

УДК 004.42

Автоматизация принятия решений при анализе состояния сложных объектов и ситуаций

П. Ю. Бранцевич

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск

E-mail: branc@bsuir.edu.by

Введение

В настоящее время усложняются научно-технические решения и производства, разрабатываются интеллектуальные системы, происходят титанические сдвиги в общественных, социальных, групповых процессах и отношениях. Все это требует автоматизации принятия решений по оценке возникающих ситуаций и явлений.

В производственных процессах значительную часть от эксплуатационных затрат составляют расходы, направляемые на обеспечение работоспособности производственного оборудования. Снизить затраты на его эксплуатацию можно путем внедрения современных систем технического обслуживания, базирующихся на использовании технологий мониторинга, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов, которые с точки зрения их организации и функционирования являются интеллектуальными системами [1].

Состояние производственного оборудования может характеризоваться многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их определение [1, 2]. На основе анализа состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах в различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени могут быть обоснованы и сформулированы диагностические признаки для локализации мест возникновения дефектов и неисправностей. Это создает условия для построения автоматизированных интеллектуальных систем оценки технического состояния и диагностики, значительно облегчающих работу инженерно-технического персонала [3].

Медицинская диагностика как набор правил, методов и решений, которые позволяют прийти к заключению о наличии или вероятности наличия у человека того или иного заболевания, имеет много общего с техни-

ческой диагностикой [4]. Открытие новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека – важное направление медицинских исследований. В связи с этим формализация систем принятия решений на основе получаемых данных о состоянии человека является весьма актуальной, причем все более доступной для создания, по крайней мере для многих частных случаев, за счет растущей вычислительной и информационной мощности применяемых технических средств.

Одним из примеров задачи принятия решений в организационно-управленческой сфере является подбор кадрового резерва руководителей в учреждениях высшего образования, где в качестве параметров используются: возраст, пол, семейное положение, место рождения, образование, вторая ступень высшего образования, наличие ученой степени и ученого звания, стаж работы в занимаемой должности [5].

Модель живого организма как представителя естественного интеллекта, принимающего решения

На сегодняшний день возникает необходимость осуществлять мониторинг состояния не только технических объектов, но и живых организмов, в том числе и человека. Предположим гипотезу, что живой организм – это материальная органическая сущность, состоящая:

- из набора разнообразных первичных преобразователей информации (зрение, слух, обоняние, вкус, рецепторы оценки состояния окружающей среды и собственных органов, нервные окончания и т. д.), преобразующих состояние окружающей среды и самого организма в электрические сигналы, передаваемые в нейронную сеть головного мозга человека;
- органов обеспечения жизнедеятельности, выживания, питания, реакций, работоспособности, воспроизведения себе подобных (сердце, желудок, печень, селезенка и т. д.);
- исполнительных механизмов (руки, ноги, пальцы, голосовые связки, зубы, органы лица и т. п.);
- управляющего устройства – головного мозга, который принимает решения на основе имеющихся знаний и принимаемых электрических сигналов от первичных преобразователей и формирует управляющие сигналы, передаваемые в исполнительные механизмы.

Как и любая другая органическая материя подвержена износу и старению, что в конце концов приводит к прекращению ее деятельности – смерти.

В результате научных исследований выяснено, что основным функциональным элементом мозга является то, что названо нейроном [6]. Однако вопрос взаимодействия нейронов головного мозга остается проблемным. На основе эмпирического и теоретического опыта можно сделать предположение, что общее устройство головного мозга можно представить в виде

ядра и окружающей его оболочки. Состояние ядра дается человеку от рождения и, скорее всего, не изменяется или подвержено минимальным изменениям. Деятельность ядра головного мозга определяет наши способности и осуществляет верховное управление.

Вторая часть мозга – это самообучаемая нейронная сеть. Она имеет возможность реконфигурироваться, получать и накапливать информацию, производить настройку обрабатывающих функций и коэффициентов передачи для сигналов, поступающих через дендриты в нейрон, формируя тем самым для данного момента времени систему принятия решений. Сущность принятия решений зависит от окружающего пространства и состояния организма, информацию о которых передают в нейронную сеть первичные преобразователи информации. Все действия и ощущения, которые воспроизводит и получает человек, есть сущность и отражение решений, принимаемых нейронной сетью головного мозга. Самообучение нейронной сети производится эмпирически или под целенаправленным воздействием, в том числе и по желанию нейронной сети, т. е. принятых ею решений на проведение определенных действий по получению новой информации.

Если следовать данной модели, то можно аргументировать вывод, что поведение человека обуславливается первоначальной настройкой нейронной сети головного мозга и последующей реконфигурацией самообучаемой, многоуровневой, объемной нейронной сети головного мозга, происходящей по мере получения новой или переработки имеющейся информации.

Работа мозга сопровождается изменением электромагнитного поля, которое можно зафиксировать специальными первичными преобразователями и преобразовать в виде изменяющихся параметров тока или напряжения, что и происходит, когда снимают электроэнцефалограмму. Электрические параметры работы мозга для каждого выполняемого действия свои и они имеют свойство повторяться с допустимым разбросом для каждого действия. Уже достаточно хорошо отработаны вопросы мозгового управления протезами, даже есть разработки, когда человек мысленно управляет движением роботизированного объекта [7].

Новые реакции вырабатываются и запоминаются нейронной сетью на основе либо создания новых синаптических связей между имеющимися нейронами, либо изменения эффективности (коэффициентов передачи и преобразующих функций) уже имеющихся синаптических связей. Запоминание (долговременное) информации – это изменение способности одних нейронов возбуждаться при возбуждении других нейронов.

Если допустить возможность считывания состояния мозга и хранимой в нем информации, а затем ее переноса в другой аналогичный или подобный субъект (объект), то можно представить (определить) данный процесс

как перенос жизни одного человека в другое тело. Совсем не обязательно именно человеческое, а может быть в тело другого какого-то существа, обладающего аналогичными или схожими возможностями, возможно, даже в неорганическую структуру. При этом с большой долей вероятности потребуются перенастройка и дообучение перенесенной настройки и памяти нейронной сети до уровня, необходимого для самообучения и принятия решений новым разумным существом.

В пределе можно допустить как органическое, так и неорганическое или смешанное строение этой новой разумной сущности. В итоге представляется возможным достижение вечной, обогащаемой новыми знаниями жизни. Вполне вероятно, что такое происходит уже сейчас, так как от рождения человеческого тела до его старения и отмирания осуществляется самообучение мозга полученными ранее и сохраненным знаниям, а также создание, накопление и сохранение новых знаний, которые передаются новому поколению вечной жизни. Возможность переноса нейронной сети головного мозга человека в неорганическую структуру предоставляет гораздо большие возможности для переноса жизни на другие планеты и в другие звездные системы, обеспечивая ее неисчезаемость.

Таким образом, разработка систем и средств получения информации о состоянии человека, нейронной сети его головного мозга, об их изменении во времени и под внешним воздействием, является весьма актуальной и позволит решать многие сложные задачи. Построение систем принятия решений, моделирующих отдельные функциональные элементы мозга живых существ, позволит придать системам искусственного интеллекта новые возможности.

Модель базового элемента системы автоматизации принятия решений

Состояние наблюдаемого технического, природного и социального объекта описывается параметрами и характеристиками.

Параметр – свойство (показатель) объекта или системы, которое можно измерить. Результатом измерения параметра является число или величина, а сам объект или систему можно рассматривать как множество параметров, которое требуется определить или измерить для моделирования или оценки ее поведения. Иногда параметрами называют также величины, очень медленно изменяющиеся по сравнению с другими величинами (переменными). Примерами параметров вибрации являются масса, температура, амплитуда колебаний, давление, возраст и число жителей.

Характеристика – совокупность отличительных свойств кого-либо или чего-либо. Это графическое или табличное выражение зависимости одного параметра от другого, а также функция, выражающая или описывающая данную зависимость. Например, характеристикой объекта является ампли-

тудный спектр исследуемого сигнала, электрокардиограмма, изменение во времени цены на конкретную продукцию.

Для выполнения оценки состояния наблюдаемого объекта требуется некая система принятия решений или поддержки принятия решений. Предлагается следующая модель базового решающего элемента системы принятия решений по оценке состояния наблюдаемого объекта или выработке рекомендаций по воздействию на данный объект. Такой базовый решающий элемент может служить и моделью нейрона.

Входными данными базового элемента являются:

x_i – значение параметра i , $i = 1, \dots, N$;

$\omega_j(y_{j,1}, \dots, y_{j,k})$ – характеристика j при дискретных значениях аргумента y_j , $j = 1, \dots, M$;

$\omega_j(y_j(t))$ – характеристика j при непрерывном значении аргумента y_j , $j = 1, \dots, M$.

По отношению к входным исходным параметрам и характеристикам применяются функции первичной обработки:

$f_l(x_i)$, где $l = 1, \dots, B$, и $\varphi_m(\omega_j)$, где $m = 1, \dots, C$.

Причем разные функции $f_l(\)$ могут применяться по отношению к одному и тому же параметру x_i , а различные функции $\varphi_m(\)$ – к одному и тому же значению характеристики ω_j . Предполагается применение и комплексных многопараметрических-многохарактеристических функций:

$\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p)$, где $n = 1, \dots, D$; $i, j, k \in 1, \dots, N$; $l, m, p \in 1, \dots, M$.

По отношению к набору функций: $f_l(x_i)$, $\varphi_m(\omega_j)$, $\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p)$ применяются обобщающие функции:

$y_k = \Psi_k[f_l(x_i), l = 1, \dots, B, \varphi_m(\omega_j), m = 1, \dots, C, \psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p), n = 1, \dots, D], k = 1, \dots, L$.

Уже по отношению к y_k применяются разнообразные решающие функции: $S_\eta(y_k)$, $\eta = 1, \dots, P$.

Результат функции $S_\eta(y_k)$ определяет одно из возможных состояний анализируемого объекта, тип самого объекта, принимаемое решение. На рисунке данная модель представлена в графическом виде.

В простейшем случае параметры предлагаемой модели принятия решений будут иметь следующий вид:

$$f_l(x_i) = a_l x_i, \quad \text{где } l = 1, \dots, B, \quad \varphi_m(\omega_j) = b_m \omega_j, \quad \text{где } m = 1, \dots, C;$$

a_l, b_m – действительные числа;

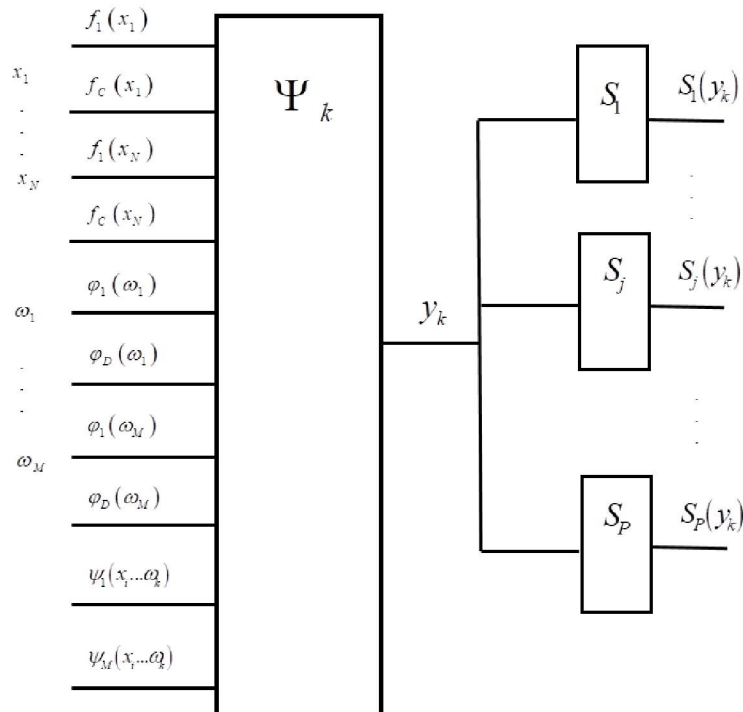
$$\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p) = c_n \left(\sum_{i=1}^N r_i x_i + \sum_{j=1}^N s_j \omega_j \right),$$

где $n = 1, \dots, D$; $i, j, k \in 1, \dots, N$; $l, m, p \in 1, \dots, M$; r_i, s_j – действительные числа.

$$y_k = \sum_{l=1}^B u_{l,k} f_l(x_i) + \sum_{m=1}^C v_{m,k} \varphi_m(\omega_j) + \sum_{n=1}^D w_{n,k} \psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p),$$

где $k = 1, \dots, L$; $u_{l,k}, v_{m,k}, w_{n,k}$ – действительные числа.

$$S_\eta(y_k) = \rho_\eta y_k, \quad \eta = 1, \dots, P.$$



Модель базового элемента принятия решений
по оценке состояния наблюдаемого объекта

**Пример применения базового элемента системы
принятия решений в автоматике защитного отключения
турбоагрегата по параметрам вибрации**

Наиболее важной задачей современных систем вибрационного контроля и диагностики является предотвращение аварийного повреждения защищаемого объекта при внезапном возникновении неисправностей (механических повреждений) в его узлах или при существенном отклонении каких-либо технологических параметров от номинальных. Особенно это важно для энергетических объектов, задачей которых является непрерывное производство электрической энергии. Стоимость таких объектов очень высока. Поэтому автоматизации принятия решений по оценке их технического состояния, своевременному предупреждению и отключению уделяется большое внимание. В настоящее время разработан и эксплуатируется ряд измерительно-вычислительных комплексов, решающих данную задачу на основе параметров вибрации подшипниковых опор турбоагрегатов, в которых реализован метод базовых элементов принятия решений [8].

Однако факт возникновения ситуации, требующей останова технического объекта, во многих случаях имеет неоднозначное отображение в параметры вибрации. Стандартизованные критерии защиты отражают наиболее общие взаимосвязи, полученные на основе длительного опыта эксплуатации и исследования механизмов с вращательным движением, и далеко не всегда в полной мере могут удовлетворить эксплуатирующий и управляющий персонал.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и аварийных ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных срабатываний защитного отключения («ложная тревога») и не допустить «пропуска дефекта» [9].

Реализован и прошел апробацию на ряде турбоагрегатов алгоритм защитного отключения по вибрации, где учитывается несколько факторов:

1. *Фактор низкочастотной составляющей вибрации.* Под низкочастотной вибрацией понимается среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости в зоне частоты, равной половине оборотной. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если для любой подшипниковой опоры турбоагрегата возникла следующая ситуация: СКЗ виброскорости низкочастотной вибрации, измеренное для вертикального и поперечно-горизонтального направления любой подшипниковой опоры, на протяжении 4–6 с превышает v мм/с и, притом хотя бы для одного из этих направлений оно на протяжении этого же времени превышает $3 v$ мм/с. Уровень v определяется типом и рабочими частотами механизма.

2. *Фактор оборотной составляющей вибрации.* Под оборотной составляющей вибрации понимается СКЗ виброскорости спектральной составляющей с частотой, равной частоте вращения вала (ротора) агрегата:

– величина СКЗ оборотной составляющей. Для каждой подшипниковой опоры и каждого из направлений измерения вибрации устанавливается значение СКЗ виброскорости оборотной составляющей, соответствующее аварийному уровню, который выбирается с учетом конструктивных, функциональных и эксплуатационных особенностей контролируемого механизма. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если в четырех или более точках контроля СКЗ виброскорости оборотной составляющей превысило заданный для соответствующей точки аварийный уровень;

– вектор приращения оборотной составляющей. Для каждой подшипниковой опоры и каждого из направлений измерения вибрации устанавливается значение вектора приращения оборотной составляющей, соответствующее аварийному уровню. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если в четырех или более точках измерений вектор приращения оборотной составляющей превысил заданный для соответствующей точки измерений аварийный уровень.

3. *Фактор высокочастотной составляющей вибрации.* Под высокочастотной составляющей вибрации понимается СКЗ виброскорости в частотной полосе, нижняя граница которой равна двойной оборотной частоте, а верхняя – верхней границе частотного диапазона, в котором производится вибрационный контроль наблюдаемого механизма. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если для любых двух направлений измерения вибрации для любой подшипниковой опоры высокочастотная вибрация превысила значение аварийного уровня, установленного для данного объекта в течение 3–6 с.

Сигнал на защитное отключение контролируемого механизма вырабатывается в том случае, если он выработан по одному из указанных критериев или по нескольким критериям одновременно.

Для реализации данной системы принятия решения о защитном отключении в качестве входных данных применяется характеристика: $TI_j(x_0, \dots, x_{N-1})$, $j = 1, \dots, M$ – временная реализация вибрационного сигнала; где M – число точек контроля для наблюдаемого турбоагрегата. Для каждой подшипниковой опоры контроль вибрации осуществляется в трех точках-направлениях: вертикальном, поперечно-горизонтальном, осевом; τ – дискретное время, определяющее периодичность получения исходных вибрационных сигналов.

Функция $\varphi_{1,j,\Delta} \lfloor TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_{\Delta} \rfloor$, $j=1, \dots, M$; $\Delta=1, 2, \dots$, предназначена для вычисления СКЗ оборотной составляющей вибрации $A_{RCV,j}$.

Функция $\varphi_{2,j,\Delta} \lfloor TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_{\Delta} \rfloor$, $j=1, \dots, M$; $\Delta=1, 2, \dots$, – для вычисления фазы оборотной составляющей вибрации $\Phi_{RCV,j}$.

Функция $\varphi_{3,j,\Delta} \lfloor TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_{\Delta} \rfloor$, $j=1, \dots, M$; $\Delta=1, 2, \dots$, – для вычисления СКЗ низкочастотной вибрации.

Функция $\varphi_{4,j,\Delta} \lfloor TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_{\Delta} \rfloor$, $j=1, \dots, M$; $\Delta=1, 2, \dots$, – для вычисления СКЗ высокочастотной вибрации.

Функция $f_{1,j,\Delta}(A_{CCV,j}, \Phi_{CCV,j}, \tau_{\Delta-1}, \tau_{\Delta})$, $j=1, \dots, M$; $\Delta=1, 2, \dots$, – для вычисления вектора приращения оборотной составляющей.

Обобщающие функции первого уровня имеют вид:

$$y_{1,\Delta} = \Psi_{1,1,\Delta} \lfloor \varphi_{3,j,\Delta}(\); \tau_{\Delta}; j=1, \dots, M; \Delta=1, 2, \dots \rfloor;$$

$$y_{2,\Delta} = \Psi_{1,2,\Delta} \lfloor \varphi_{2,j,\Delta}(\); \tau_{\Delta}; j=1, \dots, M; \Delta=1, 2, \dots \rfloor;$$

$$y_{3,\Delta} = \Psi_{1,3,\Delta} \lfloor f_{1,j,\Delta}(\); \tau_{\Delta}; j=1, \dots, M; \Delta=1, 2, \dots \rfloor;$$

$$y_{4,\Delta} = \Psi_{1,4,\Delta} \lfloor \varphi_{4,j,\Delta}(\); \tau_{\Delta}; j=1, \dots, M; \Delta=1, 2, \dots \rfloor.$$

Результатом каждой из обобщающих функций первого уровня $\Psi_{1,k,\Delta}(\)$, $k=1, \dots, 4$, является $y_{k,\Delta}$, которое принимает два значения: ноль или единица. $y_{k,\Delta}$ являются входными параметрами $x_{k,\Delta}$ для обобщающей функции второго уровня:

$$z_{\Delta} = \Psi_{2,\Delta}(x_{1,\Delta} = y_{1,\Delta}, x_{2,\Delta} = y_{2,\Delta}, x_{3,\Delta} = y_{3,\Delta}, x_{4,\Delta} = y_{4,\Delta}).$$

Результат обобщающей функции второго уровня z_{Δ} : значение $z_{\Delta}=1$ соответствует решению о срабатывании защитного отключения, значение $z_{\Delta}=0$ – нормальному режиму эксплуатации контролируемого объекта.

Заключение

Предложенная модель базового элемента системы принятия решений позволяет конфигурировать различные структуры, предназначенные для оценки состояния сложных технических и природных объектов. Рассмотрена реализация системы принятия решений по оценке состояния многоопорного энергетического агрегата как комбинации базовых решающих

модулей, которая введена в промышленную эксплуатацию [10, 11]. Предлагаемый подход может быть использован при моделировании разнообразных систем, принимающих решения, в том числе и живых организмов, управляющим устройством которых является многоуровневая, многослойная, объемная нейронная сеть, ее типовой элемент имеет вид предложенного базового элемента принятия решений. Выполнен ряд исследований по исследованию электроэнцефалограммы с целью выявления информативно-значимых параметров, позволивших оценивать эффективность применяемых методов и методик лечения нервно-психических заболеваний.

Список использованных источников

1. Неразрушающий контроль : справочник. Т. 7 : под общ. ред. В. В. Клюева. Кн. 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова [и др.]. – М. : Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Bently, D. E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics / D. E. Bently, C. N. Hatch, B. Grissom. – Canada : Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 p.
3. Бранцевич, П. Ю. Оценка технического состояния механизмов с вращательным движением на основе анализа вибрационных характеристик пусков и выбегов / П. Ю. Бранцевич. – Минск : Четыре четверти, 2021. – 236 с.
4. Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 169 с.
5. Казак, Т. В. Различия в социально-психологических характеристиках управленческих кадров различных уровней руководства в учреждении высшего образования / Т. В. Казак, А. Г. Зенкевич // BIG DATA and Advanced Analytics = BI DATA и анализ высокого уровня : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11–12 мая 2022 г. – Минск : Бестпринт, 2022. – С. 285–290.
6. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер. с польского И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
7. Павлова, Л. П. Доминанты деятельного мозга. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ / Л. П. Павлова. – СПб. : ИНФОРМ-НАВИГАТОР, 2017. – 442 с.
8. Бранцевич, П. Ю. Принятие решений в задачах, связанных с обработкой вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич // BIG DATA and Advanced Analytics = BI DATA и анализ высокого уровня : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11–12 мая 2022 г. – Минск : Бестпринт, 2022. – С. 440–449.
9. Бранцевич, П. Ю. Организация и алгоритмы системы вибрационного контроля и оценки технического состояния турбоагрегатов по вибрационным параметрам / П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк, Г. Г. Соболев // Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций : сб. докладов; под общей ред. А. В. Салимона. – М. : ВТИ, 2003. – С. 25–29.
10. 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.
11. Brancevich, P. Detection of vibration disturbances during the analysis of long realisations of vibration signals / P. Brancevich, Y. Li // 25-th International Congress on

Sound and Vibration, Hiroshima, Japan, 8-12 July 2018. – USA : Curran Associates, Inc., 2018. – P. 2736–2743.

12. Бранцевич, П. Ю. Примеры цифровой обработки электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2022 г. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 314–318.

13. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Science and innovation. – Ташкент : LLC «Science and innovation», 2023. – Special iss. 3. – С. 930–934.

14. Бранцевич, П. Ю. Сравнительный анализ электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics: сб. науч. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Минск, 17–18 мая 2023 г. / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – Ч. 1. – С. 132–144.

15. Бранцевич, П. Ю. Информативные параметры электроэнцефалограмм / П. Ю. Бранцевич // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния : материалы Седьмой Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 18–19 мая 2031 г. / М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» Беларус. гос. ун-та; редкол.: Ю. И. Дудчик (гл. ред.), И. М. Цикман, И. Н. Кольчевская. – Минск : ОДО «Рейплац», 2023. – С. 137–139.