

СЕРИЯ IX · 1966

8



Ф И З И К А
М А Т Е М А Т И К А
А С Т Р О Н О М И Я



Л.С.ТЕРМЕН

ФИЗИКА
И МУЗЫКАЛЬНОЕ
ИСКУССТВО

Л. С. Термен

**ФИЗИКА И
МУЗЫКАЛЬНОЕ
ИСКУССТВО**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1966**

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
Возможная роль науки и техники в развитии музыкального искусства	4
Историческая справка	5
Новые методы получения музыкального звукового материала	8
Новые методы управления музыкальным звуковым материалом	12
Методы и средства, содействующие музыкальному творчеству и композиции	19
Исполнительство и проекция музыкального материала на аудиторию	21
Синтез музыки с другими искусствами	24
Новые музыкально-исследовательские и измерительные средства	27
Перспективы развития музыкального искусства	31

ЛЕВ СЕРГЕЕВИЧ ТЕРМЕН

Редактор *И. Б. Файнбойм*
Худож. редактор *Е. Е. Соколов*
Техн. редактор *М. Т. Перегудова*
Корректор *Г. П. Трибунская*
Обложка художника *А. Г. Ординарцева*

Сдано в набор 15/II 1966 г. Подписано к печати 26/III 1966 г.
Изд. № 94. Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0.
Уч.-изд. л. 1,91. А 12315. Цена 6 коп. Тир. 65 700 экз. Зак. 591.
Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва. Центр, Новая пл., д. 3/4.

Введение

Последнее столетие ознаменовалось большим прогрессом науки, особенно физики. Были открыты рентгеновские лучи, радиоактивность, электромагнитные волны, новые области электроники, ядерные процессы и т. д.

Существенно видоизменили образ жизни людей новые средства передвижения — совершенный железнодорожный транспорт, автомобили, авиация, ракетная техника, связи — радиотехника, радиовещание, телевидение, освещения — электролампы накаливания, лампы дневного света. Открыты новые энергетические ресурсы — разнообразные методы электрификации, использование атомной энергии. Найдены новые химические и металлургические структуры. Астрономия и астрофизика получили принципиально новые возможности исследования космического пространства.

Успехи науки и техники косвенно повлияли и на развитие искусств. В дополнение к театральному искусству появились кино и телевидение. Они открыли широкие возможности для художественного творчества и общения с массами зрителей и слушателей. Значительно расширились и возможности связи музыкального искусства с обширной, массовой аудиторией. Однако пока что сам музыкальный материал, музыкальная ткань и средства ее производства и управления ею остались, практически, на старом уровне.

Обычно применяемые музыкальные инструменты являются акустическими устройствами, соответствующими научно-техническим знаниям по крайней мере двухвековой давности. Это явление не случайное. Оно объясняется рядом объективных причин, в первую очередь значительной оторванностью деятелей музыкального искусства от естественных наук и новой техники. Это часто вызывается опасением оторваться от бытующих старых музыкальных традиций, хранящихся, как в музеях, в сознании любителей «истинного» искусства. Для многих архаичность музыкальных средств, даже старинная

форма музыкальных инструментов, например, в стиле рококо, уже является стимулом художественного восприятия.

Аудитория ценителей музыки воспиталась на ассоциациях звучаний, издаваемых давно узаконенными орудиями производства музыкального искусства — музыкальными инструментами, хотя бы и с очень ограниченными возможностями, но символизирующими для нее подлинное искусство. По аналогии можно себе представить, что великолепная древнегреческая ваза, но выполненная в настоящее время из современной пластмассы, уже не была бы шедевром искусства. Следует вспомнить, что не так давно еще кино не было включено в семью представителей настоящего искусства.

Однако идейно-эстетические запросы нашей эпохи и более глубокие психологические, физиологические и музыкально-акустические исследования заставляют пересмотреть оправданность такой ограниченности музыкальных средств и серьезно вдуматься в возможность прогресса на современной научно-технической основе.

Настоящая брошюра посвящена краткому разбору открывающихся перспектив и прогнозу дальнейшего развития средств музыкального искусства.

Возможная роль науки и техники в развитии музыкального искусства

Если рассматривать развитие музыки аналогично развитию словесности, лишь медленно пополняемой словами, символизирующими новые жизненные факторы, то можно смириться с большим музыкальным консерватизмом. Однако музыка — это не только звуковая символика. Это целый звуковой мир, организованный и творчески создаваемый композиторами посредством музыкальной ткани, включающий в себя помимо символика и музыкально впечатляющие формы, процессы и конструкции для нашего слухового восприятия, как бы целеустремленное расширение нашего обычного звукового кругозора.

Теперешний уровень физики может обеспечить средства получения звукового материала несравненно более богатого и содержательного и осуществлять управление им гораздо более чуткое и совершенное, полнее связанное с воздействиями артистов-исполнителей. Эти новые возможности относятся ко всей музыкальной деятельности, ко всем музыкальным жанрам и всевозможным композиторским и исполнительским замыслам.

Музыкальная акустика может рассматривать процессы и

закономерности, представляющие интерес в качестве музыкального материала для его применения в искусстве. Прогресс музыкальной акустики в наибольшей мере определяет возможности развития средств музыкального искусства. Практически, до самого последнего времени в нее еще не вошли те новые и перспективные методы и конструкции, которые уже создали существенный прогресс в других научно-технических областях: новые электронные, электромагнитные, оптические и аэродинамические средства и их применение для создания звуковых явлений самого разнообразного характера.

Современные научно-технические достижения дают возможность коренным образом изменить самый подход к музыкальному творчеству. Уровень физики и ее научно-технических подразделов дает неисчерпаемые средства получения музыкального материала, музыкальной ткани, практически без всех тех ограничений, какие были неминувемы ранее, в связи с примитивом музыкальных средств.

Пока что композитор приучался в своем творчестве не выходить из рамок этих былых возможностей и сочинять музыку для ранее освоенного, ограниченного, исторически сложившегося ассортимента музыкальных инструментов. На современном уровне композитор должен быть конструктором в музыкальном искусстве, творцом художественных произведений из того звукового материала, какой потребуется для осуществления его замыслов без каких-либо ограничений.

Поэтому очень важно, чтобы композиторы более глубоко были знакомы с физико-акустическими свойствами музыкально-звукового материала и структурными закономерностями разнообразнейших музыкальных тканей и их влиянием на психологические процессы исполнения и восприятия музыки.

Историческая справка

В годы начала широкого развития телефонии и техники переменного тока для силовой электропередачи Ф. Кэзиллом в 1904 году разрабатывалась передача по телефонным проводам переменных токов разных частот, дающих в телефоне звуки разных высот, в зависимости от частоты переменного тока. Специальная электростанция с большим набором отдельных для каждого тона альтернаторов, т. е. вращающихся электромашинных генераторов переменного тока (всего 216), должна была передавать в телефонную сеть, для ее абонентов, звучания типа органа. Практическое осуществление такой электростанции затруднялось многотонной громоздкостью такого набора генераторов и рядом технических трудностей по их коммутации и эксплуатации.

Появление радиоламп и способов усиления и генерации

переменных токов акустической частоты, предложенных в 1916 году де Форестом в США, открыло новые возможности применения электроники для акустических устройств.

В годы создания плана электрификации ГОЭЛРО, чтобы показать, что электрификация и музыкального искусства может также способствовать развитию нашей страны, автор этого очерка, физик Государственного физико-технического института, только что организованного в те годы академиком А. Ф. Иоффе, построил в 1921 году первый в мире исполнительский электромузыкальный инструмент, названный в газетах того времени «Терменвокс». Особенно важно было показать, что электричество — это не только механическая бездушная сила, автоматически выполняющая физический труд, но и средство наиболее полного и непосредственного воздействия человека на управление тончайшими нюансами даже музыкальных звучаний. Для этого исполнение на этом новом музыкальном электроинструменте производилось не механическим способом, как на обычных инструментах, а посредством свободного движения рук и пальцев на расстоянии от инструмента, посредством воздействия на его электрическое поле. Этот инструмент давал звучание, сходное с человеческим голосом. Инструмент был показан на Восьмом Всероссийском электротехническом съезде, где обсуждался план ГОЭЛРО.

Владимир Ильич Ленин, лично испробовавший игру на этом инструменте, выразил радость, что первый электрический музыкальный инструмент родился именно в нашей стране. Широкий показ новых звучаний и способа исполнения на концертах как у нас, так и за рубежом с этим новым инструментом способствовал дальнейшему развитию электромузыкальных средств.

В 1924 году В. А. Гуров и В. И. Волынкин построили одноголосный грифово-реостатный инструмент «Виолена». В следующем году С. Н. Ржевкин сконструировал многоголосный клавишный, однооктавный «Катодный гармониум». Около 1930 года Н. С. Ананьин изготовил одноголосный грифовый инструмент с переменной индуктивностью.

Начиная с 1933 года А. А. Володин разработал ряд образцов клавишно-грифового одно- и двухголосного электромузыкального инструмента «Эквотин», начиная с модели В-1 до изготавливаемой в настоящее время В-11.

В 1937 году в Московской консерватории И. Д. Симоновым был разработан электронный клавишный инструмент «Компанола». В 1944 году А. В. Римский-Корсаков, В. А. Крейцер и А. А. Иванов разработали клавишный электромузыкальный инструмент «Эмеритон».

В 1955 году С. Г. Корсунским был выполнен электронный гармониум на радиолампах, а затем и усовершенствованная модель на транзисторах «Кристин». В 1958 году И. Д. Си-

моновым и С. Г. Корсунским выполнено камертонное пианино с электронным возбуждением звучания. В 1961 году был также предложен и изготовлен многоголосный клавишный электроинструмент И. Г. Ильсаровым.

В последние годы появилось много образцов клавишных многоголосных электромузыкальных инструментов: «Юность», «Рэтакорд» и др.

Для усиления и изменения тембра звука обычных струнных инструментов посредством специального адаптера — звуко-снимателя, был выполнен ряд таких адаптированных инструментов — гитар, балалаек, скрипок, виолончелей, домр и т. п. С. Г. Корсунским, Е. А. Прохоровым и другими. В настоящее время такие инструменты уже имеют большое распространение как за рубежом, преимущественно для джаза и эстрадного жанра, так и у нас.

Начиная с 1927 года за границей также стали появляться электромузыкальные инструменты: в Германии одноголосный инструмент Магера, управляемый рукояткой вращающегося переменного конденсатора, во Франции инструмент Мартино (1933 г.), управляемый вращением переменного конденсатора от вытягиваемой рукой бечевки. Затем стали создаваться клавишные электроинструменты. В Германии в 1933 году разработан гармоний Траутвейна с генерацией колебаний от ионных ламп. С 1935 года многие фирмы стали изготавливать различные клавишные инструменты органного типа: Хаммонд, Болдвин, Аллен, Жавелье, Кон и Фирглинг и другие.

В США, где терменвоксы выпускались в значительном количестве и назывались терменами, в 1937 году было 700 терменистов. Ансамбль терменистов с инструментами грифового управления и терменами клавиатурного управления был организован с участием сотрудников и студентов консерваторской организации Джульера.

У нас применение электромузыкальных инструментов пока в основном ограничивается использованием для озвучивания своеобразными тембрами кинофильмов и иногда в эстрадных программах. В Москве организован оркестр электромузыкальных инструментов, однако его инструментальные средства еще не поднялись до возможного в нашей стране научно-технического уровня и конструкторских достижений.

Композиций, созданных для уже имеющихся музыкальных инструментов нового типа, чрезвычайно мало и обучение на них у нас в музыкальных учебных заведениях пока еще не производится.

Новые методы получения музыкального звукового материала

Исходные физические процессы, осуществление которых требуется для слушания музыкальных произведений, таковы.

Получение в данной ограниченной области воздушного пространства различных значений давлений, изменяющихся во времени по определенной характеристике. Эти процессы могут иметь циклический, периодический, повторный характер или же их изменение во времени не связано с какой-либо периодичностью.

Периодические процессы в диапазоне приблизительно от 16 до 18 000 в секунду воспринимаются как звуковысотный материал и от 16 в секунду до одного изменения в 3—5 секунд относятся к ритмическому музыкальному материалу. Диапазоны изменения интенсивности прибавочного атмосферного давления воздуха в точке вблизи слухового отверстия человеческого уха определяют громкость слышимого звука (для музыкального восприятия обычно в пределах от стомиллионных долей процента до 0,1% среднего атмосферного давления).

Получение в двух точках пространства, соответствующих положению акустических входов двух ушей человека, разнесенных на 15 сантиметров, переменных воздушных давлений, либо идентичных по интенсивности и времени, либо имеющих определенный временной сдвиг, вызывает эффект пространственной локализации звукового источника. Временной диапазон такого сдвига для получения различных углов слышимости, ориентировочно, от 0 до 500 микросекунд создает ощущение пространственного, бинаурального или стереослушания. Сопутствующее этому смещению во времени различие интенсивностей переменного воздушного давления также способствует стереоэффекту.

Более углубленное рассмотрение показывает, что процессы изменения давления воздуха во времени характеризуются большим количеством акустических параметров. Комбинация их может создать практически бесконечный ряд звуковых комплексов и процессов их изменения, позволяющих отобрать из них те сочетания, последовательность которых образует музыкальную ткань требуемого свойства.

Регулярные повторные процессы создают колебательные явления с определенными частотами, характеризующими звуковой спектр. Математически любая стационарная периодическая последовательность может быть представлена как комплекс правильных синусоидальных колебаний — основной частоты с гармониками или обертонами различных порядков. Комплекс таких периодических колебаний образует определенный тембр звука. Нестационарные и переходные процессы

характеризуются непостоянством периодических давлений воздуха по времени или по интенсивности и определяют характер звука.

Наличие большей интенсивности колебаний воздушного давления в определенных частотных областях характеризует так называемый формантный состав звука. Наличие одновременно комплекса колебаний всех возможных частот одинаковой интенсивности характеризует звуковой спектр так называемого «белого шума».

Одиночные непериодические быстрые изменения давления могут сопровождаться периодическими затухающими колебаниями и воспринимаются как ударные звуки разных высотных и тембровых оттенков.

Таким образом, получаемый звуковой материал характеризуется большим количеством различных акустических параметров. Изменение в каждом из них, уже достаточное для восприятия этого изменения нашим органом слуха, дает многообразные звуковые последовательности и одновременно звучащие комплексы, которые графически могут быть характеризованы только в весьма многомерном пространстве. Объем всего возможного звукового материала определяется наличием большего или меньшего числа изменяющихся звуковых параметров.

Получение переменных воздушных давлений может быть осуществлено многими путями. Основные из них:

1) Перемещение твердых тел, вызывающее сгущение и разрежение контактирующего с ними слоя воздуха.

2) Изменение скорости и количества воздуха, выходящего из отверстия.

3) Создание аэродинамических условий, образующих переменные давления.

4) Электрическое воздействие на ионизованный воздух.

5) Физико-химические процессы, связанные с газообразованием и газопоглощением.

Обычные музыкальные инструменты используют в основном способ 1 — струнные и ударные инструменты и способы 2 и 3 — духовые инструменты, орган и человеческий голос.

Новые звукопроизводящие устройства — разного типа репродукторы базируются в основном на способе 1 и в экспериментах — на способе 4.

В музыкальных инструментах обычного типа звуковая энергия трансформируется из механической или пневматической энергии самого исполнителя. В органах применяется пневматический подвод энергии, лишь управляемой исполнителем.

Электротехника обеспечила возможность звуковой трансформации электроэнергии посредством разнообразных систем репродукторов. Существенно расширились возможности образования всевозможного звукового материала как по интен-

сивности, так и по многообразию звуковой структуры. Пока что существующие репродукторы создавались в основном лишь для воспроизведения речи и музыки, но они могут быть существенно доработаны для использования их в качестве звуковых источников, приданных к новым музыкальным инструментам.

Электроакустические устройства, преобразующие электрическую энергию в звуковую, например таким образом, что повышение значения электрического напряжения полностью будет соответствовать повышению воздушного давления у звукоизлучателя, явятся важным средством получения звукового материала и ткани с желаемой степенью точности, соответствующей творческим замыслам композитора.

Каждый из существующих обычных инструментов механического или пневматического типа может дать весьма ограниченный диапазон звуковых возможностей, и для получения музыкального материала, выходящего за обычные узкие пределы, необходимо слишком большое расширение ассортимента инструментов и спецификации исполнения на них. Электричество в этом отношении дает мощную базу для дальнейшего музыкального прогресса. Однако проблема звукоэлектрической трансформации является хотя и очень существенной, но не основной.

Задача образования всевозможных переменных воздушных давлений переносится, таким образом, на задачу создания переменных электрических напряжений, соответствующих музыкальному замыслу композитора.

Применение электроники открывает широкие возможности генерации электрических колебаний различной формы и получения нестационарных процессов с заданными параметрами. Могут быть также использованы разнообразные физические явления, связанные с оптическими, фотоэлектрическими, магнитными, пьезоэлектрическими и многими другими устройствами, и хорошо разработанные схемы, применяемые в технике связи звукозаписи, кибернетике и электроэнергетике. Для музыкальных целей они могут быть несколько видоизменены в соответствии с закономерностями музыкально-звукового материала и получения любых заданных последовательностей переменных электрических напряжений для питания звукоэлектрических трансформирующих устройств.

Можно указать на ряд существенных нововведений, соответствующих современному научно-техническому уровню.

1) Частотный диапазон может быть значительно расширен. Чрезвычайно существенная для психологического воздействия область низких звуков может быть раздвинута до инфразвуковой области, например до пяти колебаний в секунду. Такие басовые инструменты со специальным динамическим репродуктором должны исключать появление каких-либо призвуков

более высоких частот, даже при достаточно больших интенсивностях, превышающих по амплитудным значениям звуковых давлений в сотни и более раз высокие, но лучше слышимые звуки.

Высокочастотный диапазон от 10 до 20 тысяч колебаний в секунду, практически почти не слышимый в своей ультразвуковой части, даже при очень большой интенсивности, может все же создать у слушателя некоторое специфическое депрессивное настроение в соответствии с заданиями музыкального произведения.

2) Становится возможным разрешение весьма существенной музыкальной проблемы — получение требуемых для неискаженного исполнения музыкальных произведений различных фиксированных систем строев, т. е. использования в процессе исполнения определенного ряда дискретных значений звуковых частот, образующих определенный музыкальный строй, соответствующий структуре исполняемого музыкального произведения.

Здесь следует пояснить, что ощущение слитности, или консонантности, нескольких звуков определяется фактором полноты синхронизации звуковых колебаний в достаточно простом кратном отношении между ними, например, 1 : 2, 3 : 5, 9 : 8, 4 : 3, 16 : 15, 8 : 7 и т. д.

При сложении достаточно громких звуков одновременно прослушиваются добавочные звучания, высота которых соответствует разности частот слагаемых звуков. Общий звуковой комплекс для достижения определенной степени консонантности должен быть построен с учетом как простых дробных отношений между частотами основных колебаний, так и разности частот этих колебаний и их отношения к частотам основных тонов и между собой. Наибольшая консонантность — когда все эти отношения будут достаточно простыми для получения наиболее полного синхронизма.

С помощью электронных средств не представляет затруднения получить всевозможные строевые системы с любой степенью точности синхронизации и фазирования.

3) Одна из наиболее актуальных проблем современного музыкального новаторства — получение всевозможных тембров. В погоне за ними иногда уже существующие стандартные музыкальные инструменты используются таким образом, чтобы они издавали звуки, по возможности отличающиеся от их нормального звучания. Поскольку тембр обычных инструментов тесно связан с их механической конструкцией и геометрической формой, трудно производить в их тембре существенные изменения и притом в желаемом направлении.

Электронные устройства с применением фильтров, методов выделения гармоник и интерференционных явлений с высокочастотными электрическими колебаниями и схем для полу-

чения низкочастотных колебаний требуемой формы дают надежную возможность получения любого заданного тембра и его изменений во времени.

4) Обычно в имеющихся музыкальных произведениях ритм соответствует периодичности, кратной двум, трем и очень редко пяти. Ритмы с большими коэффициентами, например 7 и 11, хотя и очень интересные по звучанию, совершенно не применяются, по-видимому, из-за трудности освоения их при исполнении. Кроме применения единичных ритмов, большой интерес представляют ритмические ткани из одновременно налагающихся друг на друга двух или более ритмических структур с различными основаниями.

Для ознакомления с этой областью развития ритмического чувства и получения экспериментально гармонических ритмов может быть применено специальное ритмическое устройство — клавиатурный электрический ритмодатчик, построенный с применением фотоэлектрической сиренной системы («Ритмикон»), дающей комбинации различных ритмов с основаниями от 2 до 16.

Для исполнения различных вариаций темпа, создающих впечатление развития определенной звуковой структуры во времени, могут быть использованы электронные схемы с переменными постоянными времени в соответствии с введением в них программирования, определяемого музыкальной композицией. Изменение темпа, т. е. скорости развития музыкальной ткани, не связанной с циклическими, ритмическими процессами, также может быть достигнуто применением таких электронных схем, в которых скоростные процессы могут изменяться по определенной желаемой закономерности.

Новые методы управления музыкальным звуковым материалом

Исполнение музыкального произведения — это процесс управления звуковым материалом в соответствии с его композиторским текстом. Применяемые для этого музыкальные инструменты, помимо этого, должны давать возможность исполнителю проявлять свою творческую инициативу.

Однако большая часть существующих музыкальных инструментов требует от исполнителя не только управления звуковым материалом, но и его энергетического получения. Эта энергетическая нагрузка на исполнителя, с одной стороны, ограничивает его возможности целиком отдаться художественному управлению создаваемым им материалом, с другой стороны, приближает его к более чуткому ощущению исполняемых им различных музыкально-акустических процессов.

Возникает вопрос: как может исполнитель управлять получаемыми звуками, чтобы достигнуть наилучших, наиболее художественных результатов. Трудности создают еще чисто психологические факторы, связанные с воздействием на слушателей не только музыкальных звучаний инструментов или голоса, но и самого исполнителя, его движений.

В первую очередь можно использовать, хотя бы частично, те навыки и приемы, которые выработались при игре на различных музыкальных инструментах и пении. Затем постепенно можно вводить новые методы — электрические, оптические, магнитные, что даст возможность исполнителю концентрировать свои действия лишь на процессе управления звуковыми параметрами. При этом ограничение ставится только способностями артиста производить такое многомерное управление.

Клавиатурное устройство для введения в действие пальцами дискретных звучаний различных высот имеет многовековую практику. Вначале оно применялось только для управления высотами звуков, а затем и для получения требуемых динамических градаций. Применение ножных клавиатур и педалей, также широко используемых в органах, арфах, имеет, помимо высотных функций, введение различных изменений в характере звука, его тембре и строе. Пальцы рук и ноги являются очень подвижными и хорошо управляемыми органами человека, в связи с чем клавиатурное и педальное управление ими с большой пользой может быть использовано и в новых инструментах.

Применение контактных включений клавишами электрических цепей и бесконтактных способов — электростатического, пьезоэлектрического, магнитного, фотоэлектрического и радиоактивного дает возможность изменения звучания в зависимости от степени их нажатия, скорости их движения, наличия их механических вибраций, небольшого перемещения в горизонтальной плоскости. Таким образом, возможно управление большим количеством звуковых параметров, например, относящихся к высоте звука, его тембру, характеру звучания, атаке, вибрации, реверберационным особенностям.

Комбинация клавиатур, ножных педалей и выдвигаемых регистров может дать возможность управлять весьма многомерной звуковой структурой. Новые инструменты клавиатурного управления в основном могут обеспечить управление звуковым материалом с определенными дискретными звуковысотными значениями. Дополнительные педальные устройства могут давать добавочные вариации в некотором диапазоне этих дискретных значений.

Динамические характеристики при клавишном варианте могут быть изменены либо степенью окончательного статического нажатия на клавишу, либо интенсивностью удара по клавише, определяющей скорость ее движения. Существенным

преимуществом клавиатурного исполнения на новых научно-технических музыкальных инструментах является возможность дозировки интенсивности в широких диапазонах без большой энергетической нагрузки самого исполнителя. Посредством передвижных регистров может быть получено автоматическое взаимодействие отдельных клавиш для получения многоголосия и тембровых особенностей.

В сознании музыкантов укрепилась как наиболее рациональная клавиатурная система с 12 клавишами обычного типа для исполнения, на которых создаются фортепианные произведения. Принятая почти во всем мире нотная система также соответствует этому пониманию музыкальной структуры.

Поэтому, несмотря на то, что теперешние возможности управления звуковым материалом могли бы чрезвычайно расширить музыкальный исполнительский и композиторский кругозор, приходится пока воздерживаться от введения новых схем клавиатурного управления, даже если они имеют значительно большие возможности для музыкального прогресса.

Исследования с экспериментальными инструментами клавиатурного управления, производившиеся автором этой книги, показали, что клавиатурный характер управления звуком может наиболее соответствовать звучаниям духовых инструментов и органу.

В ансамблях одноголосных инструментов с электрической подгонкой тембров и характерными звучаниями на разных высотных диапазонах они могут не только заменять существующие духовые инструменты, но и дать новые интересные звучания по тембру, формантному составу, гармоническому строю и динамике.

Грифовое управление до настоящего времени являлось наиболее пригодным для игры со свободной интонацией, хотя имеются также многочисленные типы грифовых инструментов и с фиксированной интонацией посредством ладовых порожков. Грифовое управление в обычных струнных инструментах связано с необходимостью прижатия к поверхности грифа струны, на что необходимо затрачивать довольно большое усилие. В электромузыкальных инструментах гриф может иметь упругую поверхность, на которую происходит нажатие пальцами, не требующую большого давления для срабатывания действующей от нее электрической схемы. В результате такого нажатия изменяется либо индуктивность, либо электрическое сопротивление, что вызывает изменение высоты производимого инструментом звука.

Для многоголосного управления может быть сделано в одном инструменте несколько таких упругих полос, управляемых пальцами аналогично струнным инструментам. Расстояние между определенными интервалами может быть взято в соответствии с удобством манипуляции. При грифе, расположен-

ном горизонтально над клавиатурой, места нажима на клавиши и на гриф для ноты одной и той же высоты могут иметь полное геометрическое соответствие.

Гриф может быть помещен перед исполнителем аналогично грифу виолончели, в вертикальном положении, или же в каком-либо ином, удобном для исполнителя, уже имеющего навыки игры на обычном струнном инструменте.

Инструменты этого типа, построенные автором этих строк, и применявшиеся для сольного и ансамблевого исполнения, а также для дополнения симфонического оркестра, представляют как бы три струнные группы: высокого, среднего и низкого регистров. Общий высотный диапазон этих групп выше и ниже на октаву обычной группы смычковых инструментов. Инструмент низкого и сверхнизкого регистра при достаточной звуковой мощности является существенным дополнением симфонического оркестра, недостижимым стандартными музыкальными инструментами.

Свободное передвижение в пространстве рук и пальцев является наиболее быстрым и хорошо контролируемым движением исполнителя. Возможно, что по подвижности и точности они уступают только органам человеческой речи и пения. В связи с этим исполнение мелодии свободным движением рук и пальцев может обладать значительно меньшей механичностью и большой человечностью, чем на других инструментах. Связь человека со звуками, получаемая при этом, имеет почти такую же непосредственность, как при пении, с той лишь разницей, что вместо голосовых связок и дыхания исполнитель пользуется руками и пальцами, аналогично мимике или разговору глухонемых.

В инструменте этого типа, терменвоксе, изменение высоты звука, обычно в диапазоне четырех октав, производится движением кисти руки и отдельных пальцев в направлении к электроемкостному электроду, изменение емкости которого вызывает изменение высоты звука посредством применения метода высокочастотных биений. Обычный диапазон такого инструмента четыре октавы, но в зависимости от его регистра они могут быть расположены в разных участках высотного диапазона. Полное закрытие и открытие кисти рук изменяет высоту звука на одну октаву. Громкость звука управляется подъемом левой руки над вторым электроемкостным электродом.

Для получения затухающих звучаний типа щипковых инструментов имеется регистр, при включении которого при достаточно резком движении кисти левой руки электрический импульс, получаемый от быстрого нарастания электроемкости, включает звуковой генератор со спадающей во времени интенсивностью звучания.

Обычно этот инструмент применяется для однополосного

исполнения произведений. Двухголосие может быть получено в нем введением добавочного управления гармоническими интервалами чистого строя посредством перемещения левой руки в горизонтальной плоскости. Необходимые частоты электрических колебаний для получения гармонического сопровождения получаются посредством деления и умножения выделенных гармоник основных высокочастотных генераторов, образующих разностные звуковые частоты.

В настоящее время разрабатывается добавочное электронное устройство для введения в основное звуковое колебание инструмента, высота которого управляется движением руки, добавочных частот как гармонических, так и шумовых, подаваемых тихим голосом исполнителя, видоизмененных в соответствии с высотой звучания инструмента. В этом случае основной тон звука будет восприниматься как тон речевой интонации, а добавочные гармоники и звучащие формантные области, в результате их точной синхронизации в требуемом кратном отношении с основным тоном, производят полное впечатление поющего человеческого голоса с правильной певческой дикцией. Для получения такого поющего словами устройства необходима разбивка всего речевого звукового состава электрическими полосовыми фильтрами на определенное число формантных каналов и их мгновенный автоматический замер с выдачей нового комплекса с таким же распределением интенсивности по каналам, но координированного с основным тоном исполняемых инструментов.

При игре ансамбля терменвоксов, например квартета, для более точной интонации звучаний, образующих гармонические сочетания, электрические колебательные системы инструментов могут иметь определенную взаимную электрическую связь, которая будет посредством явления затягивания автоматически подстраивать голоса инструментов в простые отношения их частот.

Помимо чисто музыкального влияния на аудиторию, инструмент пространственного управления производит самой мимикой движений исполнителя добавочное художественное впечатление, так как они в точности совпадают с звуковыми процессами исполняемого произведения.

Полная синхронизация по времени звуков мелодического характера и движений не только рук, но и всего человеческого тела, дает добавочное художественно-выразительное средство. При игре на различных инструментах мимика, производимая руками, головой и всем корпусом, часто помогает интерпретации произведения. Автор этих строк производил экспериментальный синтез мелодических последовательностей звуков и точно соответствующего им пластического движения исполнителя. Для этого использовалось электроемкостное влияние головы, корпуса, рук и ног исполнителя на большой плоский

металлический электрод, расположенный под платформой, на которой находится этот исполнитель.

Наиболее сильно воспринимаемая параллельность развития музыкальной фразы и соответствующего движения получалась, когда максимально открытое положение рук и корпуса соответствует наиболее высокому звуку этой музыкальной фразы, а замкнутое, согнутое положение—наиболее низкому (басовому). Одно движение может компенсироваться другим для сохранения без изменения высоты звука, что создает у исполнителя ощущение как бы звукового чувства равновесия при движениях. Изменение громкости достигается передвижением исполнителя вперед или назад. Звук посредством регистров может быть изменен по тембру и характеру.

Поскольку исполнитель одновременно является управляющим и звуком и движениями, необходимо, чтобы он, помимо слуховых качеств, имел пластико-мимические данные.

Многомерность звукового материала заставляет обратить особое внимание при создании музыкальных инструментов на возможность наиболее полного управления его характерными параметрами. В каждый новый момент звучания должны создаваться и новые изменения значений этих параметров и их соотношений, диктуемых музыкально-художественными требованиями.

Поскольку чрезвычайно большой подвижностью управления звуком являются органы, участвующие в речевом звукообразовании, испытывались разного рода электрические и оптические датчики, действующие от движения губ, языка и слабых звуков и слов, произносимых исполнителем. Эти устройства выполнены в виде разного рода микродатчиков на полупроводниках, с электромагнитной связью со специальным музыкальным инструментом. При дальнейшем развитии таких устройств они смогут обеспечить весьма подвижное управление рядом существенных звуковых параметров.

Большие возможности может дать оптический способ управления движением зрачка глаза при повороте глазного яблока относительно положения век. Электронно-оптическое следящее устройство, помещаемое спереди исполняющего артиста на расстоянии 2—3 метров, фокусируется на уголок глаза у слезного озера. При небольших движениях головы автоматическая следящая система, с применением пьезоэффекта сегнетовой соли, поддерживает эту наводку. Действительное изображение черного зрачка накладывается при этом на различные зоны фоточувствительной поверхности, на которую производится фокусировка всего глаза. Двухмерное координатное положение его изменяется от положения изображения слезного озера, помещаемого в начале координат. Это перемещение регистрируется двумя электрическими контрольными цепями.

Чувствительность современных электронных устройств дает возможность приема на относительно небольшом расстоянии, порядка одного метра, электрических импульсов, вызываемых биотоками в организме человека. Напряжение мышц, например, руки дает комплекс беспорядочных шумов с резкими передними фронтами, сходный с участком белого шума в низкочастотном диапазоне. Интенсивность на данном расстоянии находится в прямой зависимости от степени мышечной напряженности.

Для устранения электрических помех при приеме могут применяться дифференциальные электроемкостные системы, в которых воздействия, идущие от достаточно удаленных источников помех, взаимно компенсируются и не влияют на прием полезных сигналов.

В опытах автора этой книги биоточное воздействие применялось для управления громкостью звука электромузыкального инструмента с пространственным электроемкостным управлением высотой звука.

При снятии электрических импульсных потенциалов от воздействия биотоков на более близких расстояниях, например, со специальных манжеток и т. п. электродов, электрические схемы заметно упрощаются, но такие устройства несколько стесняют и малопривычны для исполнителей. Опыт показал, что контролем мышечного напряжения в определенных участках организма можно точно дозировать, например, высоту звука и исполнять мелодии аналогично передвижению руки в пространстве.

Применение микромодульных и полупроводниковых твердых комплексов в качестве усилителей и датчиков для беспроводной связи с исполнителем открывает широкие возможности развития этой области для музыкального исполнительства, тесно связанного с психофизиологическими переживаниями человека.

В музыкальных инструментах управление может производиться не только первичным звуковым материалом, но и сложными комплексами музыкальной ткани. Последовательность этих музыкальных структур может соответствовать определенным алгоритмам, отвечающим программированию данной музыкальной композиции. В этом случае управление при игре на инструменте сводится лишь к действиям, связанным с крупными звуковыми сочетаниями, и сходно с дирижированием.

Расшифровка и последующее программирование музыкальной композиции в этом случае должно основываться на закономерностях музыкальных структур и их психологического восприятия.

Методы и средства, содействующие музыкальному творчеству и композиции

Применение оптических и электронных методов в комбинации с магнитофонной записью дает возможность композитору записывать различными способами сочиненный им музыкальный текст, который затем может быть воспроизведен в соответствующем музыкальном звучании без участия промежуточных исполнителей.

Различные системы таких устройств были осуществлены для экспериментальных целей и бесспорно показали их полезность. Такие устройства по их основным принципам можно свести к трем видам.

«Рисованный звук» Г. А. Шолпо. Аналогично звуковой дорожке на кинофильмах на ленте вычерчивается кривая, соответствующая звуковым колебаниям, по виду сходная с видимой на осциллографе. Протягивая такую ленту, в которой вся находящаяся ниже кривой поверхность затушевывается, перед фотоэлектрическим устройством можно получать звуки, в точности соответствующие форме начерченной кривой. Способ этот очень трудоемок, так как только для одной секунды звучания, например, ноты «ля» 440 герц, необходимо начертить 440 повторений кривой той формы, которая соответствует комплексу всего тембрового состава звучания. Все же этот метод дает очень интересные возможности для синтеза звуковых колебаний в соответствии с заданными параметрами.

«АНС» Е. А. Мурзина. Покрытая непрозрачным лаком стеклянная поверхность с желаемой скоростью продвигается перед многоканальным фотоэлектрическим устройством, расположенным вдоль линии, перпендикулярной к направлению этого передвижения. Каждый фотоприемник при его освещении проводит, в зависимости от его засветки, больший или меньший ток, подающий звуковую частоту в соответствии с его положением. При достаточной плотности размещения фотоприемных элементов возможна довольно точная интонация, например, полутон может быть разделен на шесть частей.

Снятие в соответствующих местах стекла непрозрачного покрытия может производить в требуемый момент засветку того фотоприемника, который по частоте соответствует исполняемой композиции.

Производимое таким образом исполнение может быть далее записано на магнитофонную ленту и служить подсобным материалом для составления партитуры композиций. Магнитная память может запомнить найденные композитором интересные звучания и вносить их в требуемые места произведения. В процессе работы композитор имеет возможность запи-

сывать каждую партию в темпах живого исполнительства и ретушировать звучание на стеклянной записи, а также изменять темп и динамику.

Многоголосный «композитор-исполнительский» инструмент Л. С. Термена. Для многоголосной композиции мелодических музыкальных произведений кантиленного и инструментального характера очень важна тщательная отделка как самой структуры музыкальной ткани, так и высококачественность и точность исполнения. Хорошая отработка этого в процессе композиционного творчества с людскими хоровыми или инструментальными коллективами практически трудно осуществима. Кроме того, новые композиторские замыслы, связанные с чистыми гармониями, с нестандартными ритмическими и высотными особенностями, трудно исполнить без длительной предварительной тренировки.

Существенную помощь в этом случае оказывает применение электронных устройств и оптических способов для проигрывания сделанной композитором упрощенной карандашной графической записи на широкой бумажной ленте. Каждый голос изображается двумя графиками — один для высоты звука, другой для его громкости. Затем лента со скоростью, соответствующей темпу произведения, протягивается перед подвижными следящими фотоприемными устройствами, которые соответственно управляют высотой и громкостью звучания электронного звукового генератора требуемого тембра.

Для четырех одновременно звучащих голосов требуется, таким образом, восемь следящих систем. Повышение координат участка высотной кривой на графике дает увеличение частоты звука, а кривой, соответствующей динамике, — повышение громкости. Длительный звук постоянной высоты изображается прямой линией на высоте, определяемой высотой звука. Переходные процессы—глиссандо, вибрато, диминуэндо и т. п. управляются соответствующей формой линии графика. Всякие изменения, найденные композитором желательными после прослушивания записи, могут быть легко внесены стиранием карандашной записи и нанесением требуемого исправления.

Помимо высоты звука и его громкости, можно таким же способом управлять и другими звуковыми параметрами, например, тембром, изменением формантных областей, стереофоническими особенностями и т. п.

Различные системы описанных устройств в случае их дальнейших усовершенствований смогут в большой мере облегчить работу композиторов и повысить качество их произведений. Кроме того, эти устройства дают возможность исполнения технически трудно выполнимых «вручную» звучаний, например трудных гармонических сочетаний, пассажей или ритмичных оттенков.

Большие успехи в области кибернетики и применения электроники для всякого рода вычислительных машин и возможность выполнения работ, которые по скорости, точности и объему в ряде случаев значительно превосходят выполняемые непосредственно людьми, заставили более критически подойти к оценке возможностей творчества в искусстве без использования принципов кибернетики и применения связанных с ней устройств.

В области музыкального творчества начались исследования по расшифровке классических музыкальных наук для нахождения способов выражения их положений в алгоритмических формулировках, возможности на этом основании программирования музыкальных произведений и получения музыки посредством введения этих программ в специальные счетно-решающие устройства.

Бесспорно, введение методов кибернетики может принести большую пользу в искусстве, в частности, и в музыке. Однако не следует забывать, что отрыв от «человечности» с ее эмоциональным, интуитивным, чувственным содержанием, для которого музыка именно и является притягательным искусством, не сможет способствовать композиторскому творчеству помимо помощи только чисто подсобного характера, относящейся к расчетам, справкам, автоматическому поиску вариантов и др.

В сравнительно недавнем прошлом образовалась наука — бионика. Это новое синтетическое научное познание, образующееся из объединения биологии и физики ионных и электронных процессов, потребовало создания новых коллективов из биологов и физиков, обеспечивших существенный прогресс в этой области.

По-видимому, и в музыкальном искусстве наступило такое время, когда решающим является синтез нескольких областей человеческого развития: физики, музыкальной акустики, с одной стороны, психобиологических и гуманитарных знаний, с другой. Существенно необходимо также глубокое знание специфических музыкально-художественных закономерностей и культурных потребностей, соответствующих запросам нашего времени.

Если всем этим не сможет овладеть единоличный композитор, то все это может быть вполне доступно коллективу, оснащенному музыкальными научно-техническими средствами.

Исполнительство и проекция музыкального материала на аудиторию

Помимо чисто музыкально-звукового восприятия, для аудитории чрезвычайно важен личный контакт с исполнителем и визуальное приближение к процессу исполнения. Аналогично

речевому контакту со слушателями, важна и при музыкальном исполнении обратная связь исполнителя со слушателями.

Обычно исполнитель является создателем звучания своим голосом или инструментом в соответствии с уже имеющейся написанной композицией. Ее интерпретация, техника и выразительность исполнения — это его вклад в художественное осуществление замыслов композитора.

Интерпретация исполняемого музыкального произведения, помимо личных свойств исполнителя, зависит от степени податливости музыкального инструмента, т. е. возможной свободы получения требуемого звукового материала и легкости управления им. Поэтому необходимо при разработке новых музыкальных инструментов особое внимание обращать на возможность получения звукового материала без излишних затруднений и на возможно более совершенную техническую сторону управления им.

При существующей пока системе обучения исполнителей на музыкальных инструментах затрачиваются годы и годы не столько на собственно музыкальное образование и тренировку по управлению звуком, сколько на развитие техники звукоизвлечения и связанные с ней виртуозные ухищрения, которые в дальнейшем смогут создать «блеск» исполнения. Наиболее одаренные учащиеся — артисты-исполнители на фортепиано или на смычковых инструментах учатся 11 лет в музыкальной школе и 5 лет в консерватории. За эти 16 лет, если бы заниматься, помимо общего образования, собственно музыкой, звуковым материалом и его управлением, не обремененным техническими приемами и трудностями звукоизвлечения, базирясь на новых научно-технических возможностях, можно было бы достигнуть результатов по исполнению музыкальных произведений, совершенно несравнимых с теперешним положением вещей.

Успех исполнителя значительно повышается, если на глазах у аудитории он преодолевает чисто механические затруднения, связанные со звукоизвлечением. Например, при быстром и громком исполнении октавных последовательностей на фортепиано, аудитория, одобряя технику исполнения, чувствует успешность исполнения. Но если абсолютно такое же звучание будет достигнуто электрически добавленным октавным звучанием к однополосному исполнению, и это будет известно слушателям — успеха может и не быть. Аналогично этому, даже очень хорошее, почти идеальное исполнение может не иметь того успеха у широкой аудитории, какой получается, когда артист «работал» для получения звучания, пусть даже с худшим звуковым результатом. Это обстоятельство, которое может быть названо «цирковым фактором», все же имеет существенное значение для музыкального искусства при его проектировании на массовую аудиторию.

Указанные обстоятельства приводят к заключению, что в музыкальных инструментах нового типа, в которых основным является управление звуком, а не его извлечение, необходимо сделать так, чтобы именно процесс управления был возможно ближе к аудитории, чтобы она могла видеть и чувствовать то действие исполнителя, которым он управляет звуковым материалом.

Воздействие звукового материала на аудиторию, помимо чисто психического, производит и непосредственное влияние на ряд физиологических процессов в организме слушателей, которые также могут отразиться на их психическом тоне.

Для экспериментального изучения непосредственного влияния звуков на сердечную деятельность, автор этой книги производил наблюдение за ритмом сердца и его затягиванием в синхронную частоту с ритмом достаточно громких звучаний. Если музыкальный ритм достаточно близок к ритму сердца, то последний «затягивается» в точное с ним совпадение. Ускорение или замедление музыкальных ритмов производит соответствующее ускорение или замедление ритма сердца. Если в музыкальном темпе происходит достаточно резкая задержка, синхронизация мгновенно нарушается, что сопровождается ощущением, сходным с падением.

Вызванные таким образом изменения ритма сердца влияют соответственно на эмоциональное состояние активности или апатии.

Достаточно длительное воздействие высоких, близких к ультразвуковым, колебаний создает ощущение, сходное с головокружением. Инфразвуковой диапазон вызывает чувство безотчетного страха и тревоги.

Чрезвычайно существенно также наклонность большинства внимательных слушателей к произвольной синхронизации дыхания с ритмом произведения.

Эти явления в очень мало заметной степени можно наблюдать и при получении звуков с помощью обычных музыкальных инструментов, однако при применении инструментов нового электронного типа они могут быть значительно заметнее. Этому особенно способствуют устойчивость и определенность музыкальной структуры, а также и возможность, например, иметь мощные низкие звуки без верхних призвуков. Они не кажутся тогда громкими, но производят соответствующее психофизиологическое действие.

Дальнейшие исследования по связи воздействия вестибулярного и слухового органов на высшую нервную систему при определенных низкочастотных спектральных звуковых составах смогут указать музыкально-художественные пути более глубоких психофизиологических воздействий.

Синтез музыки с другими искусствами

Технически наиболее легко осуществляется синтез слухового и зрительного искусства. Ограничивая слуховое искусство музыкой, т. е. не рассматривая, например, поэзию или театральное искусство, и зрительное искусство лишь сочетанием цветности различной интенсивности, распределенной в различных направлениях, вне определенных зрительных отображений каких-либо реальных объектов, как это имеет место в живописи, можно совокупность двух таких художественных направлений определить как синтетическое искусство «цветомузыка».

Серьезный подход к развитию такого искусства требует знания и чувства тех параллелей в выражениях каждого из этих синтезированных составляющих, которые должны сочетаться для требуемого воздействия на человека. Часто предлагают малообоснованные системы и схемы сочетания определенных цветов либо с определенными звуковыми высотами, либо с тональностями музыкальных построений и ладовыми особенностями.

Трудности заключаются в том, что зрительное цветовое восприятие, занимающее по частотам электромагнитных световых колебаний едва одну октаву, не может быть применено в целях изобретения каких-либо комбинаций, связанных с колебательными параметрами, со слышимым звуковым диапазоном, распространяющимся на 10 октав.

С другой стороны, устройство глаза обеспечивает ощущение цветности комбинациями раздражений двух родов чувствительных элементов глаза, системы разновидностей палочек и колбочек. В ухе, в кортиевом органе, имеется более 15 000 рецепторных волокон, связанных с приемом звучаний в большом частотном диапазоне, т. е. сам механизм приема существенно различен с имеющимся для слухового восприятия.

В связи с этим аналогии воздействия на психику органов зрения и слуха следует искать в результативной общности их при отображении ими определенных объектов и явлений внешнего мира. В этом случае некоторые условные рефлексy, связанные как с цветом, так и звуком, могут быть аналогичны и применение их совместно усилит воздействие выражаемых цветомузыкой образов и психических комплексов.

В такой же мере может быть использована символичность некоторых звуковых и цветовых воздействий.

Пока что еще не ясен вопрос о способах проектирования такого синтетического искусства на зрителей и слушателей. Имеется некоторая принципиальная разница в схеме обычно воспринимаемых нами звуковых и цветовых образов.

Звуки музыки мы воспринимаем как возникающие из тишины, как появление звукового материала. Начальное условие — тишина, затем позитивный процесс появления звучаний.

По аналогии для зрения должно быть так: сначала отсутствие света, темнота, затем появление света нужной цветности. В паузах опять темнота. Однако обычно для зрения мы имеем негативное изображение. Рассматривая чертеж, рисунок или писанный текст, обычно на белой бумаге, мы обращаем внимание на зачерненные места, откуда световой энергией исходит меньше. То же большей частью происходит и при рассматривании окружающих нас объектов. Исключение представляет рассматривание светящихся предметов: Солнца, Луны, звезд, огней и т. п.

Звуковое искусство, таким образом, больше похоже на образования из таких «светящихся» объектов.

При проектировании цветомузыки на аудиторию зрителей могут применяться или цветные источники, например точечные, видимые среди темноты, или же можно заполнять весь угол зрения комбинациями цветности без возможности вторжения в эту область каких-либо образов, не имеющих прямого отношения к исполняемому цветомузыкальному произведению.

Все эти возможности без особых научно-технических затруднений могут быть осуществлены на практике. Но особенно необходимо еще иметь и достаточно разработанный экспериментально-художественный материал, чтобы осуществить действительно художественное творчество в этой области.

Иногда ссылаются на некоторые звуко-цветовые ассоциации, имевшиеся у некоторых единичных высокоталантливых композиторов. К сожалению, музыкально-цветовые параллели имеют чисто индивидуальный характер и различны у отдельных людей. Поэтому не следует делать слишком скороспелых выводов относительно возможности быстрого сенсорционного прогресса цветомузыки как настоящего искусства.

В музыкально-цветовой аппаратуре с успехом могут применяться разнообразные способы изменения цветности, вызываемого электрическим управлением. Это могут быть или наборы световых источников с определенными светофильтрами, либо перемещаемые светофильтры с нанесенной на них последовательностью спектрального состава, либо же излучатели различного спектрального состава газового или люминесцентного типа. Может также применяться призматическое устройство с изменением угла светового потока или интерференционный метод с малым изменением расстояний между отражающими поверхностями под влиянием электростатических или акустических воздействий.

Изменение получаемого цветового восприятия может основываться на двух- или трехцветной схеме, аналогично используемой в цветной фотографии.

Некоторое сходство с цветомузыкой представляет синтез музыки и изменяющихся геометрических форм.

Для экспериментальных целей могут быть применены раз-

личные оптические методы, явление стробоскопии и стереоскопии. Например быстро вращающаяся вокруг центра симметрии фигура может для зрения быть остановленной использованием стробоскопического эффекта, если освещать ее переменным, импульсным светом, соответствующим определенной кратности с частотой ее вращения. Если частота вращения будет равна числу звуковых колебаний основной тональности мелодии, то будут появляться при последовательных звучаниях различных интервалов мелодии стоячие изображения соответствующего им порядка симметрии.

Интересные пространственные геометрические формы в трех измерениях можно наблюдать посредством рассматривания стереопроекции, например, с использованием красно-зеленых очков и красно-зеленых стробоскопических прожекторов. Для специально оборудованных помещений могут быть использованы стереоэкраны, применяемые для стереокино.

Большое художественное воздействие на слушателей и зрителей оказывает соединение музыки с выразительными движениями исполнителя, соответствующими развитию музыкального произведения. Жестикуляция, мимика, пластика и ритмические изменения, сменяющиеся на устойчивые «скульптурные» положения, дают большие возможности интерпретации музыкальных последовательностей, если они достаточно точно синхронизованы с музыкальными процессами. Этот синтез музыки и, например, пластического интерпретативного танца может быть значительно более полон и лучше воспринимаем слушателями, если имеется полнейшая параллельность развития музыкального материала с движениями исполнителей.

Для экспериментирования в этом направлении автором были построены танцевально-музыкальные устройства, «терпситоны» по принципу, сходному с терменвоксом (по электроемкостному влиянию), но вместо управления высотой и громкостью звучания руками и пальцами, в них эти изменения звучаний производятся всем телом исполнителя. Чем более открытое положение, тем выше звук. Сниженное, замкнутое положение дает более басовые звучания. Изменение громкости производится передвижением вперед, в сторону зрителей или назад. Танец производится на специальной платформе, под которой расположен электроемкостный электрод. Для многоголосного исполнения несколькими танцующими такие платформы располагаются рядом. В соответствии с исполняемыми произведениями устанавливаются регистры по высотам звучания, тембры, вибрато или другие характеры звука, различные для каждого отдельного голоса.

Новые музыкально-исследовательские и измерительные средства

Возможности современной физики, электроники и радиотехники позволяют практически осуществлять ряд измерительных и исследовательских методов для музыкальных целей. Наиболее существенны три направления музыкально-художественных проблем.

1. Область явлений и закономерностей звукового музыкального материала и ткани.

2. Психофизиологические процессы, связанные с музыкальным искусством.

3. Физико-технические измерительные и испытательные устройства для промышленности, связанные с разработками и выпуском различных музыкальных инструментов.

Чрезвычайно широкий фронт работ по достаточно глубокому, достоверному и полезному развитию хотя бы части этих задач должен быть изложен в ряде научных трудов и ниже поясняются лишь некоторые детали, относящиеся к настоящим и будущим исследованиям. С очень давнего времени применяемые в музыке строи для мелодических и гармонических структур звуковой ткани ограничивались возможностями человеческого голоса и музыкальных инструментов с механическим или пневматическим звукоизвлечением.

Поскольку в настоящее время, посредством применения новых научно-технических методов физики, акустики и электроники, имеются значительно большие возможности использования для музыкального искусства разнообразнейших высотных и тембровых структур, необходимо более глубокое исследование связанных с ними звуковых особенностей и нахождения способов их получения и управления ими.

Для этих целей построен ряд экспериментальных устройств, помогающих получать требуемые звучания и производить измерения, связанные с обследованием их психофизиологического восприятия. В частности, например, в Московской государственной консерватории работа ведется со следующими устройствами.

Клавиатурное электроорганное устройство большой звуковысотной стабильности, в котором каждый звук может быть по соответствующей измерительной шкале установлен с точностью до 2% полутона. Это дает возможность исследования всевозможных систем строев, как в гармоническом, так и мелодическом звучании.

Звуковой спектрограф с разрешающей силой в 2—3 герца для исследования тембра голоса и музыкальных инструментов. Анализируемое звучание записывается на кольцевую магнитофонную ленту и ее воспроизведение анализируется посредством электронной острорезонансной системы, изменяемой по

частоте в диапазоне измеряемого спектра от 50 герц до 17 килогерц, выход которой в логарифмической зависимости последовательно подается на графическое пишущее устройство. Это дает возможность точного спектрального анализа небольших, от 2 до 0,1 секунды временных интервалов звучания, в результате которого с большой точностью определяется его гармонический, формантный и шумовой состав. Полученные графики могут служить также для образования в соответствии с ними синтеза звучания посредством электронных методов, воспроизводящих записанные на графиках звуковые комплексы.

Аппаратура для точного анализа интонации при исполнении музыкальных произведений ведущими артистами на инструментах и при пении. Замедленная магнитофонная запись анализируемого исполнения подается на электронное устройство, выходной ток которого пропорционален частоте поданных в него низкочастотных колебаний, определяемых высотой звука. Этот ток записывается на перематывающемся рулоне миллиметровки шириной 80 миллиметров с точностью до одного миллиметра, что соответствует при октавном диапазоне записи отклонению в $1\frac{1}{2}\%$. Для получения точного соответствия входной частоты с выходным током, входной сигнал от анализируемого звучания лимитируется, преобразуется в колебания квадратной формы, которые затем обратно переводятся в строго синусоидальную с амплитудой, не зависящей от частоты. Самописец действует от величины выпрямленного напряжения, получаемого в результате падения этого синусоидального напряжения на сопротивлении, последовательно включенном с электроемкостью.

Кроме указанных устройств, приведенных лишь в качестве примеров, имеется возможность, опираясь на электронно-акустические методы, осуществлять измерения, анализ и синтез всевозможных звуковых процессов, оценку интенсивности звучаний, акустику помещений, фазные и компенсационные звуковые явления.

Психофизиологические процессы, протекающие в соответствии со слушанием или исполнением музыки, являются основными критериями при оценке степени воздействия музыкального материала в созданных из него произведениях. Это воздействие отражается на функциях самых различных органов. Поэтому необходим ассортимент аппаратуры, связанной с совершенно различными процессами в человеческом организме. Сходная аппаратура уже имеет большое распространение в медицинской практике: энцефалографы, миографы различных систем, кардиографы, измерители дыхания, приемные устройства для биотоков, определители концентрации ионов и многие другие.

Современные возможности усиления чрезвычайно малых

электродвижущих сил с применением радиоламп и полупроводников дают возможность обследования явлений в организме, связанных с электрическими потенциалами менее одной стомиллионной доли вольта, длящимися лишь в продолжение долей микросекунды.

Разрабатываются всевозможные микроминиатюрные полупроводниковые датчики, соединяемые с регистрирующей аппаратурой проводниками или беспроводно, что дает возможность объективной записи самых разнообразных психофизиологических процессов с точной отметкой времени вызывающих их звуковых причин. Применение методов интроскопии — рентгеновской, ультразвуковой, инфракрасной и радиоактивной, ранее не допускавшихся вследствие необходимости больших доз вредных излучений из-за малой чувствительности устройств, в настоящее время может быть безвредно осуществлено. Имеются возможности понижения доз в десятки и сотни тысяч раз и пользования такими малыми интенсивностями излучений, которые не превышают обычные повседневно имеющиеся излучения.

Чрезвычайно существенно применение электрических и оптических методов изучения условных рефлексов, вырабатываемых при музыкальных процессах, которые могут выражаться в микроявлениях, происходящих в человеческом организме. Интересные процессы, связанные с сознанием человека, могут объективно наблюдаться по автоматизированным отметкам степени восприимчивости через различные органы чувств и влияния на них периодичностей музыкального воздействия.

Особую отрасль музыкальных научно-технических изысканий составляет разработка измерительных и испытательных устройств, связанных с конструированием и выпуском различных музыкальных инструментов. До настоящего времени в основном изготавливаются и доводятся высококачественные музыкальные инструменты на основе личного опыта и мастерства отдельных специалистов, практически почти без всякого современного измерительного или лабораторного оборудования. Например старинные скрипки и виолончели Страдивариуса, Гварнери, Амати и другие образцы более чем двухсотлетней давности служат обычно почти недостижимыми эталонами таких инструментов. Однако все их музыкальные параметры и акустические особенности лишь весьма поверхностно, по субъективным методам оценки, используются для изготовления новых инструментов.

Рояли и пианино в течение последнего века несколько усовершенствовались, однако все же и они большей частью конструируются в отрыве от современного научно-технического прогресса как по применению материалов для их изготовления, так и по использованию новых акустических возможно-

стей, достижимых при современном уровне физики и ее технических применений. Уже производятся разработки аппаратуры для акустических измерений, необходимых для оценки экспериментальных и конструкторских усовершенствований, и для испытаний и сравнений уже выпущенных инструментов. Можно указать некоторые примеры такой аппаратуры.

Устройство для испытаний роялей и пианино и снятия характеристик их звуковых и механических качеств дает определенный дозированный электрический удар по клавишам фортепиано и измеряет выход звуковой энергии, получаемой в результате таких тарированных ударов. Это показывает к.п.д. перехода механической энергии исполнителя в звуковые колебания, а также дает возможность определения равномерности распределения игровых нагрузок на отдельных клавишах инструмента. Могут быть точно определены тембровые качества звуков, их затухание и «разлив», связанные как с неточной настройкой, так и с качеством струн, их укреплением и ударным механизмом.

Резонансные и вынужденные колебания, как и связанных с ними участков корпусов различных музыкальных инструментов, могут измеряться миниатюрными электрическими датчиками, расположенными в местах определения колебательных характеристик, а также исследоваться оптическим способом по отражению светового пучка от маленьких зеркалец, укрепленных в соответствующих точках вибрирующей поверхности. Эти колебания могут регистрироваться либо визуально, либо по осциллографическим фотосъемкам.

Измерение спектрального состава затухающих колебаний при ударном возбуждении струн молотковыми головками с разными покрытиями и пропиткой и результирующее звучание фортепиано, связанное с последующим возбуждением деки, может быть произведено микрофонными звукоснимателями, помещенными в обследуемых участках и контактно связанными с вибрирующими поверхностями. Эти измерения могут дать объективные показатели качеств различных материалов, применяемых в механике фортепиано, поддержках струнной одежды, конструкции и материала деки и др.

Точное спектроскопирование звуков смычковых и щипковых струнных инструментов типа арфы, гитары, домры, балалайки и др. может производиться электронными методами с точностью до 0,1% для каждого выбранного временного участка из всей последовательности звучания затухающего звука инструмента. Для этой цели из магнитофонной записи исследуемого затухающего звука выделяется отрезок, тембровый состав которого анализируется, который затем при многократном повторении анализируется электронным самопишущим спектрографом.

Для определения данных по расположению формантных

областей звучания и их интенсивности применяется спектроскопическое измерение суммарной записи достаточной ширины высотного диапазона звучания инструмента.

Спектроскопирование звучаний духовых инструментов и распределения интенсивностей по высотным диапазонам, точное измерение резонансных частот при различных игровых аэродинамических процессах может служить основанием для их дальнейшего усовершенствования и разработки технологических процессов производства.

Перспективы развития музыкального искусства

Памятники искусства прошлого представляют для нас интереснейший и драгоценнейший материал. Мы можем многому научиться, многое узнать о прошлом и прочувствовать то, что чувствовали тогда. Некоторые чувства и психические переживания мало изменились по времени, они, в нашем масштабе времени, вечны. Поэтому часто утверждают, что красота этих памятников — это незыблемое их качество, проходящее через века.

Все эти и аналогичные представления о действительной красоте музыкальных произведений, о тех их свойствах, которые стоят незыблемым гранитом или мрамором, как музыкальные памятники прошлого, несколько заслоняют собой перспективы.

Это не значит, что смотреть назад, оглядываться, в искусстве не следует, не интересно или не полезно. Но поскольку человечество развивается не только научно-технически, но также эстетически и интеллектуально, необходимо особое внимание уделять и новым вкладам в искусство.

Может быть, со стороны, для людей далеко стоящих от музыки и близко к научно-техническому прогрессу, не так заметна создавшаяся уже колоссальная разница между передовыми достижениями науки и техники и применяемыми в музыкальном искусстве акустическими средствами и создаваемыми для них произведениями.

Возможно также, эту разницу не чувствуют профессиональные деятели искусства, поскольку они в основном далеки от научно-технической деятельности.

Мы придерживаемся точки зрения, что применяемая пока в музыке старая структура акустических средств и ограниченные ею возможности как сольного, так и коллективного исполнения произведений держат музыку в оковах прошедшего.

Необходимо радикально пересмотреть новые открывающиеся возможности, достижимые при соответствующем использовании современных средств получения звукового мате-

риала и управления им. Особое внимание должно быть также обращено на существенное пополнение, а в большинстве случаев и обновление музыкально-научной и учебной литературы и пересмотра многих тезисов музыкальной науки, базировавшихся только на субъективных основах давно прошедшего времени.

Исполнительские устройства для реализации композиции и передачи ее слушателям — музыкальные инструменты — по их функциям можно разделить на две основные составляющие: генерирование звуковых колебаний, создающих звуковой материал, соответствующий музыкальному произведению, и органы управления этим звуковым материалом согласно музыкальному тексту композиции.

В обычных музыкальных инструментах в большинстве случаев обе эти функции также ложатся на исполнителя на них, и он должен затрачивать свою энергию одновременно по этим двум направлениям: производить механическую работу, преобразовывающуюся в звуковую энергию, и в то же время управлять звуковыми параметрами — высотой звука, тембрами, динамикой и характером звучания и гармонической структурой.

В новых инструментах имеется возможность полностью избавить исполнителей от затраты механической работы для звукоизвлечения и дать им возможность все свои силы направить на управление звуковым материалом, его многочисленными параметрами. Все способности исполнителя должны выражаться именно в таком управлении музыкальной тканью и не отвлекаться для самого генерирования звуков и снабжения музыкальных инструментов своей механической энергией. Слуховое развитие исполнителя должно быть достаточным для управления деталями музыкальной конструкции, недоступного на прежних инструментах вследствие примитивности их устройств и занятости исполнителя механической работой. В новых инструментах постепенно могут вводиться новые и новые органы управления, следуя за происходящим развитием музыкального уровня как исполнителей, так и слушателей.

Использование научных достижений физики и связанных с нею научно-технических областей, основанное на глубоком понимании предмета, бесспорно, приведет к созданию новых замечательных произведений музыкального искусства.

Новые серии научно-популярных брошюр

1. Радиоэлектроника и связь. Индекс 70091.

Брошюры этой серии охватывают широкий круг проблем современной электроники, рассказывают о всем новом, что характерно для передового фронта этой области техники.

В то же время, поскольку брошюры рассчитаны не только на специалистов, в них объясняются физические, математические и химические основы действия современных приборов, даются справочные сведения о приложениях электроники.

В 1966 году выйдут следующие работы:

«Лазеры сегодня и завтра», «Искусственные спутники Земли и радиосвязь», «Можно ли моделировать мозг?», «Помехоустойчивость, надежность, кибернетика», «Кристалл вместо лампы», «Машина распознает образы», «Радиолокация планет», «Цветное телевидение», «Что такое бионика» и др.

2. Наука о Земле. Индекс 70090.

В серии выпускаются работы о новейших достижениях географии, геологии, океанологии и других наук, изучающих нашу планету. Среди авторов — ведущие советские и зарубежные ученые.

В 1966 году читатели получают следующие брошюры: Щербаков Д. И., Сидоренко А. В. «Актуальные проблемы науки»; Бломберг Р. «Змеи-гиганты и страшные ящеры» (перевод со шведского); Варенцов М. И., Рябухин Г. Е. «Месторождения-гиганты»; Муромцев А. М. «Исследования Мирового океана»; Погосян Х. П. «Новое в изучении атмосферы»; Банников А. Г. «Заповедники СССР»; Анучин В. А. «Природа и общество» и др.

Любую брошюру можно предварительно заказать в ближайшем книжном магазине по аннотированному тематическому плану издательства.

Тот, кто хочет получать брошюры регулярно, из номера в номер, может подписаться на них в почтовом отделении или у общественного распространителя печати по месту работы.

Подписная цена:
на 3 месяца — 27 коп.
на 6 месяцев — 54 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»