

Научная статья

УДК 614.873.2

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА С УЧЕТОМ ИНДЕКСА WBGT ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА НА РАБОТНИКА

✉ Чувашова Ксения Дмитриевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

✉ chuvashova.kd@edu.spbstu.ru

Аннотация. Рассматриваются климатические факторы с точки зрения оказания неблагоприятного воздействия на работников, чья профессиональная деятельность напрямую связана с выполнением работ на открытых участках, площадках и на улице. В качестве критерия оценивания внешней термической нагрузки при рассматриваемых условиях на организм работника взят индекс WBGT. Результаты расчета интегрального показателя индекса проанализированы с точки зрения наличия взаимосвязи с изменениями в уровне здоровья работников. На основе этого анализа сделаны выводы о том, что данный индекс необходимо учитывать при проведении специальной оценки условий труда в условиях, когда работники трудятся на улице в связи со спецификой работы при воздействии на них нагревающих климатических факторов, а также о том, что данный показатель необходимо учитывать при закупке организациями и предприятиями средств индивидуальной защиты для их соответствия конкретным погодным условиям в том климатическом поясе, где производятся работы.

Ключевые слова: специальная оценка условий труда, индекс WBGT, микроклимат, тепловой комфорт, перегревание

Для цитирования: Чувашова К.Д. Оценка условий труда с учетом индекса WBGT при воздействии нагревающего микроклимата на работника // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 2 (46). С. 33–39.

Scientific article

ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS WITH CONSIDERING THE WBGT INDEX UNDER THE EXPOSURE OF THE HEATING MICROCLIMATE ON THE WORKER

✉ Chuvashova Ksenia D.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ chuvashova.kd@edu.spbstu.ru

Abstract. This article discusses climatic factors from the point of view of having an adverse impact on workers whose professional activities are directly related to the performance of work in open areas, sites and on the street. The WBGT index was taken as a criterion for evaluating the external thermal load under the conditions under consideration on the worker's body. The results of calculating the integral indicator of the index were analyzed from the point of view of the presence of a relationship with changes in the level of health of workers. On the basis of this analysis, it was concluded that this index should be taken into account when conducting the SOUT in conditions when workers work on the street due to the specifics of work when they are exposed to heating climatic factors, that this indicator should be taken into account when purchasing by organizations and enterprises of personal protective equipment to meet specific weather conditions in the climatic zone where the work is carried out.

Keywords: special assessment of working conditions, WBGT index, microclimate, thermal comfort, overheating

For citation: Chuvashova K.D. Assessment of working conditions with considering the WBGT index under the exposure of the heating microclimate on the worker // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 2 (46). P. 33–39.

Введение

В настоящий момент опасность и вредность влияния на работников определяется только в помещениях. Данная процедура называется специальной оценкой условий труда (СОУТ). В результате проведения СОУТ измеряются следующие показатели микроклимата в производственных помещениях:

1. Температура воздуха.
2. Температура поверхностей.
3. Относительная влажность воздуха.
4. Скорость движения воздуха.
5. Интенсивность теплового облучения.

Однако на работников влияют параметры окружающей среды при выполнении работ не только внутри помещений, но и вне их [1–3]. Многие профессии имеют специфику, при которой производственный процесс связан с обслуживанием различных наружных установок, линий электропередач, линий связи. Таким образом, в СОУТ должен быть отражен учет параметров окружающей среды в зоне наиболее часто выполняемых работ вне зданий, сооружений [4, 5].

Факторы, считающиеся основными при определении влияния климата на работников, следующие:

1. Температура воздуха.
2. Относительная влажность.
3. Скорость воздушных потоков.

Например, Северо-Западный федеральный округ Российской Федерации характеризуется относительной влажностью воздуха на открытой территории в диапазоне от 70 до 90 %. Рабочий день в зависимости от предприятия составляет 8–12 ч. Таким образом, вышеперечисленные факторы окружающей среды могут действовать на работников достаточно продолжительное время.

Длительная физическая нагрузка во время выполнения установленных должностных обязанностей при ее высокой интенсивности в дальнейшем может привести к появлению нарушений терморегуляционных процессов у сотрудников [6, 7].

В это же время, как было сказано ранее, в процедуре проведения СОУТ отсутствуют измерения параметров среды вне зданий и сооружений [4, 5]. Следовательно, факт влияния параметров климата на сотрудников совершенно не учитывается.

В связи с этим актуальной является разработка и введение метода комплексной оценки климатических факторов и факторов трудового процесса, который мог бы устранить имеющийся пробел в существующей оценке вредных и опасных факторов, влияющих на здоровье и состояние работников, занятых в условиях вне зданий и помещений.

Цель исследования – изучение отрицательного влияния нагревающих климатических условий на здоровье и состояние сотрудника при специфике производства, заключенной в интенсивности рабочего процесса вне зданий, сооружений.

Объект – работники электроэнергетической отрасли, ведущие работы вне зданий, сооружений.

Теоретические основы и методы расчета

Микроклимат, согласно действующим нормативно-правовым актам, – это состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Так как в самом определении микроклимата исключается такое понятие, как микроклимат вне зданий, сооружений, то аналог исследуемого при проведении СОУТ нагревающего микроклимата вне зданий, сооружений обозначен как нагревающие климатические условия.

Воздействие совокупности климатических факторов сказывается на теплоощущении работника, что обусловлено физиологическими особенностями человеческого организма. А именно воздействие температур, выходящих за пределы нормируемых значений, вызывает снижение тонуса мышц, периферических сосудов, деятельности потовых желез, ухудшение естественной терморегуляции организма.

В данных условиях постоянный должный уровень теплового баланса достигается за счет значительного напряжения системы терморегуляции, что отрицательно сказывается на самочувствии, работоспособности человека, его общем состоянии и здоровье [8–10].

Условия труда по показателям микроклимата, учитываемым в СОУТ, классифицируются на нагревающий и охлаждающий микроклимат. Аналогичная ситуация и с рассматриваемыми климатическими условиями. В данном исследовании рассмотрен эффект воздействия нагревающего климата на работника при выполнении должностных обязанностей, которые подразумевают интенсивные нагрузки.

Нагревающий климат – это сочетание параметров климата, при котором происходит нарушение теплообмена человека с окружающей средой, выражающееся в накоплении тепла в организме выше верхней границы оптимальной величины ($> 8,7$ кДж/кг), появлении дискомфортных теплоощущений [11].

В качестве меры оценивания воздействия нагревающего климата при условиях вне зданий, помещений для реализации комплекса мероприятий по защите работника от возможного перегревания и последствий длительного воздействия температур, выходящих за пределы нормы, используется индекс WBGT – это комплексный индекс, который учитывает радиационный и конвективный теплообмен, а также влажность воздуха [12]. Индекс WBGT – это эмпирический показатель, определяемый на основе показаний влажного и сухого термометров, размещаемых в естественных условиях и внутри закрепленного шара (шаровый термометр). Результаты измерений позволяют оценить внешнюю термическую нагрузку на организм человека с учетом сочетанного действия составляющего микроклимата (температура воздуха, относительная влажность, интенсивное тепловое облучение), а также уровня метаболизма. Высокая влажность уменьшает испарение пота и, соответственно, эффективность охлаждения. Индекс WBGT определяется по формуле:

$$WBGT = 0,7 \times tw + 0,2 \times tg + 0,1 \times ta,$$

где tw – температура смоченного термометра аспирационного психрометра; tg – температура, измеряемая шаровым термометром; ta – температура воздуха.

Тепловое состояние, при котором напряжение системы терморегуляции организма незначительно, определяется как тепловой комфорт. Он предполагает нахождение значений напряжения системы терморегуляции в таком диапазоне, в пределах которого отмечается комфортное теплоощущение при выполнении работы в климатических условиях вне зданий, сооружений. При высоких значениях температуры практически все тепло, которое выделяется, отдается в окружающую среду посредством испарения пота. В случае, когда параметры климата представлены не только высокой температурой, но и повышенной влажностью воздуха, то выделение пота не эффективно в качестве терморегуляции, так как он не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожи. Таким образом значительно снижается отвод тепла с поверхности кожи, и организм подвергается перегреву.

С другой стороны, низкая влажность воздуха способствует более интенсивному испарению естественной влаги.

Недостаточная влажность приводит к интенсивному, а порой и излишнему испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыханию и эрозии, вследствие чего снижается защитная функция организма и происходит загрязнение, а после и заражение болезнетворными микроорганизмами.

Значение скорости движения воздуха также влияет на процесс терморегуляции. Так, повышенные значения усиливают процесс передачи вырабатываемого тепла от организма к окружающей среде конвекцией и испарением выделений потовых желез. Продолжительное

воздействие высоких температур при повышенной влажности воздуха способно привести к излишнему накоплению тепла в организме, что при отсутствии должного внимания ведет к гипертермии, то есть к состоянию организма, при котором температура тела повышается до 38–40 °С и выходит за значения, характеризующие человека как здорового [13–15].

Результаты исследования и их обсуждение

Температура поверхности тела на различных участках колеблется в диапазоне от 30 до 35 °С. В условиях комфорта средневзвешенная температура кожи находится в пределах 32–34 °С, плотность теплового потока при этом составляет 40–58 Вт/м². При температуре окружающего воздуха от 16 до 30 °С и работе средней тяжести у одетого человека (при скорости ветра 1–3 м/с) теплоотдача конвекцией и радиацией снижается с 73 до 8 % по отношению к общей величине теплоотдачи, теплоотдача испарением влаги возрастает с 27 до 92 %. В связи с этим в условиях повышенной влажности с большой скоростью происходит перегревание или переохлаждение работающего человека.

Для различных режимов труда и категорий работ условия теплового комфорта и, следовательно, оптимальные значения индекса WBGT будут различными. Зависимость будет определяться способностью акклиматизации человека к окружающей среде. Акклиматизация происходит в течение семи дней, при этом будет учитываться показатель выделения метаболического тепла. Чем больше показатель индекса WBGT, тем выше температура воздуха, но при этом показатель влажности будет влиять на охлаждающий эффект. Увеличение температуры влажного шарика психрометра будет характеризовать тепловой перегрев человека.

Согласно справочным данным перегрев будет соответствовать значениям индекса WBGT, находящимся в диапазоне 23–33. Оптимальные значения индекса WBGT определяются скоростью метаболизма и, следовательно, показателем выделения метаболического тепла.

В случае несоблюдения профилактических мер для работников, занятых в нагреваемом климате, могут быть следующие последствия:

1. Дистрофические изменения миокарда.
2. Снижение иммунитета.
3. Повышение риска заболевания острыми респираторными заболеваниями.

В зависимости от личных свойств организма могут проявляться и другие ухудшения здоровья.

Стоит обратить внимание, что в случае длительного теплового воздействия на организм в условиях, при которых в процессе производства обращаются либо работник иным образом контактирует с химическими веществами и пылями, усталость наступает быстрее вследствие повышения утомляемости. Чтобы этого избежать, необходимо предпринимать профилактические меры в условиях нагреваемого климата [16–18]:

1. Снижение тепловой нагрузки, поступающей извне, с помощью дистанционного управления процессами.
2. Правильное применение средств индивидуальной и коллективной защиты.
3. Соблюдение питьевого режима для поддержания водного баланса.

Результаты проведенных расчетов приведены в таблице. Считался показатель WBGT местностей, которые относятся к разным климатическим поясам, то есть находятся в разных географических широтах.

Таблица

**Результаты расчета индекса WBGT
в зависимости от климатического пояса**

Географическая широта	Индекс WBGT
64 град. С.Ш. 40 град. В.Д.	0,71
59 град. С.Ш. 30 град. В.Д.	3,97
51 град. С.Ш. 48 град. В.Д.	5,17

Полученные данные позволили сделать вывод о том, что среднегодовые величины данного индекса для разных широт имеют достаточные различные значения. Следовательно, в условиях вне помещений в зависимости от местоположения нагрузка на систему терморегуляции отличается. То есть оценка климатических условий – важный фактор при проведении СОУТ.

Заключение

Таким образом, по результатам исследования очевидно, что существует необходимость учета нагревающего климата вне зданий, помещений при проведении СОУТ, а не только учет микроклимата в помещениях. В данный момент законодательно это не закреплено, вследствие чего специализированные аккредитованные на проведение СОУТ организации не учитывают данный фактор. В качестве меры количественной оценки показателя нагревающего климата предлагается применять интегральный индекс WBGT.

Список источников

1. Yola L., Adekunle T.O., Ayegbusi O.G. The impacts of urban configurations on outdoor thermal perceptions: case studies of flat bandar tasik selatan and surya magna in kuala lumpur // *Buildings*. 2022. № 12 (10). DOI: 10.3390/buildings12101684.
2. Wearable sensor technology to predict core body temperature: a systematic review / C.M. Dolson [et al.] // *Sensors*. 2022. № 22 (19). DOI: 10.3390/s22197639.
3. New wearable thermoelectric cooling garment for relieving the thermal stress of body in high temperature environments / Li Z. [et al.] // *Energy and Buildings*. 2023. № 278. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112600.
4. Медведев В.И., Басалаева А.А. Противоречия специальной оценки условий труда // *Вестник СГУПС: гуманитарные исследования*. 2022. № 2 (13). С. 47–51.
5. Петрова Е.В. Особенности проведения специальной оценки условий труда // *E-Scio*. 2022. № 8 (71).
6. Zhang Y., Jia J., Guo Z. Numerical investigation of heat transfer in a garment convective cooling system // *Fashion and Textiles*. 2022. № 9 (1). DOI: 10.1186/s40691-021-00276-3.
7. Analyzing environmental heat stress under changing work conditions: a sensor-based monitoring solution / M. Sharma [et al.] // *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*. 2022. № 32 (5). P. 389–405. DOI: 10.1002/hfm.20960.
8. Tailored WBGT as a heat stress index to assess the direct solar radiation effect on indoor thermal comfort / S. Mirzabeigi [et al.] // *Energy and Buildings*. 2021. № 242. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110974.
9. Mahgoub A.O., Gowid S., Ghani S. Global evaluation of WBGT and SET indices for outdoor environments using thermal imaging and artificial neural networks // *Sustainable Cities and Society*. 2020. № 60. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102182.
10. Yasmeen S., Liu H. Evaluation of thermal comfort and heat stress indices in different countries and regions: a review // *Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 609 (5). DOI: 10.1088/1757-899X/609/5/052037.
11. Ибрагимова З.М. Влияние повышенной температуры микроклимата рабочего места на работоспособность работника // *Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей / под общ. ред. Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой*. Волгоград: Волгоградский гос. техн. ун-т, 2019. С. 179–180. EDN JZMTOS.
12. Об утверждении Методических рекомендаций по юридической обработке нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации, подлежащих включению в федеральный регистр: приказ Минюста Рос. Федерации от 25 дек. 2000 г. № 410. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. Комплексный подход к подбору специальной одежды бурильщика нефтяных скважин с учетом показателя PMV / Т.Т. Каверзнева [и др.] // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. Т. 11. № 3 (59). С. 159–164. DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0024. EDN VBLXRP.

14. Каверзнева Т.Т., Скрипник И.Л., Ксенофонов Ю.Г. Инновационное направление подготовки высококвалифицированных кадров инженерно-технического профиля // Учитель создает нацию (А. Кадыров): сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. Махачкала – Грозный: Изд-во «АЛЕФ», 2020. С. 63–66. EDN VMPWKD.

15. Каверзнева Т.Т., Сычева Е.А. Разработка методики оценки профессионального риска работников нефтяного промысла // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого, 2018. С. 23–29.

16. Оптимизация обучения и проверки знаний требований охраны труда с помощью интернет-технологий / В.А. Сенченко [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2020. № 8 (236). С. 49–55.

17. Новые подходы в организации системы обучения и проверки знаний требований охраны труда в организациях / В.А. Сенченко [и др.] // Безопасность и охрана труда. 2020. № 1 (82). С. 73–76.

18. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т. Обучение и проверка знаний по использованию (применению) средств индивидуальной защиты как отдельный вид обучения // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2022. № 4. С. 6–17. DOI: 10.33920/pro-4-2204-01. EDN KBRSYC.

References

1. Yola L., Adekunle T.O., Ayegbusi O.G. The impacts of urban configurations on outdoor thermal perceptions: case studies of flat bandar tasik selatan and surya magna in kuala lumpur // Buildings. 2022. № 12 (10). DOI: 10.3390/buildings12101684.

2. Wearable sensor technology to predict core body temperature: a systematic review / C.M. Dolson [et al.] // Sensors. 2022. № 22 (19). DOI: 10.3390/s22197639.

3. New wearable thermoelectric cooling garment for relieving the thermal stress of body in high temperature environments / Li Z. [et al.] // Energy and Buildings. 2023. № 278. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112600.

4. Medvedev V.I., Basalaeva A.A. Protivorechiya special'noj ocenki uslovij truda // Vestnik SGUPS: gumanitarnye issledovaniya. 2022. № 2 (13). S. 47–51.

5. Petrova E.V. Osobennosti provedeniya special'noj ocenki uslovij truda // E-Scio. 2022. № 8 (71).

6. Zhang Y., Jia J., Guo Z. Numerical investigation of heat transfer in a garment convective cooling system // Fashion and Textiles. 2022. № 9 (1). DOI: 10.1186/s40691-021-00276-3.

7. Analyzing environmental heat stress under changing work conditions: a sensor-based monitoring solution / M. Sharma [et al.] // Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. 2022. № 32 (5). P. 389–405. DOI: 10.1002/hfm.20960.

8. Tailored WBGT as a heat stress index to assess the direct solar radiation effect on indoor thermal comfort / S. Mirzabeigi [et al.] // Energy and Buildings. 2021. № 242. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110974.

9. Mahgoub A.O., Gowid S., Ghani S. Global evaluation of WBGT and SET indices for outdoor environments using thermal imaging and artificial neural networks // Sustainable Cities and Society. 2020. № 60. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102182.

10. Yasmeeen S., Liu H. Evaluation of thermal comfort and heat stress indices in different countries and regions: a review // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 609 (5). DOI: 10.1088/1757-899X/609/5/052037.

11. Ibragimova Z.M. Vliyanie povyshennoj temperatury mikroklimata rabocheho mesta na rabotosposobnost' rabotnika // Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZHKKH i tekhnosfernoj bezopasnosti: materialy VI Vseros. (s mezhdunar. uchastiem) nauch.-tekhn. konf. molodyh issledovatelej / pod obshch. red. N.Yu. Ermilovoj, I.E. Stepanovoj. Volgograd: Volgogradskij gos. tekhnich. un-t, 2019. S. 179–180. EDN JZMTOS.

12. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendacij po yuridicheskoj obrabotke normativnyh pravovyh aktov sub"ektov Rossijskoj Federacii, podlezhashchih vklyucheniyu v federal'nyj registr: prikaz Minyusta Ros. Federacii ot 25 dek. 2000 g. № 410. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

13. Kompleksnyj podhod k podboru special'noj odezhdy buril'shchika neftyanyh skvazhin s uchetom pokazatelya PMV / T.T. Kaverzneva [i dr.] // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2022. T. 11. № 3 (59). S. 159–164. DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0024. EDN VBLXRP.

14. Kaverzneva T.T., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G. Innovacionnoe napravlenie podgotovki vysokokvalificirovannyh kadrov inzhenerno-tekhnicheskogo profilya // Uchitel' sozdaet naciyu (A. Kadyrov): sb. materialov V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Mahachkala – Groznyj: Izd-vo «ALEF», 2020. S. 63–66. EDN VMPWKD.

15. Kaverzneva T.T., Sycheva E.A. Razrabotka metodiki ocenki professional'nogo riska rabotnikov neftyanogo promysla // Bezopasnost' v chrezvyčajnyh situacijah: sb. nauch. Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. politekhnicheskij un-t Petra Velikogo, 2018. S. 23–29.

16. Optimizaciya obucheniya i proverki znaniy trebovanij ohrany truda s pomoshch'yu internet-tehnologij / V.A. Senchenko [i dr.] // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2020. № 8 (236). S. 49–55.

17. Novye podhody v organizacii sistemy obucheniya i proverki znaniy trebovanij ohrany truda v organizacijah / V.A. Senchenko [i dr.] // Bezopasnost' i ohrana truda. 2020. № 1 (82). S. 73–76.

18. Senchenko V.A., Kaverzneva T.T. Obuchenie i proverka znaniy po ispol'zovaniyu (primeneniyu) sredstv individual'noj zashchity kak otdel'nyj vid obucheniya // Ohrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennyh predpriyatijah. 2022. № 4. S. 6–17. DOI: 10.33920/pro-4-2204-01. EDN KBRSYC.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 12.03.2023

Принята к публикации: 17.04.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 12.03.2023

Accepted for publication: 17.04.2023

Информация об авторах:

Чувашова Ксения Дмитриевна, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: chuvashova.kd@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

Information about the authors:

Chuvashova Kseniya D., master of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), e-mail: chuvashova.kd@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>