

УДК 681.26.99

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВЗВЕШИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СОСТАВОВ В ДВИЖЕНИИ

К. Исаев

Приводятся описание и результаты тестирования разработанного автором универсального алгоритма идентификации и взвешивания железнодорожных составов в движении.

Для взвешивания железнодорожных составов без расцепки вагонов в движении применяются стационарные весы, состоящие из одной или нескольких грузоприёмных платформ, снабжённых, как правило, тензометрическими датчиками вертикальной составляющей действующей на эти платформы силы. Применение нескольких платформ, длины и расстояния между которыми согласованы с базами (расстоянием между тележками) некоторых типов вагонов позволяет взвешивать вагоны этих типов целиком, а не поосно-потележечно, как в общем случае. Такая же возможность появляется и для одной платформы, длина которой приблизительно равна длине (от сцепки до сцепки) выбранного типа вагонов. Условие, при котором такая возможность появляется, сводится к следующему: в процессе движения на некотором достаточно протяжённом интервале времени вагон должен пребывать **всеми** своими осями на одной или нескольких грузоприёмных платформах при отсутствии на этих платформах осей других (смежных) вагонов. Соответствующие интервалы времени будем называть **интервалами полного взвешивания** для данного вагона, а соответствующие им платформы - **активными** для данного полного интервала.

Определения массы вагона в случае существования для него интервала полного взвешивания предпочтительно производить путём суммирования отрезков осциллограмм (графиков изменения по времени) силы по всем активным для данного интервала платформам, с последующей обработкой полученного таким способом суммарного процесса. (Простейший метод обработки сводится к определению массы вагона как среднего арифметического значений суммарного процесса). Способ полного взвешивания обладает более высокой точностью по сравнению с поосно-потележечным способом. Это связано с тем, что в поосно-потележечном способе определение нагрузок на разные оси и тележки одного вагона производится по разным отрезкам осциллограмм, соответствующим в общем случае различным интервалам времени. Выигрыш по точности особенно заметен для не полностью заполненных маловязкой жидкостью цистерн: из-за переливания жидкости в нагрузках на тележки таких цистерн могут присутствовать значительные по амплитуде переменные по времени (колебательные) составляющие, находящиеся друг относительно друга в противофазе. В суммарном процессе (сумме нагрузок на обе тележки или все оси одного вагона на одном интервале времени) эти колебания взаимно компенсируются.

Универсальность разработанного алгоритма состоит в том, что он, во-первых, применим для весов практически **любых конфигурации**, т.е. состоящих из любого числа грузоприёмных платформ любых в общем случае различных длин,

расположенных на любых расстояниях друг от друга, и, во-вторых, **автоматически без каких-либо дополнительных измерительных устройств** только по осциллограммам вертикальных сил на входящих в состав весов грузоприёмных платформах идентифицирует составы (разбивает их на вагоны соответствующих типов), а также определяет массы вагонов и их осевые нагрузки **наилучшим по точности** способом. Последнее означает, что для каждого вагона в составе алгоритм определяет интервалы полного взвешивания и, если они существуют для данного вагона и имеют достаточную (для точного взвешивания) протяжённость, то поосно-потележечный способ определения массы этого вагона заменяется способом полного взвешивания. При этом при обнаружении для какого-либо вагона нескольких интервалов полного взвешивания результаты взвешивания на них объединяются путём суммирования с весовыми коэффициентами, пропорциональными длинам этих интервалов.

Для тестирования алгоритма была разработана специальная компьютерная программа, позволяющая формировать произвольные железнодорожные составы и моделировать для них процесс движения через весы произвольной конфигурации с различными скоростями. Для формирования составов был создан компьютерный справочник средств подвижного состава, включивший в себя подавляющее большинство локомотивов и вагонов, эксплуатирующихся в РФ. Результатом работы моделирующей программы являются модельные осциллограммы изменения вертикальной силы на грузоприёмных платформах весов, отражающие в себя помимо полезного сигнала различные мешающие точному взвешиванию процессы (“шумы”), в основном, механического характера: колебания (вибрации) вагонов на своих подвесках, удары колёс на стыках рельс при въезде на платформы и съезде с них, переливы жидких грузов в цистернах и т.п. Математически формирование модельной осциллограммы, приближённой к реальной, производится из предварительно сгенерированной идеальной осциллограммы, представляющей собой кусочно-постоянную функцию времени, путём её пропуска через ряд формирующих фильтров, моделирующих различные механические явления. Параметры формирующих фильтров пользователь программы задаёт по своему усмотрению, изменяя уровень и характер (частотную характеристику) тех или иных составляющих “шума” или подгоняя вид модельным осциллограмм к реальным (в качестве последних автор использовал осциллограммы, полученные на весах фирмы “Тензор”). Кроме скорости движения состава в программе можно задавать также ускорение движения, частоту съёма данных и разрядность системы измерений (АЦП).

Тестирование алгоритма сводилось к пропуску большого числа различных модельных, а также реальных осциллограмм через алгоритм (точнее, реализующую алгоритм программу) с последующим анализом полученных результатов. Для проверки алгоритма в максимально жёстких условиях, уровень “шумов” в модельных осциллограммах, как правило, значительно превышался по сравнению с реальностью.

В качестве примеров на рисунках показаны результаты тестирования одного и того же (чтобы не затемнять рисунки, состоящего всего лишь из пяти вагонов и локомотива) состава на весах разной конфигурации. Состав был набран из локомотива ТЭ 109 и следующих вагонов: 11-260, 15-884, 15-880, 15-871, 15-860. Ради простоты интерпретации результатов массы всех четырёхосных вагонов задавались равными 100 т, восьмиосных – 120 т, локомотива – 150 т. Для третьего и четвёртого вагонов моделировалось переливание жидких грузов. Уровень

механических “шумов” задавался приблизительно в два раза больше реальных, скорость движения состава – 30 км/ч, частота съёма данных – 3000 гц.

В левом нижнем углу всех рисунков отображены соответствующие им конфигурации весов: через дефис последовательно указаны длины весов и в круглых скобках расстояния между ними.

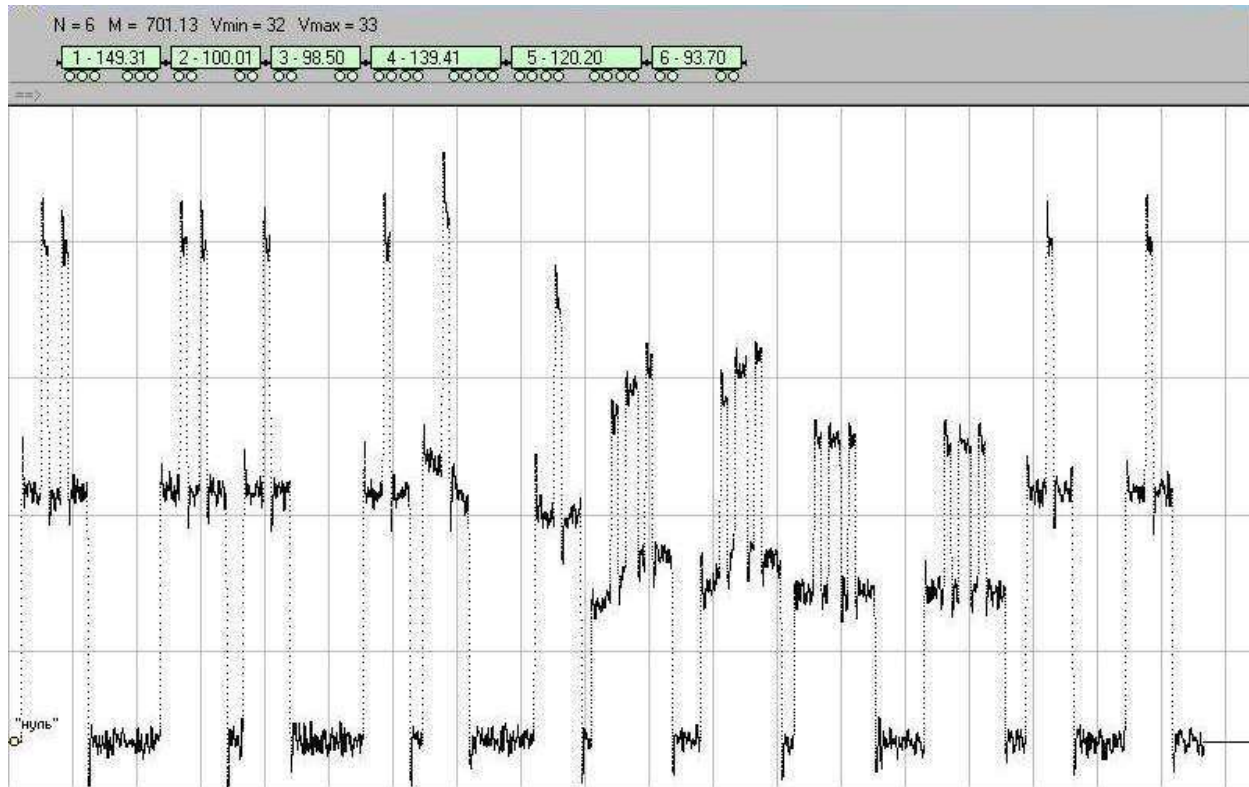
На рисунках показаны модельные осциллограммы (в количестве, равном числу грузоприёмных платформ в составе весов) и результаты обработки этих осциллограмм описанным алгоритмом в виде схематического изображения состава с указанием масс вагонов. При этом вагоны, которые взвесились целиком, изображены более светлыми, а соответствующие им интервалы времени полного взвешивания отмечены на осциллограммах двумя вертикальными линиями. Кроме основных функций, в алгоритме предусмотрено автоматическое слежение за “нулём” (компенсация “нуля”) в промежутках между проездом составов через весы, а также определение минимальной и максимальной скоростей движения состава при проезде, что нашло своё отображение на рисунках.

Результаты тестирования приводят к следующим основным выводам.

1. Для эффективной работы алгоритма необходимо, чтобы частота съёма данных (измерений) по всем грузоприёмным платформам одновременно была не ниже 500 гц на каждые 10 км/ч скорости движения состава, т.е. если, например, требуется гарантировать надёжную и точную работу весов на скоростях до 40 км/ч, то частота съёма данных должна быть не ниже 2000 гц.

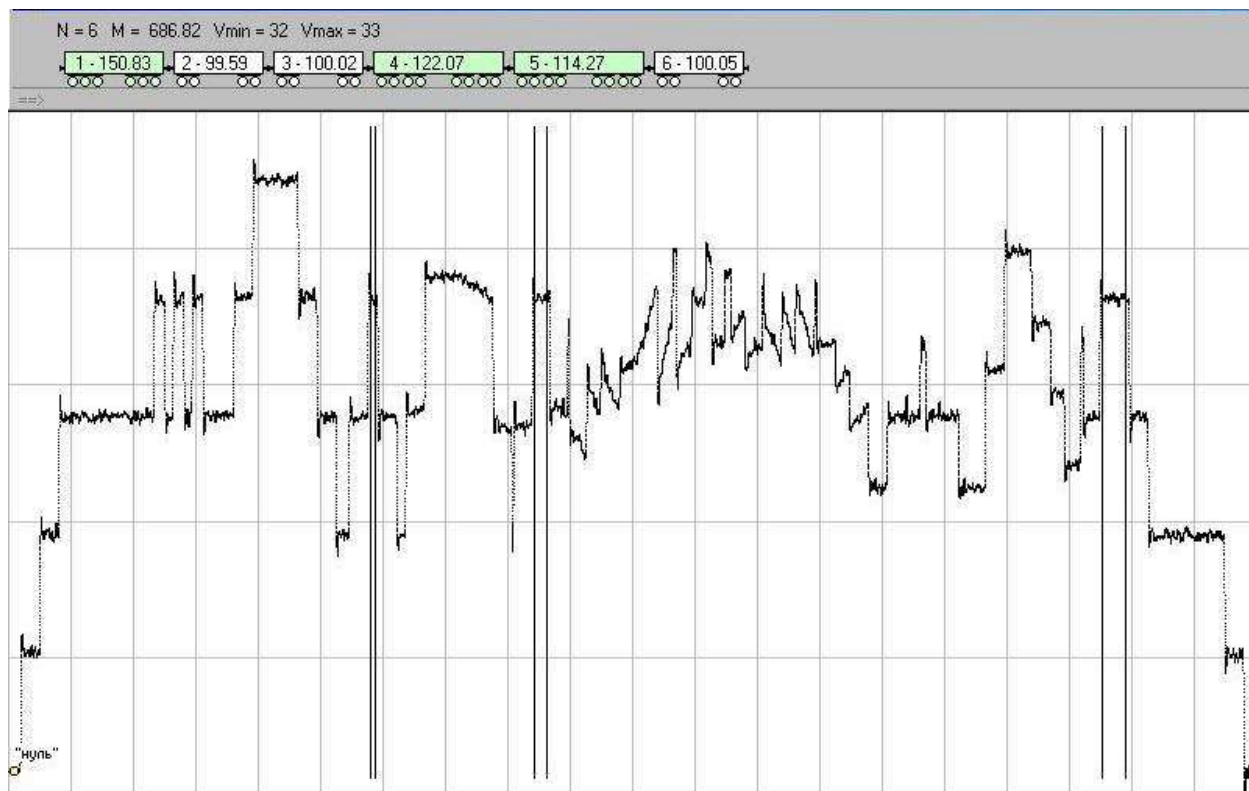
2. Реалистичными для алгоритма являются следующие предельные погрешности определения полной массы вагонов (при указанном выше ограничении на частоту съёма данных): на скоростях до 10 км/ч – 0.5%, до 20 км/ч – 1%, до 40 км/ч – 2%, свыше 50 км/ч – 5%.

3. Если переливающаяся масса жидких продуктов не превосходит 10% полной массы вагона (вполне реальное ограничение), т.е. если разность между переменными по времени составляющими нагрузок на тележки вагона не превосходит 20% полной массы вагона, то при взвешивании вагона по алгоритму полного взвешивания погрешность в определении массы увеличивается не более, чем в 1.5 раза. При приближении переливающейся массы к 20% (разности в нагрузках на тележки - к 40%) помимо возрастания погрешности алгоритм может давать сбои, особенно, в случаях когда колебания этих масс в смежных вагонах происходят синхронно и синфазно. Сбои эти проявляются в виде неправильной идентификации состава (приблизительно в 5% проездов для переливов в 20%).



Конфигурация весов: 2.50

Рис.1. Модельная осциллограмма и результат её обработки для одиночных весов 2.5 м.



Конфигурация весов: 14.00

Рис.2. Модельная осциллограмма и результат её обработки для одиночных весов 14 м.

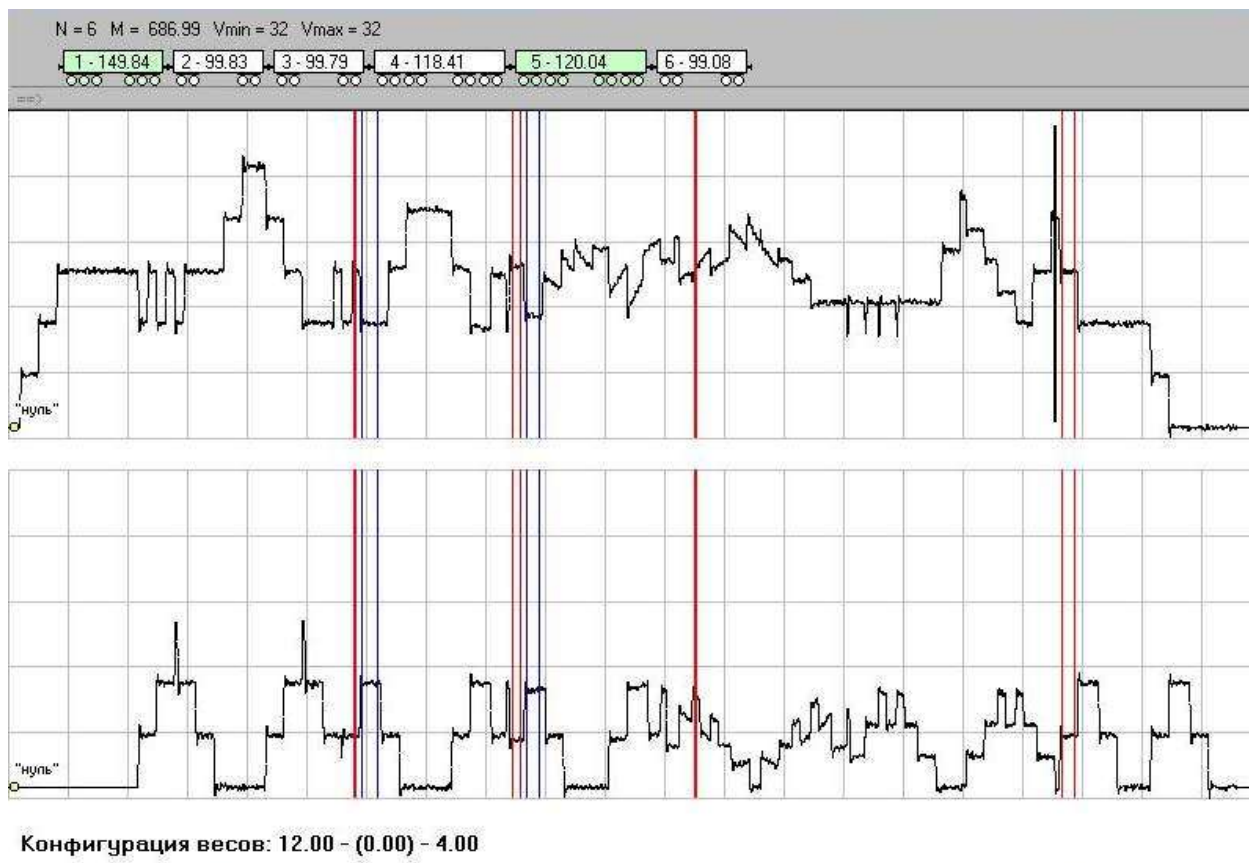
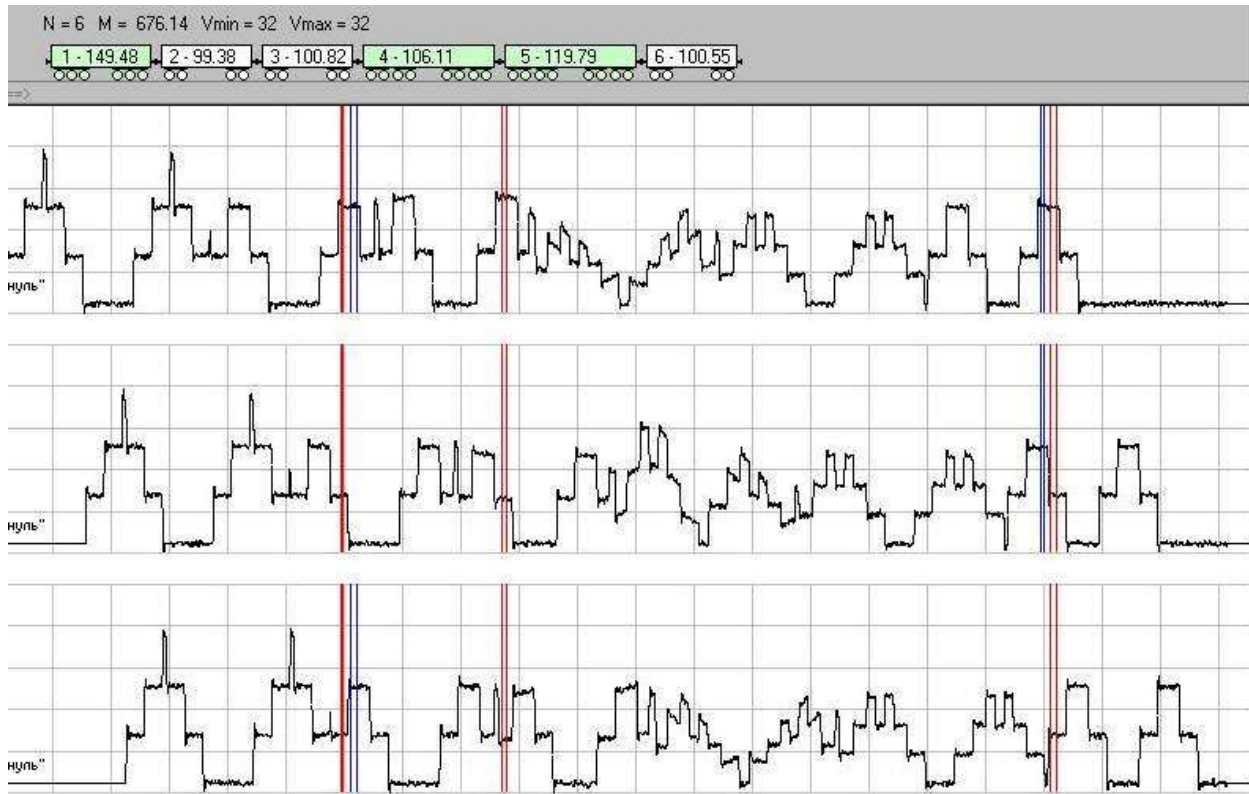


Рис.3. Модельные осциллограммы и результат их обработки для весов 12-(0)-4



Конфигурация весов: 4.10 - (0.00) - 4.10 - (4.10) - 4.10

Рис.4. Модельные осциллограммы и результат их обработки для весов 4.1-(0)-4.1- (4.1)-4.1

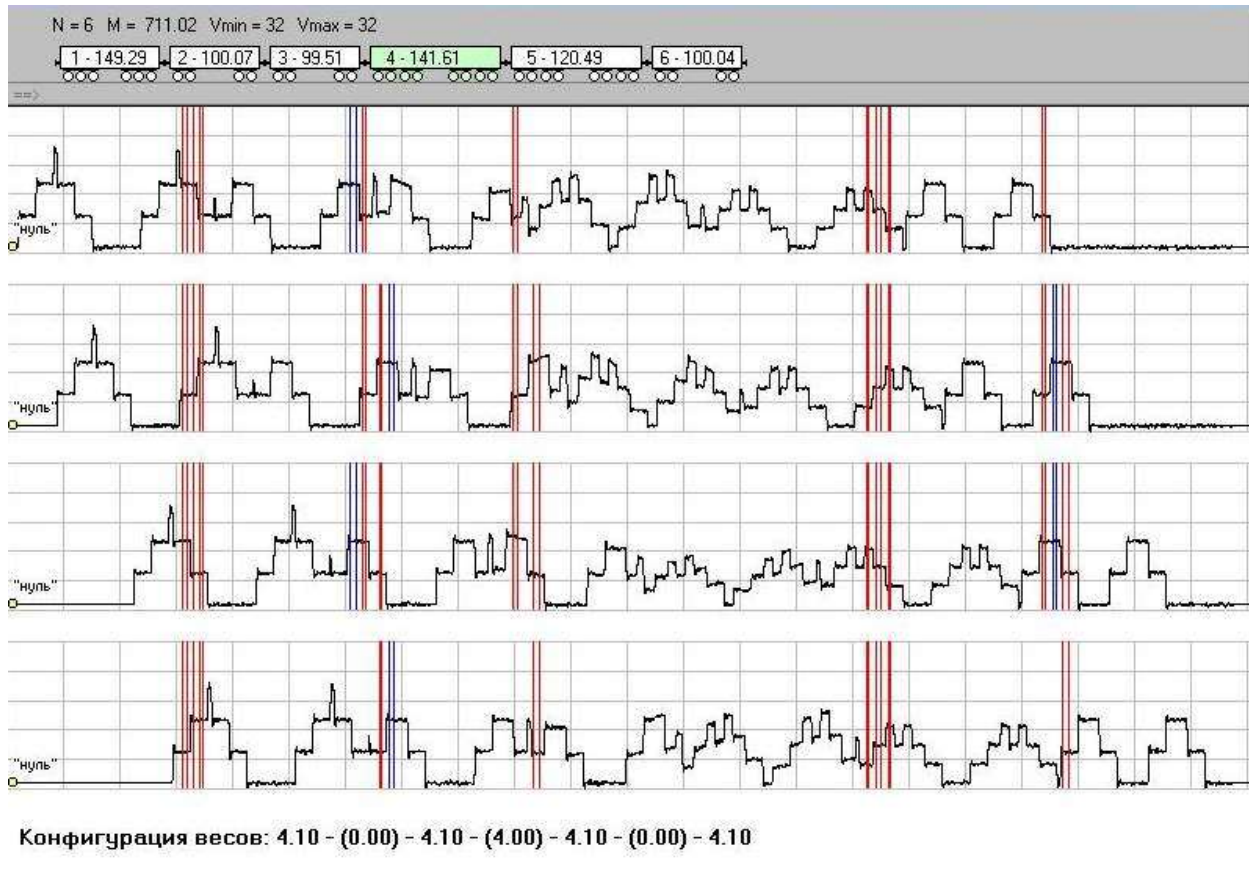


Рис.5. Модельные осциллограммы и результат их обработки для весов 4.1-(0)-4.1-(4)-4.1-(0)-4.1

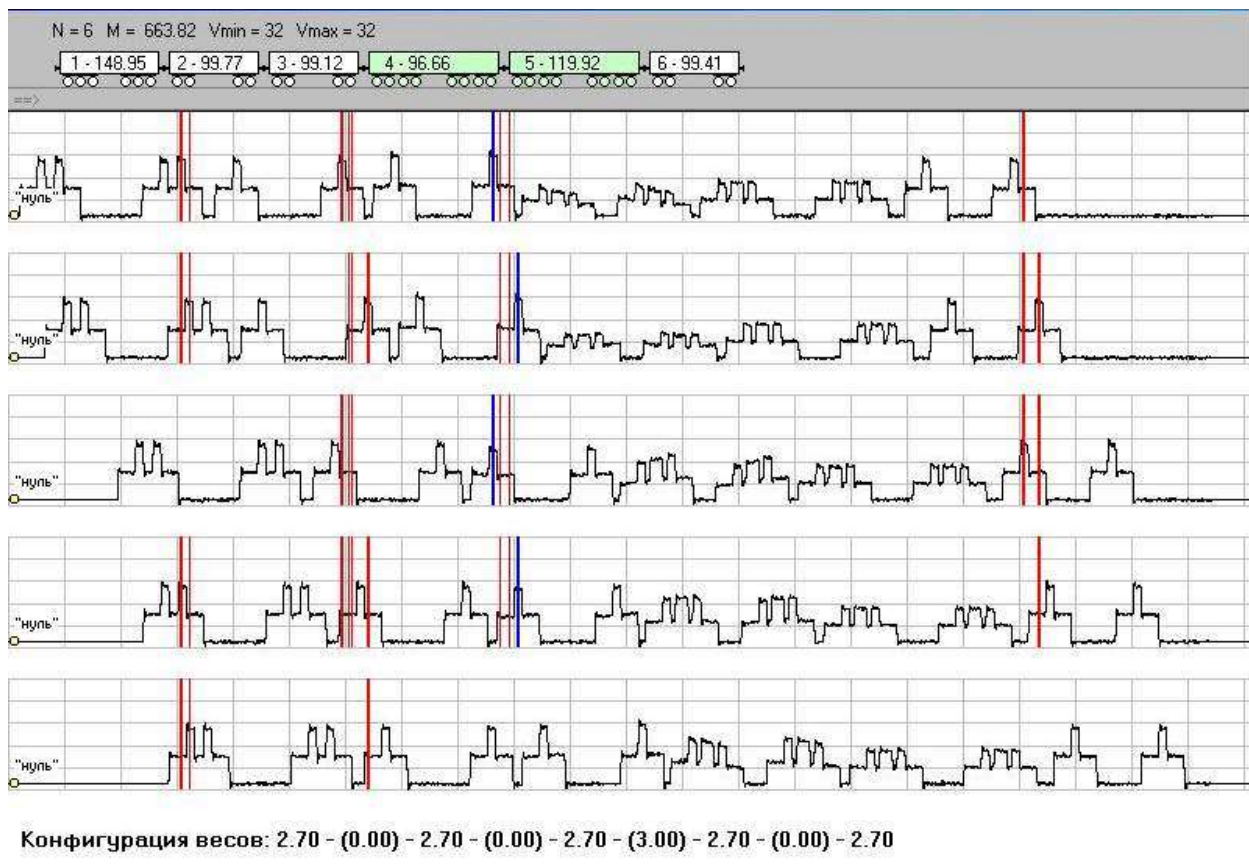


Рис.6. Модельные осциллограммы и результат их обработки для весов 2.7-(0)-2.7-(0)-2.7-(3)-2.7-(0)-2.7