

УДК 004.6:621.391.81

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ОБРАБОТКИ ДЛИННЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ



П.Ю. Бранцевич,

Доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий БГУИР, кандидат технических наук, доцент



Е.Н. Базылев

Ассистент кафедры программного обеспечения информационных технологий БГУИР



Е.С. Кулаковская

Заместитель декана факультета компьютерных систем и сетей БГУИР, магистр технических наук

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
E-mail: branc@bsuir.edu.by*

Аннотация. Рассмотрена последовательность действий по обработке длинных реализаций вибрационных сигналов, реализуемая программным средством. Представлен ряд возможных преобразований. Для большей достоверности получаемых информативных признаков предложена методика их получения на основе временных трендов и их статистической обработки.

Ключевые слова: вибрация, сигнал, длинная реализация, тренд, программа

Введение. Для обеспечения эффективного функционирования сложных технических объектов, предотвращения их внезапных отказов или возникновения аварийно-опасных ситуаций требуется осуществлять непрерывный мониторинг разнообразных параметров, характеризующих состояние этих объектов [1]. Одним из важнейших технических параметров мощных двигателей, турбин, генераторов, насосов, компрессоров, вентиляторов, по которому можно судить об их исправности и работоспособности, является вибрация.

Системы непрерывного стационарного мониторинга позволяют зафиксировать факт возникновения аномальной ситуации на контролируемом объекте и оперативно отреагировать на него стандартным образом или реализовать алгоритмы сигнализации и защиты, учитывающие индивидуальные особенности контролируемых объектов [2-4]. Однако, срабатывание сигнализации или защиты, свидетельствуют об уже существенном развитии определенного дефекта.

Если же стоит задача создания системы проактивного технического обслуживания оборудования, то возникает потребность тщательного изучения даже незначительных изменений вибрационного состояния технических объектов на протяжении всего времени их эксплуатации. Для этого следует исследовать непрерывные вибрационные сигналы, отражающие вибрационное состояние объекта, на протяжении длительных временных интервалов (часы и даже сутки), которые соответствуют некоторому циклу изменения режимов функционирования оборудования. Такой подход соответствует современной концепции обработки информации, называемой «Big Data» [5-6].

Методика обработки длинных реализаций вибрационных сигналов. В лаборатории систем вибродиагностики БГУИР разработано программное средство, предназначенное для многокритериального анализа длинных реализаций вибрационных сигналов, зафиксированных на протяжении минут, часов и даже суток. Вибрационные сигналы, отражающие состояние кон-

тролируемого объекта, могут быть получены с помощью автономных регистраторов, специальных сборщиков или компьютерных систем или комплексов [7-8].

Назначением данной программы является реализация последовательности преобразований исходного сигнала, обычно они представляются в единицах ускорения (рис.1), с целью получения информативно-значимых параметров, используемых в дальнейшем в системах поддержки принятия решений.

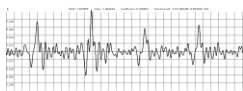


Рисунок 1. Исследуемый вибрационный сигнал в единицах виброускорения

Преобразования выполняются во временной или частотной областях. На первом этапе вычисляются информативно-значимые параметры (ИЗП) путем обработки исходного сигнала. Например, при построении полосового спектра (рис. 2) вычисляется среднее квадратическое значение (СКЗ) исследуемого вибросигнала в частотных поддиапазонах.

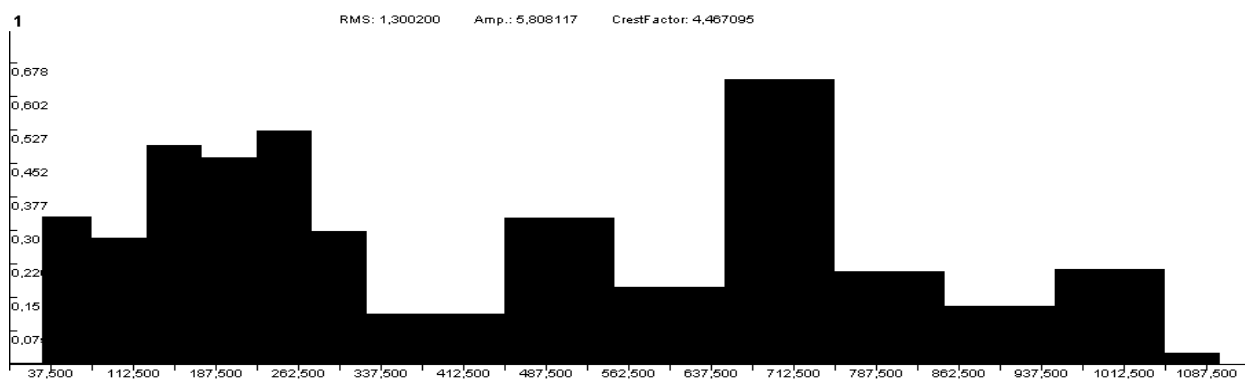


Рисунок 2. Полосовой спектр

Либо сначала выполняются некоторые преобразования исходного сигнала, а затем исследуются их особенности вычисляются ИЗП. К примеру, разложение вибросигнала на периодическую и шумоподобную составляющие (рис. 3) позволяет в последующем проводить раздельное исследование полученных компонент, одной из целей которого является обнаружение редко возникающих вибрационных всплесков и аномалий [6]. С помощью интегрирования или двойного интегрирования осуществляется перевод исходного вибросигнала в единицы виброскорости или виброперемещения (рис. 4), а затем находятся параметры сигнала в этих единицах представления.

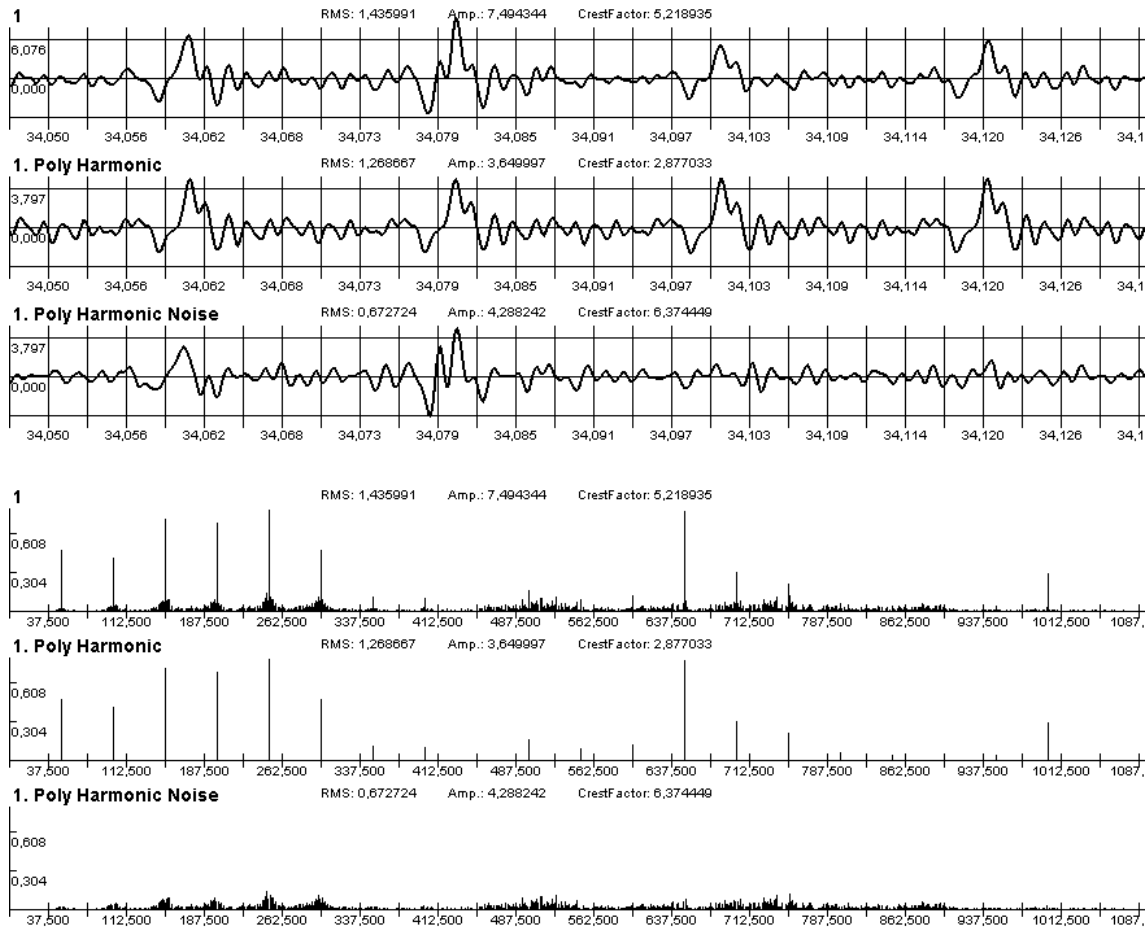


Рисунок 3. Разложение исходного сигнала на полигармоническую и шумоподобную составляющие. Временные реализации и амплитудные спектры

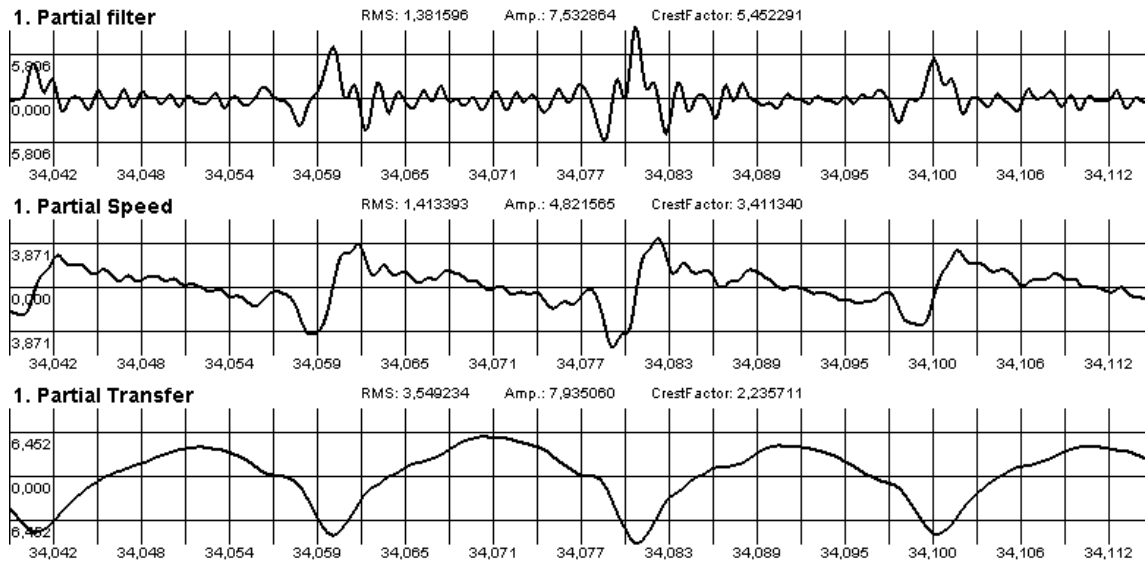


Рисунок 4. Интегрирование и двойное интегрирование вибросигнала

На втором этапе строятся временные тренды вычисляемых параметров исходного сигнала или его компонент. При этом осуществляется продвижение временного окна наблюдения с каким-то шагом по длинной реализации вибрационного сигнала и для каждого положения

временного окна вычисляются требуемые параметры. Если временная реализация получена для какого-то периодически повторяющегося режимного цикла работы оборудования, то временной тренд параметра гораздо более полно отражает техническое состояние, по сравнению с разовыми замерами. На рисунке 5 представлены временные тренды СКЗ, пик-фактора, эксцесса и асимптоты [9], а на рисунке 6 – СКЗ виброускорения в частотных поддиапазонах, вычисленные при обработке сигнала, отражающего вибрационное состояние подшипниковой опоры генератора, на протяжении минутного временного интервала.

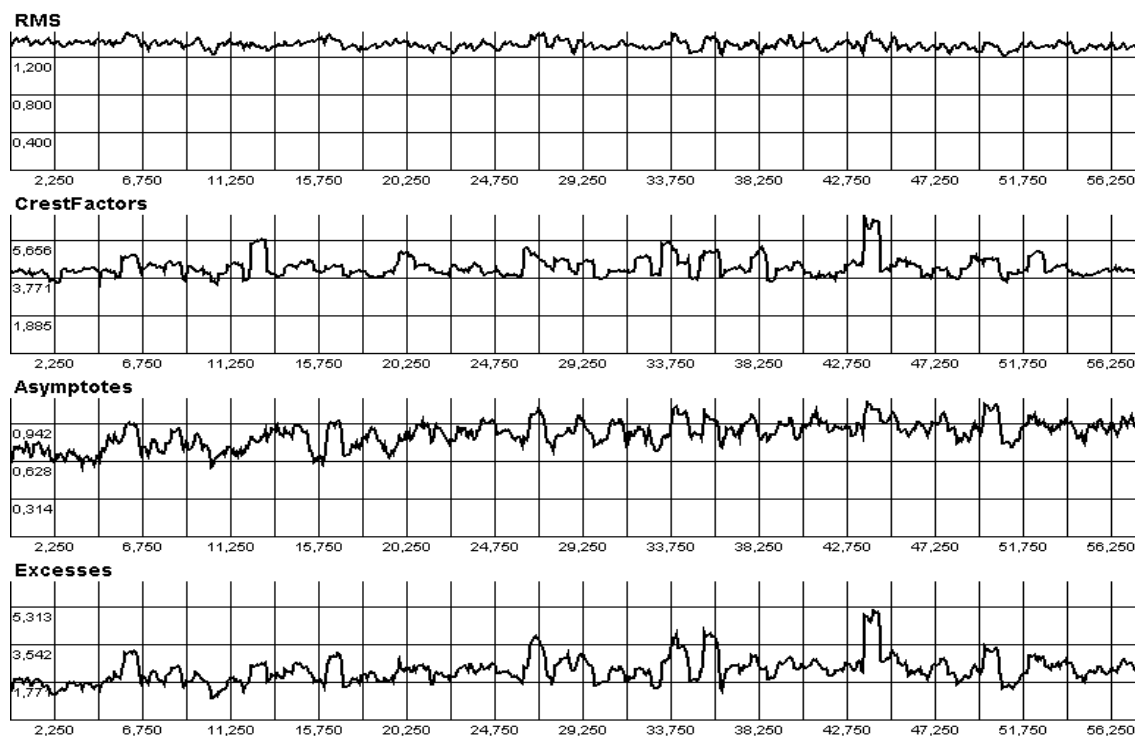


Рисунок 5. Временной тренда СКЗ, пик-фактора, эксцесса и асимптоты исследуемого вибрационного сигнала

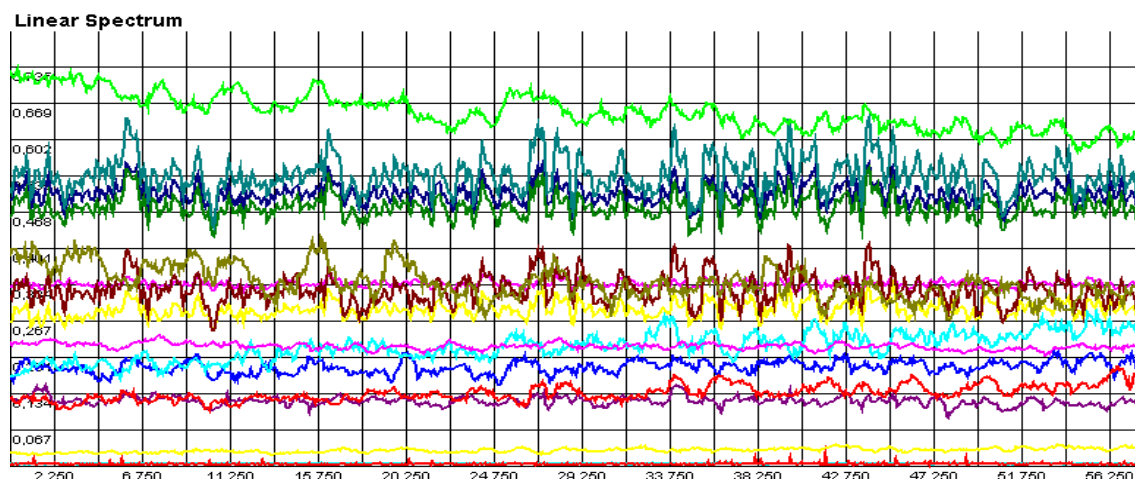


Рисунок 6. Временной тренда СКЗ в частотных поддиапазонах при полосовом спектральном анализе исследуемого вибрационного сигнала

На третьем этапе выполняется обработка полученных временных трендов и строятся ги-

стограммы распределений и статистические характеристики параметров на интервале наблюдения (рис. 7).

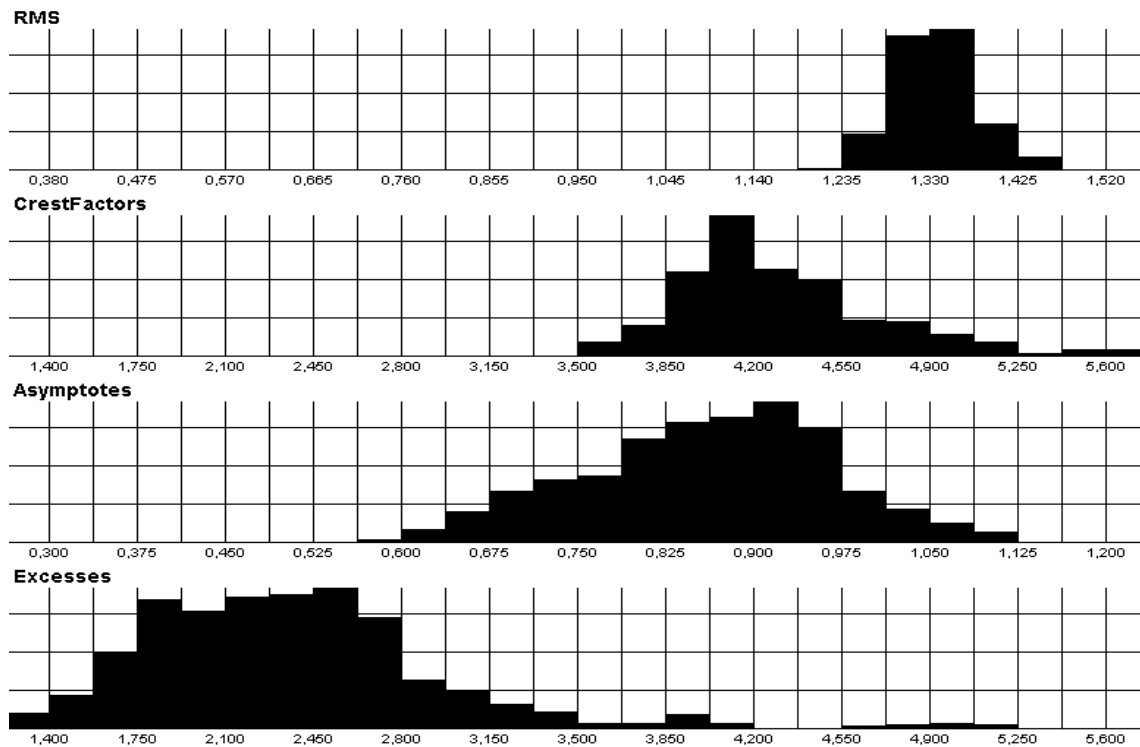


Рисунок 7. Гистограммы распределения СКЗ, пик-фактора, эксцесса и асимптоты, полученные при обработке временных трендов

Параметры, статистические характеристики в последующем используются для общей оценки технического состояния контролируемого объекта. Для этого применяется решающая функция:

$$FR(P_i) = \begin{cases} 0.25, & \text{если } P_i \leq P_{A,i}; \\ 0.5, & \text{если } P_{A,i} < P_i \leq P_{B,i}; \\ 0.75, & \text{если } P_{B,i} < P_i \leq P_{C,i}; \\ 1.0, & \text{если } P_{C,i} < P_i, \end{cases} \quad (1)$$

где: P_i – i -ый параметр вибрационного сигнала; $P_{A,i}$, $P_{B,i}$, $P_{C,i}$ – значения i -го параметра, соответствующие граничным уровням технического состояния, причем $P_{A,i} < P_{B,i} < P_{C,i}$.

Если $FR(P_i)=0.25$, то механизм находится в очень хорошем вибрационном состоянии (это обычно новые (после ремонта), прошедшие приработку машины) и может эксплуатироваться без временных ограничений. Если $FR(P_i)=0.5$, то механизм находится в удовлетворительном вибрационном состоянии и может эксплуатироваться еще в течение нескольких месяцев или тысяч часов. Если $FR(P_i)=0.75$, то состояние механизма оценивается как недостаточно удовлетворительное и на эксплуатацию механизма накладываются ограничения на допустимое время эксплуатации, обычно это несколько дней или десятков-сотен часов. Если $FR(P_i)=1$, то состояния механизма аварийно-опасное и требуется оперативное реагирование,

вплоть до его незамедлительной остановки.

Основной проблемной задачей при этом является выбор конкретных значений $P_{A,i}$, $P_{B,i}$, $P_{C,i}$ и определение допустимых временных интервалов эксплуатации оборудования, соответствующих граничным уровням этого параметра.

На основе решающих функций по отдельным параметрам можно формировать обобщающие решающие функции для группы параметров. В простейшем случае – это линейная комбинация решающих функций по отдельным параметрам. Например:

$$FR_{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{k_i}{k_{i,\max}} FR(P_i), \quad (2)$$

где: FR_{Σ} – значение обобщающей решающей функции; N – количество решающих функций по отдельным параметрам вибрационного сигнала; $FR(P_i)$ – значение решающей функции по i -му параметру; k_i – весовой коэффициент для решающей функции $FR(P_i)$; $k_{i,\max}$ – максимальный весовой коэффициент из всех весовых коэффициентов для значений решающих функций, используемых для вычисления значения обобщающей решающей функции.

Заключение. Разработанное программное средство обеспечивает выполнение предлагаемой последовательности действий по обработке длинных реализаций вибрационных сигналов и получение информативно-значимых параметров. Реализация на языке Java позволяет адаптировать его под настольные и мобильные аппаратные платформы, а также браузерное исполнение.

Список литературы

- [1]. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика / Ф.Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с. УДК 681.2+620 (035)
- [2]. Бранцевич, П.Ю. ИВК «Лукомль -2001» для вибрационного контроля / П.Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. –2008. – № 12 (69), –с. 19–21. УДК 519.673+534-16+004.42
- [3]. Brancevich, P. Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system / P. Brancevich, X. Miao, Y. Li // 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok, Thailand, 7-11 July 2013. – Curran Associates, Inc., NY 12571 USA, –pp. 612-619. ISBN: 978-1-62993-150-0
- [4]. Бранцевич, П.Ю. Компьютерный вибрационный мониторинг механизмов и турбоагрегатов / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев // Доклады БГУИР. – 2015. – № 7 (93). – с. 5-10. УДК 519.673
- [5]. Фрэнкс, Б. Укрощение больших данных: как извлекать знания из массивов информации с помощью глубокой аналитики / Б. Фрэнкс; пер. с англ. А. Баранова. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 352 с. УДК 330.47
- [6]. Бранцевич, П.Ю. Большие данные в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / П.Ю. Бранцевич, Е.Н. Базылев // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2016. – № 3. – с. 28-41 УДК 004.6+534-16
- [7]. Базылев, Е. Н. Особенности применения встроенных систем в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / Е. Н. Базылев, П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии = International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч. конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24-27 окт. 2016 г. - Минск : БГУ, 2016. - С. 759-76. УДК 37:004(06)
- [8]. Бранцевич, П.Ю. Компьютерные вибродиагностические системы / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев, В.Э. Базаревский // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР: материалы конф. – Минск : БГУИР, 2014. – Ч. 1, – с. 430–431 . УДК 681.5:519.67:004.9
- [9]. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М: Наука, 1988. – 480 с. УДК 519.21

SOFTWARE FOR LONG-TERM REALIZATIONS OF VIBRATION SIGNALS PRO-CESsing

P. BRANCEVICH, PhD

*Associate professor of the
software of information
technologies of the BSUIR*

Y. BAZYLEU

*Assistant to department of the
software of information
technologies of the BSUIR*

E.S. KULAKOUSKAYA

*Deputy dean of faculty of
computer systems and net-
works of the BSUIR, master
of technical science*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
E-mail: branc@bsuir.edu.by*

Abstract. The sequence of actions implemented by software and required for long realizations of vibration signals pro-cessing is considered. A number of possible transformations is presented. Methodology for more reliable validation of received informative attributes based on time trends and theirs statistical processing is proposed.

Key words: vibration, signal, long realization, trend, program