

В. А. Максимюк¹, Е. А. Сущенко¹, И. Б. Фетисов²

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИСПОЛНЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ
НА УДАРНЫХ ИНСТРУМЕНТАХ СРЕДСТВАМИ ТЕНЗОМЕТРИИ**

¹*Институт механики им. С.П.Тимошенко НАНУ,*

ул. Нестерова, 3, 03057, Киев Украина; e-mail: desc@inmech.kiev.ua,

²*Институт искусствоведения, фольклористики и этнографии им. Г.Рыльского НАНУ,
ул. Грушевского, 4, 01001, Киев, Украина; e-mail: etnolog@etnolog.org.ua*

Abstract. The experimental technique for studying the temporal and amplitude characteristics of the music works performance on percussion is suggested. An idea of the non-isochronous rhythm in the Ukrainian folk dance music is confirmed experimentally. A role of intensity in forming the construction of running through and rhythmical pattern of the particular measures is demonstrated. The question is formed on the different types of interaction between the duration and intensity within the musical performance as a key means of musical expression in playing the percussion.

Key words: experiment, resistance strain gage, folk music, non-isochronous rhythm.

Введение.

Теоретические и экспериментальные исследования в области механики деформируемого твердого тела представляют интерес не только в технике, но и в гуманитарных приложениях [1, 6]. В настоящее время актуальной стала проблема измерения с достаточной точностью временных и динамических характеристик не только технических устройств [9], но и народной музыки [1]. Вдохновителем таких исследований стал один из соавторов, руководитель ансамбля украинской аутентичной музыки «Божичі» [3], который заметил не-изохронность ритмов народной музыки в исполнении аутентичного барабанщика, в отличие от изохронности у вторичных исполнителей. О заинтересованности среди отечественных искусствоведов и научных работников таким явлением авторам неизвестно. Вместе с тем оказалось, что зарубежные научные работники уже на протяжении последнего десятилетия изучают неизохронность ритмов разных народов мира [8, 10].

История вопроса. По-видимому, одними из первых заинтересовались вопросами взаимосвязи между длительностью и интенсивностью звуков в музыке (с точки зрения восприятия) R.H. Stetson [12] и H. Woodrow [18]. Позже I. Bengtsson и A. Gabrielsson [5] выдвинули гипотезу о наличии в живом исполнении музыки (как нотной, так и фольклорной) систематической вариативности длительности звуков.

N.P.M. Todd, опираясь на исследования о сокращении временных промежутков в музыке как средств выразительности исполнения, указывал, что «завершенная теория выразительности должна учитывать интенсивность» [16]. Ему же принадлежит исследование взаимосвязи между громкостью исполнения и темпом [17], что близко к рассмотрению вопроса взаимосвязи между интенсивностью и длительностью звуков.

Как свидетельствует современная украинская исследовательница традиционной вокальной музыки, использующая в своей работе компьютерный анализ аудиозаписей, А. Мазуренко [2], «динамика и тембр поддаются обработке и могут в дальнейшем служить для составления комплекса параметров, но пока что такие исследования находятся в процессе разработки и не применяются в аналитической практике».

Методика исследований. По-видимому, такое положение с исследованиями динамических процессов в музыке вообще и народной в частности, вызвано отсутствием объективных данных о громкости исполняемой музыки, так как громкость, которую слышит исполнитель и громкость, которая отображается на осциллограмме, не соответствуют друг другу, а объектом исследования ученых выступает аудиофайл. Зато известно, что различные микрофоны (как выносные, так и встроенные в записывающие устройства), в зависимости от своих технических параметров, имеют разный динамический диапазон и, соответственно, разную способность фиксировать громкость без искажений. Кроме того, для проведения сравнительных исследований динамики, необходимо, чтобы все музыкальные образцы были записаны одинаковым микрофоном на одинаковом расстоянии от источника звука с одинаковым, контролируемым уровнем записи. То есть, аудиофайлы в целом являются малопригодными для исследования динамических процессов в музыке. Поэтому становится понятным, почему исследования взаимосвязи между длительностью и громкостью звуков в музыкальном исполнительстве на данный момент отсутствуют.

Однако взаимосвязь между продолжительностью и интенсивностью звуков в контексте их восприятия человеком, но без привязки к музыкальным произведениям, исследовалась многими музыкальными психологами. Такие исследования начинали упомянутые выше R.H. Stetson [12] и H. Woodrow [18]. H.G. Tekman показал, что в случае некоррелированных (разнонаправленных) изменений громкости (интенсивности) и длительности, параметром, который хорошо фиксируется на слух, выступает интенсивность звуков, но не их продолжительность [15].

Инструментальные средства измерения характеристик исполнения музыкальных произведений (в отличие от анализа аудиофайлов) применяются значительно реже. Так для измерения давления в медных духовых инструментах использовались тензодатчики, которые подключались по беспроводной сети через Bluetooth на мобильное устройство [7]. Использование других датчиков и методов измерения применительно к музыкальным устройствам дано в обзоре [11]. Тем не менее, авторам неизвестны такого рода исследования с применением фирменного научного оборудования.

В *Институте механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины* для регистрации динамических процессов в различных инженерных конструкциях [4] успешно используется высокочувствительный регистратор вибрационных, акустических и тензосигналов LMS SCADAS Mobile в корпусе SCM01 вместе с программным обеспечением LMS Test.Xpress (версия 3B). С его помощью были сделаны предварительные выводы о неизохронности в ритмах украинской танцевальной аутентичной музыки. Подобные исследования с помощью этого оборудования ни за рубежом, ни в Украине раньше не проводились. В частности, в предыдущих публикациях [1, 3] указывалось на выявление периодического временного неравенства в нанесении ударов аутентичным музыкантом-исполнителем на барабане с тарелкой.

Так, оказалось, что в пределах одного проведения темы наигрыша продолжительностью 2 такта по 4 четверти каждый, аутентичный исполнитель периодически сокращал реальное время звучания последней четверти первого такта и первой четверти второго такта, по сравнению с первой четвертью первого такта и последней четвертью второго такта, в любом сравнении.

Эти исследования подтвердили на украинском фольклорном музыкальном материале гипотезу [5] о наличии в живом исполнении музыки (как нотной, так и устной) систематической вариативности продолжительности звуков (в отличие от эпизодической вариативности, которая тоже имеет место), которые в нотации обозначаются (а в отношении к музыке устной традиции могли бы быть обозначены) одними и теми же ритмическими длительностями (т.н. SYVAR-D hypothesis, аббревиатура от «systematic variations as regards tone durations»).

В дальнейшем методика измерения, обработки и анализа информации о ритмах в украинской танцевальной аутентичной музыке с использованием регистратора LMS SCADAS была усовершенствована и были выявлены новые закономерности, изложению которых посвящена данная статья.

1. Методика исследования.

Объектом исследования были ударные: барабан и тарелки, а возникающие в них деформации – предметом исследования. На ударных играл аутентичный самобытный барабанщик из Киевской области Украины В.М. Давиденко под сопровождение на гармошке. Он известный исполнитель, знаток, ценитель и почитатель украинской народной танцевальной музыки.

На неподвижную тарелку и на мембрану (рис. 1, а) барабана на расстоянии 20 мм от внешних краев в радиальном направлении были наклеены тензорезисторы фирмы «ВЕДА» типа КФ 5П1-3-120-Б-12 с базой 3 мм и сопротивлением 120 Ом. Поэтому тензорезисторы реагировали только на радиальные деформации ударных инструментов. Сигналы с двух датчиков, каждый из которых был подключен к полной мостовой схеме, двумя отдельными каналами поступали на регистратор для дальнейшей визуализации, записи и анализа на компьютере.

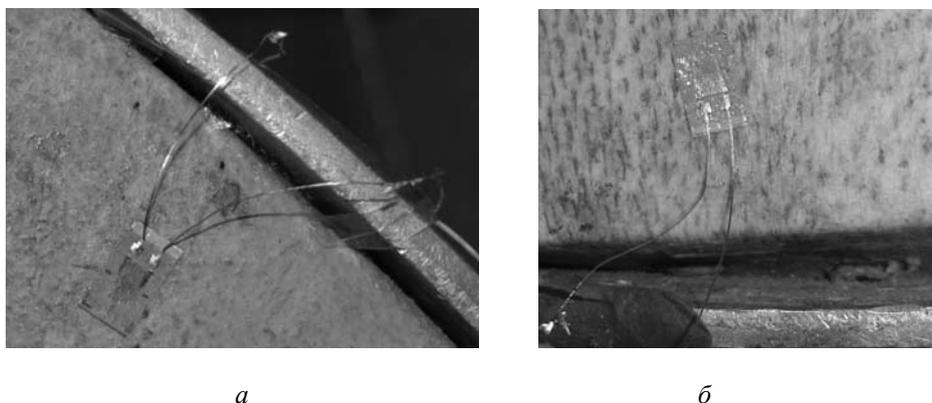


Рис. 1

Отметим, что, конечно же, звуковые волны в воздухе образуются поперечными колебаниями мембраны [14], но они вместе с тем вызывают продольные колебания, которые и регистрируются тензодатчиком. Последующее прослушивание экспертом искусствоведом записанных регистратором LMS SCADAS файлов в аудио режиме подтвердило адекватность такого способа регистрации в музыкальном смысле. Кроме того, вследствие малоинерционности тензодатчиков, такой способ дает неоспоримое преимущество перед микрофонным способом во временных характеристиках, а также в смысле разделения сигналов от ударных и сопровождения.

Некоторые трудности вызвала конструкция ударной установки, в которой тарелка была прикрепленной сверху к корпусу барабана. В этом случае деформации барабана не вызвали заметных нежелательных наведенных деформаций в неподвижной тарелке. Однако удары по тарелке могли через корпус барабана вызвать нежелательное деформирование мембраны, что усложняло бы дальнейший анализ. Очевидно, что характер деформирования в определенной точке возле края мембраны под действием вертикальной статической нагрузки на тарелку зависит от расположения этой точки относительно точки прикрепления тарелки. Поскольку барабан будет приобретать эллипсообразную форму [13], то радиальные деформации в узких диаметрально противоположных вертикальных секторах и в несколько более широких горизонтальных секторах будут иметь противоположные знаки. Экспериментально, путем подбора удалось найти такие точки между упомянутыми секторами, в которых влияние на радиальную деформацию от квазистатической нагрузки на тарелку было минимальным. Однако ударная динамическая нагрузка на тарелку в некоторой степени искажала картину деформирования мембраны. Хотя это легко распознавалось путем сравнения двух осциллограмм деформирования тарелки и барабана. Во всех экспериментах чувствительности тензодатчиков и регистратора было достаточно для записи различных музыкальных произведений, а деформации не превышали заявленных производителем тензорезисторов допустимых значений.

В дальнейшем к мембране барабана был прикреплен еще один датчик снизу мембраны (рис. 1, б). Это позволило получить более достоверную временную картину нанесения ударов булавкой (деревянной палочкой, на конце которой из ткани сделана мягкая головка) аутентичным исполнителем, поскольку он наносил удары не только по центру мембраны, но и сверху и снизу. Также это позволило избежать возможного влияния деформаций мембраны, возникающих в результате ударов по тарелке.

2. Тестирование методики.

Типичные фрагменты осциллограмм деформирования (в микрострейнах, $1 \text{ мк}\epsilon = 10^{-6}$) тарелки и барабана во времени (на отрезке 1,5 с) для одного из музыкальных произведений приведены на рис. 2 и 3, соответственно. Обычно запись длилась 100 – 300 с. На приведенных отрезках поместились первые три удара, причем третьи удары не совпадают во времени, что позволяет оценить взаимовлияние деформирования одного инструмента на другой. Как видим, такого не наблюдается.

Интересно отметить, что фронт деформирования барабана от удара до удара нарастает преимущественно стремительно (рис. 3), в отличие от тарелки (рис. 2), где наблюдаются перед максимумами «предвестники» с меньшей амплитудой. Это можно объяснить тем, что удар по закрепленной нижней тарелке наносится подвижной тарелкой исполнителем так, что сначала тарелки соприкасаются лишь краями с одной какой-то стороны, а позднее – по всему периметру. По барабану же удар наносится булавкой, как правило, перпендикулярно к плоскости мембраны и приходится в одну точку, которая вызывает указанный стремительный фронт. Однако иногда исполнитель наносит так называемые касательные удары по мембране, очевидно, подчеркивая определенные известные только ему музыкальные тонкости. В таких случаях фронты деформирования мембраны нарастают не столь стремительно.

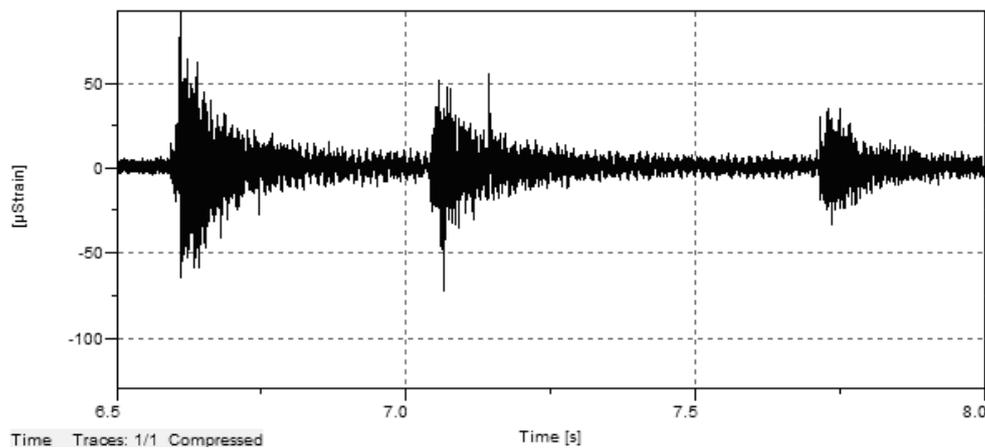


Рис. 2

Во время работы с программным обеспечением LMS Test.Xpress (версия 3В) был выявлен ряд особенностей его работы, которые не дают оснований говорить об абсолютной точности полученных данных. Так, в зависимости от размера фрагмента данных, который выгружался, программа сама определяла масштаб выгрузки этих данных. То есть, данные деформации одного и того же временного фрагмента, выгруженного отрезками разной длины, отличались. При выгрузке фрагментов более 20 с все данные деформации размещались с интервалом 0,04 с. Только при выгрузке фрагментами не более 20 с периодичность временного интервала размещения данных исчезала, но шаг, с которым программа выгружала данные, был больше, чем шаг при выгрузке этого же фрагмента отрезками по 10 с (в подавляющем большинстве от 0,005 с до 0,01 с при выгрузке фрагментами по 20 с и в подавляющем большинстве от 0,001 с до 0,005 с при выгрузке фрагментами по 10 с; но в обоих случаях встречается шаг выгрузки с интервалом от 0,0003 с до 0,001 с). Время появления тех или иных пиков деформации и степень деформации незначительно варьируются в зависимости от того, выгружаются отрезки данных по 10 или по 20 секунд. В этом исследовании использовались данные, полученные в результате выгрузки фрагментов по 20 с.

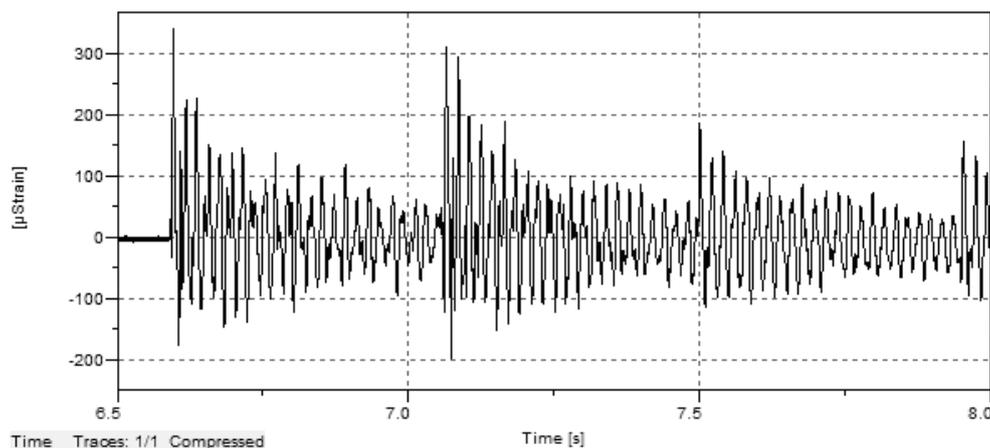


Рис. 3

3. Особенности обработки данных.

При более тщательном рассмотрении, т.е. в растянутом во времени масштабе, можно заметить «предвестники» и на осциллограммах деформирования барабана. «Предвестник» особенно проявляется в момент нанесения первого удара. Он, очевидно, соответствует моменту касания мембраны мягкой частью головки. Этот пик в 3 – 8 раз больше уровня шумов в состоянии покоя мембраны. Стремительно за ним наступает еще один пик, который, очевидно, соответствует моменту максимального сжатия мягкой части булавки и мембраны под влиянием твердой палочки. Этот пик, который мы назовем «первый наибольший пик», в 3 – 8 раз больше пика «предвестника». Следующие пики, первый из которых наступает с периодом, соответствующим частоте мембраны, в большинстве случаев были меньшими от первого наибольшего пика. Но иногда они его превышали. Эти данные тоже были учтены в анализе.

В процессе игры пик-«предвестник» теряется в пиках затухания, и выделить его практически невозможно. Поэтому было решено ориентироваться на первый наибольший пик и измерять временные интервалы между этими пиками. Фронт деформации, который фиксируется нижним датчиком, имеет подобную картину, с той лишь разницей, что пик-«предвестник» в большинстве случаев имеет минусовые значения, т.е., мембрана при этом не растягивается, а сжимается. Нижний датчик всегда показывал деформацию меньше, чем верхний датчик. Величины этих деформаций отличались в среднем в 2 – 3 раза. При расчете временных интервалов между пиками деформации наигрыша музыкального произведения «Украинский гопак», брался первый самый большой пик того датчика, который фиксировал его раньше (учитывая, что исполнитель все время менял точку нанесения ударов). Но при формировании графика громкости всегда использовались данные о деформации верхнего датчика, поскольку там она была максимальной. Данные о деформации и временных интервалах были округлены до 3-го после запятой знака.

На основе деформации можно вынести впечатление о силе удара, и, соответственно, о его громкости, хотя, конечно, перевести единицы измерения деформации – микро-стрейны в единицы измерения громкости децибелы проблематично. Поэтому меру деформации мы считаем показателем степени интенсивности того или иного удара.

Формирование визуальных графиков на основе проанализированных «вручную» данных является ключевым отличием между предложенной методикой анализа и методикой, которую применяют зарубежные исследователи, изучающие «аудиовизуальные изображения», созданные соответствующими компьютерными программами непосредственно с аудиофайла. Фактически, предложенная методика позволяет визуально охватить больший масштаб музыки, чем дают аудиовизуальные изображения и избежать визуализации лишних для анализа явлений.

4. Результаты исследования и их анализ.

После сбора информации о силе ударов по мембране и временных интервалов между ними, были сформированы и наложены один на один графики интенсивности (а на деле – деформации) и длительности (рис. 4). График интенсивности изображен пунктирной линией, а график длительности – сплошной. Слева на оси ординат числами обозначена деформация мембраны в микрострейнах, которая является пропорциональной силе удара по ней, (от 0 до 900), эти величины относятся к пунктирной линии интенсивности. На правой оси ординат числами от 0 до 1,0 обозначена длительность (в секундах), и эти величины относятся к сплошной линии. Те точки сплошной линии, которые находятся на уровне 0,2 с, соответствуют восьмой нотной длительности, находящиеся на уровне 0,4 с – четвертной.

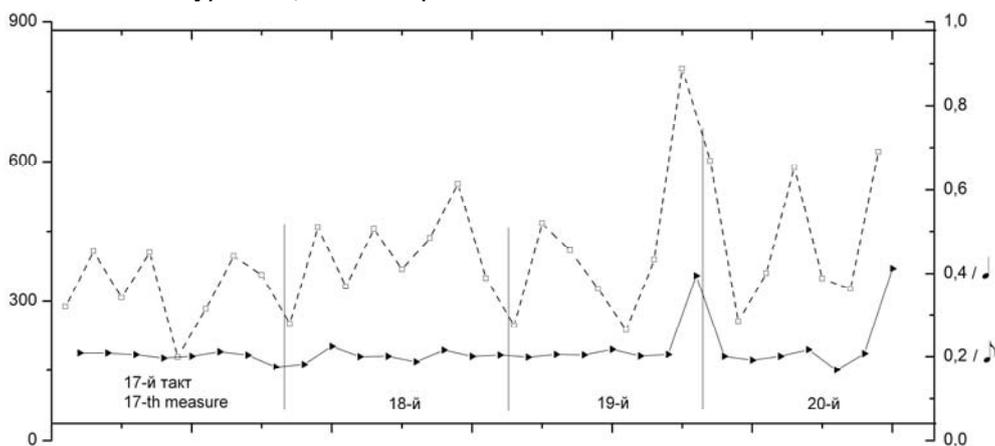


Рис. 4

Точки, которые обозначают интенсивность (квадраты на пунктирной линии), опережают точки, которые обозначают длительность (треугольники на сплошной линии), поскольку первые соответствуют удару булавки по барабану, а вторые – временному интервалу между ударами или, как это принято в зарубежных работах – *inter onset interval* (IOI).

Составленные графики продемонстрировали использование исполнителем приема наращивания интенсивности ударов в пределах одной части наигрыша, с кульминацией в последнем, 4-м такте и использование в этом такте отличного от других тактов принципа группировки восьмых длительностей (по 3, а не по 2, как в предыдущих тактах). Также, отличительной особенностью игры аутентичного исполнителя является то, что при использовании им ударов с IOI четвертной нотной длительности, у него почти всегда резко возрастает интенсивность удара, по сравнению с ударами с IOI восьмой нотной длительности. На графике видно, что длительность и интенсивность в этих случаях увеличиваются прямо пропорционально. Исполнитель увеличением интенсивности как будто бы подкрепляет увеличение IOI. Логично предположить, что в этих случаях длительность влияет на интенсивность, а не наоборот, или что эти две системы – длительность и интенсивность, существуют параллельно. Последнее подтверждается и тем, что скачкообразное увеличение интенсивности не значит, что и IOI скачкообразно увеличивается, ведь всплески интенсивности встречаются и в группах, состоящих из восьмых нотных длительностей. Поэтому можно говорить об использовании исполнителем различной интенсивности ударов и IOI между ними как главных средств выразительности игры на барабане с тарелками.

Заключение.

Анализатор LMS SCADAS Mobile с тензорезисторами позволяет регистрировать временные и амплитудные характеристики музыкальных произведений, выполненных на барабане и тарелках по двум каналам отдельно с удовлетворительным для искусствоведов качеством. Установлены не-изохронность ритмов украинской народной танцевальной музыки и ряд закономерностей временно-динамического характера, которые позволили гармонизировать исполнение музыкальных произведений при совместном участии профессиональных и аутентичных исполнителей.

Научные исследования, результаты которых опубликованы в данной статье, выполнены за счет средств бюджетной программы «Поддержка приоритетных направлений научных исследований» (КПКВК 6541230).

РЕЗЮМЕ. Запропоновано експериментальну методику дослідження часових та амплітудних характеристик виконання музичних творів на ударних інструментах. Експериментально підтверджена ідея про не-ізохронність ритмів в українській танцювальній народній музиці. Продемонстровано роль інтенсивності у формуванні конструкції награвання та ритмічного малюнку окремих тактів. Поставлене питання про різні типи взаємодії тривалості та інтенсивності під час виконання музики як ключових засобів музичної виразності у грі на ударних.

1. *Anik'ev I.I., Maksimuk V.A., Suzenko S.O., Fetisov I.B.* Про вимірювання часових характеристик виконання музичних творів на ударних за допомогою аналізатора LMS SCADAS Mobile // Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», 3 – 5 листопада 2017 р., м. Кременчук. – Вид-во: КрНУ, 2017. – С. 7 – 9.
2. *Мазуренко А.* Стабільність и мобильность в структуре песенной строфы украинской этнической музыки // *Tradicija ir dabartis (Tradition and Contemporarity)*. – 12. – Academy of Arts. Klaipeda University, 2017 – С. 95 – 104.
3. *Фетисов І.Б.* «Періодична нерівність» як маркер автентичної народної музики // Українське мистецтвознавство: матеріали, дослідження, рецензії. Збірник наукових праць. Вип. 17. – К., 2017 – С. 100 – 109.
4. *Anik'ev I.I., Maksimuk V.A., Mikhalova M.I., Sushchenko E.A.* Experimental Determination of the Amplification Factor for an Elastic Cantilever-Beam-Bar System // *Int. Appl. Mech.* – 2016. – 52, N 4. – P. 398 – 403.
5. *Bengtsson I., Gabrielson A.* Rhythm research in Uppsala // *Music Room and Acoustic*. ROY. Swed. Aca. Music. – N 17 – Stockholm, 1977 – P. 19 – 56.
6. *Grigorenko A.Ya., Pliska E.N., Sorochenko G.V., Tormakhov N.N.* Application of Methods of Numerical Analysis for Studying Mechanical Processes in Biomechanics // *Int. Appl. Mech.* – 2018. – 54, N 3. – P. 366 – 372.
7. *Grosshauser T., Bannach D., Calatroni A., Tröster G.* Connected musicians – Examples of new supportive technologies for musicians' performance analysis and daily routine // *Proc. of the Third Vienna Talk on Music Acoustics*. – 2015. – P. 141 – 145.
8. *Johansson M.* Non-Isochronous Musical Meters: Towards a Multidimensional Model // *Ethnomusicology*. – 2017. – 61, N 1. – P. 31 – 51.
9. *Karlash V.L.* Amplitude-Frequency Characteristics of the Longitudinal and Lateral Vibrations of a Rectangular Piezoceramic Plate // *Int. Appl. Mech.* – 2018. – 54, N3. – P. 339 – 345.
10. *London J., Polak R., Jacoby N.* Rhythm histograms and musical meter: A corpus study of Malian percussion music // *Psychon. Bull. Rev.* – 2017. – 24, N 2. – P. 474 – 480.
11. *Medeiros C.B., Wanderley M.M.* A Comprehensive Review of Sensors and Instrumentation Methods in Devices for Musical Expression // *Sensors*. – 2014. – 14, N 8. – P. 13556 – 13591.
12. *Stetson R.H.* A motor theory of rhythm and discrete succession: I. // *Psychol. Rev.* – 1905. – 12, N 4. – P. 250 – 270.
13. *Storozhuk E.A., Yatsura A.V.* Analytical-Numerical Solution of Static Problems for Noncircular Cylindrical Shells of Variable Thickness // *Int. Appl. Mech.* – 2017. – 53, N 3. – P. 313 – 325.
14. *Strutt J.W.* The Theory of Sound. Vol. 1. – London: Macmillan, 1877. – 340 p.
15. *Tekman H.G.* Perceptual integration of timing and intensity variations in the perception of musical accents // *The Journal of General Psychology*. – 2002. – 129, N 2. – P. 181 – 191.
16. *Todd N.P.M.* A Model of Expressive Timing in Tonal Music. // *Music Percept.* – 1985. – 3, N 1. – P. 33 – 58.
17. *Todd N.P.M.* The dynamics of dynamics: A model of musical expression. // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1992. – 91, N 6. – P. 3540 – 3550.
18. *Woodrow H.A.* Quantitative Study of Rhythm: The Effect of Variations in Intensity, Rate and Duration // *Arch. of Psychol.* – 1909. – N 14. – P. 1 – 66.

Поступила 21.11.2018

Утверждена в печать 05.11.2019