критерия  $F_{kp} = 3,56$ , что свидетельствует о статистической значимости модели в целом. Качество модели определяет скорректированный коэффициент детерминации  $\bar{R}^2 = 99,6\%$ .

Таким образом, с надежностью 99 % можно утверждать, что рассматриваемые в модели факторы оказывают существенное влияние на величину Y. Это позволяет использовать ее для прогнозирования величины свободной провозной емкости. Причем, если построить линейную модель парной регрессии Y только на значимую переменную X<sub>4</sub>, то остаточная сумма квадратов будет равна 731 988,5, тогда как в модели (3) остаточная сумма квадратов составляет 29 040.

### Заключение

Для практического применения результатов, связанных с принятием обоснованных решений по эффективному управлению свободной грузовой емкостью, получена оценка величины Y для нескольких уровней надежности, при различных уровнях пассажирской продажи. Наибольшую практическую ценность в оценке величины Y имеет именно нижняя граница доверительного интервала, которая гарантированно обеспечит на пассажирском рейсе перевозку груза с общим весом, не превышающим этот предел.

Именно поэтому вышеупомянутая оценка свободной грузовой емкости Y строилась по нижней границе доверительного интервала с применением уравнения многомерной регрессии (3). В качестве прогнозных значений факторов использовались средние показатели для  $\bar{X}_1 = 43891,05$ ;  $\bar{X}_2 = 18811,37$ ;  $\bar{X}_3 = 14,07597$ . Значения фактора X<sub>4</sub> (количество зарегистрированных пассажиров) задавались с интервалом в 10 человек, в диапазоне, находящемся в пределах размаха вариации этого признака, т. е. от 70 до 158 человек.

В результате получено семейство кривых, как видно на рисунке 4: зависимость уровня значимости показателя Y от самого значения этого показателя при различных уровнях пассажирской продажи. Форма полученных кривых указывает на их близость к полиномиальной зависимости, что позволило построить соответствующие им тренды. При детальном анализе трендов по каждому случаю (от 70 до 158 пассажиров) выяснилось, что все они являются параболой с отрицательными коэффициентами при максимальной степени X. Качество таких моделей (коэффициент детерминации) для всех кривых — 99,9 %.

Подобного рода зависимости могут быть использованы в повседневной практике бронирования пассажирскими авиаперевозчиками. При этом любой специалист-«бронировщик», не обладая высокой квалификацией и опытом работы, сможет точно определить при заданных условиях «гарантированный» тоннаж на пассажирском рейсе.

Используя в линейном уравнении многомерной регрессии (3) различные комбинации



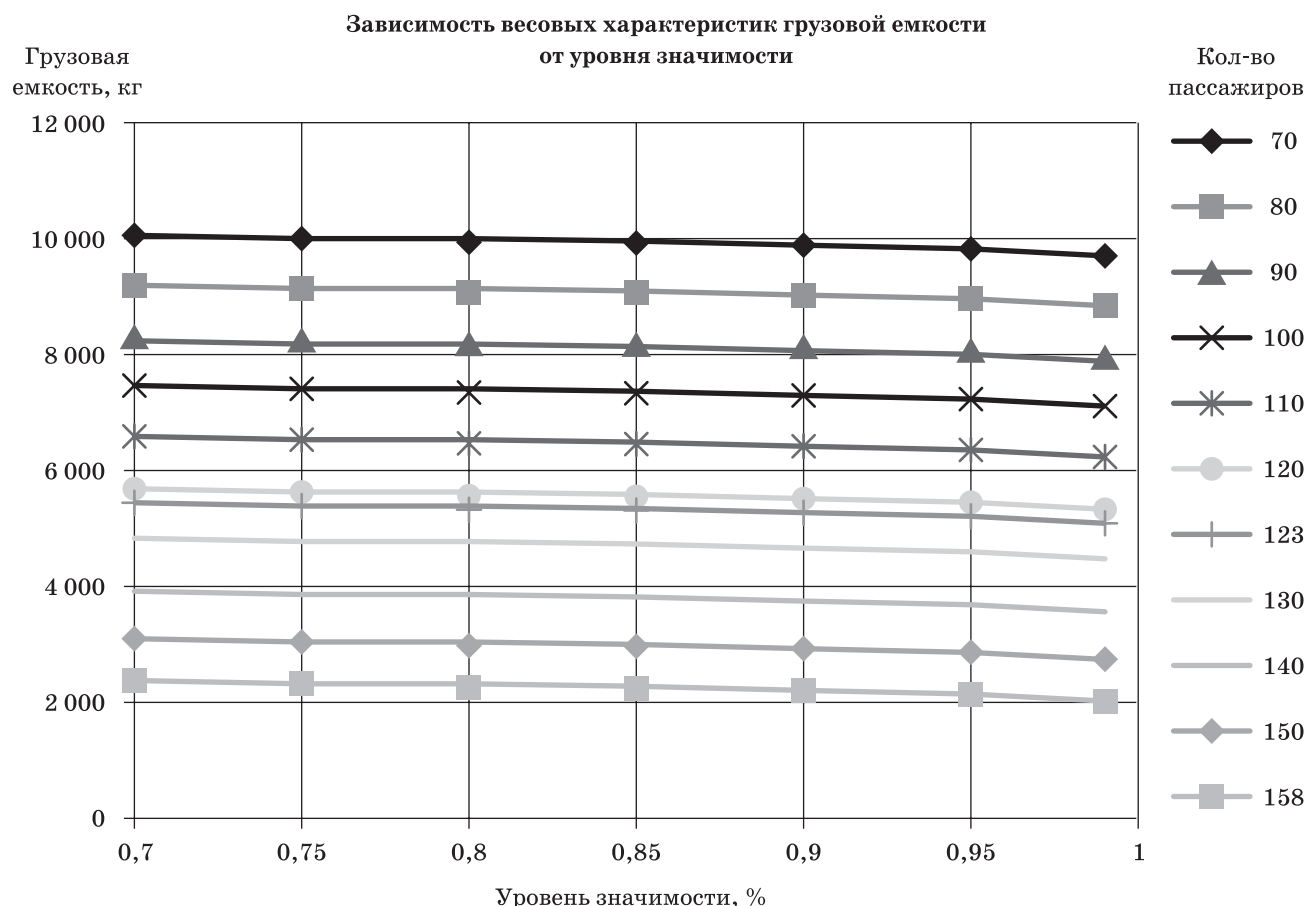


Рис. 4. Зависимость весовых характеристик от уровня значимости

значений четырех независимых факторов (минимальные или максимальные показатели веса багажа, заправки, снаряженного веса самолета), можно получить различные соответствующие им значения свободной грузовой емкости. Построение такого рода зависимостей

для каждого направления маршрутной сети авиаперевозчика, с одной стороны, улучшит оперативность и скорость принятия решений в подтверждении бронирования, с другой — повысит качество планирования грузовых авиаперевозок на пассажирских рейсах.

## Литература

1. Курочкин Е. П., Дубинина В. Г. Управление коммерческой деятельностью авиакомпании. М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2009. 536 с.
2. Комаристый Е. Н. Информационно-модельный комплекс для исследования рынка гражданских авиаперевозок. Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, 2006. 144 с.
3. Кородюк И. С., Гринев Д. М. Исследование рынка грузовых услуг российских пассажирских авиакомпаний // ЭКО. 2019. № 5. С. 124–139.
4. Кородюк И. С., Гринев Д. М. Повышение коммерческой эффективности грузовых перевозок на регулярных пассажирских рейсах // Транспорт: наука, техника, управление: науч. информ. сб. М.: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2019. № 3. С. 40–43.
5. Bernecker T., Grandjot H.-H. Leitfaden Luftfracht: Kompakt alles Wichtige zur Luftfracht. München: Huss-Verlag GmbH, 2017. 231 s.
6. Основные производственные показатели гражданской авиации // Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация). URL: <https://www.favt.ru/dejatelnost-vozdushnye-perevozki-osnovnyye-proizvodstvennyye-pokazateli-ga> (дата обращения: 20.04.2020).
7. Костромина Е. В. Авиатранспортный маркетинг. М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2003. 384 с.
8. О внесении изменений в руководство по центровке и загрузке самолетов га (РЦЗ-83), утвержденное МГА СССР 14.11.83 № 58/И: приказ Федеральной авиационной службы России от 29 декабря 1998 г. № 373. URL: <http://base.garant.ru/70748078/> (дата обращения: 20.04.2020).
9. Шигахметова Э. К. Основы грузовых авиаперевозок. М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2005. 118 с.
10. Johanes A. Post-Merger-Netzwerk-Integration aus der Sicht von Belly-Fracht. Kassel Universität press GmbH, Kassel, 2011. 274 s.
11. Our aircraft bellies: more space for your logistics requirements // URL: <https://lufthansa-cargo.com/de/fleet-ulds/fleet/belly-fleet> (дата обращения: 20.04.2020).

12. Ханк Д. Э., Уичерн Д. У., Райтс А. Дж. Бизнес-прогнозирование / пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2016. 656 с.

## References

1. Kurochkin E.P., Dubinina V.G. Airline business management. Moscow: Aviabusiness; 2009. 536 p. (In Russ.).
2. Komaristyi E.N. An information-model complex for the study of the civil air transport market. Novosibirsk: Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of RAS; 2006. 144 p. (In Russ.).
3. Korodyuk I.S., Grinev D.M. Who will take additional cargo? Market research of cargo services of Russian passenger airlines. *EKO: vserossiiskii ekonomicheskii zhurnal = ECO Journal*. 2019;(5):124-139. (In Russ.).
4. Korodyuk I.S., Grinev D.M. Improving the commercial efficiency of cargo transportation on regular passenger flights. In: Transport: Science, technology, management: Sci.-inform. coll. Moscow: All-Russ. Inst. of Scientific and Technical Information, RAS; 2019;(3):40-43. (In Russ.).
5. Bernecker T., Grandjot H.-H. Leitfaden Luftfracht: Kompakt alles Wichtige zur Luftfracht. München: Huss-Verlag GmbH, 2017. 231 p.
6. The main performance indicators of civil aviation. Federal Agency for Air Transport (Rosaviatsiya). URL: <https://www.favt.ru/deyatelnost-vozduzhnye-perevozki-osnovnye-proizvodstvennye-pokazateli-ga> (accessed on 20.04.2020). (In Russ.).
7. Kostromina E.V. Air transport marketing. Moscow: Aviabusiness; 2003. 384 p. (In Russ.).
8. On amendments to the guidance on the centering and loading of civil aviation aircraft (RTsZ-83), approved by the USSR Ministry of Civil Aviation on 14.11.83 No. 58/I. Order of the Federal Aviation Service of Russia of December 29, 1998. URL: <http://base.garant.ru/70748078/> (accessed on 20.04.2020). (In Russ.).
9. Shigiakhmetova E.K. Air freight basics. Moscow: Aviabusiness; 2005. 118 p. (In Russ.).
10. Johanes A. Post-integration of mergers of airline freight network models for passenger airlines. Kassel: Kassel Univ. Publ.; 2011. 274 p.
11. Our aircraft bellies: More space for your logistics requirements. Lufthansa Cargo. URL: <https://lufthansa-cargo.com/de/fleet-ulds/fleet/belly-fleet> (accessed on: 20.04.2020).
12. Hanke J.E., Wichern D.W., Reitsch A.G. Business forecasting. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall; 2004. 606 p. (Russ. ed.: Hanke J.E., Wichern D.W., Reitsch A.G. Biznes-prognozirovaniye. Moscow: Williams Publ.; 2016. 656 p.).

## Сведения об авторах

### Кородюк Игорь Степанович

доктор экономических наук, профессор, проректор  
Байкальский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11, Россия  
(✉) e-mail: koroduk-57@yandex.ru

### Мамонова Наталья Вячеславовна

кандидат физико-математических наук, доцент  
кафедры математических методов и цифровых технологий  
Байкальский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11, Россия  
(✉) e-mail: naamm@mail.ru

### Гринеv Дмитрий Михайлович

аспирант  
Байкальский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11, Россия  
(✉) e-mail: grinevdm@mail.ru

## Author information

### Igor' S. Korodyuk

Doctor of Economics Sciences, Professor, Vice-Rector  
Baikal State University  
Lenina Str. 11, Irkutsk, 664003, Russia  
(✉) e-mail: koroduk-57@yandex.ru

### Natal'ya V. Mamonova

Candidate of Physico-Mathematical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Mathematical Methods and Digital Technology  
Baikal State University  
Lenina Str. 11, Irkutsk, 664003, Russia  
(✉) e-mail: naamm@mail.ru

### Dmitriy M. Grinev

Postgraduate  
Baikal State University  
Lenina Str. 11, Irkutsk, 664003, Russia  
(✉) e-mail: grinevdm@mail.ru

Поступила в редакцию 08.05.2020  
Подписана в печать 21.05.2020

Received 08.05.2020  
Accepted 21.05.2020