АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том V 1959 Вып. 3

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ВИБРАЦИЙ

Обзор

Ю. И. Иориш

Термин «вибрация», в полном смысле слова, является синонимом механических колебаний. Кроме того, он имеет несколько более узких значений. Чрезвычайно широкий круг относящихся сюда вопросов, разумеется, не может быть охвачен одной статьей. Настоящий обзор ограничен рассмотрением только вопросов касающихся вредных вибраций, т. е. механических колебаний, которые не являются необходимыми для выполнения различными техническими объектами их функций, а возникают в этих объектах из-за их несовершенства, дефектов и особых условий эксплуатации. В настоящее время публикуется много исследований, направленных на изучение вредных вибраций и на борьбу с ними.

Однако в очерченной нами области необходимо ввести дальнейшие ограничения. Мы не имеем возможности включить в обзор исследования причин возникновения вибрации и активные методы борьбы, основанные на изменении и улучшении объектов, относящихся к различным отраслям техники. Изучение и устранение таких явлений, как флаттер самолета, шимми колес экипажа, колебания роторов силовых агрегатов, крутильные колебания валов, вибрация резцов при обработке металла, вибрация фундаментов и мостов — все это связано с конструкцией объектов и их элементов. Рассмотрение подобных вопросов может быть выполнено только совместно с изучением задач, стоящих перед соответствующей отраслью техники. Значительная часть относящейся сюда отечественной литературы приведена в библиографическом справочнике Зильберминц [50]*. Кроме того, ниже даются ссылки на некоторые труды с библиографией по различным отраслям техники. Мы не считаем возможным останавливаться и на физиологическом действии вибрации на человеческий организм. Интересующихся этим вопросом можно отослать к книге Андреевой-Галаниной [5], где приведена подробная библиография.

Учитывая высказанные соображения, мы включили в обзор только следующие разделы:

1. Измерение вибрации (т. н. виброметрию);
2. Создание имитационной вибрации;
3. Виброизоляцию;
4. Действие вибрации на приборы.

Эти вопросы являются общими для всех отраслей техники, и наиболее близки к акустике и электроакустике.

Острая необходимость изучения и решения рассматриваемых задач возникла лишь в 20-х и начале 30-х гг. нашего столетия в связи с колоссальным увеличением мощностей различных машин и быстрым ростом скоростей средств транспорта. В Советском Союзе такая потребность возникла приблизительно в то же время, особенно в годы первой пятилетки — годы крутого подъема индустриализации страны. Запросы техники в более ранние периоды удовлетворялись общими исследованиями по теории ко-

* Библиография к данному обзору дана, для удобства читателя, в алфавитном порядке.

лебаний, сейсмометрии и некоторыми отдельными работами. Сюда, в первую очередь, должны быть отнесены теоретические и очень тщательные экспериментальные работы Голицына [41, 42] и написанные в разное время блестящие труды Крылова, оформленные и доработанные затем в виде отдельных книг [75, 77]. По свидетельству Крылова [78] первое измерение вибрации в русском флоте при помощи виброметра было произведено в 1900 г. на крейсере «Громобой». Вряд ли среди современников можно указать имя другого механика, который бы наряду с чисто практической деятельностью кораблестроителя применял и обобщал теоретический анализ до такой степени полноты и глубины, как это делал А. Н. Крылов. В частности, им разработана, ставшая классической, теория записи колебательного движения произвольной формы при помощи прибора, обладающего высокой собственной частотой (акселерометр). Постановка вопроса была вызвана неполадками при испытании крупного артиллерийского орудия. Решение задачи дано в замкнутой форме. Такое решение используется и в настоящее время. Оно отлично взаимодополняется методом характеристик и представлением решения в виде ряда или интеграла Фурье.

Из обобщающих работ и учебников, в которых рассматривались выделенные нами вопросы, нельзя не упомянуть переведенные на русский язык превосходные книги Тимошенко [123] и Ден-Гартога [47]. Из более поздних учебников укажем на курс Стрелкова [121], руководство к лабораторным работам Баргера [14], книги Бабакова [13] и Пановко [95], а также общие работы по динамической прочности в машиностроении [100, 116].

Основные определения, относящиеся к вибрации, обозначения и единицы измерения были приведены в ГОСТ 2992-45 [140] (в настоящее время отменен). Новые законченные исследования в рассматриваемой области (отечественные и иностранные) излагаются в реферативных журналах «Механика», «Физика», «Машиностроение» и «Электротехника», а также в сборнике [125], издаваемых Всесоюзным институтом научно-технической информации Государственного научно-технического комитета Совета Министров СССР и АН СССР (ВИНИТИ). Иностранный опыт освещается в нескольких сериях «Экспресс-информация», издаваемой ВИНИТИ и в сборниках переводов «Механика» и «Машиностроение за рубежом», регулярно выпускаемых Издательством иностранной литературы.

При Институте машиноведения АН СССР, совместно с Научно-техническим обществом приборостроительной промышленности, функционирует постоянный семинар под руководством Н. П. Раевского. Заседания семинара посвящаются методам экспериментального исследования механических параметров машин и, в том числе, методам изучения вибрации.

В 1956 году при Центральном научно-исследовательском институте им. акад. А. Н. Крылова был проведен семинар по контролю шумности корабельных механизмов и машин. Значительная часть рассмотренных вопросов была непосредственно связана с вибрацией этих машин [84].

Вопросам вибрационной техники посвящен постоянный семинар, действующий с 1957 г. при Московском доме научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского [146].

С 1 по 5 июля 1959 г. в Ленинграде проходила конференция «Вибростенды и виброизмерения», организованная Ленинградским обществом машиностроительной и приборостроительной промышленности.

Виброметрия

Еще в начале 30-х гг. основным средством измерения вибрации были приборы иностранного происхождения, которыми были оснащены лаборатории ведущих научно-исследовательских институтов. Кроме того, во

многих организациях виброизмерительные приборы создавались, так сказать, для собственного употребления и их описания нигде не публиковались. К их числу относятся, например, несколько приборов, разработанных в лаборатории В. С. Казанского (Всесоюзный электротехнический институт, 1925—40 гг.). Насколько нам известно, этот талантливый ученый-изобретатель опубликовал лишь свои исследования в области изучения шума и музыкальной акустики. Например, в работе [62] описан оригинальный прибор — акустический осциллограф, имевший некоторое применение и для исследования вибрации. Что же касается основных исследований В. С. Казанского и его сотрудников по виброметрии и артиллерийской звуковой разведке, то они оставались неопубликованными.

Первое опубликованное исследование в области измерения вибрации в послеоктябрьский период принадлежит, по-видимому, Андрееву [4]. Оно касалось преимущественно измерения колебаний деталей звуковоспроизводящих устройств. Содержащаяся в этой работе теория является общей с теорией развившихся впоследствии так называемых максимальных приборов, измеряющих максимальное значение величины (обычно амплитуды ускорения). Такие приборы, с использованием разрывного контакта разрабатывали Бураго [27], Колесник [72], Раевский [108], Уголков [127] и, без разрывного контакта,— Вигдерман и Погер [37].

Развитие виброметрии потребовало выполнения и ряда теоретических исследований. К ним необходимо отнести работы Шнирмана [138] и Кирноса [64], касающиеся упругого подвеса инерционных (сейсмических) приборов. Сюда же относятся исследования Анцыферовым подвеса на подвижно зажатых плоских пружинах и устойчивости виброметра на вибрирующей поверхности [6, 7, 9]. Последний вопрос рассмотрен также в диссертации Брановского [25] и в работе Клюкина [68]. Ю. И. Иориш исследовал и дал теорию явления субгармонического резонанса, наблюдавшегося в системе с упругими ограничителями хода [55, 58].

К концу 30-х и началу 40-х гг. появляется много различных виброизмерительных приборов, преобразующих измеряемые механические колебания в электрические, с последующим их усилением и измерением или записью. Электромеханические приборы обладают перед механическими значительными преимуществами, к которым относятся: дистанционность действия, высокое качество записи при помощи осциллографа, возможность значительного усиления, преобразования и анализа электрическими методами, возможность одновременной записи на общей осциллограмме нескольких колебательных процессов, компактность и малый вес и другие. Надежность и удобство электромеханических виброизмерительных систем, в которых применены все достижения электроакустики и радиотехники, настолько высоки, что они постепенно почти полностью вытеснили все остальные системы. Ниже рассмотрены некоторые методы преобразования механических колебаний в электрические и основанные на этих методах приборы.

По совокупности всех данных, определяющих работоспособность виброизмерительных приборов, наиболее универсальными оказались индукционные (магнитоэлектрические) приборы, основные принципы построения которых были указаны и осуществлены на практике еще Голицыным [42]. В конце 30-х гг был широко известен небольшой индукционный чувствительный элемент, так называемый вибродатчик, разработанный Шнирманом [139]. Аналогичные вибродатчики выпускались промышленностью серийно, в комплекте со всей аппаратурой — усилителями, электрическими дифференцирующими, интегрирующими и коммутирующими устройствами. Анцыферов [8] разработал индукционный виброметр с подвесом на плоских пружинах. Виброметр давал возможность производить довольно точные измерения, но большие габариты позволяли использовать его преимущественно для исследования крупных объектов. Малогабаритные индукционные датчики [59] с подвесом на плоских пружинах выпус-

кались различными предприятиями, в частности, заводом «Энергоприбор». Кроме того, необходимо указать на виброизмерительную аппаратуру Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ) [29, 30, 36] и ручной индукционный щуп, разработанный Феррони [130]. Индукционные вибродатчики используются и в различных видах аппаратуры специального назначения, например, в сейсмоакустической [11] и в аппаратуре, предназначенной для балансировки роторов турбоагрегатов [26].

В различное время создавались электромагнитные (индуктивные) приборы, работающие на несущей частоте. Их разрабатывали Цейтлин [133], Подольский [97] и другие. Большим достоинством таких приборов является высокая мощность выходного сигнала. В ряде случаев это позволяет создавать аппаратуру без добавочного усиления. Однако другие эксплуатационные недостатки ограничивают возможности использования. Сюда относится сильная электрическая наводка из канала одного датчика в соседние, необходимость иметь для каждого датчика не менее трех подводящих проводов и нестабильность нуля. Электромагнитные датчики обычно включаются в мостовые схемы. Мостовым схемам посвящена своя обширная литература, но некоторые работы полностью или частично посвящены исследованиям мостовых схем специально для виброизмерительной аппаратуры. Сюда относятся работы Попова [101] и Дмитриева [48]. Ручной электромагнитный щуп без внешнего питания разработали Волчков и Иориш [38].

Классическими являются емкостные методы преобразования механических колебаний в электрические. Однако в полевых условиях эти методы уступают другим в отношении надежности. Зато при лабораторных исследованиях емкостные методы позволяют производить очень точные измерения. Укажем на работы Клюкина [67] и Тимошенко [122]. Миниатюрный емкостный виброщуп был разработан группой сотрудников ЦНИИТМАШ [86].

Широкое внедрение в практику проволочных тензометрических элементов позволило использовать их и в виброизмерительной аппаратуре. Такие приборы разрабатывали Раевский [107], Коритысский [73, 74], Захаров [49], Боркунский [21], Смолюк [118], Баргер [126, стр. 195].

Последние годы, особенно после внедрения керамики титаната бария, получают все большее распространение пьезоэлектрические акселерометрические датчики. В некоторых из них используется биморфный элемент, изобретенный Н. Н. Андреевым, в некоторых — стопа пластинок или одна пластинка или кольцевой элемент. Можно указать на работы Васильевой и Фридлянда [28], Рудашевского [111], Анцыферова и Переверзева [11], Русакова и Качкачевой [110]. Пьезоэлектрические вибродатчики одни из самых универсальных, их использование особенно целесообразно при широком диапазоне частотного спектра исследуемой вибрации и при исследовании нестационарных процессов.

Интересными возможностями обладают электронные вибродатчики с механическим управлением электродами. Несколько опытных разработок выполнено Гончарским [43, 44]. К сожалению, эти приборы внедряются крайне медленно.

Несколько десятков лет тому назад имел широкое распространение интерференционный оптический метод измерения, который затем был оставлен, так как достаточная точность измерения могла быть получена при помощи развивавшихся несравненно более удобных электромеханических систем. Однако в последнее время интерференционный метод снова стал применяться для абсолютной калибровки других типов виброизмерительной аппаратуры при высоких частотах и весьма малых амплитудах [32, 46, 80, 110]; исследования Берштейна [17] и Горелика [45] показывают, что возможно производить измерение смещений, начиная с долей ангстрема.

Укажем еще на некоторые оригинальные схемы и конструкции приборов. Подольский [98] сконструировал упругий подвес с «отрицательной» упругостью. Харин и Рулев [132] использовали маятниковый подвес для измерения больших перемещений. Бибер [18, 19] разработал интегрирующий виброграф с переуспокоением и дал оценку погрешностей записи импульса. Путятин [105] и Остапов [94] дали оригинальные решения схем торсиографов. Бразгул [22] разработал установку для измерения вибрации вращающегося вала. Иванов и Морин [51] сконструировали установку для измерения вибрации фотоспособом. Васильчиков [33] описал устройство для измерения больших переменных перемещений при помощи радиоактивного датчика. В Ленинградском политехническом институте им. Калинина (ЛПИ) разработаны виброизмерительные приборы с характеристиками, приближающимися к идеальному виброметру [85] и идеальному акселерометру [20].

Разработке, испытаниям и калибровке (тарировке) виброизмерительных приборов и их элементов посвящены также работы [24, 31, 71, 79, 91, 92, 104, 106, 112, 129, 131, 134, 137].

Первая обобщающая работа, содержащая основные элементы теории виброизмерительных приборов, была опубликована Михайловым [89]. К сожалению, эта очень хорошая работа осталась мало известной, хотя всей своей ценности она не утратила и до сих пор. Некоторые сведения об измерении вибрации, содержались в книге Мясникова [90], вышедшей в то же время, и в Технической энциклопедии [35, 114].

Впоследствии обобщающие работы публиковались неоднократно. Во многих из них приведены подробные описания различных типов аппаратуры. Укажем на работы Шнирмана [139], Ананьева и Беляева [3], Серебренникова [115], Брановского [23], Ушакова [128], Туричина [126]. В 1952 г. был выпущен сборник переводов под редакцией Пригоровского [102]. Несколько сборников [12, 36, 103] содержали отечественные работы по виброметрии. Некоторые из вопросов, затронутых в настоящем обзоре, рассматривались в руководствах по сейсмометрии Гамбурцева [40], Саваренского и Кирноса [113], Кирноса [64, 65] и других. Литература о вибрации судов приведена в книге Курдюмова [82]. Вопросы вибраций самолетов освещены в работах Келдыша, Гроссмана и Марина [63] и Чесалова [135]. Трудоемкие измерения вибраций самолетов производили Д. Б. Пебарт, М. Н. Казанский, Ю. И. Иориш, В. И. Конычев и безвременно погибший В. М. Большаков.

Методы измерения и требования к виброизмерительной аппаратуре были подробно отражены в Государственных общесоюзных стандартах 4602-49 и 4603-49 [144, 145], которые в настоящее время заменены ведомственными инструкциями и нормалями.

В 1956 г. вышла книга Иориша [61], содержащая основы теории виброметрии и практические данные для проведения измерений.

Многочисленные доклады, прочитанные на последней конференции «Вибростенды и виброизмерения» (см. выше) показали, что основные направления, в которых развивается отечественная виброметрия, это общее совершенствование методов измерения и аппаратуры, повышение ее надежности и, особенно, повышение достоверности выдаваемых данных и объективная оценка вносимых искажений и погрешностей.

Вибрационные стенды

Создание имитационной вибрации необходимо для калибровки виброизмерительной аппаратуры и для проведения испытаний различных объектов.

Механические вибраторы центробежного типа, сочленяемые с крупными конструкциями, подлежащими испытаниям, например, узлами самолетных конструкций, описаны Вольфсоном [39]. Два типа вибрационных

стендов с механическим приводом описаны в работе [56], которая послужила основанием для создания ГОСТа 3501-47 [143]. В дальнейшем некоторые из относящихся сюда вопросов были обобщены в диссертации Шаталова [136]. Кобринский [69] разработал оригинальную конструкцию стенда, создающего вибрацию с двумя гармоническими колебаниями. См. также [99].

Вибраторы и стенды с механическим приводом могли создавать сильные, но не очень чистые гармонические колебания при частотах до 60—100 *гц*. При более высоких частотах установки быстро изнашивались. Усложненные конструкции с динамической разгрузкой наиболее ответственных узлов, разрабатывавшиеся разными авторами, например, Малашенко [87], распространения не получили. Значительно более чистые гармонические колебания в широком диапазоне могут создаваться электромеханическими устройствами. М. С. Анцыферов применил для этой цели электродинамический громкоговоритель. Работа была выполнена в 1938 г., но описана значительно позже [10]. Впоследствии вибраторы и стенды такого типа от миниатюрных, до весьма крупных — создавались различными организациями, см. например, [32, 34]. Электродинамический стенд с резонансной подстройкой и самовозбуждением разработал Иориш [57]. Можно указать еще на оригинальную конструкцию Ризниченко [109] и Пасечника [96]. В первой из этих работ приведен интересный исторический обзор развития и применения вибрационных стендов.

Частóты возбуждения порядка 10 000 *гц* и выше могут быть получены при помощи вибраторов с пьезоэлектрическим приводом [110].

Виброизоляция

Значительная часть агрегатов, применяемых в различных отраслях техники, создает сильную вибрацию, которую путем конструктивных мероприятий не удается сделать ниже еще довольно высокого уровня. Например, вибрация самолета особенно в зонах, лежащих вблизи двигателей, даже для низкочастотных составляющих спектра обычно имеет несколько g по амплитуде вибрационного ускорения. Для защиты от вибрации используются активные и пассивные методы. Активную защиту составляют мероприятия, направленные на изоляцию источника вибрации, а пассивную — мероприятия, направленные на изоляцию объектов, для которых действие вибрации является нежелательным. Математическое обоснование задачи о виброизоляции твердого тела с шестью степенями свободы очень четко сформулировано в работе Крылова [76].

Фундаментальные работы по виброизоляции авиационных двигателей были выполнены в Центральном аэрогидродинамическом институте им. Жуковского (ЦАГИ). Часть этих исследований можно найти в работах Белоуса [16] и Ананьева [2]. Последний исследовал также действие вибрации на механические проводки управления [1]. Более подробные библиографические данные содержатся в работе [2].

Мощный толчок исследованиям в области виброизоляции различных агрегатов и строительных сооружений был дан в связи с началом проектных и изыскательных работ по строительству Дворца Советов. В частности, в Акустической лаборатории при Управлении строительством была создана крупная установка для исследования виброизолирующих материалов [53]. Впоследствии теоретические и экспериментальные исследования таких материалов производили Клюкин [66, 67], Сорокин [119, 120] и другие. Теоретические исследования по виброизоляции содержатся в диссертации Лейзера [83]. В подробной инструкции, составленной Мартышкиным [88], приведены рациональные данные по проектированию и расчету виброизоляции машин. Колебаниям в строительных сооружениях посвящена обширная самостоятельная литература; библиографические ссылки см. в [15, 50, 120].

Пассивные методы виброизоляции достигли наибольшего развития применительно к разнообразному оборудованию кораблей, самолетов и ракет. Для виброизоляции такого оборудования в 30-х и 40-х гг. применялись (а частично применяются и до сих пор) нормализованные плоские резиновые амортизаторы авиационного типа. В 1940 г. Волосевич [58, стр. 183] разработал пружинные амортизаторы. Впоследствии был разработан пружинный равночастотный амортизатор, не изменяющий частоты собственных колебаний подвеса при различных весовых нагрузках [54].

С точки зрения оптимальной защиты от стационарной вибрации, пружинные амортизаторы с небольшим демпфированием являются наилучшими. Однако при необходимости одновременной защиты от ударов и нестационарной вибрации в колебательную систему необходимо вводить активные потери. В современных амортизаторах это достигается добавлением пневматических демпфирующих устройств, войлочных и резиновых прокладок, а также конструктивных элементов, вносящих сухое трение.

Конструкции, предназначенные для защиты от вибрации лабораторного оборудования, разработал Ильинский [52].

Теоретическое обоснование рассмотренных вопросов, практические данные и методы испытания амортизаторов содержатся в [58].

Действие вибрации на приборы

Результат действия вибрации на приборы определяет их вибропрочность и виброустойчивость. Показателем вибропрочности прибора является целостность его деталей и общая исправность после длительного воздействия вибрации, а показателем виброустойчивости — правильное выполнение прибором своих функций во время воздействия вибрации, хотя бы и кратковременного.

Значительная часть экспериментальных исследований вибропрочности не имеет универсального характера и связывается с конкретными испытаниями образцов промышленной продукции. Руководящими материалами являлись ГОСТы 2993-45 и 3482-46 [141, 142], замененные в настоящее время ведомственными нормалями и инструкциями. Более универсальны исследования вибропрочности опор измерительных приборов. Сюда относятся исследования Кульбуша [81], Сивоконенко [117] и других.

Виброустойчивость приборов исследовалась многими авторами. Особенно привлекало исследователей любопытное явление одностороннего увода стрелки прибора при вполне синусоидальном характере однонаправленной вибрации. Это явление было известно задолго до первого упоминания о нем в книге Ноздровского [93], однако в течение длительного времени не удавалось получить удовлетворительной теории явления. В результате проведения трудоемких исследований Тихменева [124], Кобринского [70] и Иориша [60], можно считать установленным, что в различных конструкциях приборов, в различных режимах вибрации сказывается несколько причин. Наиболее важные из них, это разрыв непрерывности в кинематической схеме приборов (поводковый механизм, наличие люфтов) и смещение устойчивого положения системы, аналогично такому же явлению для маятника с вибрирующей точкой подвеса.

* * *

Подводя итог, можно констатировать, что в нашей стране получены существенные результаты в вопросах изучения вибрации. В отношении принципиального разрешения относящихся сюда задач, теоретического рассмотрения методов исследования и процессов, происходящих в аппаратуре, а также исследования действия вибрации на различные приборы, работы советских исследователей находятся на высоком уровне. Следует отметить

также успехи в составлении обобщающих трудов и руководящих материалов инструкций, наставлений, ГОСТов, выпуске реферативных журналов, сборников переводов и информаций об иностранном опыте.

Вместе с тем, нельзя не обратить внимания на то, что мы еще не располагаем достаточно широкой номенклатурой различных типов виброизмерительной аппаратуры и вибрационных стендов промышленного изготовления. Медленно внедряются в промышленность разработки новых типов вибродатчиков и новых амортизаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Ананьев. Вибрация проводки управления. Тр. ЦАГИ, М., 1939, 446.
2. И. В. Ананьев. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем, М.—Л., Гостехиздат, 1946.
3. И. В. Ананьев, М. М. Беляев. Техника измерения колебаний, М., Изд. БНТ, ЦАГИ, 1947.
4. Н. Н. Андреев. Простые методы телефонной акустики. Научно-технич. сб. телеграф, телефон, радио, почта. М. Изд-во НКПТ, 1927, 2.
5. Е. Ц. Андреева-Галанина. Вибрация и ее значение в гигиене труда. Л., Медгиз, 1956.
6. М. С. Анцыферов. Об устойчивости виброметра на возбуждающей поверхности. Ж. техн. физ., 1947, 17, 12, 1441—1450.
7. М. С. Анцыферов. Свободные поперечные колебания стержня с подвижно-зажатыми концами. Ж. техн. физ., 1947, 17, 12, 1452—1456.
8. М. С. Анцыферов. Широкополосный электродинамический виброметр звукового диапазона. Ж. техн. физ., 1949, 19, 10, 1161—1167.
9. М. С. Анцыферов. Вторичные резонансы в сейсмографе с пружинным подвесом. Изв. АН СССР, сер. географич. и геофизич., 1950, 14, 4, 317—333.
10. М. С. Анцыферов. Вибрационная платформа для исследования виброметров в звуковом диапазоне. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1951, 5, 31—39.
11. М. С. Анцыферов, Л. Б. Переверзев. Сейсмоакустическая аппаратура для регистрации и исследования предупредительных признаков внезапных выбросов угля и газа. Тр. Геофизич. ин-та АН СССР, 1956, 34 (161), 208—242.
12. И. И. Артоболевский (под ред.) Экспериментальные методы исследования машин. Сб. ст. Ин-т машиновед. АН СССР, М., 1954.
13. И. М. Бабаков. Теория колебаний. М., ГИТТЛ, 1958.
14. И. Б. Баргер. Руководство по работам в лабораториях вибраций. Ленинград. политехнич. ин-т им. М. И. Калинина, 1952.
15. Д. Д. Баркан. Динамика оснований и фундаментов. М., Стройвоенмориздат, 1948.
16. А. А. Белоус. Вибрации мотоустановок с жесткими и эластичными креплениями звездообразного мотора. Тр. ЦАГИ, М., 1940, 499.
17. И. Л. Берштейн. Измерение весьма малых механических смещений. Сб. памяти А. А. Андронова. Изд-во АН СССР, М., 1955.
18. Л. А. Бибер. Расширение частотного диапазона вибрографа. Электричество, 1957, 10, 63—66.
19. Л. А. Бибер. Погрешности при измерении импульсных вибраций. Электричество, 1959, 1, 54—58.
20. Р. И. Борковский, А. М. Кац, В. К. Прокопов. Теория линейных фильтрующих акселерометров. Тр. Ленингр. политехнич. ин-та им. Калинина, 1958, 192, 83—97.
21. И. Х. Боркунский. Акселерометр с проволочными датчиками сопротивления. Приборы и стенды. П-56-481. М., 1956.
22. Л. И. Бразгул. Двухкомпонентный фотоэлектронный виброметр. Приборостроение, 1957, 6, 30.
23. М. А. Брановский. Виброизмерительные приборы и их применение в условиях тепловых электростанций. М., Госэнергоиздат, 1948
24. М. А. Брановский. Измерение вибраций и динамическая балансировка с помощью вибрографа Дэви. Электрич. станции, 1948, 3, 16—20.
25. М. А. Брановский. Методы и приборы для измерения вибрации турбоагрегатов (канд. диссертация). Всес. н.-и. теплотехн. ин-т им. Дзержинского, М., 1950.
26. М. А. Брановский, В. И. Кислый. Улучшение вибрационного состояния турбоагрегатов. Электрич. станции, 1956, 3, 25—31.
27. А. Н. Бураго. Предельные акселерометры и их статическое тарирование. Оптико-механич. промышлен., 1957, 3, 40—46.
28. Р. В. Васильева, В. И. Фридлянд. Прибор для определения форм колебаний деталей турбин. Приборы и стенды, ПС-55-440, М., 1955.

29. Р. В. Васильева, К. Р. Цеханский, В. И. Фридлянд, Е. И. Шейнман. Аппаратура для исследования вибраций машин. Приборы и стенды. ПС-55-440, М., 1955, 13—26.
30. Р. В. Васильева, В. И. Фридлянд. Аппаратура для измерения автоматического контроля и регистрации вибрации подшипников турбин. М., ЦНИИТМАШ, ЦБТИ, 1956.
31. Р. В. Васильева, К. Р. Цеханский, В. И. Фридлянд. Тарировочные вибростенды. Приборы и стенды. ПС-56-533, М., 1956.
32. Р. В. Васильева. Вибростенды для тарировки виброметров и акселерометров. Передовой научно-технич. и производствен. опыт. АН СССР, Филиал Всесоюзн. ин. научн. и технич. информации, № П-58-14/2, М., 1958.
33. Н. В. Васильчиков. Регистрация перемещений деталей машин радиоактивным датчиком. Передовой научно-технич. и производствен. опыт. № М-58-371/6, 1958.
34. С. Б. Васютинский, Г. П. Нагаенко. Конструктивные схемы и основные уравнения электродинамических вибрационных стендов. Тр. Ленинград. политехнич. ин-та им. Калинина, 1958, 192, 139—153.
35. Виброграф. Техническая энциклопедия, 1928, 3, 681.
36. Виброизмерительная аппаратура ЦНИИТМАШ, М., Машгиз, 1958.
37. В. Ш. Вигдерман, М. А. Погер. Бесконтактный максимальный акселерометр для автоматического выключения электродвигателей машин при повышенной вибрации. Приборы и стенды. П-56-407, М., 1956.
38. Е. В. Волчков, Ю. И. Иориш. Виброакселерометр. Авт. свид. СССР, № 78085, 1947.
39. В. С. Вольфсон. Вибраторы. М.—Л., Оборонгиз, 1939.
40. Г. А. Гамбурцев. Сейсмические методы разведки. М.—Л., ОНТИ, ч. 1, 1937; ч. II, 1938.
41. Б. Б. Голицын. К вопросу об исследовании колебаний зданий. Изв. постоян. центр. сейсмич. комис., 1910, 3, II, 2, 143—195.
42. Б. Б. Голицын. Лекции по сейсмометрии. СПБ, Академия наук, 1912.
43. Л. А. Гончарский. Звукосниматель. Электронный датчик. Авт. свид. СССР, № 47827, 1935.
44. Л. А. Гончарский. Механически управляемые электронные лампы. М—Л., Госэнергоиздат, 1957.
45. Г. С. Горелик. Некоторые микрофазометрические методы в радиофизике и оптике. Измерит. техника, 1955, 3, 10—19.
46. Б. С. Давыдов. Измерение малых амплитуд механических колебаний, Приборы и техника эксперимента, 1958, 5, 107.
47. Дж. П. Ден-Гартог. Теория колебаний. Пер. с англ. А. Н. Обморшева М.—Л., Гостехиздат, 1942.
48. Е. И. Дмитриев. Измерение малых перемещений индуктивным методом. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1945.
49. В. П. Захаров. Ускорение мер с проволочными тензодатчиками для измерения усилий в машинах. Сб. «Измерение напряжений и усилий в деталях машин», М., Машгиз, 1955, 101—130.
50. Л. В. Зильберминц. Вибрация машин и меры борьбы с ней. Библ. сб., работы с 1945 по 1954. Биб. им. М. Е. Салтыкова-Щедрина, Л., 1955.
51. М. Н. Иванов, И. С. Морин. Приборы для фотографической записи механических колебаний (фотовибрографы). Приборы и стенды. ПС-55-423, М., 1955.
52. В. С. Ильинский. Защита приборов и оборудования лабораторий от сотрясений. Завод. лаборат., 1955, 7, 867—868.
53. Ю. И. Иориш. Измерение упругих свойств коротких стержней из виброизолирующих материалов. Уч. записки МГУ, вып. 77, Физика III. 1945, 240—277.
54. Ю. И. Иориш. Равночастотные амортизаторы вибраций для самолетного оборудования. Тр. НИСО, № 7, Изд. БНТ НКАП, 1945.
55. Ю. И. Иориш. Субгармонический резонанс в системе с упругими ограничителями хода. Ж. техн. физ., 1946, 16, 6, 681—694.
56. Ю. И. Иориш, Н. И. Елиницкий, В. С. Славин. Испытательные вибрационные стенды. М., Стандартгиз, 1947.
57. Ю. И. Иориш. Вибрационный испытательный стенд. Авт. свид. СССР, № 70815, 1949 и № 91880, 1951.
58. Ю. И. Иориш. Защита самолетного оборудования от вибрации. М.—Л., Оборонгиз, 1949.
59. Ю. И. Иориш. Вибродатчик широкого диапазона частот. Электричество, 1951, 9, 54—57.
60. Ю. И. Иориш. Односторонний увод и вращение стрелок измерительных приборов, возникающие при вибрации. Приборостроение, 1956, 4, 15—24.
61. Ю. И. Иориш. Измерение вибрации. Общая теория, методы и приборы. М. Машгиз, 1956.
62. В. С. Казанский. Акустический осциллограф. Ж. прикладн. физ., 1927, 4, 3, 35—44.

63. М. В. Келдыш, Е. П. Гроссман, Н. И. Марин. Вибрации на самолете. М., Изд. БНТ ЦАГИ, 1942.
64. Д. П. Кирнос. Основы теории и расчета вибрографов. Тр. сейсмологич. ин-та АН СССР, М.—Л., 1938, 31.
65. Д. П. Кирнос. Некоторые вопросы инструментальной сейсмологии. Тр. Геофизич. ин-та АН СССР, М, 1955, 27 (1954).
66. И. И. Клюкин. К теории звукоизолирующих прокладок. Ж. техн. физ., 1950, 20, 5, 579—590.
67. И. И. Клюкин. Экспериментальное исследование звукоизолирующих прокладок. Ж. техн. физ., 1950, 20, 5, 590—595.
68. И. И. Клюкин. Влияние на погрешность показаний виброметра его реакции на колеблющуюся поверхность. Измерит. техника, 1958, 6, 30—35; О влиянии виброметра на движение колеблющейся поверхности. Акуст. ж., 1959, 5, 1, 38—41.
69. А. Е. Кобринский. Бигармонический вибростенд. Завод. лаборат., 1954, 6, 754—755.
70. А. Е. Кобринский. Некоторые вопросы динамики плоских механизмов с упругими связями (докт. диссертация). Ин-т машиновед. АН СССР, М., 1955.
71. Н. В. Колесник. Устранение вибрации машин. М.—Л., Машгиз, 1952.
72. Н. В. Колесник. Предельный акселерометр. Вестн. машиностроения 1955, 11, 24—25.
73. Я. И. Коритысский. Ручной виброметр с проволочным датчиком. Экспериментальные методы исследования машин, Ин-т машиновед. АН СССР, М., 1954, 81—102.
74. Я. И. Коритысский. Портативный ручной виброметр с проволочным датчиком. Приборостроение, 1957, 10.
75. А. Н. Крылов. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики, имеющих приложение в технических вопросах. Изд. 2,дополн., Л., Изд-во АН СССР, 1931.
76. А. Н. Крылов. О вибрации фундаментов не вполне уравновешенных машин. Собр. тр., М., Изд-во АН СССР, 1950,8, 279—299.
77. А. Н. Крылов. Вибрация судов. Л. —М., ОНТИ, 1936 (Литографированное изд., 1907 г.).
78. А. Н. Крылов. Первые измерения вибрации в нашем флоте. Собр. тр., М., Изд-во АН СССР, 1951, 1, 1, 215—216.
79. В. С. Кузьменко. Торсиограф, действующий по методу использования магнитной проницаемости стали. Речн. транспорт, 1957, 10, 26—28.
80. Е. В. Куликов, М. П. Чайка. Измерение малых амплитуд механических колебаний интерференционным методом. Приборы и техника эксперим., 1956, 2, 131—133.
81. Г. П. Кульбуш. Вибрационная прочность приборов. Точная индустрия, 1936, 2, 6—8; 3, 5—8; 4, 3—7; 5, 9—11; 6, 5—8; 7, 2—4.
82. А. А. Курдюмов. Вибрация корабля. Л., Судпромгиз, 1953.
83. И. Г. Лейзер. Колебания машин и приборов,установленных на упругих прокладках,и изолирующий эффект таких установок (канд. диссертация) МЭИ, 1944.
84. Лекции семинара по контролю шумности корабельных механизмов и машин. Центральн. н.-и. ин-т им. А. Н. Крылова, Л. 1956, 28 лекций (литографир.).
85. А. И. Лурье, В. И. Осорин. Применение экстремального полинома Чебышева для синтеза механической схемы вибродатчика, работающего в условиях медленно меняющихся перегрузок. Тр. Ленингр. политехнич. ин-та им. Калинина, 1958, 192, 109—127.
86. А. И. Максимов, М. Д. Медвинский, Р. В. Васильева, Л. А. Жердев. Аппаратура для исследования вибраций деталей турбин. Сб. «Эксперим. методы исслед. машин». Ин-т машиновед. АН СССР, М., 1954, 5—27.
87. С. В. Малашенко. Схема регулирования виброустановок на широкую полосу частот. Информационные материалы. Ин-т строительной механики АН УССР, 1949, 4, 36—40.
88. В. С. Мартышкин. Инструкция по проектированию и расчету виброизоляции машин с динамическими нагрузками и оборудования, чувствительного к вибрациям. И 204—55, МСПМХП, М., Гос. изд. лит-ры по строит. и архитектуре, 1956.
89. Л. Н. Михайлов.К теории механических вибрографов для полетных исследований. Технич. заметки ЦАГИ, М., 1937, 148.
90. Л. Л. Мясников. Акустические измерения. М.—Л., ОНТИ, Гл. ред. энергетич. лит-ры, 1937.
91. В. П. Ненюков, А. С. Жмур, Г. Л. Ляпин. Применение баллистического маятника для градуировки датчиков ускорений. Измерит. техника, 1959, 2, 29—31.
92. А. К. Новиков, А. Е. Колесников, Б. Н. Машарский. Калибровка виброщупов для измерений вибраций механизмов. Измерит. техника, 1958, 2, 32—55.

93. С. А. Ноздровский. Общая теория и методика расчета измерительных приборов. М.— Л., Оборонгиз, 1939.
94. Г. К. Остапов. Исследования изгибных колебаний системы колен вала двухрядного звездообразного авиамотора. Уч. записки Рижского пед. ин-та, 1957, 4, 179—223.
95. Я. Г. Пановко. Основы прикладной теории упругих колебаний. М., Машгиз, 1957.
96. И. П. Пасечник. Вибрационная платформа для исследования разведочных сейсмографов. Изв. АН СССР, сер. географич. и геофизич., 1950. 14, 6. 514—520.
97. В. Г. Подольский. Электромагнитный датчик вибрографа. Приборы и стенды. ПС-55-417, М., 1955.
98. В. Г. Подольский. Низкочастотный виброграф. Приборы и стенды. ПС-55-417, М., 1955.
99. В. В. Покровский. Стенды для вибрационных и ударных испытаний. Тр. Ленингр. политехнич. ин-та им. Калинина, 1958, 192, 128—140.
100. С. Д. Пономарев и др. Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении. М., Машгиз, 1952.
101. И. А. Попов. О возможности нелинейных динамических искажений в мостах параметрических датчиков, питаемых током несущей частоты. Сб. «Эксперим. методы исслед. машин», Ин-т машиновед. АН СССР, М., 1954, 113—124.
102. Н. И. Пригоровский (под ред.). Сб. переводов. М., Машгиз, 1952.
103. Н. И. Пригоровский (под ред.). Измерение напряжений и усилий в деталях машин. Сб. статей. М., Машгиз, 1955.
104. Г. Н. Путимцев. К вопросу об исследовании электромеханических систем сейсмической аппаратуры. Сб. «10-я научно-техн. конфер. научно-студенческого об-ва Моск. нефт. ин-та», Л., Гостоптехиздат, 1956, 79—92.
105. В. В. Путятин. Маятниковый датчик крутильных колебаний. Сб. «Динамика и прочность», Рига, 1958, 5, 63—83.
106. В. А. Радзиевский. Влияние на характеристики виброизмерительного датчика степени заполнения жидкостью. Приборостроение, 1958, 6, 21—22.
107. Н. П. Раевский. Методы экспериментального исследования механических параметров машин. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1952.
108. Н. П. Раевский. Измерение максимальных ускорений. Тр. Ин-та машиновед. АН СССР, 1957, 17, 66, 39—51.
109. Ю. В. Ризниченко. Инерционная вибрационная платформа. Изв. АН СССР, сер. географич. и геофизич., 1939, 3, 267—270.
110. Л. З. Русаков, М. М. Качкачева. Методика градуировки виброприемников. Сб. «Пьезотехника», ЦБНТИ Гос. комитет. радиоэлектр. М., 1959, 1.
111. Г. Е. Рудашевский. Пьезокерамические вибродатчики. Приборы и стенды. П-56-477, М., 1956.
112. М. М. Русинов. Оптика приборов для записи колебаний. М.—Л., Оборонгиз, 1939.
113. Е. Ф. Саваренский, Д. П. Кирнос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М.—Л., Гостехиздат, 1949.
114. М. Серебренников. Колебательное движение. Техническая энциклопедия, 1930, 10, 538.
115. М. Г. Серебренников. Колебания и вибрации. М. —Л., Гостехиздат, 1940.
116. С. В. Серенсен, И. М. Тетельбаум, Н. И. Пригоровский. Динамическая прочность в машиностроении. М., Машгиз, 1945.
117. И. М. Сивоконенко. Опоры подвижных систем приборов. Л., Судпромгиз, 1952.
118. Л. А. Смолюк. Акселерометр А-2. Приборы и стенды. ПС-55-489, М., 1955.
119. Е. С. Сорокин. Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания. Сб. «Исслед. по динамике сооружений», М., Стройиздат, 1951, 5—37.
120. Е. С. Сорокин. Динамический расчет несущих конструкций зданий, М., Госстройиздат, 1956.
121. С. П. Стрелков. Введение в теорию колебаний. М.—Л., Гостехиздат, 1950.
122. В. Г. Тимошенко. О применении емкостного датчика при записи механических колебаний.Сб. «Вопросы порошковой металлургии и прочности материалов», Киев, 1956, 3, 117—121.
123. С. П. Тимошенко. Теория колебаний в инженерном деле, Перев. с англ. Н. А. Шошина, М.—Л., ГНТИ, 1931.
124. С. С. Тихменев. Об изменениях показаний приборов при вибрации (докт. диссертация), МВТУ, 1953.
125. А. В. Топаллер. Приборы для измерения колебаний, вибраций, деформаций, перемещений, линейных и угловых размеров, скоростей, ускорений, времени, веса. Реферативн. сб. № 1, Передовой научно-технич. опыт, П-59-25/3, М., 1959.
126. А. М. Туричин. Электрические измерения неэлектрических величин. М.—Л., Энергоиздат, 1954.

127. Ф. И. Уголков. Прибор для измерения ускорений при испытании на ударные перегрузки. Приборы и стенды. ПС-55-440, М., 1955.
128. А. А. Ушаков. Виброизмерительная аппаратура. М., ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1948.
129. В. Н. Федорович. Акустический способ измерения вибрации. Ж. техн. физ., 1952, 22, 2, 238—240.
130. В. К. Феррони. Магнитоэлектрический электронный виброметр. Сб. «Электросила», Л., 1951, 10, 50—53.
131. Д. А. Харин. О качестве виброизмерительных приборов с механическими и оптическими методами регистрации. Тр. Геофизич. ин-та АН СССР, 1952, 14, 69—78.
132. Д. А. Харин, Б. Г. Рулев. Электродинамический сейсмограф для записи больших перемещений. Изв. АН СССР, сер. геофизич., 1957, 1, 113—115.
133. С. И. Цейтлин. Электронная виброизмерительная аппаратура. Приборы и стенды. ПС-55-502, М., 1955.
134. А. Н. Чалый-Прилуцкий, Б. Е. Болотов. Приспособление для динамической градуировки пьезопластин. Измерит. техника, 1958, 4, 35—37.
135. А. В. Чесалов. Опыт борьбы с вибрациями на самолетах. Тр. ЦАГИ, М., 1940, 494.
136. К. Т. Шаталова. Вынужденные колебания сложных дискретных линейных систем (докт. диссертация). Ин-т машиновед. АН СССР, 1955.
137. Г. Л. Шнирман. Электрические методы градуировки электродинамических сейсмографов и вибрографов. Тр. Сейсмологич. ин-та АН СССР, 1935, 55.
138. Г. Л. Шнирман. Элементарная теория пружинного подвеса вертикального сейсмографа. Тр. Сейсмологич. ин-та АН СССР, 1938, 83, 32—40.
139. Г. Л. Шнирман. Электрические методы исследования динамических процессов в деталях машин. Сб. докл. по динамич. прочн. деталей машин. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946, стр. 64—94.
140. ГОСТ 2992-45. Вибрация. Основные определения, обозначения и единицы измерения.
141. ГОСТ 2993-45. Оборудование авиационное бортовое. Испытания на вибрацию. Общие положения.
142. ГОСТ 3482-46. Методы испытаний приборов на вибрацию.
143. ГОСТ 3501-47. Требования к испытательным вибрационным стендам.
144. ГОСТ 4602-49. Методика замера вибрации самолетов.
145. ГОСТ 603-49. Требования к аппаратуре для записи вибрации самолетов. Лабораторные испытания аппаратуры.
146. Конспекты докладов семинара по вопросам вибрационной техники. Московский дом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского, 1959, I и II (литогр).

Москва

Поступила в редакцию
16 июня 1957 г.