

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-206

УДК 62-529.4



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СЦЕН ТЕАТРОВ

А.Н. Волков, А.В. Кочетков

Актуальность. Тема статьи своевременна. Многие интересные и технически вполне реализуемые замыслы в оснащении сцены не были реализованы в театре из-за отсутствия прямых заделов и ограниченности ресурсов времени.

Постановка проблемы. Обобщение новейшего опыта в сфере театральной машинерии требует поднятия проблематики до уровня междисциплинарного научного направления на базе механики, мехатроники и робототехники.

Цель исследования. Необходимость реализации все более сложных замыслов постановщиков спектаклей в современном театре требует совершенствования демонстрационной техники, в первую очередь театральной машинерии на базе новых научных достижений и современных технических средств механизации и автоматизации.

Методы исследования. Специальные сценические роботы могут иметь самый различный облик, например, могут быть зооморфными или антропоморфными, но при сохранении стилистики конструктивизма могут иметь техногенный облик. Подобные роботы могут выполнять сложные движения, при этом обычно у них имеются многочисленные подвижные части с самостоятельными приводами. Для обеспечения возможностей гибкого управления движениями с ориентацией на зрительское восприятие требуется использовать микропроцессорное управление с координацией от центральных управляющих компьютеров.

Результаты. При постановке требований к такой технике специфической является ориентация на зрительное восприятие, что используется также в демонстрационной робототехнике. На основе научного обобщения прежнего и нового опыта создания технического оснащения театральных постановок крупных театров в работе описываются и характеризуются типовые задачи создания и проработки научной базы создания современного и перспективного оснащения театральных постановок на базе общих принципов и практических методов механики, мехатроники и робототехники.

Ключевые слова: робототехническое оснащение; театр; постановщик; робототехник

Для цитирования. Волков А.Н., Кочетков А.В. Робототехническое оснащение сцен театров // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 1. С. 85-105. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-206

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

ROBOTIC EQUIPMENT OF THEATER STAGES

Volkov A.N., Kochetkov A.V.

Background. The topic of the article is timely. Many interesting and technically quite feasible ideas in equipping the stage were not implemented in the theater due to the lack of direct groundwork and limited time resources.

Problem statement. Generalization of the latest experience in the field of theatrical machinery requires raising the issue to the level of an interdisciplinary scientific direction based on mechanics, mechatronics and robotics.

Purpose. The need to implement the increasingly complex ideas of performance directors in a modern theater requires the improvement

of demonstration equipment, primarily theatrical machinery based on new scientific achievements and modern technical means of mechanization and automation.

Research methods. *Special stage robots can have a very different appearance, for example, they can be zoomorphic or anthropomorphic, but while maintaining the style of constructivism, they can have a man-made appearance. Such robots can perform complex movements, while they usually have numerous moving parts with independent drives. To provide flexible motion control capabilities with a focus on spectator perception, it is required to use microprocessor control with coordination from central control computers.*

Results. *When setting requirements for such a technique, the orientation towards visual perception is specific, which is also used in demonstration robotics. Based on the scientific generalization of previous and new experience in creating technical equipment for theatrical productions of large theaters, the paper describes and characterizes typical tasks of creating and working out a scientific base for creating modern and promising equipment for theatrical productions based on general principles and practical methods of mechanics, mechatronics and robotics.*

Keywords: *robotic equipment; theater; staging; robotics; robotics technician*

For citation. *Volkov A.N., Kochetkov A.V. Robotic Equipment of Theater Stages. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 85-105. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-206*

Введение

Современный «большой» театр представляет собой сложнейший организм, в котором техническое обеспечение часто занимает важное место. Реализация инновационных решений средств технического оснащения и сопровождения спектаклей на сценах современных театров представляет собой сложнейший многоэтапный процесс, который начинается с планирования, проектиро-

вания и строительства зданий театров со встроенными средствами механизации сцены, а потом при реализации замыслов постановщиков на стадиях проектирования и изготовления комплектов декораций к каждой новой постановке, перемонтажа декораций и прочего оборудования перед каждым спектаклем, в перерывах между актами и картинами и даже по ходу действия. Практические работы по проектированию и изготовлению во всех этих и других близких сферах деятельности занимают театральные мастерские самых крупных театров, в которых работают высококвалифицированные специалисты. Они же обслуживают другие театры, если требуется сложное оснащение. Однако нет единого научного центра, который бы на основе обобщения опыта и наличия определенных возможностей выполнял бы сложные перспективные разработки на базе новой техники автоматизированного управления. Нет централизованного центра по обобщению опыта отдельных организаций и освоению новой техники, перспективной для оснащения сцены, в этой области необходимы серьезнее научные исследования.

Статья посвящена памяти Челпанова Игоря Борисовича Заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора Санкт-Петербургского государственного технического университета ИТМО.

Актуальность

Современный этап развития театральной машинерии характеризуется как расширением совокупностей решаемых задач, так и использованием новых подходов, способов их решения и технических средств, в том числе относящихся к мехатронике и робототехнике. История развития театральной машинерии и лишь в незначительной степени состояния к середине XX века поучительна, она лишь фрагментарно освящена в монографиях авторов, как зарубежных [20-25], так и отечественных [1, 2, 17] (к сожалению вышедших давно и представивших технологию сцены до середины прошлого века).

Еще во второй половине и в XVIII веках были созданы сценические механизмы, которые позволяли быстро менять декорации и даже в определенных пределах изменять геометрию сценического пространства, представлять объемные движущиеся макеты животных и пр., поднимать и перемещать над сценой группы актеров или проваливаться в люки. Специалисты отмечают, что в XVII-XIX веках театральная машинерия была передовой во внедрении изобретении и в практическом использовании сложных механизмов. Но ранее все движения осуществлялись мускульной силой рабочих сцены, а теперь – автоматизированным электроприводом. При необходимости выполнения координированных движений многими объектами на сцене необходима высокая степень автоматизации.

При создании достаточно сложных технических объектов и средств для сцены приходится проходить весь обычный цикл от исходного замысла и технического задания, через расчет и проектирование, через последующее изготовление к монтажу и отладке к постановке, причем обычно в крайне сжатые сроки. К тому же необходимо тесное взаимодействие всего обслуживающего персонала и технических средств как в периоды монтажа и демонтажа, так и во время представлений. Известно, что многие интересные и технически вполне реализуемые замыслы в оснащении сцены не были реализованы в театре из-за отсутствия прямых заделов и ограниченности ресурсов времени. Обобщение новейшего опыта в сфере театральной машинерии требует поднятия проблематики до уровня междисциплинарного научного направления на базе механики, мехатроники и робототехники.

Специфичной является ориентация в конечном счете на зрительное восприятие, и в этом плане указанное направление может быть отнесено к пока еще научно не оформившейся, на занявшей прочные позиции области демонстрационной техники, которая помимо изобретательства требует серьезной научной проработки. Как известно, эти трудности оказались преодолимыми на путях

автоматизации проектирования, широкого применения средств механизации и автоматизации выполнения технологических и сборочных работ, достижений мехатроники, создания роботизированных комплексов различных уровней, обеспечения гибкости систем, адаптивности по отношению к техническим требованиям и условиям производства.

В существующих достаточно мощных проектно-производственных комплексах, осуществляющих техническую подготовку и техническое сопровождение театральных постановок необходимо использовать многочисленные конструктивные подходы, наработанные при создании гибких роботизированных комплексов в промышленности, начиная с построения отдельных единиц оборудования и кончая созданием единой системы. В этом смысле в настоящее время и в ближайшей перспективе можно говорить о создании гибких роботизированных комплексов для театральной сцены.

Основные задачи и пути их решения

Наибольших высот техника сцены достигла в оперных театрах. Современная постановка оперы или балета, например, в столичном Большом или петербургском Мариинском театре, включает серьезнейшую техническую проработку и ее сопровождение. Ведущие отечественные постановщики, такие как Г. Ципин, В.В. Монахов, С. Пастух, К.С. Серебенников Д.Ф. Черняков, активно работающие и с зарубежными театрами, часто используют в постановках новые идеи и помогающие их реализовать достаточно сложные технические средства. Очень редко удается ограничиться решением традиционных задач и соответствующим традиционным техническим обеспечением движений (поднимание и опускание занавесов различными способами, выдвигание кулис, опускание и малые горизонтальные перемещения на штанкетах фрагментов декораций, смена задника и пр.), когда основная часть подготовительных работ к постановке спектакля

заклучалась в живописном оформлении декораций. Теперь для многих постановок требуется новое серьезное техническое оборудование, всегда стационарное, но часто подвижное. Некоторые из подобных технических средств давно освоены; это поворотные сцены или сценические площадки, люки с подъемно-опускными площадками неподвижно устанавливаемые помосты-станки, поворотные платформы и многое другое и пр.

Постановщики спектаклей и главные художники год от года представляют все большее множество идей, которые часто уникальны, усложняют требования к оснащению сцены, проявляя большую фантазию и иногда ставя задачи на границах технических возможностей. При этом необходимо соблюдать требования, сформулированные в стандартах по безопасности [19, с. 6]. Плотность заполнения сцены техническими средствами часто бывает очень высока, замыслы постановщиков требуют использования все более сложных технических решений, причем очень часто наиболее сложными являются задачи автоматизации движений различных объектов, что позволяет относить их к мехатронике.

Из большого комплекса сегодняшних и перспективных задач мехатроники сцены выделим три направления, по этим направлениям авторами данной работы принадлежит серия исследований, результаты которых, полученные преимущественно за последнее десятилетие, отражены в публикациях [5-16, 18]:

1. Глобальная механизация и автоматизация изменений материальной обстановки на сцене, в частности, управление движением декораций, синхронизация и координация с театральным действием, а в оперно-балетном театре – с музыкальным развитием, прямо представленном в партитуре. Идея заключается в том, чтобы перемещения всех объектов на сцене программируются, и соответствующие команды должны выполняться, начиная с моментов времени, первоначально определяемых постановщиком, но не привязанных к шкале времени, отклонения от которой неизбежны. Теперь это делается целой командой рабочих сцены и

операторов (единственное новшество – мобильная связь) по командам помощника режиссера по специально записанной для него программе. Но значительно более широкие возможности в первую очередь можно получить за счет оснащения сцены специальными сценическими демонстрационными роботами, приспособленными для встраивания в единые комплексы. Представляется, что это – дело обозримого будущего.

2. Построение автоматизированных систем для выполнения подготовительных крупномасштабных монтажно-демонтажных работ на сцене после очередного спектакля и при подготовке следующего, а также, если это предусмотрено, для изменения обстановки или даже структуры рабочего пространства на сцене во время действия. Часто необходимо осуществлять монтаж и ремонт оборудования на сцене перед представлениями и в антрактах между картинами и актами. В последние десятилетия широко используются автоматические и автоматизированные программируемые приводы, но часто механика театральной сцены не успевает за возрастающими требованиями.

При этом специфическими для сборки фрагментов декораций на сцене являются следующие трудности: эти фрагменты часто велики по размерам, их начальное расположение может быть очень неудобным для сборки; при жестких лимитах времени во время антрактов сборка часто должна осуществляться параллельно на нескольких позициях; обычно нужно исключить задевание постоянно установленных объектов, а также других собираемых фрагментов; при закреплении связанные механические системы, которые получаются в процессе сборки, часто являются статически неопределимыми и поэтому, чтобы избежать поломок, нужно прямо или косвенно контролировать внутренние усилия, в частности, натяжения элементов крепления, в первую очередь тросов. Эти трудности обычно преодолеваются за счет согласованного действия высококвалифицированных, имеющих большой опыт рабочих сцены.

Однако привлечение опыта адаптивной автоматизированной сборки в машиностроении представляется перспективным при описанных операциях. Авторами предложена концепция планирования и последующей роботизации подобного рода сборочных операций, выработанная на основе некоторых аналогий с функционально сходными сборочными операциями в машиностроении. Разработанные на этой основе алгоритмы планирования последовательностей операций, а затем программ управления движениями опробованы на практике. Предварительно проработана методология проектирования реализации переменной рельефа сцены и возможно кулис. При проектировании способов трансформации сцены решается такая последовательность задач: фрагментирование, перемещение фрагментов, трансформирование самих фрагментов.

Трансформирование может осуществляться деформированием целиком упругой поверхности (или поверхности из ткани, которая может ложиться складками) или перемещением ее фрагментов (эти фрагменты могут быть или жесткими, или упругими). Фрагменты могут быть независимыми, в композициях они не стыкуются, и тогда их внешние формы могут быть произвольными. Наоборот, может быть предусмотрена стыковка фрагментов (прямой аналог операции сборки), тогда их формы должны быть взаимно согласованными, особенно в части поверхностей, по которым осуществляется стыковка. Сами по себе фрагменты могут иметь неизменяемую или изменяемую геометрию. Наиболее простыми являются такие законы управления трансформацией, при которых предусматриваются кратковременные перемещения из одних положений в другие с длительным выстоем. В противоположность этому встречаются ситуации, когда фрагменты должны двигаться или трансформироваться непрерывно в течение больших интервалов времени. Предпочтительным, но не всегда возможным является жесткое программирование. Но часто управление в этих случаях управление реализуется как си-

туационное, например, при задании общего характера сложных, возможно, квазихаотичных движения и средней скорости налагаются условия предотвращения столкновений. При разработке механики средств трансформации сцены исходным моментом является выбор базовых схем трансформирования. Такие конструкции позволяют формировать граненые объемные декорации типа стен (наклонных или вертикальных) пирамид (остроконечных или усеченных, как башни), гряд холмов и т.п.

Конструкция имеет обшивку, наружную оболочку из мягких и/или растяжимых материалов. Подобные оболочки в исходном положении могут складываться складками и компактно ложиться на гладкие поверхности или прятаться в контейнеры, а в рабочем состоянии распрямляется, приобретает большие размеры при гладкой поверхности. При сохранении единого общего пространства из наборов модулей могут формироваться стены с различными архитектурными элементами (например, колоннами, пилястрами), это дело художника. В случае необходимости могут воспроизводиться сцены разрушений; при этом целесообразно фрагментирование не по прямым или плоскостям, а по неровным линиям или поверхностям. Более простыми являются задачи получения требуемой конфигурации сценического пространства путем перемещения больших блоков. В ходе действия эти фрагменты могут двигаться согласованно, как единое целое, увеличивая или уменьшая пространство авансцены.

Такой способ использовался в постановках Большого театра в 2003 году опер Дж.Верди «Набукко» и С.Прокофьева «Война и мир». Возможны также согласованные повороты, при этом как бы изменяется точка зрения зрителей; подобный же эффект достигается при поворотной сцене. Из гладких прямоугольных блоков различных пропорций можно создавать разнообразные композиции в стиле конструктивизма. Например, можно воссоздать общий схематичный облик города небоскребов середины XX века. При росписи поверхностей можно создавать стилизованные горные пейзажи. В сочетании с подвесными (на штанкетах)

элементами, имитирующими потолочные балки можно создавать трансформируемые интерьеры залов. Однако прямоугольные фрагменты могут выполнять совсем другие функции. Они могут представлять собой малые сценические площадки, подвижные станки. Подобная техника позволяет реализовывать принцип последовательной композиции коротких эпизодов, происходящих в разных местах, быстро чередовать камерные сцены, выделяя перемещением площадок и, возможно, освещением те из них, на которых происходят действия.

При подобном функциональном назначении пропорции блоков должны быть существенно иными: они должны иметь большую ширину и глубину, они могут иметь различные габаритные размеры. Переменность обстановки на сцене создается перемещением блоков по поверхности сцены. Иной подход каждый блок на самостоятельном колесном шасси, которое при подходящем конструктивном исполнении позволяет осуществлять сложные движения и предоставлять практически неограниченные возможности задания плоских движений по планшету сцены. Это реализуется за счет того, что все колеса шасси являются независимыми друг относительно друга, причем приводные колеса имеют независимые управляемые приводы.

3. Создание сначала, быть может, простых, а затем все более сложных подвижных управляемых объектов (в частности, автономных, полностью самостоятельных или взаимодействующих с актерами специальных сценических роботов), как наиболее выразительных и привлекающих внимание зрителей фрагментов технического оснащения сцены. В техническом оснащении сцены всегда самыми сложными и ответственными были устройства, обеспечивающие подвижность объектов и/или их составных частей, особенно, а также, если требуется согласование, координация определенное их взаимодействие. Накопленный опыт часто оказывается достаточным в традиционных операциях (поднятие и опускание занавеса, задника, перемещение по рельсовому на-

польному или подвесному пути декораций, перемещение на роликах фурок с декорациями и т.п.), но, как отмечалось выше, этих средств бывает недостаточно при решении многих новых творческих задач. Специальные сценические роботы могут иметь самый различный облик, например, могут быть зооморфными или антропоморфными, но при сохранении стилистики конструктивизма могут иметь техногенный облик. Подобные роботы могут выполнять сложные движения, при этом обычно у них имеются многочисленные подвижные части с самостоятельными приводами. Для обеспечения возможностей гибкого управления движениями с ориентацией на зрительское восприятие требуется использовать микропроцессорное управление с координацией от центральных управляющих компьютеров. По этому направлению на кафедре «Автоматы» СПбГПУ выполнен ряд работ. К числу наиболее сложных разработок для Санкт-Петербургского Мариинского театра для постановки в 2010 году оперной тетралогии Рихарда Вагнера «Кольцо нибелунга» можно отнести проектирование четырех подвижных антропоморфных фигур, каждая из которых имеет условное название «Великан». Каждый такой «Великан» изображает заметно трансформированную гигантскую даже в масштабах сцены фигуру человека, они в совокупности символизируют сверхчеловеческие, но пассивные силы. Эти фигуры присутствуют на сцене одновременно с актерами, они в разных сценах занимают различное положение и принимают различные позы, но это происходит достаточно медленно. Соответствующие персонажи в либретто опер отсутствуют и созданы только фантазией постановщика. Высота стоящей фигуры «Великана» составляет около 10 м, а ширина плеч 2,5 м. Руки «Великана» имеют возможность изгибаться в локтевых суставах, голова (сменная, условно человеческая или звериная) может наклоняться вперед и поворачиваться вокруг оси шеи, ноги могут изгибаться в коленях, подвижность также имеет торс декорации, позвоночник способный плавно изгибаться в области живота.

Соответственно, декорация имеет следующие встроенные механизмы: механизм изгиба спины, механизм поворота и наклона головы, механизмы изгиба рук, механизмы изгиба ног. На сцене тело «Великана» ориентируется при помощи специальной системы подвешивания состоящей из подвесной дороги и перемещаемой по ней тельферной тележке. В качестве каркаса торса фигуры «великана» используется рамная конструкция, состоящая из нескольких подвижных секций.

Были проработаны технические решения подвижных и трансформируемых объектов для постановок некоторых опер тетралогии Рихарда Вагнера. Был эскизный проект дракона, которого в схватке побеждает Зигфрид. Проект предусматривал большое разнообразие движений нападающего дракона. Другой пример относится к постановке оперы «Лоенгрин», а именно, к сцене, в которой Лоенгрин появляется на ладье, влекомой лебедем. Для изготовления управляемого механизма шеи лебедя, которая должна грациозно изгибаться в процессе движения, было предложено использовать схему на основе упругого стержня с небольшим числом приводов с тросами. Для теоретического определения изменения формы изгиба при математическом моделировании и отработке движений на мониторе была использована теория тонких криволинейных стержней. Теория упруго деформируемых тел при больших деформациях широко применяется при отработке большого числа практических задач механики сцены.

К числу наиболее эффектных, особенно в постановках на сказочные и мифологические сюжеты относятся сцены полета над сценой. В литературных описаниях театральных постановок трех веков всегда обращалось особое внимание на такие эпизоды. Подниматься и даже летать над сценой могут большие макеты, платформы со статистами и актерами. В старом театре классицизма бог или боги спускались вертикально или по наклонной прямой с небес на землю (типовая сцена «deux ex machine»). Это все при использовании самой примитивной техники. Подобные

движения использовались и используются также во время празднеств. Некоторое расширение возможностей предоставляет использование маятниковых движений или вращение над сценой по кругу или эллипсу. Но современные технические средства допускают при использовании системы тросов осуществление в полете гораздо более сложных движений. Но более привлекательным представляется управляемый полет над сценой более сложный, чем построенный на маятниковых колебаниях. Подобный полет часто хорошо смотрится на фоне задника с создаваемым мощными проекционными средствами изображением убегающего вглубь пейзажем. При этом достаточно просто создается впечатление стремительности полета. Управляемые движения реализуются при координированных программных изменениях длин тросов подвесов. Результатам теоретического исследования возможностей и проработке принципиальных решений механики полета над сценой посвящены работы [4, 14].

Еще одна группа задач механики сцены – это эффектная имитация сцен разрушений и катастроф. Зрелищные крупномасштабные сцены разрушений и катастроф (часто финальные) в спектаклях больших оперно-балетных театров всегда производили и производят большое впечатление на зрителей. К их числу относится, например, заключительная сцена обрушения храма бога Дагона в постановке оперы Сен-Санса «Самсон и Далила». Если бы технология имитации катастроф в театрах была освоена, подобные эпизоды можно было бы с успехом вставить в ряд других спектаклей классиков оперной сцены на эпические, сказочные и мифологические сюжеты. Колоссальный опыт кинематографа или телефильмов подобных эпизодов использовать невозможно, поскольку подобные сцены на экране основаны преимущественно на технике комбинированных съемок. Однако в XVIII-XIX веках эффектности сцен разрушения в театре уделялось значительное внимание, на них тратились большие средства, но о них сохранились только словесные описания.

Авторами проработана общая идеология имитации катастроф и на основе результатов математического моделирования разрушения различных строительных конструкций решен ряд конкретных задач [15, 16]. Эпизоды разрушения зданий, сооружений и транспортных средств могут строиться по двум путям. Первый путь предполагает распадение конструкций на большие фрагменты; такое типично для разрушения каменных зданий и сооружений. При проектировании конструкций объектов, которые будут как бы разрушаться, разваливаться на фрагменты на глазах зрителей, в первую очередь необходимо осуществить их фрагментирование с тем, чтобы эти части падали, двигались при обрушении зрительно достаточно правдоподобно. Такой путь использован в последней постановке балета «Корсар». Второй путь предполагает видимую большую деформацию конструкций в целом, что бывает в большинстве случаев при катастрофах с транспортными средствами. Представляется, что на втором пути нужно использовать складные конструкции.

Авторами проработан системный подход к решению описанной комплексной задачи, при котором на основе принятой расчетной схемы определяются наиболее опасные сечения в этих сечениях и предусматривается разъединение на фрагмент. После разъединения на фрагменты необходимо математическим моделированием определить законы их движения в соответствии с законами механики; в завершение процесса падения необходимо проработать живописную композицию развалин и обеспечить приход всех фрагментов в установленные положения. Подробно рассмотрена механическая задача о падении вертикальной колонны, как целиком, так и по фрагментам. При распадении на фрагменты описываются способы получения таких законов движения в пространстве, которые соответствуют законам динамики свободного падения и выглядят достаточно правдоподобно. Осуществлены предварительные проработки по таким задачам, как обрушивание стен и башен (например, крепостных), арок мостов

и сводов зданий с выпадением отдельных фрагментов. На основе использования теории подобия проработан прием искусственно-го растягивания процессов разрушения во времени, что позволяет правдоподобно воспроизводить сцены катастроф очень больших, сильно удаленных объектов.

Выводы

Техническое оснащение сцен театров развивалось и совершенствовалось многие десятилетия. Современные технические средства (управляемые программируемые приводы, развитая сенсорика, устройства автоматического управления, новые типы механизмов) открывают новые, значительно более широкие возможности. Представляется, что для реализации этих возможностей на основе анализа типовых задач и отдельных удачных решений и обобщения истории театральной машинерии при привлечении новых средств механизации и автоматизации на основе системного подхода можно выйти на новые уровни зрелищности театральных постановок.

Список литературы

1. Базанов В.В. Сцена, техника, спектакль. Л.: Искусство, 1963.
2. Базанов В.В. Техника и технология сцены. Л.: Искусство, 1976.
3. Бudyко И.А., Волков А.Н., Челпанов И.Б. Задачи механики сценических роботов // Теория механизмов и машин. 2010. Т. 8. № 1 (15).
4. Бudyко И.А., Волков А.Н., Челпанов И.Б. Задачи механики змееподобных роботов // Научно-технические ведомости СПбПУ. 2011. № 3(130). С. 91-97.
5. Волков А.Н., Соколов В.А. Проблемы проектирования демонстрационных роботов // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в технических университетах». СПб, 1999.
6. Волков А.Н. Мехатроника театральной сцены // Материалы первой Всероссийской научно-технической конференции с между-

- народным участием «Мехатроника, автоматизация, управление» - 2004. Владимир, 2004.
7. Волков А.Н., Смородов П.В. Задачи механики современного театра // Сборник докладов IV Международного конгресса «Машиностроительные технологии '04», Т. 5. Варна, Болгария, 2004. С. 99-100.
 8. Волков А.Н. Новые технологии в постановке современных спектаклей // Научные исследования и инновационная деятельность: Материалы науч.-практ. конф. СПб.: изд-во СПбГПУ, 2006.
 9. Волков А.Н. Проектно-конструкторское обеспечение спектаклей современного театра // Конструктор-машиностроитель. 2005. № 6.
 10. Волков А.Н. Механика сцены современного театра // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов, т. 1. Нижний Новгород: изд-во НГУ им. Н.И.Лобачевского, 2006.
 11. Волков А.Н., Смородов П.В. Демонстрационные роботы на сцене театра: фигуры великанов в тетралогии Р.Вагнера «Кольцо нибелунга» // Теория Механизмов и Машин. 2005. № 1. С. 70.
 12. Волков А.Н., Смородов П.В. Демонстрационные роботы на сцене театра: фигуры великанов в тетралогии Р.Вагнера «Кольцо нибелунга» // Теория Механизмов и Машин. 2005. № 1. С. 71-76.
 13. Волков А.Н., Смородов П.В., Челпанов И.Б. Демонстрационные роботы на сцене театра: фигуры великанов в тетралогии Вагнера «Кольцо Нибелунга» // Теория механизмов и машин. 2004. № 3.
 14. Волков А.Н., Ситкин Д.С. Задачи динамики управляемого полета над сценой в современных театральных постановках // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2006. № 5-1(47). С. 218-222.
 15. Волков А.Н. Имитация сцен разрушений и катастроф на сцене современного театра // Научные исследования и инновационная деятельность: Материалы науч.- практ. конф. СПб.: изд. СПбГПУ, 2006.
 16. Волков А.Н., Челпанов И.Б. Механика имитации сцен разрушений и катастроф на сцене театра // Проблемы механики современных машин: Материалы III международной конференции. Улан-Удэ: ВСГТУ, 2006.

17. Заявлин Г.А. Постановочная часть театра. М.: Искусство, 1953.
18. Никифоров С.О., Челпанов И.Б., Знаменский И.С., Соколов В.А., Мандаров Э.Б. Демонстрационные роботы: цели создания, разновидности и задачи механики. // Материалы международной конференции «Проблемы механики современных машин». Улан-Удэ, 2000.
19. Оборудование механическое театрально-зрелищных предприятий. Термины и определения. Отраслевой стандарт. ОСТ 43-38-82.
20. Arnold R.L. Scene Technology. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
21. Gillette A. S., Gillette J. M. Stage Scenery, It's Construction and Rigging, 3rd edition. New York: Harper and Row, 1981.
22. Gillette, J. M. Theatrical Design and Production, 4th edition. Palo Alto, CA: Mayfield Publishing Company, 2000.
23. Mielziner J. Designing for the Theatre. New York: Bramhall House, 1965.
24. Payne D. R. The Scenographic Imagination. Carbondale IL: Southern Illinois University Press, 1993.
25. Sporre D. J., Robert C. B. Scene Design in the Theatre. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.

References

1. Bazanov V.V. *Stage, technique, performance*. L.: Art, 1963.
2. Bazanov V.V. *Technique and technology of the stage*. L.: Art, 1976.
3. Budko I.A., Volkov A.N., Chelpanov I.B. Tasks of the stage robots mechanics. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines], 2010, vol. 8, no. 1 (15).
4. Budko I.A., Volkov A.N., Chelpanov I.B. Problems of mechanics of snake-like robots. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU* [Scientific and Technical Vedomosti SPbPU], 2011, no. 3(130), pp. 91-97.
5. Volkov A.N., Sokolov V.A. Problems of designing demonstration robots. *Proceedings of the III All-Russian Scientific and Technical Conference "Fundamental Research in Technical Universities"*. SPb, 1999.
6. Volkov A.N. Mechatronics of a theatrical stage. *Proceedings of the first All-Russian scientific and technical conference with international participation "Mechatronics, automation, control" - 2004*. Vladimir, 2004.

7. Volkov A.N., Smorodov P.V. Problems of mechanics of a modern theater. *Collection of reports of the IV International Congress "Machine Building Technologies '04"*, Vol. 5. Varna, Bulgaria, 2004, pp. 99-100.
8. Volkov A.N. New technologies in the staging of modern performances. *Scientific research and innovation activity: Proceedings of the scientific-practical conf.* SPb.: SPbSPU Publ., 2006.
9. Volkov A.N. Design and construction support of the modern theater performances. *Konstruktor-mashinostroitel*, 2005, no. 6.
10. Volkov A.N. Mechanics of the stage of a modern theater. *IX All-Russian Congress on Theoretical and Applied Mechanics. Abstracts of Reports*, vol. 1. Nizhny Novgorod: Lobachevsky NSU Publ., 2006.
11. Volkov A.N., Smorodov P.V. Demonstration robots on the theater stage: the figures of giants in R. Wagner's tetralogy "The Ring of the Nibelung" (in Russian). *Teoriya Mekhanizmov i Mashin* [Theory of Mechanisms and Machines], 2005, no. 1, p. 70.
12. Volkov A.N., Smorodov P.V. Demonstration robots on the theater stage: the figures of giants in R. Wagner's tetralogy "The Ring of the Nibelung" (in Russian). *Teoriya Mekhanizmov i Mashin* [Theory of Mechanisms and Machines], 2005, no. 1, pp. 71-76.
13. Volkov A.N., Smorodov P.V., Chelpanov I.B. Demonstration robots on the theater stage: figures of giants in Wagner's tetralogy "The Ring of Nibelung". *Teoriya Mekhanizmov i Mashin* [Theory of Mechanisms and Machines], 2004, no. 3.
14. Volkov A.N., Sitkin D.S. Problems of the controlled flight dynamics over the stage in the modern theatrical productions. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGTU*, 2006, no. 5-1(47), pp. 218-222.
15. Volkov A.N. Imitation of scenes of destruction and catastrophes on the stage of modern theater. *Scientific research and innovation activity: Proceedings of the scientific and practical conf.* SPb.: SPbSPU, 2006.
16. Volkov A.N., Chelpanov I.B. Mechanics of imitation of destruction and catastrophe scenes on the stage of a theater. *Problems of mechanics of modern machines: Proceedings of the III International Conference*. Ulan-Ude: VSGTU, 2006.

17. Zayavlin G.A. *Staging part of the theater*. Moscow: Art Publ., 1953.
18. Nikiforov S.O., Chelpanov I.B., Znamensky I.S., Sokolov V.A., Mandarov E.B. Demonstration robots: goals of creation, varieties and problems of mechanics. *Materials of the International Conference "Problems of Mechanics of Modern Machines"*. Ulan-Ude, 2000.
19. Mechanical equipment of theater and entertainment enterprises. Terms and definitions. Industry standard. OST 43-38-82.
20. Arnold R.L. *Scene Technology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
21. Gillette A. S., Gillette J. M. *Stage Scenery, It's Construction and Rigging*, 3rd edition. New York: Harper and Row, 1981.
22. Gillette, J. M. *Theatrical Design and Production*, 4th edition. Palo Alto, CA: Mayfield Publishing Company, 2000.
23. Mielziner J. *Designing for the Theater*. New York: Bramhall House, 1965.
24. Payne D. R. *The Scenographic Imagination*. Carbondale IL: Southern Illinois University Press, 1993.
25. Sporre D. J., Robert C. B. *Scene Design in the Theater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Волков Андрей Николаевич, доктор технических наук, профессор
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация
volkov-and-1@yandex.ru

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
пр. Комсомольский, 29, г. Пермь, 614990, Российская Федерация
Soni.81@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey N. Volkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29, Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg, 195251, Russian
Federation
volkov-and-1@yandex.ru

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Perm National Research Polytechnic University
29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation
Soni.81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6523-6095>
Scopus Author ID: 56252046200

Поступила 13.02.2024

После рецензирования 27.02.2024

Принята 05.03.2024

Received 13.02.2024

Revised 27.02.2024

Accepted 05.03.2024