

На правах рукописи

СТЕПАНОВ Игорь Сергеевич



**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ДЛЯ УСЛОВИЙ
НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ НА НЕФТЯНЫХ
ШАХТАХ**

*Специальность 05.26.01 - Охрана труда (в горной
промышленности)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург - 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Рудаков Марат Леонидович

Официальные оппоненты:

Казаков Борис Петрович

доктор технических наук, профессор, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» - филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник

Ефремов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа техносферной безопасности, доцент

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ухтинский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 28 ноября 2018 г. в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.09 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru
Автореферат разослан 27 сентября 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ФОМИН
Сергей Игоревич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Характерной особенностью термошахтной разработки нефтяных месторождений является наличие повышенной температуры и высокой влажности воздуха в горных выработках нефтяных шахт. По результатам специальной оценки условий труда класс условий труда по параметрам микроклимата на рабочих местах горнорабочих может достигать 3.3 - 3.4. Работа в таких микроклиматических условиях приводит к перегреванию организма работников, и, как следствие, к возрастанию нагрузки на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, к ухудшению самочувствия, снижению работоспособности, к обезвоживанию организма и тепловому удару. Так, при проведении горных работ в нефтяных шахтах в 2015 году погибло 2 человека в результате группового несчастного случая вызванного воздействием теплового фактора.

Действенным инструментом обоснования мероприятий по защите от вредных производственных факторов являются процедуры оценки и управления профессиональными рисками. Вопросам анализа и оценки профессиональных рисков в различных отраслях промышленности посвящены исследования таких отечественных ученых как Р.Ф. Афанасьевой, М.А. Бабаяна, Н.А. Бессонова, В.М. Бурмистрова, О.В. Бурмистровой, Э.И. Денисова, С.В. Ефремова, Н.Г. Занько, Н.Ф. Измерова, К.Р. Малаяна, С.Л. Пушенко, О.Н. Русака, Г.А. Суворова, Г.З. Файнбурга. Вопросы нормализации теплового режима при ведении горных работ отражены в исследованиях С.Г. Гендлера, Ю.Д. Дядькина, Б.П. Казакова, Л.Ю. Левина, Ю.В. Шувалова. Исследованиям параметров микроклимата на нефтяных шахтах посвящены работы Т.В. Грунского, Ю.В. Круглова, Е.В. Нор, М.А. Нора, В.П. Перхуткина, Н.С. Подосеновой, Н.Д. Цхадая.

Среди зарубежных ученых существенный вклад в решение вопросов оценки профессиональных рисков, обусловленных влиянием нагревающего микроклимата, внесли D.J. Brake, G.P. Bates, P.O. Fanger, D. Fiala, B. Kampmann, D. Minard, C.P. Yaglou.

Вместе с тем вопросы оценки профессиональных рисков при воздействии нагревающего микроклимата при ведении горных работ в нефтяных шахтах изучены недостаточно. Отсутствуют математические модели, позволяющие проводить непрерывную оценку риска перегрева как функции параметров микроклимата. Используемый в настоящее время на нефтяных шахтах матричный метод не позволяет оценивать риски с достаточной точностью.

В связи с вышеизложенным, актуальность темы исследования определяется необходимостью разработки метода оценки профессионального риска перегрева работников, позволяющего проводить непрерывную оценку риска в диапазоне параметров микроклимата, характерном для проведения горных работ на нефтяных шахтах.

Цель работы. Разработка метода оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом при проведении горных работ на нефтяных шахтах, на основе вероятностного подхода к определению теплового состояния человека в производственных условиях.

Идея работы. Значение профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, и необходимое снижение значения профессионального риска определяются методом пробит-функций в зависимости от уровня ТНС-индекса или эффективной температуры для различных категорий работ по энергозатратам.

Основные задачи исследований:

1. Проведение анализа существующих методов оценки профессиональных рисков в рамках современных систем управления охраной труда.
2. Анализ результатов медико-биологических исследований воздействия на работников нагревающего микроклимата с параметрами, характерными для горных выработок нефтяных шахт.
3. Определение области применения ТНС-индекса и эффективной температуры для оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, в горных выработках нефтяных шахт.

4. Разработка математических моделей оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, на основе пробит-функции для категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб.

5. Проведение экспериментальной апробации математических моделей оценки профессиональных рисков перегрева рабочих, выполняющих горные работы в нефтяных шахтах.

6. Обоснование подхода к уменьшению значений профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом.

Научная новизна:

- Получены эмпирические зависимости ТНС-индекса и эффективной температуры от значений скорости движения воздуха, характерных для горных выработок нефтяных шахт.

- Установлены зависимости уровня профессионального риска перегрева работников, оцененного методом пробит-функций, от уровня ТНС-индекса и эффективной температуры в рабочих зонах горных выработок нефтяных шахт для категорий выполняемых работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб.

Основные защищаемые положения.

1. Нагревающий микроклимат, воздействующий на работников в горных выработках нефтяных шахт, следует оценивать по ТНС-индексу или эффективной температуре в зависимости от значений скорости движения воздуха и наличия излучения от нагретых поверхностей в рабочих зонах.

2. Оценку профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом при проведении горных работ на нефтяных шахтах, следует осуществлять методом пробит-функций с учетом категории работ по энергозатратам.

3. Снижение значений профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, следует определять на основе уменьшения уровня ТНС-индекса или эффективной температуры в рабочих зонах горных выработок нефтяных шахт.

Методы исследований. Работа выполнена с использованием комплексного метода исследований, включающего: анализ данных медико-биологических исследований воздействия нагревающего микроклимата на работников-мужчин при различных категориях

выполняемых работ по энергозатратам; компьютерную обработку данных методами математической статистики и регрессионного анализа; математическое моделирование уровня профессионального риска; экспериментальные исследования параметров нагревающего микроклимата.

Достоверность результатов и обоснованность научных положений и результатов подтверждается значительным объемом изученной информации о воздействии нагревающего микроклимата на организм работников; обоснованным использованием методов теории вероятностей и математической статистики; применением специализированных компьютерных программ для математической обработки данных; применением современного поверенного оборудования, соответствующего обязательным метрологическим требованиям; хорошей сходимостью полученных результатов с данными экспериментальных исследований и гигиеническими нормами; апробацией полученных результатов в научных изданиях.

Практическая значимость.

- Разработан метод оценки профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом при ведении горных работ на нефтяных шахтах, позволяющий выполнять оценку уровня риска как непрерывной функции ТНС-индекса для категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб.

- Обоснован подход к снижению профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом; применение данного подхода службами охраны труда будет способствовать улучшению состояния условий и охраны труда на нефтяных шахтах.

Реализация результатов работы.

- Метод оценки профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом, может быть использован на нефтяных шахтах ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».

- Результаты исследований, проводимых в рамках НИР «Разработка и обоснование исходных данных для переработки требований безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом», были использованы при разработке Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений

шахтным способом», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2016 г № 501.

- Результаты и выводы, содержащиеся в работе, могут использоваться в программах высшего профессионального и дополнительного профессионального образования, реализуемых ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет».

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях: II Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, 2014 г.); IV Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2016 г.); III Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2016 г.); II Ежегодной Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы социального, экономического и информационного развития современного общества» (Башкирский государственный университет. Институт управления и безопасности предпринимательства, г. Уфа, 2017 г.); I Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности» (Петровская академия наук и искусств, г. Санкт-Петербург, 2018 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России», (Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, 2018 г.). Результаты исследований также обсуждались на рабочих совещаниях ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» по вопросам нормализации температурного режима в горных выработках нефтешахт (2016, 2017 гг.), а также на рабочем совещании в НИИ Медицины труда РАМН (г. Москва, 2018 г.).

- Методический подход к оценке профессиональных рисков был реализован в рамках работы для XII Конкурса ПАО «ЛУКОЙЛ» на лучшую научно-техническую разработку молодых ученых и специалистов, удостоенной поощрительной премии (2015 г.), а также в заявке на изобретение № 2017133361 (получено положительное решение о выдаче патента).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований; проведении анализа методов профессиональных рисков, применяемых в рамках современных систем управления охраной труда; проведении статистического анализа результатов медико-биологических исследований; определении области применения ТНС-индекса и эффективной температуры для оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом; обосновании использования пробит-функции при оценке профессиональных рисков; выполнении экспериментальных исследований параметров нагревающего микроклимата; построении и апробации математических моделей оценки профессионального риска перегревания работников для категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб; обосновании подхода к снижению профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы содержатся в 12 опубликованных работах, в том числе 4 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1– в издании, индексируемом международной базой данных SCOPUS, 1– в издании, индексируемом международной базой данных Web of Science.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 131 странице машинописного текста, содержит 20 рисунков, 30 таблиц, список литературы из 123 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, её актуальность, цель, идея, задачи, научная новизна, сформулированы основные защищаемые положения, практическая значимость и личный вклад автора.

В первой главе представлены основные технологии и перспективы развития добычи высоковязких нефтей подземным способом в России и за рубежом; проведен анализ условий труда на нефтяных шахтах; выполнен обзор научных исследований по влиянию параметров нагревающего микроклимата на работников; проанализированы существующие методы оценки профессиональных рисков, используемые в рамках современных систем управления охраной труда; определены задачи исследования.

Во второй главе обосновано использование ТНС-индекса или эффективной температуры, определены области их применения в зависимости от значений скорости движения воздуха и наличия излучения от нагретых поверхностей в рабочих зонах горных выработок.

Третья глава посвящена разработке математических моделей оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом; обосновано построение математической модели на основе пробит-функции; выполнена проверка гипотезы о нормальном распределении случайной величины, характеризующей накопление тепла в организме работника; построены три пробит-модели оценки профессиональных рисков для категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб; выполнена верификация полученных результатов.

В четвертой главе проведена экспериментальная апробация результатов математического моделирования; обоснован подход к уменьшению профессионального риска перегрева, основанный на определении необходимого снижения ТНС-индекса или эффективной температуры.

В заключении обобщены результаты проведенных исследований.

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях

1. Нагревающий микроклимат, воздействующий на работников в горных выработках нефтяных шахт, следует оценивать по ТНС-индексу или эффективной температуре в зависимости от значений скорости движения воздуха и наличия излучения от нагретых поверхностей в рабочих зонах.

В связи с тем, что термическая нагрузка на организм человека определяется комплексом параметров микроклимата, то для оценки нагревающего микроклимата, следует использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс), позволяющий учитывать сочетанное влияние на организм человека температуры, влажности, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. ТНС-индекс вычисляется по формуле:

$$TNC = 0,7t_{вл} + 0,3t_{ш}, \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1)$$

где $t_{вл}$ – измеренная температура по «влажному» термометру, $^{\circ}\text{C}$; $t_{ш}$ – температура внутри черного шара (сферы Вернона), $^{\circ}\text{C}$.

На основании проведенных измерений параметров микроклимата нефтяных шахт Ярегского месторождения (таблица 1), использование ТНС-индекса при оценке нагревающего микроклимата возможно в тех рабочих зонах, в которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с.

Таблица 1 – Диапазоны параметров нагревающего микро-климата в горных выработках нефтяных шахт

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	26,0 – 43,0
Относительная влажность воздуха, %	30 – 94
Скорость движения воздуха, м/с	0,1 – 11,5

Для определения области применения ТНС-индекса, было проведено категорирование рабочих зон горных выработок по параметрам нагревающего микроклимата, уделяя особое внимание такому параметру, как скорость движения воздуха.

В ходе измерений на нефтешахте №3 Ярегского месторождения было выделено две группы горных выработок. В 180 выработках скорость движения воздуха находится в пределах от 0,1 до 0,6 м/с, в 355 – от 0,61 до 11,5 м/с. Для выявления наиболее опасных рабочих зон по тепловому фактору из двух групп горных выработок были выделены те горные выработки, в которых температура воздуха превышает 26°C и соответствует верхней границе предельно допустимого уровня по СанПиН 2.2.548-96. В результате было выделено 11 наиболее опасных по тепловому фактору рабочих зон для ведения горных работ, в которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с (1-я категория рабочих зон),

и 38 рабочих зон, в которых скорость движения воздуха превышает 0,6 м/с (2-я категория рабочих зон).

В горных выработках нефтяных шахт, в которых скорость воздуха превышает 0,6 м/с, а нагревающий микроклимат формируется за счет конвекционного переноса теплоты исходящей струей воздуха из буровых галерей, а также отсутствуют нагретые поверхности, проводить оценку нагревающего микроклимата следует на основе эффективной температуры (ЕТ), которая позволяет учитывать влияние скорости движения воздуха на теплоощущения человека. Эффективная температура определяется (для работников одежды в спецодежду с показателем $\text{Clo} = 1$) по номограмме (рисунок 1), в зависимости от значений температуры «влажного» термометра (WBT), температуры «сухого» термометра (DBT) и скорости движения воздуха. Данная номограмма была получена зарубежными учеными по результатам их исследований для работников, при уровне энергозатрат, соответствующему категории работ Ia.

Для целей диссертационного исследования с привлечением аккредитованной лаборатории были проведены измерения параметров микроклимата и определены ТНС-индекс и эффективная температура при различных скоростях движения воздуха, характерных для нефтяных шахт. В результате были получены эмпирические зависимости ТНС-индекса и эффективной температуры от скорости движения воздуха (рисунок 2), из которых следует, что ТНС-индекс с увеличением скорости движения воздуха не меняется в отличие от эффективной температуры, которая позволяет учитывать дополнительные потери тепла организмом человека за счет конвекции.

Таким образом, в целях оценки нагревающего микроклимата в рабочих зонах, в которых присутствует тепловое излучение от нагретых поверхностей и скорость воздуха не превышает 0,6 м/с, следует использовать ТНС-индекс, а в рабочих зонах, в которых отсутствует тепловое излучение от нагретых поверхностей и скорость воздуха превышает 0,6 м/с, следует использовать эффективную температуру.

2. Оценку профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом при проведении горных работ на

нефтяных шахтах, следует осуществлять методом пробит-функций с учетом категории работ по энергозатратам.

В основу разработки математической модели оценки профессионального риска легло использование пробит-функции, которая является верхним пределом интегральной функции нормального распределения случайной величины, характеризующей накопление тепла в организме работников

$$R = F \cdot Pr(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2)$$

где Pr – пробит-функция, R – риск перегревания работника, e – число Эйлера, ΔQ – накопление тепла в организме работника.

Пробит-функция отображает связь между вероятностью поражения и дозой негативного воздействия и имеет вид

$$Pr(D) = a + b \ln D, \quad (3)$$

где a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия; D – доза негативного воздействия.

Работа в условиях с превышением допустимых значений ТНС-индекса приводит к избыточному накоплению тепла в теле работника, результатом которого является перегревание организма, характеризующееся напряжением реакций терморегуляции. В связи с этим дозой негативного воздействия на организм работника выбран ТНС-индекс, а в качестве критерия «поражения» принято количество накопленного тепла в организме работника ΔQ свыше 4,0 кДж/кг, которое характеризуется очень сильным напряжением реакций терморегуляции, приводящему к «чрезвычайно высокому» риску перегревания организма (класс условий труда 3.4). Накопление тепла в организме человека рассчитывалось по формуле

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T_{cm}, \text{ кДж/кг}, \quad (4)$$

где $C=3,48$ кДж/кг·°С – теплоемкость тканей человеческого тела; ΔT_{cm} – изменение средней температуры тела за время рабочей смены, °С.

При обработке данных результатов медико-биологических исследований воздействия нагревающего микроклимата на человека по 14 отечественным и зарубежным источникам были выделены порядка 400 исследований, в которых участвовали работники-

мужчины в хлопчатобумажной спецодежде ($clo=1$) находящиеся в одинаковых микроклиматических условиях и выполняющие сходные по энергозатратам работы.

Для обоснования использования пробит-функции в математической модели оценки профессиональных рисков была проверена гипотеза о нормальном распределении ΔQ при соответствующих значениях $\ln THC$. Проверка осуществлялась при помощи программного продукта IBM SPSS Statistics по Критерию Шапиро-Уилка, значения которого в большинстве случаев составили более 0,9 при средней значимости 0,8-0,9. Полученный результат позволяет использовать метод пробит-функций для получения математической модели оценки профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом.

В результате были произведены расчеты параметров пробит-моделей оценки профессионального риска для характерных категорий работ по энергозатратам в нефтяных шахтах Ярегского месторождения, выявленных по результатам специальной оценки условий труда – Ia, IIa, IIб.

Полученные уравнения пробит-моделей имеют вид

$$\text{Для категории Ia: } Pr = -37,23 + 11,112 \cdot \ln THC, \quad (5)$$

$$\text{Для категории IIa: } Pr = -31,299 + 9,575 \cdot \ln THC, \quad (6)$$

$$\text{Для категории IIб: } Pr = -30,198 + 9,366 \cdot \ln THC, \quad (7)$$

В результате подстановки полученных выражений в верхний предел интегральной функции нормального распределения (2), были получены зависимости уровня профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, который вызывает накопление тепла в теле работника свыше 4,0 кДж/кг, от уровня THC-индекса для разных категорий работ по энергозатратам в условиях горных выработок нефтяных шахт (рисунок 3). Для верификации результатов оценки профессионального риска с использованием пробит-моделей было проведено сравнение полученных результатов с результатами оценки на основе детерминированного подхода согласно СанПиН 2.2.2776-10 при значении THC-индекса, соответствующего классу условий труда 3.4 (рисунок 3). Результаты верификации позволяют рекомендовать разработанную модель на основе пробит-функции для практического использования.

В условиях дефицита данных медико-биологических исследований зависимости накопления тепла в организме одетого в спецодежду человека от эффективной температуры, для оценки профессиональных рисков в горных выработках нефтяных шахт, в которых скорость движения воздуха превышает 0,6 м/с, был предложен следующий подход. Определялась взаимосвязь между показателями ЕТ и ТНС-индекса с точки зрения накопления тепла в организме человека. Для этого на основе натурных измерений в горных выработках нефтяных шахт Ярегского месторождения был получен ряд фактических значений ТНС-индекса и с использованием номограммы (рисунок 1) – был определен обуславливающий такие же значения накопления тепла в организме человека ряд значений ЕТ при скорости движения воздуха 0 м/с для работника, одетого в спецодежду с показателем $clo = 1$, при категории работ по энергозатратам Ia. На рисунке 4 представлен полученный график для определения эквивалентных (с точки зрения накопления тепла) значений ТНС-индекса по значениям ЕТ.

Для практического использования предлагается использовать линейную аппроксимацию вида

$$TNC = 1,12ET - 3,93, (R^2=0.99), \quad (8)$$

где ЕТ – эффективная температура для работника, одетого в спецодежду ($clo = 1$), °С.

По полученному значению ТНС-индекса с использованием рисунка 3 или выражения (7) оценивался уровень профессионального риска для категории работ по энергозатратам Ia.

Таким образом, разработанный метод позволяет проводить оценку профессиональных рисков перегревания работников нефтяных шахт методом пробит-функций с учетом категории работ по энергозатратам.

3. Снижение значений профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, следует определять на основе уменьшения уровня ТНС-индекса или эффективной температуры в рабочих зонах горных выработок нефтяных шахт.

В ходе экспериментальной апробации разработанных моделей в горных выработках нефтяной шахты №3 Ярегского месторож-

дения были проведены измерения ТНС-индекса и оценены профессиональные риски, обусловленные нагревающим микроклиматом при выполнении горных работ категорий Па, Пб по энергозатратам, характерных для рабочих профессий (рисунок 5). Значения риска перегрева в данных горных выработках могут достигать 0,67-0,77, и требуют применения мероприятий по уменьшению риска.

При обосновании подхода к уменьшению значений риска решалась обратная задача – задаваясь желаемым значением риска после осуществления планируемых мероприятий R_0 (остаточного риска), определялось необходимое снижение ТНС-индекса или эффективной температуры, которое достаточно для того, чтобы риск не превысил значения R_0 .

Общий вид аналитического выражения для определения ТНС-индекса, при котором обеспечивается значение риска перегрева не более R_0 , представлен формулой (9)

$$TNC_0 = \exp \left[\frac{Pr(R_0) - a}{b} \right], \quad ^\circ\text{C}, \quad (9)$$

где TNC_0 – значение ТНС-индекса при котором риск не превысит значения R_0 , $^\circ\text{C}$; $Pr(R_0)$ – значение пробит-функции, соответствующее заданному значению риска R_0 ; a , b – коэффициенты пробит-моделей, определяемые в зависимости от категории выполняемых работ по энергозатратам.

Необходимое снижение ТНС индекса (ΔTNC) в рабочих зонах горных выработок, в которых скорость движения воздуха не превышала 0,6 м/с, определялось по формуле (10)

$$\Delta TNC = TNC - TNC_0, \quad ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

где TNC обозначает значение ТНС-индекса до проведения мероприятий по снижению риска, $^\circ\text{C}$.

Пример определения необходимого снижения ТНС-индекса для уменьшения значения профессионального риска до 0,1 представлен на рисунке 6. В данном примере значение ТНС-индекса в горной выработке составляло 28,7 $^\circ\text{C}$ при скорости движения воздуха 0,3 м/с. В данной выработке выполнялись горные работы категории Па по энергозатратам. Значение риска перегрева работников составило 0,84. Используя графический метод, были

получены значения (рисунок 6): $ТНС_0 = 23,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta ТНС = 5,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, которые совпали со значениями, полученными при использовании аналитических соотношений (9), (10).

Для определения необходимого снижения эффективной температуры в горных выработках со скоростями движения воздуха свыше 0,6 м/с, был применен подход, основанный на переходе к значениям ТНС-индекса, обуславливающим такое же накопление тепла в организме человека, что и значения ЕТ.

Для определения эффективной температуры, при которой обеспечивается значение риска перегрева не более R_0 , формула (9) была преобразована с учетом выражения (8) и приведена к виду

$$ET_0 = 0,89 \exp \left[\frac{Pr(R_0) - a}{b} \right] + 3,5 \text{ , } ^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

где ET_0 – значение эффективной температуры при котором риск не превысит значения R_0 , $^{\circ}\text{C}$; $Pr(R_0)$ – значение пробит-функции, соответствующее заданному значению риска R_0 ; a и b – коэффициенты пробит-моделей.

Необходимое снижение эффективной температуры (ΔET) определялось по формуле (12)

$$\Delta ET = ET - ET_0 \text{ , } ^{\circ}\text{C} \text{ ,} \quad (12)$$

где ET обозначает значение эффективной температуры до проведения мероприятий по снижению риска, $^{\circ}\text{C}$.

В качестве примера были рассмотрены следующие условия труда: в рабочей зоне температура воздуха по влажному термометру составила 29°C , по сухому термометру 34°C , скорость движения воздуха 2 м/с. В данной рабочей зоне выполнялись работы категорий Ia и IIб по энергозатратам. По номограмме (рисунок 1) было найдено значение эффективной температуры, которое составило $29,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Используя выражение (8), было рассчитано значение ТНС-индекса, которое составило $29,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученное значение ТНС-индекса было использовано для расчета значений пробит-функций. Значения профессионального риска перегревания работника для категорий работ по энергозатратам Ia и IIб составили 0,6 и 0,91, соответственно. Задаваясь значением риска после проведения необходимых мероприятий $R_0 = 0,1$, было определены

значения ET_0 и ΔET для категорий работ по энергозатратам Ia и IIб. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Снижение эффективной температуры

Категория работ по энергозатратам	ET , °C	ET_0 , °C	ΔET , °C
Ia	29,6	26,1	3,5
IIб	29,6	23,0	6,6

Использование графического метода при определении необходимого снижения эффективной температуры предполагает вначале определение значений TNC_0 для категорий работ по энергозатратам Ia и IIб, а затем нахождение значений ET_0 , используя выражение (13), которое получается преобразованием формулы (8)

$$ET_0 = 0,89 \times TNC_0 + 3,5, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (13)$$

Необходимое снижение эффективной температуры ΔET определяется по формуле (12).

Использование графического метода (рисунок 7) приводит к таким же значениям ΔET , что и полученные путем расчета по аналитическим выражениям (11) и (12). Графический метод, обладая наглядностью, обеспечивает достаточную точность определения необходимого снижения TNC -индекса и эффективной температуры и может быть рекомендован для использования службами охраны труда в практической деятельности.

Снижение уровня профессионального риска может быть достигнуто комплексом как организационных (изменение режимов труда и отдыха, снижение степени тяжести трудового процесса), так и технических (изменение режимов проветривания, теплоизоляции источников излучения, применением установок местного кондиционирования) мероприятий, конкретный выбор которых осуществляется на основе необходимого уменьшения значений TNC -индекса или эффективной температуры в рабочих зонах горных выработок нефтяных шахт, а также с учетом реализуемости мероприятий в условиях производства. Предлагаемый метод оценки профессионального риска на основе пробит-функции дает возможность более обосновано подходить к выбору защитных мероприятий, направленных на улучшение условий труда работников нефтяных шахт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Проведен анализ существующих методов оценки профессиональных рисков в рамках современных систем управления охраной труда, в ходе которого выявлена необходимость совершенствования методов оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, при ведении горных работ на нефтяных шахтах.

2. Проведен анализ и математическая обработка результатов медико-биологических исследований воздействия нагревающего микроклимата на работников-мужчин, в результате которого обосновано использование пробит-функции для оценки профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, в горных выработках нефтяных шахт.

3. Обосновано использование ТНС-индекса и показателя эффективной температуры а также определены области их применения для оценки профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом, в горных выработках нефтяных шахт.

4. Разработаны пробит-модели оценки профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом, для категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб, характерных для горных работ, выполняемых в нефтяных шахтах.

5. Проведена экспериментальная апробация математической модели для оценки профессиональных рисков перегревания работников, выполняющих горные работы в нефтяных шахтах.

6. Обоснован основанный на снижении ТНС-индекса или эффективной температуры подход к уменьшению значений профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом; данный подход рекомендуется для использования службами охраны труда.

Публикации по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Степанов, И.С. Методы анализа и оценки рисков в системах управления охраной труда и промышленной безопасности / И.С.Степанов // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2016. - №3 ; Спец. вып. 11. – С. 3-12.

2. Климова, И.В. Развитие методов оценки профессиональных рисков по химическому фактору, по фактору нагревающего микроклимата при ведении горных работ на нефтяных шахтах / И.В. Климова, И.С. Степанов // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. - 2017. - № 4 ; Спец. вып. 5-2. – С. 348-354.

3. Абашин, А.Н. Оценка профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, в горных выработках нефтяных шахт Ярегского месторождения / А.Н. Абашин, М.Л. Рудаков, И.С. Степанов // Безопасность труда в промышленности. – 2018. - №7. – С. 67-73

4. Рудаков, М. Л. Определение области применения интегральных показателей тепловой нагрузки среды в горных выработках нефтяных шахт / М.Л. Рудаков, И.С. Степанов // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. - 2018. - № 6; Спец. вып. 35. – С. 3-14.

Публикации в международной базе цитирования Scopus:

5. Influence of Environmental Technologies on the Economic Component in the Normalization of Thermal Conditions in Oil-Stores / Alabyev, V.R., Kruk, M.N., Korobitsyna, M.A., Stepanov, I.S. // Journal of Environmental Management and Tourism. - 2018. – Vol. IX, 1(25). – P. 75-81.

Публикации в международной базе цитирования WoS:

6. Рудаков, М.Л. Оценка профессионального риска при воздействии нагревающего микроклимата при ведении подземных горных работ / М.Л. Рудаков, И.С. Степанов // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. - С. 364-368.

В прочих изданиях:

7. Степанов, И.С. Применение пробит-функции для оценки профессиональных рисков в условиях нагревающего микроклимата в

подземных горных выработках / И.С. Степанов // Актуальные проблемы социального, экономического и информационного развития современного общества: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции (г. Уфа, 26 апр. 2017 г.). - Уфа, 2017. – С. 59-65.

8. Степанов, И.С. Метод оценки профессионального риска в условиях нагревающего микроклимата при ведении подземных горных работ / И.С. Степанов // Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, (г. Якутск, 25 апр. 2018 г.). – Якутск, 2018. – С. 39-44.

9. Степанов, И.С. Использование пробит-функции при оценке профессионального риска в условиях нагревающего микроклимата при ведении подземных горных работ / И.С. Степанов // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы I Международной научно-практической конференции, (г. Санкт-Петербург, 28 марта 2018 г.). – СПб, 2018. – С. 91-95.

10. Рудаков, М.Л. Практика проведения анализа и оценки рисков возникновения аварий в организациях минерально-сырьевого комплекса / М.Л. Рудаков, И.С. Степанов // «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: II Международная научно-практическая конференция: тезисы докладов (г. Санкт-Петербург, 30-31 окт. 2014). – СПб, 2014. – С. 98-99.

11. Климова, И. В Оценка профессиональных рисков от воздействия химического фактора, параметров нагревающего микроклимата при ведении горных работ на нефтяных шахтах / И.В. Климова, И.С. Степанов // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: III Международная научно-практическая конференция: тезисы докладов, (г. Санкт-Петербург, 20-21 окт. 2016). – Санкт-Петербург, 2016. – С. 136-137.

12. Степанов, И.С. О возможности использования пробит-функции при оценке профессионального риска на объектах транспорта теплоносителя при добыче нефти шахтным способом / И.С. Степанов // Инновации на транспорте и в машиностроении: IV Международная научно-практическая конференция: сборник трудов, (г. Санкт-Петербург, 28-29 апр. 2016). – Том 5. – СПб, 2016. – С. 88.

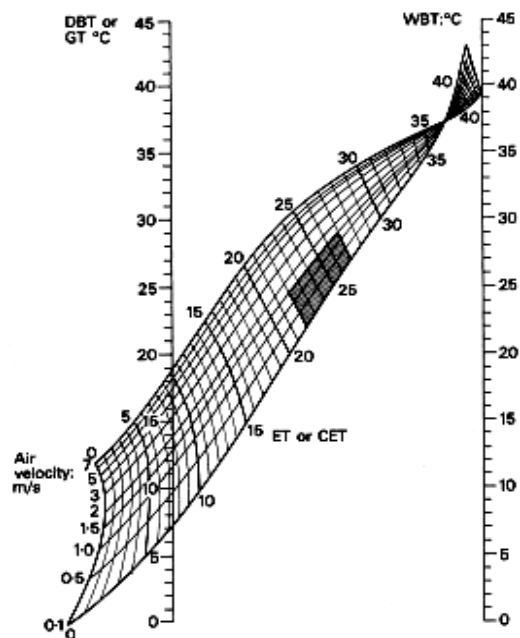


Рисунок 1. - Номограмма для определения эффективной температуры (для работников, одетых в спецодежду с показателем $clo = 1$) при разных значениях скорости воздуха

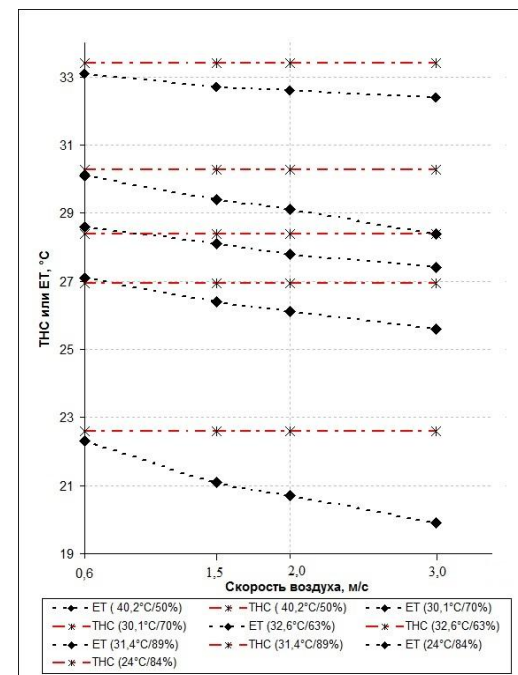


Рисунок 2 - Зависимость ТНС-индекса и эффективной температуры от скорости воздуха для разных микроклиматических условий (для работников, одетых в спецодежду с показателем $clo = 1$).

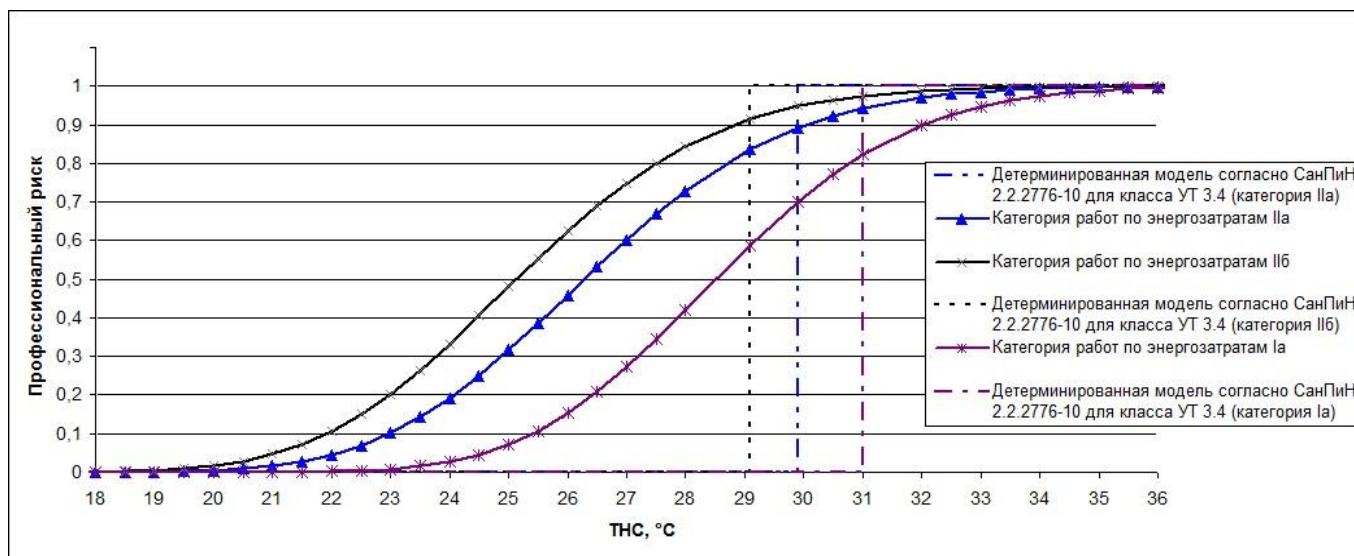


Рисунок 3 - Оценка чрезвычайно высокого риска перегревания работников (класс условий труда 3.4) при выполнении категорий работ по энергозатратам Ia, IIa, IIб.

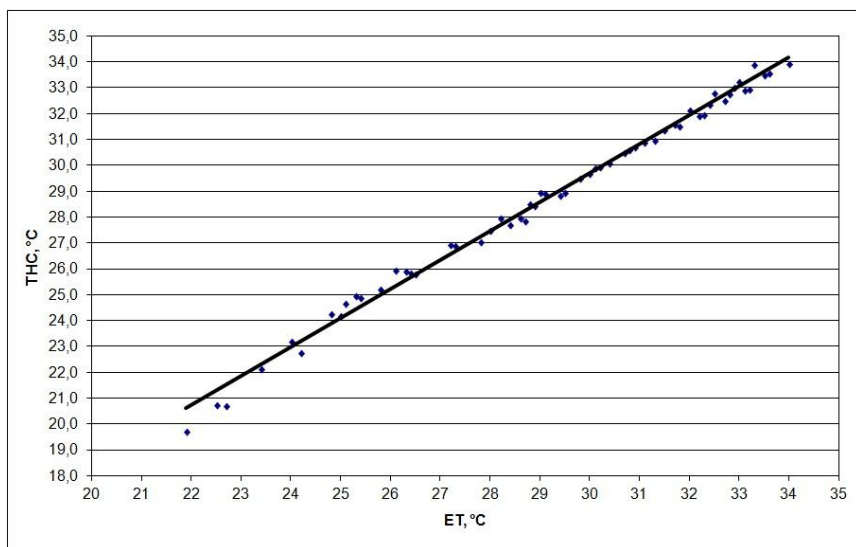


Рисунок 4. График для определения значений ТНС-индекса по значениям эффективной температуры ET.

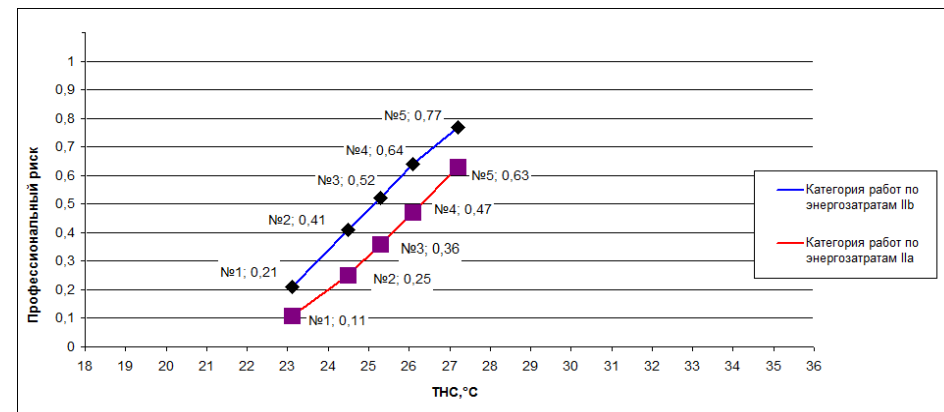


Рисунок 5. Оценка профессионального риска в насосных камерах уклонных блоков нефтешахты №3

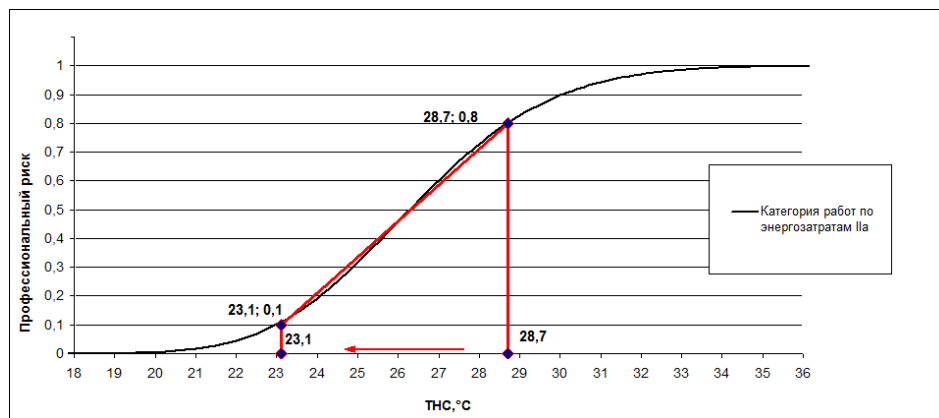


Рисунок 6. Пример определения необходимого снижения ТНС-индекса графическим методом при скорости воздуха 0,3 м/с.

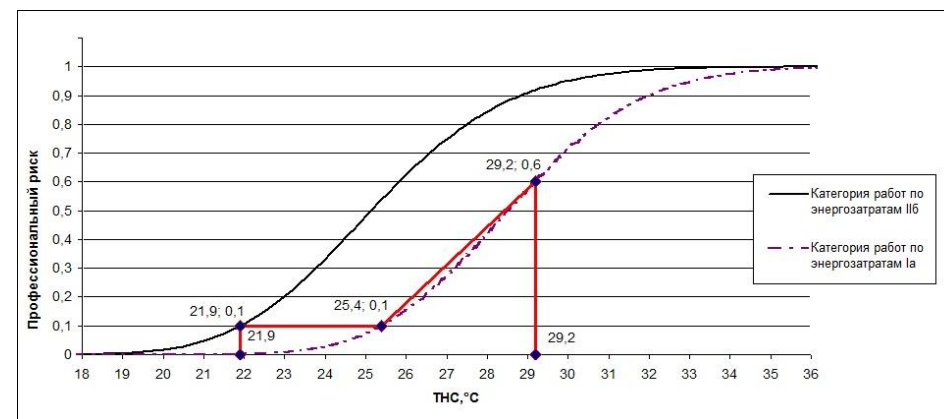


Рисунок 7. Пример определения необходимого снижения ТНС-индекса графическим методом при скорости движения воздуха 2 м/с