

С. А. Ярещенко

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ ОТ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Приведен метод анализа системных связей между различными показателями качества эксплуатации метрополитенов, с целью получения научно-обоснованного энергосберегающего графика движения поездов будущего Красноярского метрополитена.

В 2012 г. в Красноярске планируется запуск первой линии метрополитена, которая соединит Октябрьский район с центром города. В настоящее время, когда Красноярский метрополитен еще находится в степени проектирования и строительства, особенно актуально провести ряд исследований, целью которых является выявление системных связей между основными показателями качества эксплуатации будущего метрополитена, для снижения расхода электроэнергии на тягу поездов при их дальнейшей работе.

Автором были проведены следующие исследования:

- сбор и обработка данных о пассажиропотоках Красноярска по направлениям линий будущего метрополитена;
- анализ работы метрополитенов России и СНГ с точки зрения их сходства с будущим метрополитеном Красноярска по основным показателям качества эксплуатации;
- корреляционный анализ между основными показателями качества эксплуатации наиболее похожего метрополитена и его расходом электроэнергии на тягу поездов.

Для сбора информации о пассажиропотоках Красноярска автором были проанализированы различные методы и сделан вывод о наилучшей пригодности натурального метода измерения, основанного на визуальных наблюдениях.

Сбор и первичная обработка полученных данных проводились следующим образом [1]:

- подсчитывалось количество проходящего городского пассажирского транспорта (автобусы, троллейбусы) вдоль линий будущего метрополитена в обоих направлениях за 5-минутный интервал;
- определялась наполняемость пассажирского транспорта (в процентах);
- определялся пассажиропоток вдоль линий будущего метрополитена.

Анализ метрополитенов России и СНГ показал, что Красноярский метрополитен более всего похож на метрополитены Новосибирска, Самары, Екатеринбурга и Казани по таким основным показателям качества эксплуатации, как эксплуатационная длина линий, количество станций, плотность метрополитена, количество электродепо, количество тяговых подстанций, перевозка пассажиров в среднем за сутки и т. п. После более детального анализа показателей было получено, что Красноярский метрополитен по показателям качества эксплуатации имеет наибольшее сходство с Новосибирским метрополитеном.

Для анализа показателей качества Новосибирского метрополитена были собраны и систематизированы месячные показатели о его работе за период с 1998 г. по

сентябрь 2007 г., наиболее полно характеризующие деятельность метрополитена:

- перевозка пассажиров, тыс. человек;
- количество пропущенных поездов;
- средние размеры движения, пар поездов в час;
- пробег вагонов с пассажирами, тыс. вагоно-километров;
- общий пробег подвижного состава (ПС), тыс. вагоно-километров;
- интервал движения, мин;
- эксплуатационная скорость, км/ч;
- техническая скорость, км/ч;
- расход электроэнергии на тягу поездов, тыс. кВт · ч;
- общий расход электроэнергии, кВт · ч;
- производительность труда.

Показатели работы Новосибирского метрополитена записывались в электронном виде в формате Microsoft Excel, где создавалась одна таблица согласно систематизированной информации по парам показателей работы метрополитена.

Исходные данные по Новосибирскому метрополитену были приведены с нарастающим итогом. Следовательно, перед началом расчета их следовало нормализовать, т. е. пересчитать по каждому месяцу отдельно. При этом был проведен логический анализ данных на достоверность по величине показателя, который не может быть существенно больше или меньше определенного значения. Далее данные проверялись по критерию Пирсона на нормальное распределение случайной величины.

При проведении опытных проверок достоверности получаемых показателей учитывалась следующая особенность метода корреляционного анализа: если тот или иной показатель представлен в виде нарастающего итога, то значение корреляции будет завышено по сравнению с реальным [3].

Для решения поставленной задачи в расчетах требовалось принимать за базис реальные значения показателей. Эта операция производилась следующим образом. Поскольку показатель в начале года в первом месяце дан в реальном значении, а последующие одиннадцать – с нарастающим итогом, т. е. к реальному значению прибавляется изменение показателя в следующем месяце этого же года, то из показателей последующего месяца необходимо вычесть показатели предыдущего месяца, начиная с февраля. Результатом пересчета стало отражение смещения точек по показателям базиса и данных, указанных в нарастающем итоге.

В заключение энергопотребление сравнивалось поочередно с остальными показателями. Полученные дан-

ные явились не только конечным результатом расчета, но и исходными данными для дальнейшего исследования.

Приведем значения коэффициентов корреляции между потреблением электроэнергии на тягу поездов и другими показателями качества эксплуатации метрополитена, а также краткий анализ полученных данных:

– коэффициент корреляции энергопотребления и перевозки пассажиров $K_{кор} = 0,334$. Энергопотребление на тягу поездов с ростом количества перевезенных пассажиров увеличивается незначительно. Это можно объяснить тем, что данные о количестве пассажиров являются недостаточно достоверными: учет количества перевезенных пассажиров производился только по количеству проданных жетонов и не включал перевезенных льготных пассажиров и пассажиров, рассчитывающихся за проезд по проездной пластиковой карте. Кроме того, количество пассажиров в той или иной группе постоянно изменялось;

– коэффициент корреляции энергопотребления и количества пропущенных поездов $K_{кор} = 0,319$. Под количеством пропущенных поездов понимается количество поездов, которые проследовали от одной конечной станции данной линии до другой [4]. Коэффициент корреляции между этой парой показателей отражает незначительный рост количества потребленной энергии от числа пропущенных поездов. Однако анализу подвергались данные, собранные за период 1998–2007 гг., за который в метрополитене произошло немало изменений, обуславливающих снижение расхода электроэнергии на тягу поездов. К таким изменениям можно отнести как внедрение энергосберегающих технологий, так и существенное изменение самой структуры метрополитена;

– коэффициент корреляции энергопотребления и средних размеров движения, пар поездов в час, $K_{кор} = 0,381$. Слабая зависимость этих показателей объясняется тем, что количество пар поездов, пропущенных по линии в час, в среднем за месяц меняется незначительно;

– коэффициент корреляции энергопотребления и пробега вагонов с пассажирами, тыс. вагоно-километров, $K_{кор} = 0,482$. Рост расхода энергии на тягу поездов с увеличением пробега вагонов с пассажирами очевиден;

– коэффициент корреляции энергопотребления и общего пробега ПС, тыс. вагоно-километров, $K_{кор} = 0,512$. Общий пробег подвижного состава включает технологические передвижения по депо, нулевые рейсы и необходимые маневры в тупиках. Следовательно, общий пробег подвижного состава превышает пробег вагонов с пассажирами, что и объясняет большее значение коэффициента корреляции, чем у предыдущей пары показателей;

– коэффициент корреляции энергопотребления и интервала движения, мин, $K_{кор} = -0,6$. Данные об интервалах движения между поездами собраны за период 2005–2007 гг. Вначале вычислялось среднее значение интервала движения за сутки, а затем за месяц, затем полученные среднемесячные данные подвергались корреляционному анализу. Отрицательный коэффициент корреляции показывает, что с увеличением интервала движения энергопотребление заметно снижается;

– коэффициент корреляции энергопотребления и эксплуатационной скорости, м/ч, $K_{кор} = 0,484$. Повышение эксплуатационной скорости связано с еще большим повышением скорости движения на перегонах. Это приводит к росту сопротивления движению и, следовательно, к повышению расхода электроэнергии на тягу;

– коэффициент корреляции энергопотребления и технической скорости, км/ч, $K_{кор} = 0,012$. Изменение технической скорости слабо влияет на изменение эксплуатационной скорости. Кроме того, значительную часть расхода электроэнергии на тягу составляют режимы пуска подвижного состава, на перегонах же преобладают режимы тяги, выбега и торможения, несущественно влияющие на расход энергии по сравнению с режимом пуска. Таким образом, зависимость между рассматриваемой парой показателей является очень слабой;

– коэффициент корреляции энергопотребления и производительности труда $K_{кор} = 0,144$. Метрополитен характеризуется большей пропускной способностью по сравнению с другими видами общественного транспорта. При этом большинство эксплуатационных, технологических процессов и процессов, связанных с управлением метрополитенов, автоматизированы. Производительность труда на этом виде транспорта изначально высока и ее влияние на расход энергии незначительно.

Анализ полученных данных показал, что расход электроэнергии на тягу поездов более всего зависит от таких показателей, как средний интервал движения между поездами, общий пробег и пробег вагонов с пассажирами, эксплуатационная скорость. Эти показатели напрямую относятся к вопросам организации движения, особенно касающимся составления графика движения поездов.

Таким образом, примененный автором метод измерения пассажиропотоков дает достоверные данные, пригодные для дальнейшего анализа, а выявленные системные связи между отдельными показателями качества эксплуатации метрополитена позволяют получить научно-обоснованный энергосберегающий график движения поездов.

Библиографический список

1. Ярещенко, С. А. Анализ пассажиропотоков г. Красноярска / С. А. Ярещенко // Тр. 11-й науч.-практ. конф. / под ред. проф. И. К. Лакина ; Краснояр. филиал Иркут. гос. ун-та путей сообщения. Красноярск, 2007. С. 84–88.
2. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. 8-е изд., стер. М. : Высш. шк., 2003.
3. Супрун, В. Н. Системный анализ показателей работы железных дорог как исходных данных систем менеджмента качества / В. Н. Супрун, И. К. Лакин. Красноярск : Гротеск, 2005.
4. Организация движения поездов и работа станций метрополитена : учебник для подготовки рабочих на производстве / А. С. Бакулин, В. А. Пронин, Е. А. Федоров, К. И. Кудринская. М. : Транспорт, 1981.

SYSTEM CONNECTIONS ANALYSIS OF SUBWAYS BASIC TECHNICAL AND ECONOMICAL INDEXES

The system connections analysis method of subway quality exploiting indexes with the aim to ensure scientifically grounded power saving graphic of Krasnoyarsk future subway traffic.

УДК 629.78.051:681.3

А. В. Еремин, О. С. Иноземцева, А. А. Колташев, К. А. Кондратьев, К. Г. Львов

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Рассмотрены средства измерения бортового программного обеспечения (БПО), являющиеся частью технологии разработки и верификации БПО спутников связи и навигации и предназначенные для повышения качества и надежности бортовых программ.

Создание качественного и надежного бортового программного обеспечения (БПО) спутников связи и навигации всегда было и остается актуальной технологической задачей. Действующая в ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева» (НПО ПМ) технология разработки и верификации бортового программного обеспечения описана в [1; 2]. Частью этой технологии являются средства измерения программ БПО, применяемые для повышения качества и надежности бортовых программ.

Средства измерения программ БПО встроены в кросс-систему его программирования и применяются для бортовых компьютеров трех вычислительных платформ: С-32 (архитектура VAX 11/750), ОВС-1750 (архитектура MIL-STD-1750А) и БИВК (архитектура MIPS-III). Эти средства позволяют получить набор мер сложности исходного текста, эксплуатационные характеристики программы, выполнить профилирование, определить уровень тестирования программы, проверить выполнение проектных соглашений.

Средства измерения решают следующие функциональные задачи:

1) измерения исходного текста модулей с получением набора мер сложности бортовой программы на языке Модуля-2 [3];

2) получение оценочных формул, величин стека и времен исполнения бортовых программ в пакетном режиме тестирования, а также итогового отчета по стеку и временами исполнения бортовых программ;

3) получение отчета по объемам памяти бортовой программы;

4) построение процедурных профилей, построчных профилей, профилирование переменных бортовых программ:

– в пакетном режиме отладки: для всего пакета тестирования, для каждого варианта пакета тестирования, для каждого варианта пакета тестирования с сохранением истории предыдущих вариантов;

– в диалоговом режиме отладки.

Профили предоставляются для просмотра как в текстовом виде, так и в графических окнах в виде круговых и линейных гистограмм;

5) получение полноты тестирования бортовой программы по критериям С1 и С, создание html-отчетов о полноте тестирования, с просмотром через Internet Explorer;

6) проверка проектных соглашений с генерацией итогового html-отчета со ссылками на другие html-отчеты средств измерения и просмотр html-отчетов в Internet Explorer.

Средства измерения состоят из набора компонентов, интегрированных оболочкой средств измерения, которая запускается через меню кросс-системы программирования, предназначенной для разработки БПО.

Набор компонентов средств измерения включает следующие элементы:

– интегрирующую оболочку средств измерения ОСИ-М;

– метрический компилятор;

– профилировщик, встроенный в систему тестирования и отладки и работающий в двух режимах – пакетном и диалоговом;

– инструментальный кросс-компилятор;

– генератор отчетов о полноте тестирования;

– компоненты контроля выполнения проектных соглашений (КВПС): программу проверки комментариев и версий модулей; программу проверки структуры проекта; проверку уровня тестирования; проверку мер на критерии; создание отчета по временам и стекам; создание отчета по характеристикам памяти.

Кроме перечисленных выше компонентов, средства измерения используют компилятор и компоновщик из кросс-системы программирования Модуля-2 для перекомпилирования программы БПО перед получением эксплуатационных характеристик программы или профилированием.

Компоненты контроля тестирования, метрический компилятор и профилировщик разработаны ООО «Эксельсиор» (Новосибирск) на основе работы [3], выпол-