

УДК 331.453: 613.65: 613.6.027

Перспективы применения промышленных экзоскелетов на железнодорожном транспорте в качестве средств индивидуальной защиты

Ю. Н. Канонин, О. И. Тихомиров

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9

Для цитирования: Канонин Ю. Н., Тихомиров О. И. Перспективы применения промышленных экзоскелетов на железнодорожном транспорте в качестве средств индивидуальной защиты // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 2. С. 370–379. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-370-379

Аннотация

Цель: выявить наиболее эффективные модели промышленных экзоскелетов, определить возможность применения промышленных экзоскелетов при работах, проводимых на железнодорожном транспорте, выявить основные их недостатки и предложить варианты улучшения их конструкции. **Методы:** поиск и сравнительный анализ информации о новых промышленных экзоскелетах, применяемых в различных областях жизнедеятельности на предмет определения возможности и целесообразности их более широкого внедрения на железнодорожном транспорте. **Результаты:** произведен обзор и оценка изготавливаемых на данный момент в Российской Федерации промышленных экзоскелетов. **Практическая значимость:** выявлено, что в большинстве случаев вредные условия труда для рабочих мест на предприятиях железнодорожного транспорта обусловлены фактором тяжести труда. Влияние этого фактора можно снизить путем использования современных средств индивидуальной защиты (СИЗ) опорно-двигательного аппарата рабочих. Установлено, что перспективными СИЗ для снижения физических нагрузок являются промышленные экзоскелеты. Приведены рекомендации по их выбору для ряда профессий железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: промышленные экзоскелеты, средства индивидуальной защиты, опорно-двигательный аппарат, тяжесть труда, физические перегрузки, работники железнодорожного транспорта.

Сферы деятельности и условия труда работников железнодорожного транспорта для различных профессий отличаются большим разнообразием. От высокоинтеллектуальной деятельности до тяжелого физического труда у монтеров пути, работников восстановительных поездов, осмотрщиков вагонов, слесарей по ремонту подвижного состава, монтеров контактной сети, рабочих, занятых текущим содержанием искусственных сооружений, а также ремонтом и обслуживанием железнодорожных вагонов на пунктах технического обслуживания вагонов

и многих других. При проведении специальной оценки условий труда (СОУТ) одним из самых существенных вредных и опасных факторов является тяжесть труда.

Отнесение условий труда для конкретного рабочего места к классу условий труда по тяжести трудового процесса, как известно, осуществляется в соответствии с Методикой [1] путем оценки по целому ряду показателей: 1) физическая динамическая нагрузка; 2) масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную; 3) стереотипные рабочие движения; 4) статическая нагрузка;

5) рабочая поза; 6) наклоны корпуса; 7) перемещение в пространстве. Общий класс условий труда устанавливается по показателю, имеющему наиболее высокий подкласс, а при наличии двух и более показателей с подклассом 3.1 или 3.2 общий класс повышается на одну степень.

В подавляющем большинстве случаев для перечисленных профессий выявленные вредные условия труда (класс 3.1 и даже выше) по результатам исследований в рамках обязательного проведения СОУТ обуславливаются именно тяжестью труда. В сводной ведомости результатов проведения СОУТ обязательно должны быть указаны рекомендуемые мероприятия по улучшению условий труда с указанием сроков выполнения. Попытаемся обосновать, что в ряде случаев именно использование экзоскелетов позволяет решить обозначенную задачу.

Не всегда мероприятия по охране труда сопровождаются экономическим эффектом поскольку обеспечение безопасности невозможно без определенных затрат. Основная цель в данном случае — это социальный эффект. Сопутствующий экономический эффект может возникнуть в результате сокращения потерь рабочего времени и соответствующих выплат в результате травм и профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата (ОДА). Если рассматривать недорогие активные экзоскелеты, предназначенные для очень специфичных работ, а пассивные экзоскелеты для обычных физических работ, то последние стоят примерно 60–80 тыс. руб., что для многих предприятий вполне посильно с учетом того, что теперь экзоскелеты относятся к средствам индивидуальной защиты (СИЗ) и могут приобретаться за счет средств, выделяемых на мероприятия по охране труда.

Заболевания опорно-двигательного аппарата в результате физических перегрузок в процессе трудовой деятельности

Физические перегрузки в процессе трудовой деятельности часто приводят к заболеваниям опорно-двигательного аппарата (ОДА) из-за функционального перенапряжения и микротравм. Доля профессиональных заболеваний, связанных с нарушением работы опорно-двигательного аппарата, в России достигает 45 % [2, 3]. К заболеваниям опорно-двигательного аппарата приводят работы, связанные с поднятием и перемещением тяжестей, необходимостью длительного пребывания в фиксированной, вынужденной или в неудобной рабочей позе, с наклонами корпуса, с длительно поднятыми над головой руками или большим количеством однообразных повторяющихся движений. Часто тяжелые патологии опорно-двигательного аппарата возникают из-за несоответствия физических возможностей работников выполняемой работе. Количество заболеваний ОДА в России только за последнее десятилетие увеличилось на 30 %.

Одним из возможных вариантов решения рассмотренных проблем является применение экзоскелетов (от греческих слов «внешний» и «скелет»), разработка и применение которых изначально были связаны с военной отраслью и реабилитацией больных. В России наиболее известны медицинские экзоскелеты ExoAtlet, работы по созданию которых начались в 2011 году учеными НИИ механики МГУ, создавшими в 2013 году фирму ExoAtlet, и экзоскелеты «Компаньон» от компании Symbionix, помогающие восстановить двигательную активность людей с повреждениями спины и нижнего пояса конечностей [4].

Однако в последнее время все чаще появляется информация об использовании экзоскелетов на производстве для облегчения труда работников. Это актуально и для европейских стран, в которых тоже значительное число рабочих выполняют подъем и переноску грузов не менее четверти времени смены [5]. Аналогичная ситуация наблюдается и в РФ, где по данным [6], до 70 % работников в процессе работы вынуждены поднимать и переносить грузы, причем зачастую в стесненных условиях. Это характерно не только для целого ряда работ на железнодорожном транспорте, но и, например, для строительных, сельскохозяйственных работ, в складском и жилищно-коммунальном хозяйстве, в машиностроении, в МЧС. Среди работников железнодорожного транспорта большие физические нагрузки испытывают рабочие, занятые ремонтом подвижного состава, монтеры пути, а особенно рабочие восстановительных поездов, которым в случае аварий необходимо выполнять большой объем работ в сжатые сроки.

Опытная эксплуатация промышленных экзоскелетов на предприятиях ОАО «РЖД»

На различных предприятиях ОАО «РЖД» активно тестируют или уже внедряются промышленные экзоскелеты. Так в 2021 году в Санкт-Петербурге во время работы сетевой школы Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» (ЦМ) протестирован промышленный экзоскелет Exorise (рис. 1, б). Три экземпляра пассивного промышленного экзоскелета аналогичной марки были приобретены работникам железнодорожной станции

Ростов-Западный Северо-Кавказской железной дороги. Только на одной этой станции вручную ежегодно разгружается более 200 крытых грузовых вагонов. Применяемое устройство не увеличивает физическую силу, но позволяет почти на 30 % уменьшить нагрузку на позвоночник и плечевой пояс человека во время погрузки или выгрузки вагонов, что, в свою очередь, снижает риск производственного травматизма при данном виде работ. В этом устройстве используется способность рессор и эластомеров накапливать, а потом в нужный момент отдавать механическую энергию.

Пять закупленных комплектов инновационной продукции прошли опытную эксплуатацию на материальном складе станции Ярославль [7]. Модель X-Soft (российской компании Exorise) оказалась безопасной, удобной при надевании и легкой (весит всего 2,5 кг). Она не сковывает движений и позволяет наклоняться во всех направлениях. Устройство включает в себя гибкое основание повышенной прочности, распределенную систему эластомеров и корсет, предназначенный для воздействия на осанку. Цена не превышает 100 тыс. руб. Отклики от использования образцов на площадках оказались самыми положительными. Опытная эксплуатация уже началась и на Северо-Кавказской дирекции по управлению терминально-складским комплексом.

Перспективным также представляется использование модульных промышленных экзоскелетных комплексов, таких как ProEXO, производство которых началось в России с 2021 года. Этот комплекс позволяет увеличить производительность физических работ до двух раз по широкому спектру выполняемых операций.

Комплекс разработан как в пассивном исполнении (просто защищает работника от физических перегрузок), так и в активном исполнении, в котором встроенные приводящие элементы берут на себя значительную часть выполняемой физической работы [8].

В сфере производства экзоскелет можно было бы рассматривать как следующий этап развития инструментов, применяемых человеком. В дополнение к ручным инструментам стали использовать механизированные инструменты, а вот теперь и экзоскелеты.

С другой стороны, идея экзоскелета развивается из концепции, что экзоскелет — это управляемый пользователем робот, который носится на теле или плотно прилегает к нему. Его назначение заключается в выполнении некоторых действий или в снижении нагрузки на человека при выполнении этих действий. Экзоскелет способствует улучшению качества работы пользователя за счет увеличения функции их опорно-двигательного аппарата при выполнении физической работы. Экзоскелет также можно рассматривать как человеко-машинную систему. Поэтому требования к экзоскелетам приводятся в 60-й системе государственных стандартов [9, 10].

Промышленные экзоскелеты как средство индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата

Однако исходя из назначения, экзоскелеты логично отнести к средствам индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Поэтому совершенно оправдано и своевременно был принят национальный стандарт, в котором закрепляется это положение и приводится классификация этих СИЗ: «ГОСТ 12.4.306–2023 Средства

индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения» [11].

С 1 сентября 2023 года вступил в действие Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.10.21 № 767н «Об утверждении норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств» [12]. В пункте 9 этого документа («Опасность физических перегрузок») впервые говорится о необходимости применения промышленных экзоскелетов для защиты ОДА человека и приводятся опасности, от которых экзоскелеты могут защищать:

- физические перегрузки при чрезмерных физических усилиях при подъеме предметов и деталей, при перемещении предметов и деталей;

- физические перегрузки при стереотипных рабочих движениях, а также при статических нагрузках;

- физические перегрузки при неудобной рабочей позе, в том числе при наклонах корпуса тела работника более чем на 30°.

Промышленные экзоскелеты призваны компенсировать или перераспределить нагрузки, возникающие при тяжелых физических работах. В зависимости от наличия внешнего источника питания, и от того, насколько последний задействован при реализации основных функций работника, промышленные экзоскелеты подразделяются на активные, полуактивные и пассивные. Кроме этого, промышленные экзоскелеты классифицируются в зависимости от защищаемой анатомической части тела человека (верхних конечностей, нижних конечностей, шейного отдела позвоночника, грудного отдела позвоночника, пояснично-крестцового

отдела позвоночника), а также по типу физической нагрузки (статических, динамических, смешанных), от влияния которых осуществляется защита.

Направления в совершенствовании промышленных экзоскелетов

Конечно, несмотря на значительную помощь в выполнении физической работы и снижение нагрузки на ОДА, необходимо учитывать и некоторые неблагоприятные особенности экзоскелетов. Перечислим некоторые из них:

1) Соединение искусственных шарнирных жестких экзоскелетов со сложными человеческими суставами может создавать проблемы их кинематической совместимости и вызывать дискомфорт.

2) Возникают проблемы при разработке активного экзоскелета с поддержкой спины, поскольку необходимо обеспечить работнику свободу в движении, при этом используя соответствующие механизмы в нужное время. Система управления экзоскелетом должна следить за намерениями пользователя, например, с помощью электромиографических сигналов мышц человека, которые могут недостаточно верно интерпретироваться. К тому же в случае применения метода поверхностной электромиографии (ЭМГ) требуется использование электродов, непосредственно контактирующих с поверхностью тела в точке, прилегающей к целевой мышце. Такой прямой контакт может быть затруднен из-за многочисленных ремней, применяемых в экзоскелете.

3) Специализация экзоскелетов, предназначенных, например, для помощи во время подъема, может мешать другим видам деятельности, таким, например, как ходьба.

4) Увеличение габаритов работника при использовании экзоскелета из-за размещенных в них моторов, механизмов и других элементов. Это затрудняет работу в ограниченном пространстве.

При разработке новых моделей экзоскелетов необходимо, в частности, устранить и отмеченные выше недостатки.

Тем не менее, по прогнозам компании Global Industry Analysts Inc., среднегодовой мировой темп роста рынка экзоскелетов, применяемых в промышленности, составит 23,1 % в пределах 7 лет. Мировыми лидерами в разработке и внедрении экзоскелетов являются США, Канада, Япония, Китай и Германия. Но активная работа в данном направлении проводится и в России.

Промышленные экзоскелеты российских производителей

Компанией EchoAtlet для нужд МЧС разработаны экзоскелеты, позволяющие удерживать статическую нагрузку до 200 кг, а также перемещать грузы массой более 70 кг.

Кроме того, основными российскими компаниями, специализирующимися на промышленных экзоскелетах, является Дочерняя структура Госкорпорации «Ростех» — это компания «Ростех — Доверенные платформы Робототехнические Комплексы» (РТ-ДП РК) и компания «ЭкзоМед» (Курск).

Пассивные экзоскелеты ProEXO (рис. 1, а) от компании РТ-ДП РК охватывают целый спектр направлений деятельности — от доставки заказчику бутилированной воды до работ в электроэнергетике. Они служат для увеличения физических возможностей, снижения утомляемости, повышения производительности труда, снижения риска производственного травматизма. Краткая характеристика этих экзоскелетов приведена в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Краткая характеристика экзоскелетов ProEXO

Комплектация	Основное назначение и особенности
Ultra	Поддержка правильной осанки и разгрузка мышц спины при работах в наклоне. Возможно ношение как поверх верхней одежды и экипировки, так и под верхнюю одежду
Lite	Горизонтальное перемещение груза на уровне пояса без наклонов корпуса
Super Lite	Разгрузка мышц спины при работах с грузом в наклон в неудобной позе, перенос груза на расстояние
Boost	Эффективен при выполнении работ в наклоне с тяжелыми грузами до 50 кг, переносе груза, подъеме и опускании тяжестей на высоту до пояса. Распределяет нагрузку на бедра
Power	Эффективен при выполнении статических работ и переносе грузов до 50 кг, подъеме и опускании тяжестей на высоту до груди
LiteHand	Наиболее эффективен при длительном выполнении работ с руками, поднятыми над головой. Подъем и опускание тяжестей до уровня выше головы. Длительная работа руками над головой

Также компанией РТ-ДП РК производится устройство «Экзостул», имитирующее сидение на стуле и являющееся одним из элементов промышленного экзоскелета. «Экзостул» фиксирует положение коленного сустава, создавая ощущение, будто работник сидит на настоящем стуле.

Компания «ЭкзоМед» также предлагает ряд экзоскелетов (рис. 1, в). Пассивный экзоскелет EchoHeaver 3Nander имеет механический модуль, используемый для крепления тяжелого инструмента и его удержания со снижением нагрузки (так называемая «третья рука»), в том

числе с возможностью виброзащиты. Принцип действия экзоскелета основан на компенсации изгибающих моментов в суставах и передаче нагрузки с человека на механический силовой каркас. Также конструкцией предусмотрены специальные упоры, действующие подобно сиденью и снимающие нагрузку с ног оператора.

Пассивный экзоскелет EchoHeaver Low-backer с механическими компенсаторами в области спины не стесняет движений, уменьшает нагрузку на поясницу до 60 %, обеспечивает значительное снижение травматизма и рост производительности труда.



Рис. 1. Примеры промышленных экзоскелетов отечественного производства: а) экзоскелет ProEXO в комплектации Boost; б) экзоскелет X-Soft компании Exorise; в) экзоскелет EchoHeaver (в положении сидя).

Активный экзоскелет EchoHeaver Active Electric предназначен для оказания помощи при подъеме и удержании грузов и инструментов, а также для поддержания тела при необходимости длительно находиться в наклонном положении или с согнутыми ногами. Экзоскелет оснащается гравитационными компенсаторами и/или электроприводами, принимающими на себя до 90 % нагрузки. Для защиты плеч и крепления тяжелого инструмента может использоваться дополнительное оборудование.

Рекомендации по выбору СИЗ опорно-двигательного аппарата (экзоскелетов) для работников железнодорожного транспорта

В настоящее время фактор тяжести труда в ОАО «РЖД» обуславливает наибольшую часть (33,1 %) от общего количества рабочих мест с вредными условиями труда (рис. 2) [13].

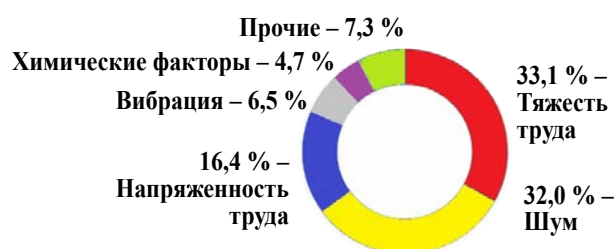


Рис. 2. Распределение рабочих мест с вредными условиями труда в ОАО «РЖД» по факторам

Тяжесть трудового процесса, характеризующаяся классом условий труда 3.1 и 3.2, на железнодорожном транспорте присуща работникам, занятым на строительстве и ремонте железнодорожных путей, работникам восстановительных поездов, слесарям по ремонту подвижного состава, осмотрщикам-ремонтникам подвижного состава, электромонтерам и многим другим профессиям.

Рассмотрим, какие СИЗ ОДА можно внедрять для снижения класса условий труда до допустимого (класс 2) у работников железнодорожных профессий (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Рекомендуемые СИЗ ОДА (экзоскелеты) для некоторых профессий железнодорожного транспорта

Профессия	Вид работ или улучшаемый параметр тяжести труда	Рекомендуемое СИЗ ОДА
Станочники (токарь, фрезеровщик и др.)	Нахождение в положении «стоя» более 60 % времени смены	«Экзостул» компании РТ-ДП РК
Слесари по ремонту подвижного состава	Нахождение в вынужденной, фиксированной или неудобной рабочей позе более 25 % времени смены	Серия ProEXO компании «ЭкзоМед»
	Работа под подвижным составом (руки подняты над головой)	LiteHand компании РТ-ДП РК
	Подъем и перемещение грузов	Power компании РТ-ДП РК
Работники восстановительных поездов	Работы по ликвидации последствий аварий и крушений поездов	Активный экзоскелет EchoHeaver Active Electric
Электромонтеры контактной сети	Работы по ремонту контактной сети	Серия ProEXO Boost
Монтеры пути	Работы по ремонту железнодорожного пути	Серия ProEXO Boost

Применение промышленных экзоскелетов представляется перспективным направлением не только для расширения (в частности усиления) физических возможностей работников, но и в качестве СИЗ опорно-двигательного аппарата рабочих ряда профессий железнодорожного транспорта, а также для уменьшения риска получения травм и снижение класса условий труда по фактору тяжести труда [14]. Сектор экзоскелетов быстро развивается, на рынок поступают новые модели и можно ожидать, что в ближайшее время они станут привычными средствами индивидуальной защиты для рабочих, занятых на тяжелых физических работах.

Библиографический список

1. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. Приказ от 24.01.2014 № 33н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».
2. Профессиональные заболевания, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата и периферической нервной системы / Э. Ф. Габдулвалеева, Г. Г. Гимранова, А. Б. Бакиров и др. // Уфа: ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 2016. 64 с.
3. Профессиональные заболевания, связанные с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата // ФМБА России [Электронный ресурс]. URL: <https://cge28.ru/profzab/> (дата обращения: 01.06.2023).
4. Экзоскелет — не костюм из будущего, а необходимость. Кто и для чего производит экзоскелеты в России // RB.RU [Электронный ресурс]. URL: <https://rb.ru/longread/exoskeletons/> (дата обращения 10.10.2023).
5. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Fourth European Working Conditions Survey, 2005 // Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg. 2007.
6. Модели и алгоритмы управления экзоскелетами промышленного назначения: монография / Яцун С. Ф., Яцун А. С., Мальчиков А. В. и др. // Курск: Юго-западный государственный университет, 2021. 143 с.
7. Экзоскелет в помощь // Газета «Северная магистраль» (Северная железная дорога) [Электронный ресурс]. URL: <https://gudok.ru/news/?ID=1595597&ysclid=ltr8dr9yk4628768564> (дата обращения 13.01.2024).
8. В России начинается выпуск дешевых промышленных экзоскелетов [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-09-11-rosteh_nachinaet_vypusk_sverhdeshevyyh (дата обращения 28.01.2024).
9. ГОСТ Р 60.5.3.4-2023. Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний экзоскелетов. Оценка рабочих характеристик и безопасности экзоскелета при перемещении в ограниченном пространстве.
10. ГОСТ Р 60.5.0.2-2023. Роботы и робототехнические устройства. Экзоскелеты. Общие требования по маркировке и эксплуатационной документации.
11. ГОСТ 12.4.306-2023. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения.
12. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.10.21 №767н «Об утверждении норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств».
13. Отчет об устойчивом развитии ОАО «РЖД» за 2022 год [Электронный ресурс]. URL: <https://sr2022.rzd.ru/ru/social-aspect/>

occupational-industrial-safety/improving-working-conditions (дата обращения 14.02.2024).

14. Быстров Е. Н., Харламова А. В. Обеспечение средствами индивидуальной защиты работников предприятий транспортной сферы // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2023. Т. 20, вып. 2. С. 396–403. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-396-403.

Дата поступления: 21.03.2024

Решение о публикации: 06.05.2024

Контактная информация

КАНОНИН Юрий Николаевич — канд. техн. наук, доцент; yu.n.kanonin@yandex.ru

ТИХОМИРОВ Олег Игоревич — канд. техн. наук, доцент; ot-ntb@mail.ru

Prospects for the use of industrial exoskeletons in railway transport as personal protective equipment

Yu. N. Kanonin, O. I. Tikhomirov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Kanonin Yu. N., Tikhomirov O. I. Prospects for the use of industrial exoskeletons in railway transport as personal protective equipment // *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024. Vol. 21, iss. 2. P. 370–379. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-370-379

Abstract

Purpose: to identify the most effective models of industrial exoskeletons, determine the possibility of using industrial exoskeletons for work carried out on railway transport, identify their main disadvantages and propose options for improving their design. **Methods:** search and comparative analysis of information on new industrial exoskeletons used in various areas of life to determine the possibility and feasibility of their wider implementation in railway transport. **Results:** a review and assessment of industrial exoskeletons currently manufactured in the Russian Federation was carried out. Practical significance: It has been revealed that in most cases, harmful working conditions for workplaces at railway transport enterprises are caused by the factor of labor severity. The influence of this factor can be reduced by using modern personal protective equipment (PPE) for the musculoskeletal system of workers. It has been established that industrial exoskeletons are promising PPE for reducing physical activity. Recommendations on their choice for a number of railway transport professions are given.

Keywords: industrial exoskeletons, personal protective equipment, musculoskeletal system, severity of labor, physical overload, railway workers.

References

1. Ministerstvo truda i social'noj zashhity Rossijskoj Federacii. Prikaz ot 24.01.2014 № 33n "Ob utverzhdenii metodiki provedeniya special'noj ocenki uslovij truda, klassifikatora vrednyh i (ili) opasnyh proizvodstvennyh faktorov, formy otcheta o provedenii special'noj ocenki uslovij truda i nstrukcii po ee zapolneniju". (In Russian)

2. Professional'nye zabolevaniya, svjazannye s fizicheskimi peregruzkami i funkcional'nym pere-naprjazheniem oporno-dvigatel'nogo apparata i perifericheskoy nervnoj sistemy / Je. F. Gabdulvaleeva, G. G. Gimranova, A. B. Bakirov i dr. // Ufa: FBUN "Ufimskij NII mediciny truda i jekologii cheloveka", 2016. 64 s. (In Russian)

3. Professional'nye zabolevaniya, svjazannye s fizicheskimi peregruzkami i funkcional'nym perenaprjazheniem oporno-dvigatel'nogo apparata // FMBA Rossii [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://cge28.ru/profzab/> (data obrashhenija: 01.06.2023). (In Russian)
4. Jekzoskelet — ne kostjum iz budushhego, a neobhodimost'. Kto i dlja chego proizvodit jekzoskelety v Rossii // RB.RU [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://rb.ru/longread/exoskeletons/> (data obrashhenija 10.10.2023). (In Russian)
5. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Fourth European Working Conditions Survey, 2005 // Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg. 2007.
6. Modeli i algoritmy upravlenija jekzoskeletami promyshlennogo naznachenija: monografija / Jacun S. F., Jacun A. S., Mal'chikov A. V. i dr. // Kursk: Jugo-zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2021. 143 s. (In Russian)
7. Jekzoskelet v pomoshh' // Gazeta "Severnaja magistral" (Severnaja zheleznoj doroga) [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://gudok.ru/news/?ID=1595597&ysclid=ltr8dr9yk4628768564> (data obrashhenija 13.01.2024). (In Russian)
8. V Rossii nachinaetsja vypusk deshevyyh promyshlennyh jekzoskeletov [Jelektronnyj resurs]. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-09-11.rosteh_nachinaet_vypusk_sverhdeshevyyh (data obrashhenija 28.01.2024). (In Russian)
9. GOST R 60.5.3.4-2023. Roboty i robototekhnicheskie ustrojstva. Metody ispytanij jekzoskeletov. Ocenka rabochnih harakteristik i bezopasnosti jekzoskeleta pri peremeshhenii v ogranichenom prostranstve. (In Russian)
10. GOST R 60.5.0.2-2023. Roboty i robototekhnicheskie ustrojstva. Jekzoskelety. Obshhie trebovaniya po markirovke i jekspluacionnoj dokumentacii. (In Russian)
11. GOST 12.4.306-2023. Sredstva individual'noj zashhity oporno-dvigatel'nogo apparata. Jekzoskelety promyshlennye. Klassifikacija. Terminy i opredelenija. (In Russian)
12. Prikaz Ministerstva truda i social'noj zashhity Rossijskoj Federacii ot 29.10.21 №767n "Ob utverzhdenii norm vydachi sredstv individual'noj zashhity i smyvajushhih sredstv". (In Russian)
13. Otchet ob ustojchivom razvitii OAO "RZhd" za 2022 god [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://sr2022.rzd.ru/ru/social-aspect/occupational-industrial-safety/improving-working-conditions> (data obrashhenija 14.02.2024). (In Russian)
14. Bystrov E. N., Harlamova A. V. Obespechenie sredstvami individual'noj zashhity rabotnikov predpriyatij transportnoj sfery // Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija. SPb.: PGUPS, 2023. T. 20, vyp. 2. S. 396–403. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-396-403. (In Russian)

Received: 21.03.2024

Accepted: 06.05.2024

Author's information:

Yurij N. KANONIN — PhD in Engineering,
yu.n.kanonin@yandex.ru

Oleg I. TIKHOMIROV — PhD in Engineering;
ot-ntb@mail.ru