

инж. М.С. Тихов, д.т.н. Ю.С. Ромен

Система автоматической регистрации и обработки экспериментальной информации о воздействии экипажа на путь

Одним из важных этапов приемочных и сертификационных испытаний подвижного состава, в котором устанавливается соответствие экипажа действующим нормам безопасности движения и прочности пути, являются комплексные динамические и по воздействию экипажа на путь и стрелочные переводы испытания. Основой их методического обеспечения в настоящее время служит «Типовая методика испытаний по воздействию на путь» ТМ 14-01-02 [1], которая является методикой ИЦ ВНИИЖТ и входит в НБ ЖТ.

Увеличение объема перевозок, разработка большого количества новых моделей подвижного состава и современные экономические требования определяют необходимость проведения испытаний и обработки их результатов в возможно кратчайшие сроки. В отделении «Комплексные испытания и взаимодействие пути и подвижного состава» накоплен значительный опыт проведения испытаний и научно-исследовательских работ, С.С. Крепкогорским и А.А. Верхотиным была внедрена программная обработка опытных данных статистическими методами [2]. В 90-ых годах прошлого века А.В. Белоусовым разработано программное обеспечение для регистрации и обработки экспериментальных данных о динамике экипажа.

В 80-ых годах предлагались решения для частичной автоматизации

процессов регистрации и обработки данных о воздействии экипажа на путь с использованием промежуточной магнитной записи [3,4]. В этом случае значительная сложность была связана с необходимостью использования измерительных систем, рассчитанных на большое количество каналов и достаточно высоких частот регистрируемых процессов, до 250 Гц [1] при скоростях движения до 200 км/ч, что обуславливало высокую стоимость новой измерительной аппаратуры.

В полной постановке задача перехода на цифровую запись с использованием ЭВМ была решена только в 2003 году при испытаниях американских локомотивов в Эстонии с помощью специальных тензометрических усилителей со встроенными аналогово-цифровыми преобразователями Spider8 (производства HBM, Германия).

Для оценки достаточности экспериментальной информации, получаемой в процессе испытаний нового подвижного состава, принята соответствующая методика [5] на основе предложенной А.Н. Колмогоровым формулы. Для полученной максимальной вероятной величины с заданной точностью Δ и вероятностью 0,994 количество значений N данных измерений в выборке должно быть не менее чем:

$$N \geq \frac{9.375 * S^2}{\Delta}$$

здесь S – ожидаемое среднеквадратическое отклонение, ранее определяемое по предыдущим испытаниям подвижного состава, близкого по конструкции к испытываемому;

Δ – задаваемая погрешность определения максимального значения.

После работ по проведению измерений, которые включают в себя оборудование опытных участков, калибровку измерительных трактов и опытные поездки, наиболее трудоемким этапом испытаний является расшифровка экспериментальной информации и статистическая обработка данных. Применяемые ранее методы обработки (с помощью специальных палеток или дигитайзеров) требовали ручного выделения воздействия от каждой оси опытного экипажа для каждого прибора. Например, при проведении испытаний шестиосных локомотивов в 3 участках пути при 64 измерительных каналах и 100 опытных заездах объем информации для расшифровки превышает 200 тысяч точек, что при проведении обработки даже несколькими операторами не позволяло получить результаты испытаний быстрее, чем через несколько месяцев после их завершения.

В период 2002-2005 годов было разработано специальное программное обеспечение «Обработка экспериментальных данных по воздействию экипажа на путь» (ОЭДВЭП). Данное программное обеспечение предназначено для автоматической обработки экспериментальных данных по воздействию экипажа на железнодорожный путь и обеспечивает:

- возможность отказа от морально устаревшей техники (осциллографы, дигитайзеры) и использования современных технических измерительных средств, работающих под управлением ПЭВМ;
- возможность автоматизированной обработки экспериментальных данных, одинаковой при проведении любых испытаний по воздействию на путь (проводимых согласно ТМ 14-01-02);

- значительного сокращения трудозатрат и сроков проведения испытаний за счет сокращения времени на обработку опытных данных;

- упрощение системы оборудования и обработки, позволяющее в значительной мере исключить влияние человеческого фактора на результаты испытаний.

Разработанный комплекс программ обеспечивает возможность организации входного блока данных, в котором содержатся характеристики проведения испытаний на одном опытном участке – схема размещения приборов (места размещения, типы датчиков и номера соответствующих записей в файлах осциллограмм), эпюра укладки шпал, калибровочные коэффициенты всех датчиков, каталоги размещения данных, диапазоны скоростей, на которых производятся опытные поездки (схема организации данных представлена на рисунке 1).

Для обеспечения работы с входным блоком данных используются процедуры:

- редактирования, сохранения и загрузки всего блока, схемы размещения приборов, калибровочных коэффициентов, диапазона скоростей;

- задания режимов обработки: начальная или продолженная;

- задания параметров обработки данных: округления значений, учет калибровочных коэффициентов, движения челноком;

- задания схемы опытной сплотки (экипажей, числа осей, межосевых расстояний) и выделения экипажей, по которым далее необходимо производить статистическую обработку.

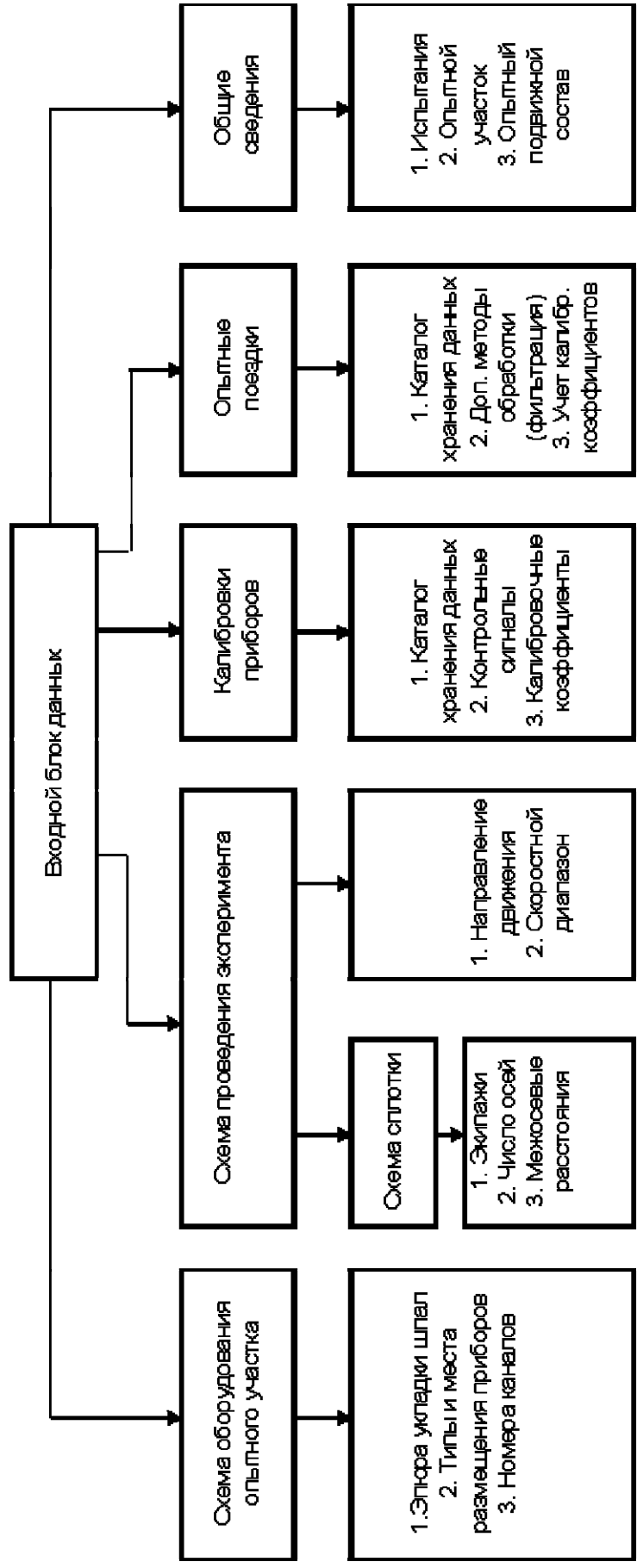


Рисунок 1 – Схема организации исходных данных

Для работы с опытной информацией применяются следующие подпрограммы:

- загрузки и отображения экспериментальных данных;
- просмотра экспериментальных данных до и после обработки с учетом выделенных показателей воздействия экипажей;
- цифровой фильтрации данных;
- автоматического расчета калибровок различных типов датчиков: напряжений в кромках подошвы рельсов, горизонтальных и вертикальных нагрузок на шпалы, горизонтальных (боковых) и вертикальных нагрузок на рельсы [6];
- проведения обработки экспериментальных осциллограмм с созданием текстовых файлов результатов по каждому типу датчиков, с выделением отдельно каждого заезда и прибора.

Входные данные программы имеют бинарный формат, так как необходимо проводить регистрацию опытных данных с высокими частотами оцифровки, и объем получаемой в испытаниях информации весьма существенен.

Выходные данные подпрограммы обработки осциллограмм являются входными для подпрограммы статистической обработки, в которой производится обработка данных согласно требованиям ТМ 14-01-02 «Типовой методике испытаний по воздействию на путь».

Выходные данные подпрограммы статистической обработки содержат следующую информацию:

- средние наблюдаемые, максимальные наблюдаемые (определяемые, как средние из трех максимальных полученных значений), максимально вероятные значения показателей воздействия экипажа на путь: напряжений в наружной и внутренних кромках подошвы рельсов, горизонтальных и вертикальных нагрузок на шпалы и на рельсы;

- статистические характеристики полусуммы и полуразности напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы рельса, которые соответственно характеризуют вертикальное и горизонтальное воздействие экипажа на путь;

- для каждого показателя отдельно определяются статистические характеристики для каждой оси опытных экипажей отдельно для каждой скорости движения и направления движения (при движении методом челнока).

Для объединения в одном программном комплексе всех этапов обработки данных и предоставления возможности производить ее одному оператору была разработана подпрограммы «ОЭДВЭП Stat», в которой были реализованы алгоритмы статистической обработки расшифрованной экспериментальной информации. На рисунке 2 показана возможность определения калибровочных коэффициентов, которая может производиться отдельно для каждого массива данных (это имеет большое значение в виду возможного выхода отдельных датчиков во время испытаний), и просмотра результатов обработки для каждой оси опытного подвижного состава с отображением гистограммы распределения экспериментальных величин и выравнивающих теоретических функций распределения.

На следующем этапе было разработано программное обеспечение, позволяющее производить регистрацию опытных данных не только в ручном режиме по включению оператором, но и автоматически. Был реализован автоматический режим, в котором производится постоянный опрос тензоусилителей и сохранение информации временной протяженностью 1 с в буфер. При превышении по выбранным каналам определенного уровня сигнала, информация из буфера переносится в файл и далее производится опытная запись. Сигналом о прекращении записи служит отсутствие превышения заданного уровня на протяжении некоторого времени, которое определяется в зависимости от скорости движения и наибольшего возможного расстояния между осями экипажей опытного поезда. Наличие буфера позволяет регистрировать нулевой уровень сигнала в начале опытной записи, также программно исключается возможность включения от случайных помех типа выплесков.

Такой подход позволяет минимизировать участие оператора при монотонной работе регистрации опытных заездов. Таким образом, исключается возможность случайных ошибок, а оператор может сосредоточиться на анализе и обработки информации. Также уменьшается разница между опытными записями, в частности типизируется протяженность регистрации нулевого уровня сигналов.

Опытное применение и доводка системы производились при серии приемочных испытаниях подвижного состава, в качестве иллюстрации результатов первичной обработки на рисунке 3 приведены записи боковых сил

при испытаниях электровоза 2ЭС5К «Ермак» в кривой радиусом 350 метров для одного датчика в зависимости от скорости движения. Из анализа рисунка видно, что с увеличением скорости движения боковые силы в рассматриваемом сечении пути возрастают для набегающих осей электровоза 2ЭС5К с 65 до 70 кН, а для не набегающих осей с 5 до 10 кН. Таким образом, боковые силы для данного электровоза в крутой кривой, в основном, состоят из квазистатической составляющей, определяемой вписыванием экипажа, и практически не изменяются при увеличении непогашенного ускорения, и, соответственно, вертикальной нагрузки на наружную нить кривой.

Объединение программы регистрации опытных данных и ОЭДВЭП позволяет проводить обработку экспериментальной информации непосредственно во время проведения испытаний, как между «окнами», так и даже между опытными заездами, так как участие оператора в работе минимизировано и сводится только к управлению всем программным комплексом.

Разработанное в настоящее время программное обеспечение позволяет оценивать среднеквадратическое отклонение непосредственно во время проведения испытаний, а не на основе априорной оценки по результатам предыдущих испытаний. Возможность проведения анализа изменения статистических характеристик в зависимости от количества заездов в выборке позволяет определять насколько значительно влияют последние заезды на изменение показателей и при необходимости либо прекращать поездки, либо производить дополнительные.

Подобная автоматизация процессов регистрации и обработки позволила применять экспресс-оценку экспериментальной информации не только в смысле оценки максимального уровня воздействия на путь по визуальному анализу исходя из требований безопасности движения, но и в смысле достаточности полученных данных на основе статистического анализа. В программе реализована возможность совместного просмотра записей и результатов обработки, что позволяет одновременно оценить общий уровень показателей воздействия на путь, сравнить между собой различные экипажи, проанализировать изменение нагрузок или напряжений по оси пути. На рисунке 4 приведен общий вид программы обработки в режиме просмотра обработанных осциллограмм боковых сил на испытаниях 2ЭС5К, из рисунка видно, что в целом уровень сил у 2ЭС5К сопоставим с ВЛ80, но в отдельных сечениях силы больше у 2ЭС5К, значения сил по оси пути изменяются от 40 до 70 кН, что не превышает допускаемого уровня в 100 кН и свидетельствует о влиянии неровностей на показатели горизонтального взаимодействия экипажа и пути.

Статистическая обработка экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии пути под воздействием подвижного состава заключается в следующем [2,5]: данные, полученные по одному и тому же показателю воздействия в разных сечениях пути, объединяются в одну статистику для каждой оси испытуемого экипажа; также объединяются данные, полученные во всех опытных заездах, проведенных в одном направлении и при одной скорости движения. Для полученной совокупности значений вычисляются первые четыре центральных момента, после чего определяются максимально вероятные

значения величины по одному из двух распределений – нормальному или Чебышева-Эрмита (Лапласа-Шарлье) с вероятностью 0,994, соответствующей в случае нормального распределения квантили математического ожидания плюс 2,5 среднеквадратического отклонения. Из двух распределений выбирается то, которое более точно описывает экспериментальную выборку. В том случае, если в данном цикле испытаний теоретические кривые распределения не соответствуют экспериментальным данным, в качестве оценки показателя выбирается среднее из трех максимальных наблюдаемых значений.

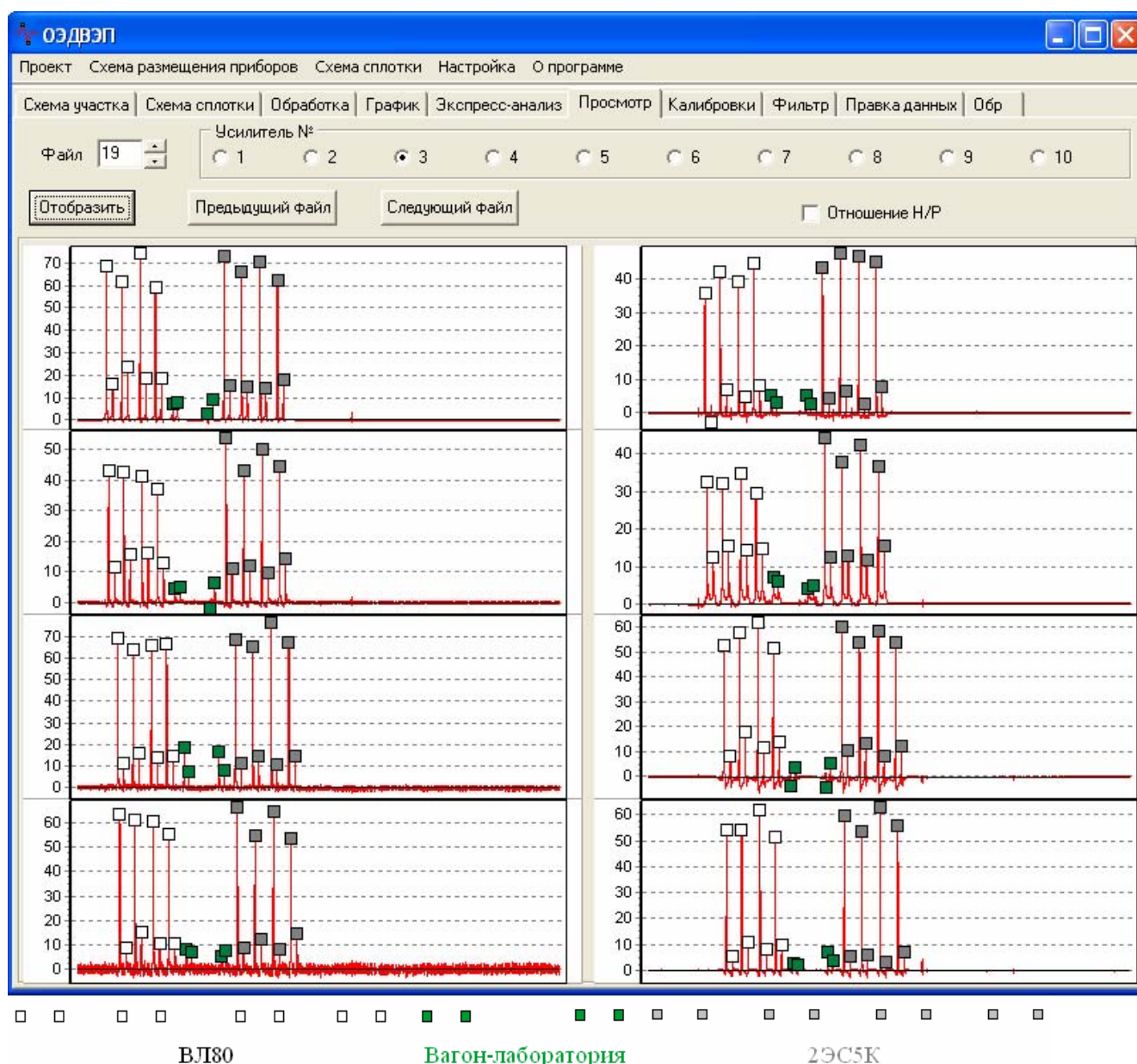


Рисунок 4 – Просмотр записей боковых сил при проведении испытаний

Выводы

Система автоматической регистрации и обработки экспериментальных данных обеспечивает:

- значительное сокращение трудозатрат при проведении испытаний;
- проведение экспресс-оценки достаточности опытных данных непосредственно во время проведения испытаний;
- уменьшение влияния человеческого фактора при обработке данных;
- обработку данных по воздействию на путь не только опытных экипажей, но для всего опытного поезда.

Список литературы

1. Типовая методика испытаний по воздействию на путь. ТМ-14-01-02. М.: ВНИИЖТ, 2002, 39 с.
2. Крепкогорский С.С., Верхотин А.А. Универсальная программа расчетов на ЭЦВМ показателей воздействия подвижного состава на путь / Труды ВНИИЖТ, вып. 542. М.: Транспорт, 1975, с. 93-110.
3. Скалов А.Д., Окунь Я.С., Гаврилов О.В. Магнитная запись и автоматическая обработка опытных данных по воздействию подвижного состава на путь / Труды ЦНИИ МПС, вып. 463. М.: Транспорт, 1972, с. 49-64.
4. Скалов А.Д., Попов М.П. Устройства для первичной обработки и автоматического ввода опытных данных в ЭВМ. / Труды ЦНИИ МПС, вып. 463. М.: Транспорт, 1972, с. 19-45.

5. Вериги М.Ф. Методическое пособие по применению математической статистики в обработке опытных данных. Новосибирск, 1964, 49 с.

6. Вериги М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986, 559 с.

(Железнодорожный транспорт на современном этапе. Задачи и пути их решения. Сборник статей. М.: ВНИИЖТ, 2008, с. 95-102).