DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-734-737>

УДК 613.65:004.94

© Коллектив авторов, 2020

Бондарук Е.В.¹, Меркулова А.Г.^{1,2}, Калинина С.А.¹

Возможность применения инерционных систем захвата движений для решения задач физиологии труда

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, Россия, 105275;

²ФГАОУ ВО «Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, ул. Трубецкая, 8/2, Москва, Россия, 119991

Введение. Улучшение эргономики рабочего места, профилактика развития утомления и заболеваний опорно-двигательного аппарата актуальны для работников всех сфер современной экономики. Решением этих вопросов занимается физиология труда, одной из задач которой является проведение эргономического анализа, в который входят определение тяжести трудового процесса и определение рациональности рабочих поз. Актуальным направлением в физиологии труда является поиск и апробация современных методов повышения объективности и надежности проводимых исследований на производстве.

Цель исследования — сопоставление результатов гигиенической оценки показателей тяжести трудового процесса согласно руководству Р 2.2.2006-05, проведенной с помощью стандартных методик и применением технологии захвата движений, основанной на IMU-датчиках, проведенной на рабочем месте специалиста по управлению высотной техникой.

Материалы и методы. Для измерения показателей тяжести труда согласно руководству Р 2.2.2006-05 применяли стандартные средства измерения. В качестве системы захвата движений была применена система Xsens (Нидерланды) с беспроводными IMU-датчиками «Awinda».

Результаты. В ходе данного исследования было установлена возможность применения инерционных систем захвата движения в качестве надежного и дополнительного инструмента для решения задач физиологии труда.

Заключение. Выявлено, что данная технология позволяет повысить объективность и надежность проведения эргономического анализа и измерять количественные показатели тяжести труда в любых производственных условиях. При этом на сегодняшний день существенным недостатком является отсутствие программ обработки полученных данных и необходимость использования стандартных средств измерения.

Ключевые слова: тяжесть трудового процесса; системы захвата движений; IMU-датчики

Для цитирования: Бондарук Е.В., Меркулова А.Г., Калинина С.А. Возможность применения инерционных систем захвата движений для решения задач физиологии труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(11): 734–737. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-734-737>

Для корреспонденции: Бондарук Евгения Владимировна, мл. науч. сот. лаб. средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов. E-mail: ppe-lab@irioh.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 20.08.2020 / **Дата принятия к печати:** 19.10.2020 / **Дата публикации:** 03.12.2020

Evgeniya V. Bondaruk¹, Anastasiya G. Merkulova^{1,2}, Svetlana A. Kalinina¹

The possibility of using inertial motion capture systems to solve problems of labor physiology

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, Russia, 105275;

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 8/2, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119991

Introduction. Improving the ergonomics of the workplace, preventing the development of fatigue and diseases of the musculoskeletal system are relevant for workers in all spheres of the modern economy. The physiology of labor is engaged in solving these issues, one of the tasks of which is to conduct an ergonomic analysis, which includes determining the severity of the labor process and determining the rationality of working postures. The search for and approbation of modern methods of increasing the objectivity and reliability of research carried out in production is an urgent direction in labor physiology.

The aim of the study is comparison of the results of a hygienic assessment of the severity of the labor process in accordance with the guideline R 2.2.2006-05, carried out using standard techniques and the use of motion capture technology based on IMU-sensors, carried out at the workplace of a specialist in the management of high-rise equipment.

Materials and methods. To measure the indicators of the severity of labor in accordance with the guideline R 2.2.2006-05, standard measuring instruments measuring instruments were used. The Xsens system (Netherlands) with wireless IMU-sensors "Awinda" was used as a motion capture system.

Results. During this study, the possibility of using inertial motion capture systems was established as a reliable and additional tool for solving problems of labor physiology.

Conclusion. It was revealed that this technology allows to increase the objectivity and reliability of ergonomic analysis and to measure quantitative indicators of the severity of labor in any production environment. At the same time, today a significant drawback is the lack of programs for processing the data obtained and the need to use standard measuring instruments.

Keywords: heaviness of the labor process; motion capture systems; IMU sensors

For citation: Bondaruk E.V., Merkulova A.G., Kalinina S.A. The possibility of using inertial motion capture systems to solve problems of labor physiology. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(11): 734–737. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-734-737>

For correspondence: Evgeniya V. Bondaruk, Junior Researcher, Laboratory of Personal Protective Equipment and Industrial Exoskeletons. E-mail: ppe-lab@irioh.ru

Information about authors: Kalinina S.A. <https://orcid.org/0000-0002-4603-8034>

Merkulova A.G. <https://orcid.org/0000-0002-0180-5754>

Funding. The study has no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 20.08.2020 / Accepted: 19.10.2020 / Published: 03.12.2020

Введение. Улучшение эргономики рабочего места, профилактика развития утомления и заболеваний опорно-двигательного аппарата (ОДА) актуальны для работников всех сфер современной экономики. Решением этих вопросов занимается физиология труда, одной из задач которой является проведение эргономического анализа, в который входят определение тяжести трудового процесса и определение рациональности рабочих поз.

Тяжесть труда является характеристикой трудового процесса, отражающей нагрузку на ОДА и функциональные системы организма работника, обеспечивающие его деятельность. На сегодняшний день в России оценка тяжести трудового процесса регламентируется Руководством Р 2.2.2006-05 [1], Федеральным Законом № 426-ФЗ¹ и Приказом Минтруда РФ № 33н².

Фактор тяжести трудового процесса оценивают по 7 эргометрическим показателям. Для проведения их измерения применяют следующие приборы: весы, секундомер, угломер, тензометрические и пьезокристаллические датчики, динамометр, лазерный дальномер, шагомер. Для фиксирования количества стереотипных движений или наклонов корпуса используют счетчик нажатий. Однако, несмотря на логичность и простоту проведения измерений перечисленных показателей, существуют такие виды работ и производственных условий, где специалисты не могут выполнить необходимые замеры или произвести их в полном объеме. К ним относятся работы в экстремальных условиях, закрытых производственных зонах, на высоте, а также профессии, трудовая деятельность которых характеризуется большим количеством разноплановых обязанностей и операций. Вследствие этого данные о количественных характеристиках оцениваемых показателей специалисты получают от самого работника или его непосредственного руководителя путем интервьюирования, которые могут оказаться крайне субъективными и несоответствующими реальному положению дел.

В зарубежной нормативно-правовой базе, касающейся вопросов физиологии труда и эргономики, в отличие от российской, фактор тяжести трудового процесса не рассматривается — регламентирующие документы, в основном, направлены на управление рисками в области охраны здоровья и безопасности труда. Вероятнее всего, этим обусловлено большее разнообразие методов, используемых в сфере охраны здоровья работников в рамках стратегии управления зарубежными предприятиями.

В настоящее время за рубежом для эргономического анализа рабочих мест широко применяется система захвата движений. Технология захвата движений представляет собой метод оцифровки движений человека, используемый для последующего анализа и создания анимации.

Например, программное обеспечение (ПО) *ViveLab*

*Ergo*³ (*ViveLab Ergo Ltd.*, Венгрия) применяют для 3D-моделирования рабочего пространства с системой захвата движений. ПО обеспечивает автоматический расчет рисков получения травмы ОДА в виртуальной среде в режиме реального времени благодаря синхронизации биомеханики рабочих поз и движений человека. *ViveLab Ergo* использует систему захвата движений *Xsens*⁴ (*Xsens*, Нидерланды), основанную на применении инерциальных измерительных модулей (*IMU*-датчиков). Сигналы с *IMU*-датчиков поступают в ПО, где создана 3D-модель рабочего пространства. Используя встроенную антропометрическую и методическую базу данных, *ViveLab Ergo* выделяет нерациональные рабочие позы и движения, основываясь на зарубежных стандартизированных методах расчета риска получения работником травм ОДА (*REBA*, *RULA*, *OWAS* и др. [2]).

В связи с вышеизложенным актуальным направлением в физиологии труда является поиск и апробация современных методов повышения объективности и надежности проводимых исследований на производстве.

Цель исследования — сопоставление результатов гигиенической оценки показателей тяжести трудового процесса согласно руководству Р 2.2.2006-05, проведенной с помощью стандартных методик и применением технологии захвата движений, основанной на *IMU*-датчиках.

Материалы и методы. Оценка показателей фактора тяжести трудового процесса была проведена на рабочем месте специалиста по управлению высотной техникой в логистическом центре дистрибуции спортивных товаров.

Для измерения показателей применяли: лазерный дальномер «*RGK D80*» (*Hefei Survey Optical Instrument Co. Ltd.*, Китай), измерительную рулетку «*Standart*» (*FIT*, Канада), безмен электронный «*Zencro*» (*Zhen Branch*, Китай), секундомер механический «*Агат СОПр-2а-2-010*» (ОАО «Златоустовский часовой завод», Россия).

Для исследования возможности оценки показателей тяжести труда с помощью системы захвата движений была применена система *Xsens* с беспроводными *IMU*-датчиками «*Awinda*», регистрирующая показатели амплитуды движений работника во время выполнения трудовых операций. 17 *IMU*-датчиков были расположены на теле работника с помощью эластичных креплений по определенной схеме: на тыльной поверхности стопы, латеральной поверхности голени, латеральной поверхности бедра, тыльной стороне кисти, внешней стороне предплечья, внешней стороне плеча, в области лопаток — по 2 датчика, в области таза, груди и лба — по 1.

Количественный анализ показателей тяжести труда производили в течение 10 минут по основной трудовой операции специалиста по управлению высотной техникой — расстановке коробов с товарами.

¹ Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ.

² Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.01.2014 г. № 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».

³ <https://www.vivelab.cloud>

⁴ <https://www.xsens.com/vivelabergo>

Результаты и обсуждение. Перед проведением оценки показателей тяжести трудового процесса была составлена профессиограмма. Основными задачами специалиста по управлению высотной техникой являются: постановка коробов с товарами на высотном складе в соответствии с маркировкой, набор товара с мест хранения согласно полученным заданиям, а также внутрискладское перемещение товара с использованием высотного штабелера. На складе выделены локации для хранения определенных видов товаров, которые упакованы в 4 типа коробов весом: текстиль — 5 или 15 кг, обувь — 5 или 10 кг. Работник загружает коробки на штабелер и на полки стеллажей руками. Операция по расстановке товара на место хранения начинается с захвата штабелером палеты с коробами и перемещения ее к локации с нужным видом товара. На палете обычно располагается 28 коробов (7 рядов по 4 короба в ряду). Работник осуществляет постановку коробов на полки в течение 5 минут. Специалист производит поиск свободных мест на полках, куда перемещает короба, считывая при помощи сканера данные штрихкодов и информацию о местоположении. В течение смены около 50% времени специалист проводит в положении «стоя». При расстановке коробов 20% времени он находится в

неудобной рабочей позе. При маневрировании погрузчиком работник совершает до 20 региональных движений, при перемещении короба на полку — 6. Удержание коробки при ее перемещении происходит в течение 3 секунд. Глубокие наклоны характерны при поднятии коробов с 2 нижних рядов на палете, перемещение в пространстве по горизонтали за смену — 2,5 км.

Данные с IMU-датчиков транслировались в режиме реального времени на компьютер со специализированным ПО, после чего была проведена их обработка в целях получения значений показателей тяжести труда. Производственные условия на рабочем месте специалиста по управлению высотной техникой не позволили исследователям непосредственно присутствовать при выполнении трудовой операции по расстановке коробов на высотные стеллажи. Оценка фактора тяжести труда проходила путем опроса работника. В *таблице* представлены результаты измеренных показателей тяжести трудового процесса специалиста по управлению высотной техникой за 10 мин работы, полученных с помощью стандартных методов оценки и с использованием системы захвата движений, основанной на IMU-датчиках.

Результаты исследования позволили рассчитать по-

Таблица / Table

Значения показателей тяжести трудового процесса за 10 минут
Values of indicators of the severity of the labor process in 10 minutes

№	Показатели	Измерение с использованием	
		стандартных методов	системы захвата движений
1	Физическая динамическая нагрузка (кг·м)		
1.1	перемещение груза до 1 м	0	—*
1.2	перемещение груза от 1 до 5 м	0	—*
1.3	перемещение груза более 5 м	0	—*
2	Масса поднимаемого и перемещаемого груза (кг)		
2.1	при чередовании с другой работой	0	—*
2.2	постоянно в течение смены	10	—*
2.3	суммарная масса за 10 минут работы	420	—*
	с рабочей поверхности	420	—*
	с пола	0	—*
3	Стереотипные рабочие движения (кол-во)		
3.1	локальная нагрузка	0	0
3.2	региональная нагрузка	292	390
4	Статическая нагрузка (кгс·с)		
4.1	одной рукой	0	—*
4.2	двумя руками	0	—*
4.3	с участием корпуса и ног	126	—*
5	Рабочая поза	80% — поза «стоя», 20% — неудобная поза	80% — поза «стоя», 20% — неудобная поза
6	Наклоны корпуса	8	12
7	Перемещение в пространстве (км)		
7.1	по горизонтали	0	—*
7.2	по вертикали	0	—*

Примечание: * расчет производился с использованием стандартных средств измерений

Note: * the calculation was made using standard measuring instruments

казатели тяжести труда, в соответствии с Руководством 2.2.2006-05 [1]. Стоит отметить, что ввиду невозможности нахождения исследователей в погрузочно-разгрузочной зоне, обусловленной техникой безопасности на производстве, измерения показателей проводили в безопасной зоне, а их оценку осуществляли на основании полученных данных, интервьюирования работника и его непосредственного руководителя. С использованием системы захвата движений удалось зарегистрировать такие показатели как стереотипные рабочие движения, рабочая поза, наклоны корпуса. При этом имело место расхождение в результатах измерений с использованием, описанных выше методов, в некоторых случаях оно составляло более 30%. Вероятнее всего, такое расхождение обусловлено недостаточной объективностью данных, полученных в результате опроса работника. Визуализированная модель двигательной деятельности специалиста по управлению высотной техникой и зарегистрированные системой захвата движений количественные данные являются более точными. Если проводить оценку тяжести труда за 8-часовую рабочую смену, такое несоответствие в результатах может повлиять на итоговый класс условий труда.

Несмотря на это, существенным недостатком системы

захвата движений является отсутствие в ПО автоматической обработки данных, касающихся физической динамической нагрузки и перемещения в пространстве. Разработка математической модели обработки «сырых» данных с помощью стороннего ПО поможет решить эту проблему. Стоит учесть, что при расчете показателя массы поднимаемого и перемещаемого груза, статической нагрузки отказаться от стандартных средств измерения (весов) не представляется возможным. Помимо этого, к недостаткам применения системы стоит отнести значительный объем числовых данных и длительный процесс математических расчетов, усложняющие процесс анализа.

Заключение. *Технология захвата движений, основанная на применении IMU-датчиков, позволяет исследователям получать данные дистанционно, производить измерения при работе на высоте, в условиях ограниченного пространства или в опасных условиях труда, значительно улучшая эргономический анализ рабочего места и, в частности, оценку тяжести труда. Однако для расчета таких показателей как физическая динамическая и статическая нагрузка и перемещение в пространстве стоит использовать стандартные средства измерения и разрабатывать математические модели обработки данных.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство Р 2.2.2006-05 по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. М., 2005. Вып. 3 (21).
2. Stanton N., Hedge A., Brookhuis K., Salas E., Hendrick H. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Washington, D.C.; 2005.

REFERENCES

1. Guide R 2.2.2006-05. Guide on hygienic assessment of factors of working environment and workload. Criteria and classification of working conditions. M.: Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотrebnadzor, 2005.
2. Stanton N., Hedge A., Brookhuis K., Salas E., Hendrick H. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Washington, D.C.; 2005.