SECTION XI. ENGINEERING

Вахидов У.Ш.¹, Макаров В.С.¹, Манянин С.Е.¹, Мокеров Д.С.², Молев Ю.И.¹
Результаты испытаний по определению уровня шума, генерируемого вращением
единичного ротора на льду

¹*ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

²*ФГБОУ ВО Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина*
(Россия, Н.Новгород)

doi 10.18411/gq-31-03-2021-29
idsp sciencerussia-31-03-2021-29

Аннотация

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований по генерации звукового излучения элементом вездеходного движителя – базовым цилиндром при его движении по льду. Актуальность работы рассмотрена в контексте охраны окружающей среды вообще и в частности необходимости снижения акустического загрязнения при использовании вездеходных машин при их движении по замёрзшим водоёмам в зимний период. В работе приведены результаты статистической обработки полученных данных, оценена точность полученных регрессионных зависимостей, произведена их проверка на адекватность и воспроизводимость. Дальнейшее развитие описанных научных исследований связано с выявлением потенциальных возможностей снижения акустического шума, создаваемого движущейся вездеходной техникой для обеспечения комфортной работы оператора и снижения акустического загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, роторно-винтовой движитель, базовый цилиндр, акустическое излучение.

Abstract

This article provides a results of experimental studies on the generation of sound radiation by an all-terrain propulsion element – the base cylinder when it moves on ice. The relevance of the work is considered in the context of environmental protection in general and in particular the need to reduce acoustic pollution when using all-terrain vehicles when driving on frozen reservoirs in winter. The paper presents the results of statistical processing of the obtained data, evaluates the accuracy of the obtained regression dependencies, and checks their adequacy and reproducibility. Further development of the described scientific research is associated with the identification of potential opportunities to reduce the acoustic noise created by moving all-terrain vehicles to ensure comfortable operation of the operator and reduce acoustic pollution of the environment.

Key words: experimental studies, rotary-screw propulsion, base cylinder, acoustic pressure.

Введение. Для обеспечения транспортной подвижности населения, проживающего в малонаселённой местности, в условиях отсутствия экономической целесообразности строительства и содержания автомобильных и железнодорожных дорог широкое распространение нашли вездеходные машины [2,11]. Наиболее приспособленными транспортными средствами, обладающими повышенной эффективностью при движении по поверхности замёрзших водоёмов, а также обеспечивающим необходимую безопасность (за счёт амфибийности и способности

выходить из полыньи на лёд) являются машины, оснащённые роторно-винтовыми движителями. Взаимодействие и разрушение такими движителями таких поверхностей как лёд и снег практически исключает изменение экологической обстановки на трассе движения. Однако, не смотря на имеющиеся положительные свойства, данная техника оказывает существенное акустическое воздействие на окружающую среду [9,10,11]. При этом, за счёт применения шумоизоляционных материалов в кабине, технически можно обеспечить необходимое снижение вредного шумового воздействия на оператора [4,6,7,8]. Для того, что бы вездеходная машина могла выдерживать требования по акустическому загрязнению окружающей среды других путей, кроме совершенствования конструкции движителя не существует [1,2,6].

Материалы и методы. В общем случае, при известной скорости колебаний поверхности системы звуковая мощность объекта излучения может быть найдена из условия [3,4,5]:

$$W = \rho \lambda c \left[\bar{V}_{e(S)}^2 \right] S; \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха, λ - коэффициент, учитывающий что в звуковые колебания переходит не вся механическая энергия системы, c – скорость звука в воздухе, а S – площадь излучаемой поверхности. То есть единственным неизвестным параметром, необходимым для получения расчётного значения величины звуковой мощности, требующего экспериментального определения является коэффициент λ , для определения которого была разработана экспериментальная установка, показанная на рисунке 1, который состоит из собранных с редуктором противоположного вращения двух полуроторов, внедрение винтовых лопастей в лёд у которых уравнивалось друг другом и двух вертикальных стоек, регулируя высоту которых можно изменять глубину внедрения винтовой лопасти в лёд. Вращение роторов происходило с использованием ремённого привода, создающего крутящий момент от вертикально перемещаемого груза. Для замера уровня шума применялись шумомеры, принадлежащие Нижегородскому государственному техническому университету – 1 класса точности – Алгоритм-03 и 2 го класса точности - TESTO 816 ГОСТ 17187-81. Вес, прикладываемый к испытываемым образцам, контролировался при помощи весов.

Полученные во время исследовательских испытаний действующих значений уровня шума и его спектральной плотности обрабатывались на персональном компьютере, в том числе с использованием свободно распространяемой программы Sonic Visualiser. При статистической обработке экспериментальных данных следует пользоваться математической программой "MathCAD"

Производится запись генерируемого звукового излучения, во время которого отмечаются 3 характерных участка (см. рис. 2): Во – первый участок на котором пишется базовый уровень шума на месте испытаний, во- вторых – собственно участки на которых происходит деформация цилиндра и внедрения винтовой лопасти. Как уже было сказано выше, с целью оптимизации количества экспериментальных исследований была разработана схема проведения экспериментальных работ, основной идеей которого является получение максимально точного массива исходных данных для проектирования роторно-винтового движителя. К таким задачам относятся определение таких параметров и величин их отклонений в реальных условиях эксплуатации как получения базовых значений уровня генерации шума при деформации базовых цилиндров и внедрения винтовой лопасти в лёд. Затем при помощи методики проведения экспериментов, провести исследования влияния изменения метеорологических и механических параметров на условия генерации волн, но уже с минимальным количеством опытов. Такой способ, по нашему мнению, даст максимальную эффективность при проведении экспериментальных исследований.

Рис.1. Установка для определения взаимосвязи между уровнем генерируемого звука и величиной силы деформации базового цилиндра

1 - два уравновешенных полуротора; 2 – редуктор обеспечивающий противоположное вращение двух полуроторов; 3 – ремённый привод; 4 - стойка; 5 –мерный груз; 6 – стойки регулирующие внедрение лопастей в лёд

Рис. 2. Пример записи уровня шума при деформации базового цилиндра на льду;

1. участок записи уровня шума при вращении базового цилиндра без нагрузки
2. участок на котором пишется базовый уровень шума на испытуемой площадке;
3. участок записи уровня шума при вращении базового цилиндра с максимальной нагрузкой.

Измерения, в процессе которых искомая величина определяется с помощью специально предназначенного для этого прибора, никогда не бывают абсолютно точными. Всегда возникает разброс результатов измерений, что требует оценки погрешности (ошибки) - обязательного элемента любого эксперимента. В качестве предельно-допустимой величины погрешности экспериментальных исследований была

предложена величина равная 0,5dB, что соответствовала половине погрешности измерительного прибора. С учётом того, что между точностью измерений, среднеквадратическим отклонением и количеством опытов существует зависимость вида: $n = (\sigma/\mu)^2$, [12] количество повторяющихся опытов должно находиться в пределах от 25 до 50.

При проведении корреляционного анализа о влиянии того или иного параметра на величину генерируемого уровня шума, при деформации цилиндров было установлено, что значимая корреляция между исследуемыми параметрами наблюдается от двух параметров – скорости вращения ротора и глубины внедрения винтовой лопасти. Скорость вращения определялась временем, необходимым для перемещения груза из верхнего положения в нижнее. Скорость вращения изменялась выбором массы подвешиваемых грузов. Глубина внедрения винтовой лопасти и ширина канавки определялась при помощи металлической линейки. Глубина внедрения регулировалась при помощи передней и задней стоек крепления ротора.

Проверка полученных результатов по критерию Фишера на адекватность математической модели по уравнению: $K_F = \frac{\sigma_{\Delta}^2}{\sigma_{\Sigma}^2}$, [12] (где σ_{Δ} - дисперсия разницы

между теоретическими и экспериментальными значениями уровня генерируемого звука, а σ_{Σ} - суммарная дисперсия) и по критерию Кохрена на воспроизводимость результатов по уравнению: $K_K = \frac{\sigma_{\max}}{\sum \sigma_{\Sigma}}$, [12] (где $\sigma_{\max}$ максимальная дисперсия из всех

циклов испытаний от полученных значений звукового давления), показало, что полученные результаты адекватны и воспроизводимы. Максимальная погрешность полученных результатов не превысила 10%. Результаты проведённых исследований и результаты их обработки приведены в таблицах 1 и 2 Разложенные по спектру уровни генерируемого шума показаны на рисунках 3 и 4.

Результаты. Полученные результаты однозначно свидетельствуют о том, что с увеличением скорости нагружения и глубины внедрения винтовой лопасти в лёд происходит увеличение мощности генерируемого звукового давления, так и смещения её в сторону более высоких частот.

Значения экспериментальных исследований и результаты их обработки показаны на рисунке 5.

Обсуждение и заключение. Генерация звукового излучения при движении машин с роторно-винтовым движителем является функцией, квадратично зависящей от скорости нагружения, поэтому основным методом достижения заданных параметров акустического загрязнения окружающей среды является изменение скорости движения вездеходных машин. Кроме того, увеличение скорости нагружения приводит к смещению пиковых значений шума в из зоны низкочастотных колебаний в зону средних частот (в том числе в зону частот превышающих 4000 Гц), что при той же мощности излучения ухудшает его восприимчивость организмом человека. При заданной скорости движения уровень шума существенно зависит от деформации базового цилиндра, которая в свою очередь является функцией от силы внедрения винтовой лопасти в лёд. Поэтому увеличение жёсткости базового цилиндра за счёт уменьшения его длины, увеличения диаметра и толщины стенок является единственным способом достижения заданных показателей роторно-винтового движителя. Установлено, что величина перераспределения мощности механических колебаний в звуковые для случая деформации базового цилиндра составляет от 1:7 до 1:10 в зависимости от температуры и влажности воздуха. Из всех видов деформации базового цилиндра основная часть приходится на процесс внедрения винтовой лопасти в лёд.

Результаты проверки экспериментальных данных на воспроизводимость уровня генерируемого шума по критерию Кохрена в зависимости от линейной скорости вращения базового цилиндра, при диаметра цилиндра 0,5м, толщиной стенки 5 мм, величине внедрения винтовой лопасти в лёд, равной 0,1м с доверительной вероятностью равной 0,95

[illegible]

Таблица 2

Результаты проверки экспериментальных данных на адекватность модели уровня генерируемого шума по критерию Фишера в зависимости от линейной скорости вращения базового цилиндра, при диаметра цилиндра 0,5м, толщиной стенки 5 мм, величине внедрения винтовой лопасти в лёд, равной 0,1м с доверительной вероятностью равной 0,95

мя	1я			2я			3я			4я		
ня	V	ΔP_n		V	ΔP_n		V	ΔP_n		V	ΔP_n	
я	я	Эя	Тя	я	Эя	Тя	я	Эя	Тя	я	Эя	Тя
1я	0	0	0	0,5	0	1	1	1	2	2	5	6
2я	1	1	2	2	5	6	3	15	18	3	15	18
3я	2	5	6	4	30	35	5	55	50	4	30	35
4я	3	15	18	5	55	50	1,5	5	4	5	55	50
σ_{Δ}	3,086											
σ_{Σ}	19,87											
K	0,15											
k2	22											
K_F	4,3

Рис. 5 Значения экспериментальных исследований по генерации звуковых волн при деформации базового цилиндра результаты их обработки

Предложенный подход к определению влияния параметров роторно-винтового движителя значительно упрощает математический аппарат исследования, но требует проведения предварительных экспериментальных исследований для определения базового уровня звукового излучения при базовых параметрах роторно-винтового движителя. Результатом реализации предложенной методики проведения исследований является повышение достоверности получаемых результатов на стадии проектирования вездеходных машин рассматриваемого типа.

1. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)
2. Вахидов, У.Ш. Методика выбора рациональных параметров роторно-винтового движителя, обеспечивающих минимальный уровень шума при движении по льду. // У.Ш. Вахидов, И.А.Ерасов, Д.С. Мокеров, Ю.И. Молев / Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2020. № 1 с.113-121
3. Никитин, С.А. Шнекороторный снегоочиститель с улучшенными виброакустическими характеристиками. Дисс. на соискание уч. степени кандидата техн. наук по спец. 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины» - Воронеж, 2004.- 159с.
4. Шашурин, А.Е. Снижение внутреннего шума звукоизолирующими кабинами: на примере строительно-дорожных машин. Дисс. на соискание уч. степени кандидата техн. наук по спец. 01.04.06 «Акустика» - Санкт-Петербург, 2010.- 182с.

5. Покачалов, А.С. Прогнозирование параметров шума дорожной снегоочистительной машины шнекороторного типа. Дисс. на соискание уч. степени кандидата техн. наук по спец. 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины» - Воронеж, 2003.- 155с.
 6. Резников, И. Г. Виброакустика строительно-дорожных машин: Учеб. пособие / И.Г. Резников; М-во образования Рос. Федерации, Твер. гос. техн. ун-т. - Тверь : Твер. гос. техн. ун-т, 1999. - 111 с.
 7. Устинов, Ю.Ф. Механические колебания и виброакустическая защита транспортно-технологических строительных машин: учебное пособие. – Воронеж: изд-во Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. – 239с.
 8. Элькин Ю.И. Снижение шума строительных и дорожных машин Дисс. на соискание уч. степени доктора техн. наук по спец. 01.04.06 «Акустика» - Санкт-Петербург, 2006.- 377с.
 9. Mokerov, D.S. Simulation of noise generated by a rotary-screw mover as a result of friction/ I. Erasov, I.Kuklina, D.Mokerov, Yu Molev// IOP: Conference Series Earth and Environmental Science 695:012027•December 2019
 10. Molev, Yu.I. The simulations of helical blade interaction with ice/ Abramova, E., Mashorin, G., Molev, Y., Sogin, A // 2018 MATEC Web of Conferences 245, 17002 (2018)
 11. Molev, Yu.I. Ways of decreasing noise impact on operator by changing rotary-screw propulsion units natural frequency of vibration / Lipin A., Molev Y., Mokerov D., Strizhak A., Khudyakov, V. // IOP: Journal of Physics: Conference Series 1177:012040 2019
 12. Грачёв, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. –М.: Пищевая промышленность. 1979
-