

В. Н. Супрун

## АНАЛИЗ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Приведены результаты корреляционного анализа основных показателей работы железнодорожного транспорта. Произведены расчеты по 49 параметрам пятнадцати железных дорог ОАО «Российские железные дороги» за пять лет. Выполнены формальный и неформальный анализы результатов расчета, подтвердившие эффективность предложенного метода.*

С момента преобразования в 2003 г. Министерства путей сообщения Российской Федерации в ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») большую актуальность приобрела задача существенного повышения качества технологических процессов перевозок. Повышение конкурентоспособности железных дорог и эффективности их работы, снижение себестоимости – эти и многие другие задачи могут быть решены только на основе внедрения системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с международными стандартами ISO серии 9000. Работы в области СМК являются достаточно новыми для железнодорожного транспорта и требуют научной разработки.

Одним из актуальных вопросов, связанных с управлением качеством технологических процессов, является информационная поддержка принятия решений, использование статистических методов обработки информации, работа по фактическим показателям. Все созданные эффективные системы управления качеством имели в своей основе статистическую модель управления качеством, и опирались на современные методы математического анализа. Необходимо отметить, что система поддержки принятия решений (СППР) при управлении качеством железнодорожных перевозок пока еще не сформирована и ее создание является актуальной научной задачей.

В настоящее время в ОАО «РЖД» создан целый ряд информационных, информационно-управляющих, автоматизированных и автоматических систем, ставших неотъемлемой частью технологии перевозочного процесса и системы управления железнодорожным транспортом в целом. Но эффективность эксплуатации этих систем существенно снижается из-за отсутствия или недостаточного развития на их базе информационно-аналитических надстроек, решающих задачи поддержки принятия решений с использованием математических методов анализа и обработки информации. Кроме того, недостаточно разработаны методы системного анализа показателей ОАО «РЖД». Все это говорит о том, что необходимы теоретические и прикладные исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития железнодорожного транспорта, ориентированные на повышение эффективно-

сти управления с использованием современных методов обработки информации.

Для решения поставленной задачи, т. е. для определения показателей контроля качества технологических процессов железнодорожного транспорта, был выбран метод корреляционного анализа. Использование данного метода позволяет оценить независимость показателей, их взаимное влияние, выявить необходимые закономерности, по отсутствию очевидных закономерностей оценить достоверность исходных данных. В результате удастся создать совокупность параметров для их дальнейшего использования в СМК. Основной целью систематизации основных показателей работы железных дорог является получение объективной информации об их фактических взаимозависимостях и влиянии на работу железных дорог.

В корреляционном анализе оценка взаимного влияния двух параметров  $X$  и  $Y$  делается по коэффициенту корреляции  $r$ , меняющему свое значение от 0 (корреляции нет) до 1 или  $-1$  (линейная прямая или обратная зависимость):

$$r = \frac{(M[X \cdot Y] - M[X] \cdot M[Y])}{\sqrt{(M[X^2] - M[X]^2)(M[Y^2] - M[Y]^2)}}, \quad (1)$$

где  $M$  – математическое ожидание случайной величины.

Корреляционный анализ дает объективные данные о взаимном влиянии двух случайных величин. Однако вывод о том, какая величина от какой зависит, делается на основе анализа физических процессов (неформального анализа). Например, можно утверждать, что именно погрузка влияет на объем перевозок, а не наоборот. Определенная субъективность такого подхода потребовала отдельного выполнения формального и неформального анализов.

В качестве исходных данных взяты основные показатели работы 15 железных дорог Российской Федерации, т. е. всех дорог, кроме Сахалинской и Калининградской, за каждый месяц в течение пять лет – с 2000 по 2004 гг. Всего рассмотрено 49 основных показателей работы железных дорог при выборке по каждому из 60 ( $5 \cdot 12$ ) значений. Общее число исходных данных:  $49 \cdot 60 \cdot 15 = 44\,100$ . Число рассмотренных корреляционных пар – 233 по каждой из дорог,

всего – 3 495. Общее число исходных пар для расчета:  $3\,495 \cdot 60 = 209\,700$ .

Для выборки в 60 значений при уровне значимости  $\alpha = 0,95$  уровень достоверности  $r_{\text{табл}}$  составил 0,174. Расчетные значения корреляции  $r$  ниже этого значения считались недостоверными:

$$|r| \geq r_{\text{табл}}. \quad (6)$$

Значения коэффициента корреляции  $k$  по каждой корреляционной паре параметров проверены на соответствие нормальному закону распределения по критерию Пирсона  $\chi^2$  – всего 233 выборки по 15 значений (по числу дорог) в каждой. Наличие нормального закона распределения случайной величины по сети в целом определялось по условию, что расчетное значение  $\chi^2_{\text{расч}}$  не превышает табличное  $\chi^2_{\text{табл}}$ .

Исходные данные были представлены в виде таблиц в формате Excel. Нарастающий итог пересчитывается в значения по месяцам. Выявлены и устранены отдельные недостоверные данные (около 100 чисел). Расчеты выполнены с использованием встроенных функций Excel. Полученные результаты представлены в виде таблиц на отдельных листах одного файла Excel, затем они были систематизированы и проанализированы. В результате был сделан ряд новых выводов, в том числе о степени достоверности и информативности предоставляемых железными дорогами данных. Наряду с очевидными закономерностями

обнаружены новые закономерности и подтверждены уже известные. Также выявлены недостоверные данные. По результатам анализа был предложен порядок работы с информационными источниками в СМК, в том числе и на Красноярской железной дороге, а также метод контроля достоверности исходной информации.

Предложенная в данной статье методика использования методов корреляционного анализа в целом подтвердила свою эффективность. Полученные данные обладают информационной значимостью (табл. 1), большинство из них подчиняются нормальному закону распределения случайных величин (по критерию Пирсона); основные очевидные закономерности подтверждают правильность выполненных расчетов (табл. 2); выявлены новые неочевидные данные.

*Примечание.* Средние значения коэффициентов корреляции  $r_{\text{ср}}$ , приведенные в табл. 1, 2 с точностью до двух знаков, подчиняются нормальному закону распределения случайной величины по критерию Пирсона, с точностью до одного знака – не подчиняются этому закону.

Корреляционный анализ позволил выявить ряд закономерностей, являющихся не очевидными, но логически объяснимыми. Эти закономерности не требуют дополнительного рассмотрения, но при этом их использование в СППР будет полезным и эффективным (табл. 3).

Таблица 1

**Статистика выполненных расчетов**

Значение коэффициента корреляции $r$	Число пар
Существенная прямая зависимость при нормальном законе распределения случайной величины ( $r \gg 0$ )	49
Существенная прямая зависимость без нормального закона ( $r \gg 0$ )	1
Существенная обратная зависимость при нормальном законе ( $r \ll 0$ )	26
Существенная обратная зависимость без нормального закона ( $r \ll 0$ )	2
Прямая зависимость ( $r > 0$ )	20
Обратная зависимость ( $r < 0$ )	20
Отсутствует зависимость ( $r < 0, r > 0$ )	51
Артефакты ( $r \ll 0, r \gg 0$ )	64
Всего рассмотренных пар	233

Таблица 2

**Очевидные закономерности**

Закономерность	$r_{\text{ср}}$
Объем перевозок на всех дорогах существенно зависит от объема погрузки	0,73
Производительность вагона зависит:	
– от времени его оборота (–0,92);	–0,92
– среднесуточного пробега (0,97);	0,97
– простоя под грузовыми операциями (–0,89);	–0,89
– простоя на технических станциях (–0,82)	–0,82
Оборот вагона ухудшается с ростом процента неисправных вагонов	0,54
Производительность вагона на большинстве дорог напрямую связана:	
– с производительностью локомотива;	0,77
– пробегом локомотива	0,75

Закономерность	$r_{\text{ср}}$
Среднесуточный пробег вагона обратно зависит: – от простоя под грузовыми операциями; – простоя на технических станциях	–0,87 –0,81
Среднесуточный пробег вагона напрямую связан: – с пробегом локомотива; – производительностью локомотива	0,73 0,77
Рост нагрузки вагона приводит к увеличению простоя под грузовыми операциями	
Участковая и техническая скорости существенно связаны	0,64
Участковая скорость влияет на пробег локомотива	0,51
Техническая скорость влияет на пробег локомотива	0,79
Производительность локомотива связана с его пробегом	0,8
Рост балловой оценки пути напрямую связан с протяженностью неудовлетворительных участков	0,73
Удельный расход электроэнергии снижается при росте: – грузооборота; – среднего веса грузового поезда	–0,6 –0,5
Закономерность	$r_{\text{ср}}$
Прибыль связана с уменьшением удельного расхода: – электроэнергии; – топлива	–0,7 –0,5
Прибыль от перевозок напрямую связана: – с доходами от перевозок; – производительностью труда работников; – грузооборотом	0,72 0,81 0,7
Рост производительности приводит к росту доходов	0,88
Расходы дороги существенно зависят: – от себестоимости грузовых перевозок; – среднемесячной зарплаты	0,60 0,58
Себестоимость грузовых перевозок существенно зависит от среднемесячной зарплаты	0,97
Себестоимость снижается с ростом грузооборота	0,45
Рост численности работников приводит к снижению: – заработной платы; – производительности труда	–0,7 –0,35

Таблица 3

## Логически объяснимые закономерности

Закономерность	$r_{\text{ср}}$
Производительность вагона больше зависит: от технической скорости, чем от участковой	0,66 0,31
Оборот вагона уменьшается с ростом числа неисправных электровазнов, кроме Красноярской и Северной железных дорог, и тепловозов, кроме Восточно-Сибирской железной дороги	–0,6
Производительность вагона существенно зависит от веса поезда	0,7
Увеличение простоя вагона на технической станции приводит к уменьшению пробега локомотива	–0,8
Увеличение массы поезда приводит к росту: – технической скорости; – производительности; – пробега локомотива	0,4 0,7 0,7
С ростом массы поезда растет среднесуточный пробег	0,7
Участковая скорость несколько уменьшается: – с ростом балловой оценки пути ( $r_{\text{ср}} = -0,24$ ) – увеличением протяженности неудовлетворительных участков	–0,24 –0,17
Удельный расход электроэнергии увеличивается при росте времени оборота вагона	0,5
Прибыль от перевозок напрямую связана с расходами	0,65
Прибыль не имеет достоверной зависимости с численностью работников, среднемесячной зарплатой, дебиторской и кредиторской задолженностями	

	$r_{cp}$
Рост доходов дороги сопровождается ростом расходов	0,99
Рост доходов дороги сопровождается ростом кредиторской задолженности	0,5
Рост доходов дороги сопровождается ростом среднемесячной зарплаты	0,53
Кредиторская задолженность приводит к росту себестоимости грузовых перевозок	0,7
Увеличение массы поезда сопровождается ростом прибыли	0,31
Себестоимость грузовых перевозок существенно зависит от времени оборота вагона	-0,7
Рост среднемесячной зарплаты приводит к росту производительности труда; возможно и обратное: рост производительности ведет к росту заработной платы	0,18
Увеличение массы поезда в целом приводит к увеличению протяженности неудовлетворительных участков	0,31
Рост балловой оценки пути приводит к росту: – себестоимости; – прибыли	0,22 0,42
Рост протяженности неудовлетворительного пути приводит к росту – себестоимости; – прибыли	0,30 0,47
Нет достоверной информации о влиянии участковой и технической скоростей на себестоимость перевозок и прибыль	

Корреляционный анализ выявил тоже недостоверность некоторых данных, названных автором артефактами, по необъективному разбросу значений корреляции по разным дорогам (показатели 1–3 в табл. 4).

Таблица 4

## Данные, обладающие низкой достоверностью

№ п/п	Показатель
1	Неисправный подвижной состав (электровозы и тепловозы, в меньшей степени – грузовые вагоны)
2	Расход топлива на тягу поездов (в отличие от расхода электроэнергии)
3	Нагрузка вагона
4	Балловая оценка пути
5	Техническая и участковая скорости
6	Простой под грузовыми операциями и на технических станциях

Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанный автором метод в качестве способа выявления недостоверности данных: о низкой достоверности данных свидетельствует необоснованный разброс коэффициентов корреляции по данным различных подразделений (дорог, отделений, предприятий и др.) и отсутствие нормального закона распределения совокупности показателей от всех подразделений.

Параметры работы железных дорог в значительной степени зависят от технической скорости  $V_{тех}$  и в меньшей степени – от участковой скорости  $V_{уч}$ , при этом коэффициент корреляции данных параметров равен 0,64 (табл. 5). Таким образом, в СМК следует больше внимания уделять технической скорости поезда.

Таблица 5  
Корреляция параметров с  $V_{тех}$  и  $V_{уч}$ 

Показатель	$r_{cp}$ $V_{тех}$	$r_{cp}$ $V_{уч}$
Техническая скорость	1	0,64
Участковая скорость	0,64	1
Пробег локомотива	0,79	0,51
Производительность локомотива	0,63	0,24
Пробег вагона	0,67	0,33
Производительность вагона	0,66	0,31

Неожиданным результатом явились данные о зависимости себестоимости от интенсивности работы дорог. Обычно считается, что увеличение объема работ дороги, ее загруженность уменьшают себестоимость. Однако автором были получены иные зависимости себестоимости от показателей работы дорог (табл. 6).

Рост интенсивности работы железных дорог ведет к росту прибыли, но повышает себестоимость перевозок. Увеличение веса поезда, сокращение времени оборота, повышение производительности локомотива, сокращение простоев вагонов повышает пропускную способность дорог, увеличивает доход, но не снижает себестоимости перевозок. При этом взаимосвязь прибыли и себестоимости недостоверна. Полученный результат неочевиден и требует дальнейшего исследования. Причиной этого может быть быстрый рост себестоимости, обусловленный другими причинами. На основании этих данных можно сделать еще один вывод: на сегодняшний день нет объективной оценки проводимых мероприятий по увеличению массы поезда, росту скорости и др.

Таблица 6

**Примеры корреляции  
с себестоимостью перевозок**

Показатель	$r_{\text{ср}}$
Доходы	0,72
Вес поезда	0,8
Время оборота вагона	-0,7
Среднесуточный пробег вагона	0,7
Простой вагона под грузовой операцией	-0,7
Простой вагона на технической станции	-0,7
Численность работников	-0,6
Грузооборот	0,45
Производительность локомотива	0,70

Второй результат, аналогичный предыдущему и требующий дополнительного рассмотрения (возможно совместно с предыдущим), – это наличие взаимосвязи между расходами и производительностью (коэффициент корреляции равен 0,85).

Таким образом, сделаем следующие выводы:

- корреляционный анализ следует внедрять на сети дорог как элемент системы поддержки принятия решений в системе менеджмента качеством работы железнодорожного транспорта;
- корреляционный анализ необходимо использовать для выявления недостоверных исходных статистических данных;
- повышение достоверности показателей нужно осуществлять за счет автоматизации учета и обработки первичной информации;
- требуется дальнейший анализ показателей работы железной дороги для формирования совокупности показателей, используемых в системах менеджмента качества;
- анализ выявленных корреляционных зависимостей следует использовать в качестве исходных данных для реинжиниринга системы управления железнодорожным транспортом путем акцентирования работ в соответствии с выявленными тенденциями и зависимостями;
- требуется дополнительный анализ влияния различных параметров на себестоимость и производительность дорог.

V. N. Suprun

**SYSTEM ANALYSIS OF RELATIONS BETWEEN RAILWAY  
TRANSPORT MAIN OPERATION FACTORS**

*It is given the results of correlation analysis of the main work factors of Russian railway transport. Calculations of 49 operation factors of 15 Russian Federation Railways for the period of 5 years are done. Formal and informal analyses of the results are made. The results confirmed the effectiveness of methods.*