

УДК 628.517.4

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ УСТРОЙСТВ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

© 2025 А.В. Васильев

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 09.01.2025

В настоящей статье проведен анализ методов снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов, который показал, что эффективным решением снижения вибрации является использование виброизоляторов и виброопор, при этом существующие устройства обладают рядом недостатков. Разработаны новые эффективные устройства виброизоляторов и виброопор для гашения вибраций, защищенные патентами РФ. Сделан вывод, что для эффективного снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов, а также снижению их негативного воздействия на человека необходима дальнейшая разработка, апробация и внедрение новых эффективных устройств виброизоляторов и виброопор, в том числе на основе новых виброизолирующих материалов.

*Ключевые слова:* вибрация, снижение, промышленное оборудование, трубопровод, виброизолятор, виброопора, новые материалы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-1-192-199

EDN: WZFKDB

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях интенсификация современных производственных процессов обусловила серьезное противоречие между постоянно увеличивающимися эксплуатационно-техническими и мощностными параметрами производственного оборудования, с одной стороны, и увеличением уровней возникающей при этом вибрации - с другой [1-6, 12]. Производственные вибрации опасны как с точки зрения воздействия на человека, так и влияния на надежность, эффективность и безаварийность работы производственного оборудования и трубопроводов [9-14]. Воздействие повышенной вибрации на производственный персонал вызывает профессиональное заболевание - виброблезнь. Кроме того, вибрация может явиться причиной разрушения соединений трубопроводов и аппаратов, нарушения герметичности уплотнений, снижению эффективности работы производственного оборудования и пр.

Таким образом, необходимо разработать новые эффективные устройства снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов.

### 2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Снижение вибрации промышленного оборудования может быть достигнуто с использованием различных методов и средств [3, 5, 7, 10, 13, 15, 16].

#### 1. Архитектурно-планировочные методы:

- Рациональная планировка промышленных зданий с точки зрения расположения источников вибрации;

- Рациональное размещение технологического оборудования, генерирующего вибрацию;

- Рациональное размещение рабочих мест по отношению к источникам вибрации;

- Создание виброзащитных зон и т.д.

#### 2. Организационно-технические средства:

- Использование технологических процессов с пониженным уровнем вибрации;

- Оснащение виброопасных зон при работе промышленного оборудования средствами дистанционного и автоматического контроля с целью предотвращения аварийных режимов эксплуатации промышленного оборудования при возникновении сверхнормативных вибраций, в том числе установка стационарной системы измерения уровня вибраций на наиболее виброопасных контрольных участках с реализацией алгоритма аварийных защит в соответствии с установленными нормами вибрации;

*Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского центра техносферной безопасности и новых материалов. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru*

- Применение промышленного оборудования с низким уровнем вибрации, измерение конструктивных параметров промышленного оборудования в;
- Усовершенствование технологий ремонта и обслуживания промышленного оборудования;
- Использование рациональных режимов труда и отдыха и др.

### 3. Технические методы и решения по снижению вибрации промышленного оборудования:

- Использование методов и устройств виброизоляции промышленного оборудования;
- Использование методов и устройств вибродемпфирования промышленного оборудования;
- Изменение массы, жесткости, геометрических размеров трубопроводов энергетических установок;
- Использование виброопор для снижения вибрации промышленного оборудования;
- Установка различных типов гасителей пульсаций давления в трубопроводах энергетических установок;
- Использование активных и адаптивных компенсаторов вибрации промышленного оборудования;
- Усиление опор и балок крепления промышленного оборудования;
- Проверка соответствия эксплуатационных характеристик насосов требованиям, установленным заводом-производителем, в том числе по вибрации промышленного оборудования;
- Уменьшение вибрационной нагрузки, передаваемой от вибрационно-активных узлов промышленного оборудования к трубопроводным системам и др.

Проведенный автором анализ показал, что эффективным решением снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов является использование виброизоляторов и виброопор, при этом существующие устройства обладают рядом недостатков. В связи с этим, необходима разработка новых эффективных устройств виброизоляторов и виброопор для гашения вибраций, которые могут быть переданы основаниям опорных конструкций трубопроводов и оборудования, некоторые из которых описаны ниже.

### 3. АДАПТИВНЫЙ ВИБРОИЗОЛЯТОР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Известно устройство виброопоры крепления кузова к раме автомобиля с изменяемой жесткостной характеристикой (RU 2 294 857 C1), включающее резиновую подушку, основание виброопоры и втулку, которая выполнена перемещающейся с самостопорящейся резьбовой частью при помощи шестигранника под ключ. Резиновая подушка помещена в перемещающуюся втулку; перемещение втулки позволяет производить изменения длины выступающей части подушки. Конструкция изменяет свою вертикальную жесткость обратно пропорционально длине ее выступающей из перемещающейся втулки части. Устройство эффективно снижает вибрацию кузова автомобиля, однако его применение ограничено и не применимо к другому оборудованию или системам трубопроводного транспорта. К причинам, препятствующим достижению указанного технического результата при использовании данного устройства, можно отнести то, что в устройстве отсутствует верхняя жесткая опора непосредственно в отверстии внутри резиновой части устройства.

Известен также виброизолятор с управляемой жесткостью (патент SU 1 670 238 A2). Виброизолятор состоит из нелинейных упругих элементов и преобразователей электрического сигнала в перемещение. Изменением управляющего электрического сигнала регулируется жесткость виброизолятора. С помощью упругого элемента обеспечивается разгрузка виброизолятора от статических воздействий, что формирует симметричную силовую характеристику виброизолятора по отношению к динамическим нагрузкам и дает возможность линейного преобразования электрического сигнала источника в изменение жесткости виброизолятора. Данное устройство обладает рядом недостатков. Внутренняя конструкция необоснованно сложная и затратная в изготовлении; зачастую технологическое оборудование работает длительное время на одной частоте и непрерывного изменения жесткостных характеристик не требуется. Устройство имеет усложненную конструкцию, содержит пакет нелинейных упругих элементов; преобразователи электрического сигнала в перемещение. При этом использование устройства не позволяет достичь указанного эффекта виброизоляции.

К причинам недостаточной эффективности работы и недостижения необходимого технического результата при использовании данного устройства можно отнести то, что в известном устройстве недостаточная жесткость крепления.

Разработано новое устройство виброизолятора, которое позволяет повысить эффективность работы виброизолятора, гашение вибраций технологического оборудования, энергетических установок и трубопроводов, в том числе при перемещении жидких или газообразных материалов по технологическому трубопроводу, в широком частотном диапазоне, предотвращение появления резонансных режимов в конструкциях трубопроводов и оборудования, а также упрощение конструкции виброизолятора и возможность его использования для оборудования и трубопроводов с различной массой, в том числе и с повышенной.

Технический результат достигается тем, что в виброизоляторе с управляемой жесткостью, включающем нижний металлический опорный фланец – нижняя платформа и верхний металлический опорный фланец – верхняя платформа, которые соединены болтом, расположенным по центру виброизолятора и проходящим сквозь верхнюю платформу, разгружающий упругий элемент с меняющейся жесткостью, размещенный между верхней и нижней платформами, регулятор жесткости и крепежные элементы, особенностью является то, что нижняя платформа снабжена стаканом-корпусом в виде толстостенного полого цилиндра с закрытым верхним торцом, приваренным к опорному фланцу, регулятор жесткости цилиндрической формы с шестигранным сечением под гаечный ключ в верхней его части изготовлен с возможностью поворота, внешняя сторона нижней части регулятора жесткости снабжена резьбой для соединения со стаканом-корпусом, который снабжен резьбовым соединением, расположенным в толще его стенки, при этом в качестве разгружающего упругого элемента использована упругая массивная вставка – демпфер, зафиксированный регулятором жесткости и защитным гофрированным резиновым пыльником, установленным снаружи между регулятором и верхней платформой.

Демпфер может быть изготовлен многокомпонентным из армированной резины или в виде резиновых оболочек, наполненных жидкостью.

Для повышения эффекта виброизоляции нижняя платформа с внешней стороны снабжена резиновыми вставками, а для надежной фиксации демпфера наружная часть дна стакан-корпуса нижней платформы выполнена ребристым.

Адаптивный виброизолятор предназначен для гашения колебаний, возникающих при работе технологического оборудования, установок или трубопроводов и включает в себя нижний опорный фланец – нижняя платформа с отверстиями для крепления к полу или фундаменту; к нему приварен стакан-корпус, в толще стенки стакана-корпуса нарезана резьба, которая соединяет его с регулятором жесткости, имеющим в верхней части шестигранное сечение для возможности поворота гаечным ключом, с помощью которого поворот регулятора позволят изменять величину зазора между ним и верхним опорным фланцем - верхней платформой, который в свою очередь имеет элементы крепления для установки устройства под оборудование или трубопровод. Новизна устройства защищена патентом РФ на изобретение [7].

Устройство - адаптивный виброизолятор позволяет регулировать параметры гашения вибраций, такие как степень виброизоляции и максимальная статическая нагрузка. В данном устройстве сложная автоматическая регулировка заменена на механическую; изменение зазора свободного хода позволяет достаточно широко изменять амплитуду перемещения опорных фланцев – платформ виброизолятора относительно друг друга, увеличивая или уменьшая жесткость соединения.

Устройство включает базовый металлический стакан-корпус нижней платформы. Отверстия на фланце нижней платформы позволяют производить крепление виброизолятора на фундамент или иные конструктивные элементы. Диаметр отверстий выбирается в зависимости от объекта виброизоляции.

В толще стенки стакана-корпуса нарезана резьба, обеспечивающая плотное соединение с регулятором и удерживающая регулятор на требуемом расстоянии. Верхняя часть регулятора имеет шестигранное сечение для гаечного ключа, посредством которого меняется величина зазора между ним и верхней платформой.

В центральной части виброизолятора между стакан-корпусом, регулятором и верхней платформой размещается массивная вставка – демпфер. Демпфер из полимерного материала представляет собой регулируемую по высоте и напряжению сжатия упругую вставку. Материал подбирается на основе деформационных свойств конкретного материала в зависимости от массы поддерживаемого оборудования. Демпфер изготавливается из вязко-упругого эластичного полимерного материала, например, из акрилонитрилбутадиенкаучука. В зависимости от нагрузок, допустимо использование в качестве демпфера многокомпонентных вставок из армированной резины для высоких нагрузок или наполненные жидкостью, например, водой, резиновые оболочки для лёгкого оборудования.

Для предотвращения загрязнения демпфера снаружи между регулятором и верхней частью верхней платформы устанавливается гофрированный резиновый пыльник, закрепленный на регуляторе и верхней части верхней платформы с помощью соединительных элементов.

Изменение высоты свободного хода позволяет достаточно широко менять амплитуду перемещения частей виброизолятора относительно друг друга, вследствие чего демпфер изменяется в размерах, увеличивая или уменьшая жесткость соединения виброизолятора и виброизолируемого оборудования (установок, трубопроводов). Так же при изменении величины зазора между металлическими элементами – верхней и нижней платформами виброизолятора меняется собственная частота колебания оборудования, установок, трубопроводов, что позволяет избежать появления резонансных режимов.

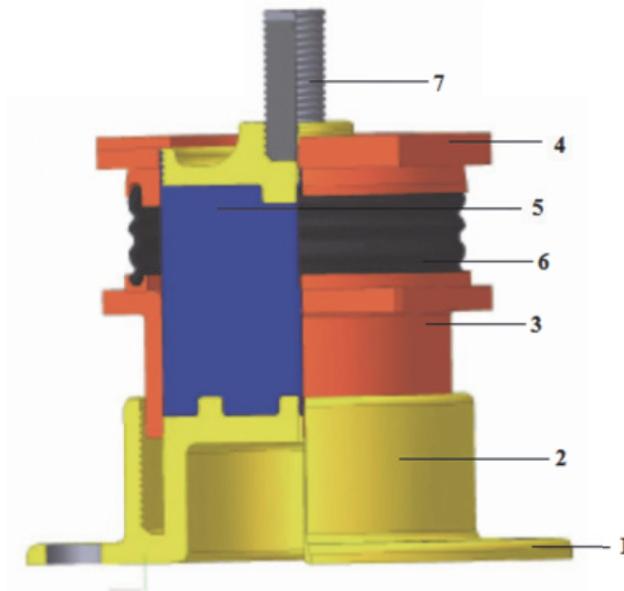
Предложенный виброизолятор при достаточно простой в изготовлении конструкции может обеспечивать существенное снижение вибрации технологического оборудования, установок и при-

соединенных трубопроводных систем, имеющих различные весовые и геометрические характеристики. При этом работа виброизолятора обеспечивает гашение вибраций в широком частотном диапазоне. Обеспечивается возможность подбора жёсткости демпфера для наиболее эффективного гашения колебаний оборудования и трубопроводов и предотвращения резонанса колебаний.

Технические характеристики адаптивного виброизолятора, оборудования и трубопроводов:

1. Рекомендуемая максимальная статическая нагрузка:  $F_{10\%} = 2200 \text{ Н}$
2. Рекомендуемая минимальная статическая нагрузка:  $F_{10\%} = 1000 \text{ Н}$
3. Максимальная динамическая нагрузка при максимальной статической нагрузке:  $F_{20\%} = 4300 \text{ Н}$
4. Максимальная динамическая нагрузка при минимальной статической нагрузке:  $F_{20\%} = 2500 \text{ Н}$
5. Статическая деформация демпфера 5:  $s = 3,7-7 \text{ мм}$
6. Длина демпфера 5:  $l = 37-70 \text{ мм}$ .
7. Частота колебаний виброизолируемого объекта при степени виброизоляции более 50%: 600-4000 1/мин.

На рис. 1 изображен разработанный виброизолятор, где приняты следующие обозначения: 1 – нижняя платформа; 2 – стакан-корпус; 3 – регулятор; 4 – верхняя платформа; 5 – демпфер; 6 – пыльник; 7 – болт.



**Рисунок 1** – Устройство адаптивного виброизолятора  
1 – нижняя платформа; 2 – стакан-корпус; 3 – регулятор;  
4 – верхняя платформа; 5 – демпфер; 6 – пыльник; 7 – болт

Виброизолятор содержит стакан-корпус 2 нижней платформы 1, регулятор 3, верхнюю платформу 4, изготовленные из металла, демпфер 5, изготовленный из вязко-упругого эластичного полимерного материала, например, из акрилонитрилбутадиенкаучука, пыльник 6, выполненный из гофрированной резины, болт – 7 и крепежные элементы (на фигуре не показаны), выполненные из металла.

Отверстия, расположенные на нижней платформе 1, позволяют при помощи крепежных элементов (болтов и гаек) производить крепление виброизолятора на фундамент или другую опорную поверхность, трубопроводы или иные конструкционные элементы. Диаметр отверстий выбирается в зависимости от объекта виброизоляции.

Стакан-корпус 2 жестко соединен с опорным фланцем нижней платформы 1, например, при помощи сварных швов. Нижняя платформа 1 выполнена из металла и имеет круглую форму. В целях улучшения эффекта виброизоляции в опорном фланце нижней платформы 1 могут устанавливаться резиновые вставки. Толщина опорного фланца нижней платформы 1 может подбираться исходя из характеристик источника нежелательной вибрации и особенностей фундамента или другой опорной поверхности, на которые крепится виброизолятор, и в среднем составляет 15 см.

Стакан-корпус 2 выполнен в виде полого цилиндра с закрытым верхним торцом (в виде перевернутого стакана) и имеет резьбовое соединение, расположенное в толще стенки стакана-корпуса, для соединения с регулятором 3. Для лучшей фиксации демпфера 5 дно стакана-корпуса – внешняя сторона закрытого верхнего торца толстостенного полого цилиндра с выполнено ребристым. Внутри виброгасителя по центру, между нижней платформой 1 со стаканом-корпусом 2 и верхней

платформой 4, расположен болт 7, который соединяет их между собой, проходит сквозь верхнюю платформу 4 наружу. Болт 7 жестко (например, посредством сварных швов) присоединен к верхней части стакана-корпуса 2 (к дну), а верхняя часть болта 7 выходит наружу за пределы верхней платформой 4 на высоту, необходимую для наиболее лучшего крепления к технологическому оборудованию, энергетическим установкам или трубопроводам. Крепежные элементы (на фигуре не показаны) крепятся к технологическому оборудованию, энергетическим установкам или трубопроводам с помощью резьбовых отверстий или специальной металлической вставки, в которой выполнены резьбовые отверстия и которая крепится к технологическому оборудованию, энергетическим установкам или трубопроводам, например, с помощью сварных швов.

Верхняя платформа 4 имеет металлические элементы крепления для установки металлических крепежных элементов (на фигуре не показаны). Крепежные элементы, которыми снабжены нижняя платформа 1 и верхняя платформа 4 позволяют соединить виброгаситель с технологическим оборудованием, энергетическими установками или трубопроводами, вибрацию которых необходимо снизить. Регулятор 3 имеет в верхней части шестигранное сечение для возможности поворота гаечным ключом, с помощью которого поворот регулятора позволят изменять величину зазора между ним и верхней платформой 4.

В центральной части виброгасителя между стакан-корпусом 2, регулятором 3 и верхней платформой 4 размещается массивная вставка - демпфер 5. Для предотвращения загрязнения демпфера 5 снаружи между регулятором 3 и верхней частью верхней платформы 4 устанавливается гофрированный резиновый пыльник 6, закрепленный на регуляторе 3 и верхней части платформы 4 с помощью соединительных элементов (например, металлических креплений и резиновых жгутов). Положение резинового пыльника фиксируется за счет перемещения регулятора 3, на котором он закреплен.

Включение предложенного виброизолятора в систему технологического оборудования, в энергетические установки и (или) в трубопроводы позволяет получить максимальные эффекты по снижению вибраций и пульсаций давления в источнике вибрации.

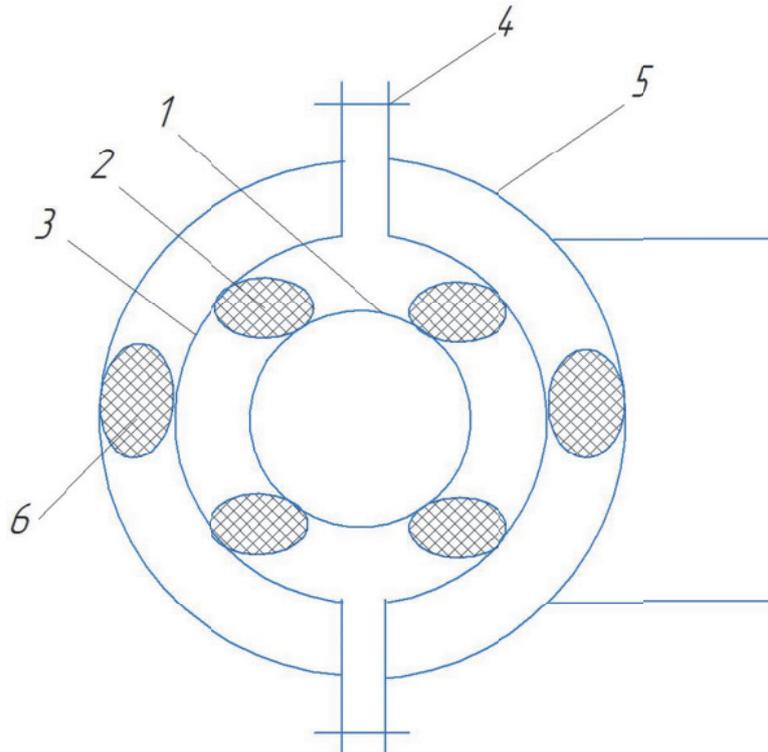
Устройство работает следующим образом. Вибрации, оборудования, установок или трубопроводов, образующиеся при их работе, передаются на виброизолятор и гасятся за счет передачи инерционных сил на демпфер 5, выполненный из вязко-упругого эластичного полимерного материала, например, из акрилонитрилбутадиенкаучука. Демпфер 5 расположен между стаканом-корпусом 2, верхней платформой 4 и регулятором 3. Для предотвращения загрязнения демпфера 5 снаружи между регулятором 3 и верхней частью платформы 4 устанавливается гофрированный резиновый пыльник 6. Жесткость демпфера 5 регулируется регулятором 3. Изменение зазора свободного хода позволяет достаточно широко менять амплитуду перемещения частей виброизолятора относительно друг друга, увеличивая или уменьшая жесткость соединения. Так при изменении величины зазора между стакан-корпусом 2 и демпфером 5 изменяется собственная частота колебания виброизолятора, что позволяет избежать совпадения частот и появления резонанса оборудования, установок и присоединенных трубопроводных систем. При этом работа устройства допускается в широком частотном диапазоне и обеспечивает большую вариативность возможной массы оборудования, установок и присоединенных трубопроводных систем, на которые устанавливается виброизолятор.

Конструктивные элементы виброизолятора скомпонованы в единую систему – стакан-корпус 2, и с помощью нижней платформы 1, болта 7 и крепежных элементов устройство крепится между твердой поверхностью и виброизолируемым объектом. Таким образом, вибрации оборудования, установок и присоединенных трубопроводных систем гасятся, а не передаются по полу и далее к другим элементам технологических установок.

#### 4. ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Также разработано новое эффективное опорное устройство гашения колебаний трубопроводов при работе энергетических установок, защищенное патентом РФ [8]. Устройство имеет более простую конструкцию, и при этом более высокую эффективность гашения вибрации. Конструктивная схема показана на рис. 2. На поверхности трубопровода 1 размещаются в зависимости от диаметра трубопровода цилиндрические демпферы из резины 2. Возможно использование двухслойных демпферов, в которых внутри резинового покрытия располагается вязкая жидкость. Этот ряд демпферов охватывается регулирующим хомутом 3. На внутренней и внешне поверхности хомута выполнены просечки, которые выполняют функцию удерживания демпферов на месте. Регулировочный зажимной винт 4 хомута выводится за внешний кожух 5. В кольцевом зазоре между регулировочным хомутом и внешним кожухом устанавливается ещё один ряд демпферов 6. При установке обеспечивается сжатие демпфирующих элементов первого и второго ряда до 75% от исходного диаметра.

Частично сжатые овальные в сечении демпферы достаточно хорошо позволяют гасить колебания в поперечном оси трубопровода направлении трубопровода. При этом сохраняется возможность частичного качения демпферов. Это обеспечивает достаточно мягкое гашение в том числе и крутильных колебаний трубопровода. Регулировка длины окружности хомута позволяет менять его диаметр. При этом внутренний ряд демпферов сжимается, а внешний наоборот разжимается, и аналогично в обратном направлении. Изменение высоты демпфирующего элемента может составлять от 0,5, до 1 диаметра в несжатом состоянии. Такой способ регулировки позволяет менять частоту собственных колебаний системы устройство - трубопровод и избежать возникновения резонанса в системе.



**Рисунок 2** - Устройство для гашения вибрации трубопровода  
1 – поверхность трубопровода, 2 – цилиндрические демпферы, 3 – хомут,  
4 – винт хомута, 5 – внешний кожух, 6 - цилиндрические демпферы

Вышеописанное устройство позволяет осуществлять эффективное гашение вибрации трубопроводов и виброзащиту промышленного оборудования и энергетических установок. За счет изменения высоты демпфирующих вставок и площади их соприкосновения с трубой и кожухом предотвращается выход устройства для гашения вибрации на резонансные режимы. Использование устройства при соответствующей регулировке виброопоры позволяет существенно снижать поперечные и крутильные вибрации в широком диапазоне частот.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ методов снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов показал, что эффективным решением снижения вибрации является использование виброизоляторов и виброопор, при этом существующие устройства обладают рядом недостатков. В связи с этим, разработаны новые эффективные устройства виброизоляторов и виброопор для гашения вибраций, которые могут быть переданы основаниям опорных конструкций трубопроводов и оборудования.

Использование разработанных устройств позволяет существенно снизить уровень вибрации трубопроводов и оборудования.

Можно сделать общий вывод, что для эффективного снижения вибрации промышленного оборудования и трубопроводов, а также снижению их негативного воздействия на человека необходима дальнейшая разработка, апробация и внедрение новых эффективных устройства виброизоляторов и виброопор, в том числе на основе новых виброизолирующих материалов.

Результаты настоящей работы могут быть полезны для дальнейшей разработки и внедрения мероприятий и технических решений по снижению вибрации промышленного оборудования и трубопроводов и повышения эффективности работы промышленного оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов, Г.С.* Анализ источников вибраций, возникающих в насосных агрегатах, и пути повышения эффективности вибрационной защиты элементов конструкций зданий и сооружений / Г.С. Аверьянов, В.Н. Бельков, Ю.А. Бурьян, А.Б. Корчагин, Ю.П. Комаров // Омский научный вестник, серия «Машиностроение и машиноведение». – 2012. – №1 (107). – С. 43-46.
2. *Бухаров, И.В.* Исследование вибраций трубопроводов при проведении испытаний магистральных насосов большой мощности / И.В. Бухаров, В.В. Бодров // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – Т. 7. – № 4. – С. 84-93.
3. *Васильев, А.В.* Снижение низкочастотного шума и вибрации в газовадах энергетических установок с использованием метода активной компенсации / А.В. Васильев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 294 с.
4. *Васильев, А.В.* Акустическое моделирование и комплексное снижение шума автомобильных двигателей внутреннего сгорания: монография / А.В. Васильев. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2004. – 296 с.
5. *Васильев, А.В.* Моделирование и снижение низкочастотного шума и вибрации энергетических установок и присоединенных механических систем: монография / А.В. Васильев. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2011. – 216 с.
6. *Васильев, А.В.* Экспериментальное исследование и снижение вибрации насосов промышленных предприятий / А.В. Васильев // Экология и промышленность России. – 2022, Т. 26. – №12. – С. 28-32.
7. *Васильев А.В., Ермаков В.В., Виноградова В.А.* Адаптивный виброизолятор для виброакустической защиты промышленного оборудования и трубопроводов. Патент РФ на изобретение № RU 2 792 996 С1. Опубликовано 28.03.2023 г.
8. *Васильев А.В., Ермаков В.В., Виноградова В.А.* Опорное устройство гашения колебаний трубопроводов. Патент РФ на полезную модель № RU 209698 U1. Опубликовано 18.03.2022 г.
9. *Иванов, Н.И.* Основы виброакустики: Учебник для вузов / Н.И. Иванов, А.С. Никифоров. – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.
10. *Рахмилевич, З.З.* Компрессорные установки: Справ. изд. / З.З. Рахмилевич. – М: Химия, 1989. – 272 с.
11. *Musaakhunova L.F., Igolkin A.A., Shabanov K.Y.* The vibroacoustic characteristics research of the gas pipeline. Procedia Engineering. 2015. Vol. 106, pp. 316-324.
12. *Tan Y., Guan R., Zhang Z.* Performance of accelerated oscillator dampers under seismic loading. Advances in Mechanical Engineering, 2018, 10 (4).
13. *Vasilyev A.V.* Development and approbation of methods and technical solutions of reduction of vibration of power plants and joining mechanical systems. Procedia Engineering. 2015. Vol. 106. pp. 354-362.
14. *Vasilyev A.V.* Experimental research and reduction of vibration of pumps plants. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 39, April 2021, pp. 207-213. Edition: Studio D-akustika s.r.o.
15. *Vasilyev A.V.* Analysis of methods and presentation of results of experimental research of low frequency gas dynamic pulsations in pipelines of power plants. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 41, November 2021, pp. 200-204. Edition: Studio D-akustika s.r.o.
16. *Vasilyev A.V., Sannikov V.A., Tyurina N.V.* Experience of estimation and reduction of noise and vibration of industrial enterprises of Russia, Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 32, March 2019, pp. 247-250.

## DEVELOPMENT OF NEW DEVICES OF REDUCTION OF VIBRATION OF INDUSTRIAL EQUIPMENT AND OF PIPELINES

© 2025 A.V. Vasilyev

Samara State Technical University, Samara, Russia

In this paper analysis of methods of reduction of vibration of industrial equipment and of pipelines has been carried out. It was shown that efficient solution of vibration reduction is using of vibration isolators and of vibration supports, but existing devices have a number of disadvantages. New efficient devices of vibration isolators and of vibration supports for vibration damping have been developed and have been proved by patents of Russian Federation. It was concluded that for efficient reduction of vibration of industrial equipment and of pipelines as well as for reduction of it negative impact to the humans it is necessary to carry out further development, approbation and implantation of new efficient devices of vibration isolators and of vibration supports including on the basis of new vibration isolating materials.

*Key words:* vibration, reduction, industrial equipment, pipeline, vibration isolator, vibration support, new materials.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-1-192-199

EDN: WZFKDB

## REFERENCES

1. *Aver'yanov, G.S.* Analiz istochnikov vibracij, voznikayushchih v nasosnyh agregatah, i puti povysheniya effektivnosti vibracionnoj zashchity elementov konstrukcij zdaniy i sooruzhenij / G.S. Aver'yanov, V.N. Bel'kov, Yu.A. Bur'yan, A.B. Korchagin, Yu.P. Komarov // Omskij nauchnyj vestnik, seriya «Mashinostroenie i mashinovedenie». – 2012. – №1 (107). – S. 43-46.
2. *Buharov, I.V.* Issledovanie vibracij truboprovodov pri provedenii ispytanij magistral'nyh nasosov bol'shoj moshchnosti / I.V. Buharov, V.V. Bodrov // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2017. – T. 7. – № 4. – S. 84–93.
3. *Vasil'ev, A.V.* Snizhenie nizkochastotnogo shuma i vibracij v gazovodah energeticheskikh ustanovok s ispol'zovaniem metoda aktivnoj kompensacii / A.V. Vasil'ev. – SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2004. – 294 s.
4. *Vasil'ev, A.V.* Akusticheskoe modelirovanie i kompleksnoe snizhenie shuma avtomobil'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya: monografiya / A.V. Vasil'ev. – Samara: Izdatel'stvo Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2004. – 296 s.
5. *Vasil'ev, A.V.* Modelirovanie i snizhenie nizkochastotnogo shuma i vibracij energeticheskikh ustanovok i prisoeдинennyh mekhanicheskikh sistem: monografiya / A.V. Vasil'ev. – Samara: Izd-vo Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2011. – 216 s.
6. *Vasil'ev A.V.* Eksperimental'noe issledovanie i snizhenie vibracij nasosov promyshlennyh predpriyatij // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. – 2022, T. 26. – №12. – С. 28-32.
7. *Vasil'ev A.V., Ermakov V.V., Vinogradova V.A.* Adaptivnyj vibroizolyator dlya vibroakusticheskoy zashchity promyshlennogo oborudovaniya i truboprovodov. Patent RF na izobretenie № RU 2 792 996 S1. Opublikovano 28.03.2023 g.
8. *Vasil'ev A.V., Ermakov V.V., Vinogradova V.A.* Opornoe ustrojstvo gasheniya kolebanij truboprovodov. Patent RF na poleznuyu model' № RU 209698 U1. Opublikovano 18.03.2022 g.
9. *Ivanov, N.I.* Osnovy vibroakustiki: Uchebnik dlya vuzov / N.I. Ivanov, A.S. Nikiforov. – SPb.: Politehnika, 2000. – 482 s.
10. *Rahmilevich, Z.Z.* Kompessornye ustanovki: Sprav. izd. / Z.Z. Rahmilevich. – M: Himiya, 1989. – 272 s.
11. *Musaakhunova L.F., Igolkin A.A., Shabanov K.Y.* The vibroacoustic characteristics research of the gas pipeline. Procedia Engineering. 2015. Vol. 106, pp. 316-324.
12. *Tan Y., Guan R., Zhang Z.* Performance of accelerated oscillator dampers under seismic loading. Advances in Mechanical Engineering, 2018, 10 (4).
13. *Vasilyev A.V.* Development and approbation of methods and technical solutions of reduction of vibration of power plants and joining mechanical systems. Procedia Engineering. 2015. Vol. 106. pp. 354-362.
14. *Vasilyev A.V.* Experimental research and reduction of vibration of pumps plants. Journal “Akustika”, Czech Republic, Volume 39, April 2021, pp. 207-213. Edition: Studio D-akustika s.r.o.
15. *Vasilyev A.V.* Analysis of methods and presentation of results of experimental research of low frequency gas dynamic pulsations in pipelines of power plants. Journal “Akustika”, Czech Republic, Volume 41, November 2021, pp. 200-204. Edition: Studio D-akustika s.r.o.
16. *Vasilyev A.V., Sannikov V.A., Tyurina N.V.* Experience of estimation and reduction of noise and vibration of industrial enterprises of Russia, Journal “Akustika”, Czech Republic, Volume 32, March 2019, pp. 247-250.