

# Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта

И.К. ЛАКИН, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ (ИрГУПС)

**В ОАО «РЖД» идет внедрение системы менеджмента качества (СМК), базирующейся на международном стандарте серии ISO9000. В стандарте сформулированы 8 принципов управления качеством, седьмой из которых звучит как «принятие решений, основанное на фактах». К сожалению, несмотря на большие достижения в области информатизации транспорта, качество статистических данных остается на достаточно низком уровне.**

Выполненный корреляционный анализ 49 основных показателей работы ОАО «РЖД» за 5 лет по 15 железным дорогам позволил наряду с закономерностями выявить группу показателей, обладающих низкой достоверностью. Многими из них практически нельзя пользоваться. Проанализированы причины, в числе которых и неправильно организованная мотивация труда, и завышенные требования к постоянному росту показателей. Предлагается широко внедрять методы статистического управления, в том числе предложенную в статье методику корреляционного анализа показателей работы транспорта.

## Задачи исследования

С момента преобразования в 2003 году МПС РФ в ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») стала актуальна задача существенного повышения качества технологических процессов перевозочного процесса. Необходимость обеспечения конкурентоспособности железных дорог, повышения эффективности работы, снижения себестоимости — эти и другие задачи могут быть решены только с внедрением в корпорации системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с международными стандартами серии ISO9000. Работы в области СМК являются достаточно новыми для железнодорожного транспорта и требуют научной проработки.

Одним из важных вопросов при управлении качеством технологических процессов является информационная поддержка принятия решений, ис-

пользование статистических методов обработки информации, работа «по фактам». Созданные в мире эффективные системы управления качеством всегда имели в своей основе статистическую модель управления качеством, опирались на современные методы математического анализа. Задача создания системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении качеством железнодорожных перевозок не решена и 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. 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. Недостаточно проработаны методы системного анализа показате-

лей ОАО «РЖД». Необходимы теоретические и прикладные исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития железнодорожного транспорта, ориентированные на повышение эффективности управления с использованием современных методов обработки информации.

## Методология исследования

Для решения поставленной задачи, т.е. определения показателей для контроля качества технологических процессов железнодорожного транспорта, выбран метод корреляционного анализа. Использование данного метода позволяет оценить независимость показателей, их взаимное влияние, выявить закономерности. По отсутствию очевидных закономерностей можно 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 о фактических взаимозависимостях и влиянии показателей 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 (нет корреляции) до 1 или  $-1$  (линейная прямая или обратная зависимость).

Корреляционный анализ дает объективные данные о взаимном влиянии

**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

двух случайных величин. Однако вывод о том, кто от кого 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 выполнения в исследовании отдельно формального и неформального анализов.

В качестве исходных данных взяты основные показатели работы 15 железных дорог (всех, кроме Сахалинской и Калининградской) за каждый месяц в течение 5 лет (2000–2004 гг.). Всего рассмотрено 49 основных показателей работы железных дорог при выборке по каждому  $5 \times 12 = 60$  значений. Общее число исходных данных:  $49 \times 60 \times 15 = 44100$ . Число рассмотренных корреляционных пар: 233 по каждой из 15 дорог, всего — 3495. Общее число исходных пар для расчета:  $3495 \times 60 = 209700$ .

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:

$$|r| \geq r_{\text{табл}} \quad [1]$$

Значения коэффициента корреляции  $r$  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 не превышения расчетного значения  $\chi^2_{\text{расч}}$  табличного  $\chi^2_{\text{табл}}$ .

Исходные данные были представлены в виде Excel-таблиц. Выполнен пересчет нарастающего итога 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, систематизированы и проанализированы.

### Очевидные результаты расчетов

Предложенная методика использования методов корреляционного анализа подтвердила свою эффективность: полученные данные обладают информационной значимостью (табл. 1), большинство полученных по разным дорогам данных подчиняются нормальному закону распределения случайных величин (по критерию Пирсона), очевид-

Таблица 2. Очевидные закономерности

№ п/п	Закономерность	$r_{\text{ср}}$
1	Объем перевозок на всех дорогах существенно зависит от объема погрузки	0,73
2	Производительность вагона зависит от: <ul style="list-style-type: none"> <li>• времени его оборота;</li> <li>• среднесуточного пробега;</li> <li>• простоя под грузовыми операциями;</li> <li>• простоя на технических станциях;</li> </ul>	-0,92
		0,97
		-0,89
		-0,82
3	Оборот вагона ухудшается с ростом процента неисправных вагонов	0,54
4	Производительность вагона на большинстве дорог напрямую связана с: <ul style="list-style-type: none"> <li>• производительностью локомотива;</li> <li>• пробегом локомотива.</li> </ul>	0,77
		0,75
5	Среднесуточный пробег вагона обратно зависит от: <ul style="list-style-type: none"> <li>• простоя под грузовыми операциями;</li> <li>• простоя на технических станциях.</li> </ul>	-0,87
		-0,81
6	Среднесуточный пробег вагона напрямую связан с: <ul style="list-style-type: none"> <li>• пробегом локомотива;</li> <li>• производительностью локомотива.</li> </ul>	0,73
		0,77
7	Рост нагрузки вагона приводит к увеличению простоя под грузовыми операциями	0,64
8	Участковая и техническая скорости существенно связаны	0,51
9	Участковая скорость влияет на пробег локомотива	0,79
10	Техническая скорость влияет на пробег локомотива	0,8
11	Производительность локомотива связана с его пробегом	0,73
12	Рост балловой оценки пути напрямую связан с протяженностью неудовлетворительных участков	
13	Удельный расход электроэнергии снижается при росте: <ul style="list-style-type: none"> <li>• грузооборота;</li> <li>• среднего веса грузового поезда</li> </ul>	-0,6
		-0,5
14	Прибыль связана с уменьшением удельного расхода: <ul style="list-style-type: none"> <li>• электроэнергии;</li> <li>• топлива</li> </ul>	-0,7
		-0,5
15	Прибыль от перевозок напрямую связана с: <ul style="list-style-type: none"> <li>• доходами от перевозок;</li> <li>• производительностью труда работников;</li> <li>• грузооборотом.</li> </ul>	0,72
		0,81
		0,7
16	Рост производительности приводит к росту доходов	0,88
17	Расходы дороги существенно зависят от: <ul style="list-style-type: none"> <li>• себестоимости грузовых перевозок;</li> <li>• среднемесячной зарплаты.</li> </ul>	0,60
		0,58
18	Себестоимость грузовых перевозок существенно зависит от среднемесячной зарплаты	0,97
19	Рост численности работников приводит к снижению: <ul style="list-style-type: none"> <li>• заработной платы;</li> <li>• производительности труда.</li> </ul>	-0,7
		-0,35

ные закономерности подтверждают правильность выполненных расчетов (табл. 2).

**Примечание:** средние значения коэффициентов корреляции  $r_{\text{ср}}$ , приведенные в таблицах с точностью до двух знаков, подчиняются нормальному закону распределения случайной величины по критерию Пирсона, до одного знака — нет.

Приведенные в табл. 2 данные хоть и очевидны, но представляют интерес с точки зрения степени взаимозависимости показателей. Например, у «грузящих»

дорог погрузка больше влияет на объем перевозок. Минимальный коэффициент корреляции оказался у Забайкальской жд, занятой в основной транзитом грузов между Дальневосточной и Восточно-Сибирской дорогами. Исходя из этого факта, можно по-разному «спрашивать» с дорог за объем выполненной погрузки и оценивать эффективность их работы.

### Неочевидные результаты расчетов

Анализ позволил выявить ряд закономерностей, не являющихся очевидными

**Созданные в мире эффективные системы управления качеством всегда имели в своей основе статистическую модель управления качеством, опирались на современные методы математического анализа. Задача создания системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении качеством железнодорожных перевозок не решена и является актуальной научной задачей.**

**Таблица 3. Неочевидные закономерности**

№ п/п	Закономерность	$r_{cp}$
1	Производительность вагона больше зависит от <ul style="list-style-type: none"> <li>• технической скорости,</li> <li>• чем от участковой</li> </ul>	0,66 0,31
2	Оборот вагона уменьшается с ростом числа неисправных электровозов, кроме Красноярской и Северной железных дорог и тепловозов, кроме Восточно-Сибирской жд.	-0,6
3	Производительность вагона существенно зависит от веса поезда	0,7
4	Увеличение простоя вагона на технической станции приводит к уменьшению пробега локомотива	-0,8
5	Увеличение массы поезда приводит к росту <ul style="list-style-type: none"> <li>• технической скорости;</li> <li>• производительности;</li> <li>• пробега локомотива.</li> </ul>	0,4 0,7 0,7
6	С ростом массы поезда растет среднесуточный пробег	0,7
7	Участковая скорость несколько уменьшается <ul style="list-style-type: none"> <li>• с ростом балловой оценки пути (<math>r_{cp} = -0,24</math>)</li> <li>• увеличением протяженности неудовлетворительных участков</li> </ul>	-0,24 -0,17
8	Удельный расход электроэнергии увеличивается при росте времени оборота вагона	0,5
9	Прибыль от перевозок напрямую связана с расходами	0,65
10	Прибыль не имеет достоверной зависимости с численностью работников, среднемесячной зарплатой, дебиторской и кредиторской задолженностями	
11	Рост доходов дороги сопровождается ростом расходов	0,99
12	Рост доходов дороги сопровождается ростом кредиторской задолженности	0,5
13	Рост доходов дороги сопровождается ростом среднемесячной зарплаты	0,53
14	Кредиторская задолженность приводит к росту себестоимости грузовых перевозок	0,7
15	Увеличение массы поезда сопровождается ростом прибыли	0,31
16	Себестоимость грузовых перевозок существенно зависит от времени оборота вагона	-0,7
17	Рост среднемесячной зарплаты приводит к росту производительности труда; возможно наоборот: рост производительности ведет к росту заработной платы	0,18
18	Увеличение массы поезда в целом приводит к увеличению протяженности неудовлетворительных участков	0,31
19	Рост балловой оценки пути приводит к росту: <ul style="list-style-type: none"> <li>• себестоимости;</li> <li>• прибыли.</li> </ul>	0,22 0,42
20	Рост протяженности неудовлетворительного пути приводит к росту <ul style="list-style-type: none"> <li>• себестоимости;</li> <li>• прибыли.</li> </ul>	0,30 0,47
21	Нет достоверной информации о влиянии участковой и технической скорости на себестоимость перевозок и прибыль	

**Таблица 4. Данные, обладающие низкой достоверностью**

№ п/п	Закономерность
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

**Таблица 5. Примеры корреляции параметров с  $V_{тех}$  и  $V_{уч}$**

№ п/п	Показатель	$r_{cp} V_{тех}$	$r_{cp} V_{уч}$
1	Техническая скорость	1	0,64
2	Участковая скорость	0,64	1
3	Пробег локомотива	0,79	0,51
4	Производительность локомотива	0,63	0,24
5	Пробег вагона	0,67	0,33
6	Производительность вагона	0,66	0,31

**Таблица 6. Примеры корреляции с себестоимостью перевозок**

№ п/п	Показатель	$r_{cp}$
1	Доходы	0,72
2	Вес поезда	0,8
3	Время оборота вагона	-0,7
4	Среднесуточный пробег вагона	0,7
5	Простой вагона под грузовой операцией	-0,7
6	Простой вагона на технической станции	-0,7
7	Численность работников	-0,6
8	Грузооборот	0,45
9	Производительность локомотива	0,70

ми, использование которых в СППР будет особенно полезным и эффективным (табл. 3).

Анализ неочевидных закономерностей позволяет более четко понять суть процессов на транспорте. При принятии тех или иных решений можно будет оценить побочные эффекты — как положительные, так и отрицательные.

Например, среднесуточный пробег локомотива увеличивается с ростом массы поезда. Этот факт неочевиден, т.к. время разгона тяжеловесного состава больше. Кроме того, на ряде дорог максимальная скорость этих поездов ограничена до 80 км/ч. Тем не менее, оказалось, что за счет маршрутизации средняя скорость движения тяжеловесных поездов растет.

Другой пример: увеличение массы поезда приводит к увеличению протяженности неудовлетворительных участков, но с коэффициентом корреляции 0,31. Таким образом, нет катастрофических последствий от введения тяжеловесных поездов.

Интересен и другой факт. Прибыль не имеет достоверной зависимости с численностью работников, среднемесячной зарплатой, дебиторской и кредиторской задолженностями. Встает вопрос о целесообразности продолжающегося сокращения числа работников, что, в свою очередь, приводит к дезорганизации производства: проведенное автором статьи анкетирование показало, что в качестве главной причины низкого качества работы локомотивных депо (после снабжения) работники единогласно называют сокращение штатов, приведшее к хаосу в должностных обязанностях, значительной перегрузке работников. Кстати, рост заработной платы оказался только на третьем месте, что ярко характеризует очевидность первых двух проблем.

### Практическое использование полученных результатов

#### Нарушение технологии работы

Корреляционный анализ позволяет выявлять и нарушения в технологии работы транспорта. В качестве примера интересно рассмотреть взаимосвязь простоя под грузовой операцией и на технической станции (см. табл. 3). Это два независимых процесса, корреляция между которыми должна отсутствовать. Но работники станции, стремясь уменьшить простой под грузовыми операциями (показатель, за который наказывают), «на бумаге» переводят ва-

гоны в «неисправные», тем самым, улучшая показатели по погрузке. В результате появляется объективная корреляция, которой, по сути, не должно было быть. Таким образом, наличие дополнительных связей может служить признаком нарушения технологии работы.

### Недостовверные данные (артефакты)

Анализ выявил недостаточность некоторых данных (артефакты) по не объективному существенному разбросу значений корреляции по разным дорогам (табл. 4). Меньше, но требуют рассмотрения достоверности показатели 4–6.

Интересен следующий факт: недостаточными оказались именно те данные, за которые «бьют», которые учитываются особо. Из табл. 4 становится понятным принцип Э. Деминга «борьба со страхами»: волевые принципы управления приводят к искажению исходной информации. Ее дальнейшее использование в практической работе становится затруднительным, может, даже невозможным и, хуже того, вредным! Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанный метод в качестве способа выявления недостаточности данных: необоснованный разброс коэффициентов корреляции по данным различных подразделений (дорог, отделений, предприятий и др.), отсутствие нормального закона распределения совокупности показателей от всех подразделений, скорее всего, свидетельствует о низкой достоверности данных. «Подтасовать» факты таким образом, чтобы корреляционный анализ этого не заметил, достаточно проблематично.

### Техническая и участковая скорости

Следует отдельно остановиться на данных по скорости движения. Параметры работы дорог в значительной степени зависят от технической скорости  $V_{тех}$  и в меньшей степени от участковой  $V_{уч}$ , при том, что коэффициент корреляции этих двух параметров равен 0,64. Примеры приведены в табл. 5.

**НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ НЕТ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПРОВДИМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ МАССЫ Поезда, РОСТУ СКОРОСТИ И ДР. БОЛЕЕ ТОГО, БОРЬБА ЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА, ОБЫЧНО СВОДЯЩАЯСЯ К ПРЕСЛОВУТЫМ СОКРАЩЕНИЯМ, СОПРОВОЖДАЕТСЯ ПОСТОЯННЫМ РОСТОМ СЕБЕСТОИМОСТИ ПЕРЕВОЗОК!**

На железнодорожном транспорте традиционно более важным показателем считается участковая скорость. Данные же расчета показали, что более чувствительным показателем является техническая скорость. Оговоримся, что не исключена ранее описанная проблема: работников «бьют» за участковую скорость, что приводит к снижению корреляции.

### Себестоимость перевозок

Неожиданным результатом следует считать данные по зависимости себестоимости от интенсивности работы дорог. Считается, что увеличение объема работ дороги, ее загруженность уменьшает себестоимость. Однако получены следующие зависимости себестоимости от показателей работы дорог (табл. 6).

Рост интенсивности работы 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 очевиден и требует дальнейшего исследования. Причиной результата может быть обусловленный другими причинами быстрый рост себестоимости.

Второй результат, аналогичный предыдущему и требующий дополнительного рассмотрения (возможно, совместно с предыдущим), — это взаимосвязь расходов и производительности: коэффициент корреляции равен 0,85!

Следствием полученного результата является важный вывод: на сегодняшний день нет объективной оценки проводимых мероприятий по увеличению массы поезда, росту скорости и др. Более того, борьба за производительность труда, обычно сводящаяся к пресловутым сокращениям, сопровождается постоянным ростом себестоимости перевозок! Так стоит ли затрачивать столько сил на рост производительности при неочевидности полученных результатов? Данные табл. 6 требуют серьезных дополнительных исследований.

### Динамика изменения коэффициентов корреляции

Еще одно направление практического использования предложенной методики — это анализ не самих значений коэффициентов корреляции, а динамики их изменения. В самом первом приближении — это контроль наличия (исчезновения) нормального закона, смена знака коэффициента корреляции на противоположный, разброс значений коэффициента по разным дорогам. Реакция на перечисленные события позволит вовремя принять адекватные меры на изменившуюся по тем или иным причинам ситуацию.

### Выводы

На основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- корреляционный анализ следует внедрять на сети дорог как элемент системы поддержки принятия решений в системе менеджмента качества работы железнодорожного транспорта;
- корреляционный анализ следует использовать для выявления недостаточных исходных статистических данных, а также случаев нарушения технологии работы дорог;
- повышение достоверности показателей следует осуществлять за счет автоматизации учета и обработки первичной информации;
- необходим дальнейший анализ показателей работы дороги с целью формирования совокупности показателей для использования в системах менеджмента качества (СМК);
- анализ выявленных корреляционных зависимостей следует использовать как исходные данные для реинжиниринга системы управления железнодорожным транспортом путем акцентирования работ в соответствии с выявленными тенденциями и зависимостями;
- требуется дополнительное исследование по анализу влияния различных параметров на себестоимость и производительность дорог.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вещель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 480 с.
2. Информационный справочник по основным показателям работы железных дорог. 1998/1999, 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002, 2002/2003 гг. ЦНИИТЭИ МПС. — М.: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004.
3. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги. — М.: Транспорт, 1983. — 328 с.
4. Суфрун В.Н., Лакин И.К. Системный анализ показателей работы железных дорог как исходных данных систем менеджмента качества. — Красноярск: Издательский центр «Платина», 2005. — 52 с.
5. Суфрун В.Н., Лакин И.К. История создания СМК и особенности ее внедрения на железнодорожном транспорте. — Красноярск: КФ ИрГУПС, 2006. — 92 с.