

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 662.71:620.95

Н. О. Азовская, В. В. Перетрухин, Г. А. Чернушевич
Белорусский государственный технологический университет
**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ
В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ БЕЛАРУСИ**

В статье рассмотрены вопросы обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь и возникающие при этом проблемы использования древесных ресурсов из лесхозов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, для получения электроэнергии и тепла.

Прежде всего, древесина – это единственный вид топлива, естественно возобновляющийся в больших объемах, в то время как запасы горючих ископаемых ограничены. Затраты труда на добычу ископаемых видов топлива с течением времени увеличиваются, а трудоемкость заготовки и вывозки древесины уменьшается. Немаловажное значение имеет и экологический аспект проблемы – древесное топливо практически не содержит серы и имеет низкую реакционную способность дымовых газов, так как в них при сжигании древесины не содержится сернистого и серного газа, а содержание окиси углерода в современных энергоустановках ТЭС минимально.

В настоящее время в Республике Беларусь и за рубежом интерес к вопросам энергетического использования древесной биомассы возрастает. Потребителей прежде всего интересуют вопросы использования в качестве топлива древесных отходов, которые не находят технологического применения по различным причинам. Они являются вторичными топливными энергетическими ресурсами и выступают источником реальной экономии горючих ископаемых. Энергетическое использование древесных отходов, непригодных для технологического применения, способствует выполнению задачи по обеспечению энергоне­зависимости страны и улучшению использования лесосырьевых ресурсов.

Ключевые слова: топливная древесина, древесные отходы, радиоактивное загрязнение.

N. O. Azovskaya, V. V. Peretrukhin, G. A. Chernushevich
Belarusian State Technological University

PROBLEMS OF USING WOODEN WASTE IN BELARUS'S SMALL POWER ENGINEERING

The article considers the issues of ensuring the energy security of the Republic of Belarus and the problems arising from the use of wood resources from forest departments exposed to radioactive contamination to generate electricity and heat.

First of all, wood is the only type of fuel that naturally renews in large volumes, while the reserves of fossil fuels are limited. Labor costs for the extraction of fossil fuels increase over time, and the complexity of harvesting and transporting wood decreases. The environmental aspect of the problem is also of no small importance – wood fuel contains virtually no sulfur and has low reactivity of flue gases, since they do not contain sulfur and sulfur gas when burning wood and the carbon monoxide content in modern TPP power plants is minimal.

Currently, in the Republic of Belarus and abroad, interest in the energy use of wood biomass is increasing. Consumers are primarily interested in the issues of using wood waste for fuel, which do not find technological application for various reasons. They are secondary fuel energy resources and are a source of real fuel economy. The energy use of wood waste unsuitable for technological use contributes to the task of ensuring the country's energy independence and improving the use of forest resources.

Key words: fuel wood, wood waste, radioactive pollution.

Введение. В настоящее время общая площадь лесного фонда Республики Беларусь составляет 9,8 млн. га, из них в зонах радиоактивного загрязнения находится около 1,59 млн. га (16,6%).

Уменьшение площадей радиоактивного загрязнения лесного фонда республики и снижение активности древесины происходит за счет естественного радиоактивного распада [1].

Общий запас древесины на корню оценивается в 1,7 млрд. м³, а ежегодный средний прирост составляет 32 млн. м³. В хозяйственный оборот ежегодно вовлекается большой объем древесных ресурсов, так в 2018 г. площадь рубок леса составила 499,1 тыс. га и было заготовлено 28,6 млн. кубометров ликвидной древесины [2].

В настоящее время в Беларуси действует более 3,3 тыс. источников энергии на местных топливно-энергетических ресурсах (ТЭР) суммарной электрической мощностью более 130 МВт и тепловой мощностью более 6800 МВт, в том числе более 20 мини-ТЭЦ (суммарной электрической мощностью 130 МВт и тепловой мощностью – около 350 МВт).

Для нашей страны, импортирующей около 80–85 процентов всех ТЭР, задача по максимальному вовлечению в топливно-энергетический баланс местных видов ТЭР и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является первостепенной.

Широкое использование в республике местных ТЭР и ВИЭ позволит повысить энергетическую безопасность государства, способствует развитию собственных технологий и производству соответствующего оборудования. Кроме того, использование местных ТЭР, как правило, является экологически безопасным.

Основная часть. В соответствии с Программой энергосбережения Беларуси стратегической целью является увеличение до 30% доли местных видов топлива. Ежегодно лесхозы республики для нужд тепловой энергетики заготавливают 4,5 млн. т древесного топлива.

Исходя из данных о ресурсном потенциале местных и возобновляемых источников энергии и экономически целесообразном объеме их использования, можно прогнозировать увеличение этого показателя в 2020 г. до 5 млн. т. у. т. Рост доли местных видов топливно-энергетических ресурсов в балансе котельно-печного топлива позволит уменьшить объемы импорта энергоносителей, а также придать дополнительный импульс развитию перспективных направлений в области энергетики. В результате не только сократится энергозависимость, но и за счет сохранения финансовых ресурсов внутри страны будет достигнут дополнительный экономический эффект (увеличение рабочих мест, создание новых высокотехнологичных производств, рост налогооблагаемой базы и другое).

Национальная программа разработана в целях комплексного решения названной проблемы. Ожидается, что к 2020 г. в эксплуатацию будет введено 138 источников энергии на местных видах топлива. Годовой объем потребле-

ния топливной древесины одной мини-ТЭЦ Беларуси в зависимости от мощности колеблется от 40 до 60 тыс. м³ [3].

В рамках реализуемых в республике программ и планов мероприятий решаются задачи по использованию древесного топлива для производства тепловой и электрической энергии, повышению энергоэффективности экономики страны и снижению доли импортируемых энергоресурсов. Характерным для развитых стран является высокая степень использования в качестве топлива древесных отходов. Это связано с тем, что рост цен на традиционные виды топлива (мазут, уголь и дизельное топливо), а также ужесточение контроля над утилизацией отходов и стремление перерабатывающих производств снизить свои затраты стали основными факторами заметного увеличения в последнее время интереса к средним и малым автономным источникам электрической энергии. Кроме этого дополнительный интерес обусловливается тем фактом, что в качестве топлива данные автономные источники электроэнергии применяют отходы биомассы, и в частности, так называемые возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Использование в качестве источников энергии ВИЭ обеспечивает значительное сокращение количества выбросов в атмосферу парниковых газов, и тем самым создает необходимые предпосылки для осуществления торговли квотами на выбросы в атмосферу вредных веществ в рамках механизма реализации Киотского протокола.

Затраты труда на заготовку и вывозку древесины выше затрат труда на добычу ископаемых видов топлива, а транспортабельность древесного топлива существенно ниже транспортабельности каменных углей и жидкого топлива. Это способствовало снижению значимости использования древесного топлива в экономике страны. В связи с незначительным удельным весом древесины в энергетическом балансе промышленно развитых стран казалось, что интерес к энергетическому использованию древесного топлива утрачен навсегда. Однако энергетический кризис, развившийся в 2008 г., заставил изменить точку зрения на перспективы энергетического использования древесины.

Древесина – это единственный вид топлива, естественно возобновляющийся в больших объемах, в то время как запасы горючих ископаемых ограничены. Затраты труда на добычу ископаемых видов топлива с течением времени увеличиваются, в то время как трудоемкость заготовки древесины уменьшается. Важное значение имеет и экологический аспект проблемы – древесное топливо практически не содержит серы, поэтому в дымовых газах при сжигании древесины не содержится сернистого и серного

газа, а содержание окиси углерода в современных энергоустановках ТЭС минимально [4].

Вовлечение в топливный баланс древесных отходов может полностью удовлетворить потребность в топливе лесной отрасли.

Основными источниками образования отходов являются различные лесопромышленные комплексы и деревоперерабатывающие предприятия. Древесные отходы образуются в большом количестве практически на всех стадиях технологического процесса: лесозаготовки, лесопиления и деревообработки.

Согласно СТБ 1867-2017 «Отходы древесные. Общие технические условия» к отходам лесозаготовки относятся обрезки хлыстов, вершины, сучья, ветви, пни, корни, кора [5].

Образующиеся древесные отходы можно классифицировать:

- по сортименту исходного сырья (отходы пиломатериалов, отходы фанеры и древесноволокнистых плит, отходы древесностружечных плит);
- породам древесины (хвойная, лиственная);
- влажности (сухие – до 15%, полусухие – 16–30%, влажные – 31% и выше).

В своем естественном виде отходы лесозаготовок малотранспортабельны, при использовании в качестве топлива они предварительно измельчаются в щепу.

К отходам лесопиления и деревообработки относятся: горбыль, отрезки пиломатериалов, карандаш, обрезки шпона, стружка, древесные опилки, кора.

Количество отходов деревообрабатывающих производств зависит от качества поставляемого сырья, типа и размера изготавливаемой продукции, технической оснащенности предприятия и его мощности и составляет 45–63% исходного сырья (пиломатериалов, фанеры).

К отходам, объем которых зависит от используемого для раскроя оборудования, относятся опилки. Объем древесины, переходящей в опилки, зависит от толщины пил: чем тоньше пила, тем меньше опилок.

К отходам, обусловленным качеством исходного сырья, относятся горбыли, торцовые срезки, рейки, разнообразные вырезки с пороками и дефектами. При использовании древесного топлива возникает ряд проблем, связанных с радиационной безопасностью:

- для устойчивой работы промышленных котельных и мини-ТЭЦ необходимо создавать запасы топлива, а их складирование приводит к повышению радиационного фона;

- при сгорании загрязненной топливной древесины может образовываться зола с повышенным содержанием радионуклидов, а это исключает ее использование в качестве минерального удобрения в сельском и лесном хозяйстве;

- загрязнение окружающей среды газообразными и мелкодисперсными продуктами сгорания древесного топлива [6].

Складирование больших объемов древесины, древесного топлива, содержащего радионуклиды даже в пределах допустимых норм (РДУ/ЛХ-2001), будет приводить к локальному повышению естественного радиационного фона (ЕРФ), норма – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч).

Для контроля радиационного фона и измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения внешнего облучения в диапазоне 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч применяется дозиметр-радиометр МКС-АТ6130.

Проведенные исследования на ОАО «Борисовдрев» показывают, что в железнодорожном вагоне с объемом древесины 50 м³ (удельный вес сосны 820 кг/м³, вес партии составит 41 000 кг) и при удельной активности 100 Бк/кг активность всей партии составит 4,3 МБк. Тогда мощность эквивалентной дозы, измеренная с помощью дозиметра МКС-АТ6130 непосредственно у вагона с древесиной и такой активностью, может быть в 1,5–1,7 раза больше естественного радиационного фона [7].



Рис. 1. МКС-АТ6130:

- 1 – мембранная панель управления;
- 2 – жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
- 3 – светодиодный индикатор

Необходимость снижения активности древесного сырья, используемого как местное топливо на крупных энергоустановках, обусловлено вероятностью загрязнения окружающей среды зольными остатками с высокими концентрациями радионуклидов. В 2010 г. Национальной академией наук Беларуси были разработаны и предложены для практического применения допустимые уровни содержания цезия-137 до 200 Бк/кг в древесном топливе (дровах и древесных отходах для изготовления топлива), используемом в промышленных котельных и мини-ТЭЦ тепловой мощностью 0,1 МВт и более. Это позволит обеспечить безопасное обращение с зольными отходами.

При использовании древесного топлива с содержанием радиоцезия-137 до 200 Бк/кг образуется зола с активностью меньшей, чем радиоактивные отходы (РАО, 10 000 Бк/кг).

При сгорании древесной биомассы образуется от 1 до 8% золы. Зольность зависит от состава древесной биомассы. Максимальное количество золы образуется при сгорании коры и минимальное количество – при сгорании стволной древесины.

Однако в зависимости от типа технологического процесса заготовки древесины, зольность существенно изменяется из-за загрязнения ее внешними минеральными включениями. Загрязнение ветвей и сучьев в процессе заготовки, трелевки и вывозки наиболее интенсивно при влажной погоде весной и осенью.

Древесная зола является ценным комплексным фосфорно-калийным и известковым удобрением, так как в ней содержится до 7% фосфора, до 15% калия и до 40% кальция. Один килограмм золы заменяет 220 г гранулированного суперфосфата, 240 г хлористого калия и 500 г извести. И хотя в золе нет азота, она содержит 30 полезных микроэлементов, причем в концентрированном виде: магний, железо, кремний, сера, бор, марганец.

В отличие от промышленных удобрений, зола не содержит хлора, снижает кислотность почвы, повышает зимостойкость посадок, разлагает органику, делая ее более доступной для растений.

С учетом высокой опасности воздействия ионизирующих излучений на человека, для обеспечения радиационной безопасности работников лесного хозяйства и деревообрабатывающих предприятий важное место отводится строгому соблюдению основных принципов и норм радиационной безопасности:

- не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- поддержание на возможно низком уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц [8].

Системная работа по снижению риска облучения работников при использовании древесных ресурсов из загрязненных радионуклидами лесхозов обеспечивается комплексом защитных мероприятий [9].

Радиационный мониторинг лесного фонда осуществляется на постоянных пунктах наблюдения (ППН), образующих первичную сеть радиационного мониторинга леса (РМЛ). Основной задачей РМЛ является изучение динамики и факторов, влияющих на накопление цезия-137 в контролируемых объектах [10, 11].

Организация и проведение радиационного мониторинга возлагается на специалистов службы радиационного контроля. Радиационное обследование лесосек проводится с плотностью загрязнения почв цезием-137 более 37 кБк/м² [12].

Для получения информации о радиационной обстановке на предприятии, в окружающей среде и об уровнях облучения работающих, необходимо проводить радиационный контроль [13].

Радиационный контроль древесного топлива, используемого в энергоустановках, проводится с целью обеспечения норм радиационной безопасности по содержанию цезия-137 допустимым уровням. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в древесине разработаны на основе установленной в республике допустимой среднегодовой дозы общего облучения для населения в 1 мЗв [14].

Для обеспечения радиационной безопасности необходимо измерять радиологические условия на рабочем месте следующих показателей: мощности дозы внешнего облучения, плотности потока бета-частиц и удельной активности [15].

Для измерения плотности потока бета-частиц применяется дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДПБ-01 (диапазон измерений – 1–5·10⁵ част./см²·мин).

Измерение удельной активности древесного топлива осуществляется гамма-радиометрами РУГ-91-2 (рис. 2), РКГ-АТ1320А, которые позволяют контролировать активность в диапазоне от 3,7 до 10⁵ Бк/кг [16].

Для индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения работников лесного хозяйства целесообразно использовать спектрометр излучения человека (СИЧ) СКГ-АТ1316.



Рис. 2. Общий вид гамма-радиометра РУГ-91-2

СИЧ позволяет проводить экспресс-контроль и измерение активности гамма-излучающих радионуклидов в теле человека, а также проводить оценку доз внутреннего облучения.

Заключение. Использование древесных отходов лесозаготовки, лесопиления и деревообработки на топливо есть завершающая фаза лесопромышленного производства, придающая ему безотходный характер и направленная на повышение эффективности мер по охране при-

роды. Вовлечение в топливный баланс лесопромышленными предприятиями древесных отходов – это наиболее эффективный способ сбережения горючих ископаемых для последующих поколений, запасы которых в природе уменьшаются все возрастающими темпами.

Для обеспечения радиационной безопасности работников лесного хозяйства и деревооб-

рабатывающих предприятий все поступающее сырье, в том числе и древесное топливо, подвергается радиационному контролю.

Таким образом, использование местного древесного топлива может и должно быть эффективным, содействуя повышению энергетической безопасности страны, при комплексном научном подходе к данной проблеме.

Список литературы

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2018. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018. 490 с.
2. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. 200 с.
3. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016–2020 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 марта 2016 г., № 248 // Совет Министров Республики Беларусь, НПЦ правительства. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&po=C21600248> (дата обращения: 20.02.2020).
4. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А., Босак В. Н. Радиационный контроль древесного топлива для энергетических установок на примере ОАО «Ивацевичдрев» // Труды БГТУ. 2015. № 2 (175): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 202–205.
5. Отходы древесные. Общие технические условия: СТБ 1867-2017. Введ. 01.10.2017. Минск: БелГИСС, 2017. 12 с.
6. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А., Босак В. Н. Система защитных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности в лесном комплексе Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 316–321.
7. Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Дозиметрическое и радиометрическое обеспечение радиационной безопасности на ОАО «Ивацевичдрев» // Труды БГТУ. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 135–139.
8. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив от 28.12.2012 № 213. Введ. 01.01.2013. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2012. 232 с.
9. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Гомель: Институт радиологии, 2009. 52 с.
10. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения, Порядок проведения: ТКП-498-2013. Введ. 03.10.2013. Минск: Беллесозащита, 2013. 28 с.
11. Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения: ТКП-239-2010. Введ. 22.02.2010. Минск: Беллесозащита, 2010. 20 с.
12. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП-499-2013. Введ. 03.10.2013. Минск: Беллесозащита, 2013. 28 с.
13. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: ТКП-251-2010. Введ. 28.06.2010. Минск: Беллесозащита, 2010. 24 с.
14. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП-240-2010. Введ. 01.06.2010. Минск: Беллесозащита, 2010. 24 с.
15. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП-250-2010. Введ. 28.06.2010. Минск: Беллесозащита, 2010. 27 с.
16. Чернушевич Г. А., Перетрухин В. В. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов по профилю образования «Техника и технологии». Минск: БГТУ, 2018. 198 с.

References

1. *Statisticheskiy ezhegodnik Respubliki Belarus' 2018* [Statistical yearbook of the Republic of Belarus 2018]. Minsk, Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus', 2018. 490 p.
2. *Okhrana okruzhayushchey sredy v Respublike Belarus'. Statisticheskiy sbornik* [Environmental protection in the Republic of Belarus. Statistical Digest]. Minsk. Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus, 2019. 200 p.
3. *Gosudarstvennaya programma "Energosberezhenie" na 2016–2020 gody: postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus'*, 28.03.2016, № 248 [State program "Energy saving" for 2016-2020: Resolution of the Republic of Belarus, 28.03.2016, no. 248]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&po=C21600248> (accessed 20.02.2020).

4. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A., Bosak V. N. Radiation control of wood fuel for power plants (on the example of Ivatsevichdrev OJSC). *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 202–205 (In Russian).

5. STB 1867-2017. Wood waste. General specifications. Minsk, BelGISS Publ., 2017. 12 p. (In Russian).

6. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A., Bosak V. N. The system of protective measures to ensure radiation safety in the forest complex of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017. no. 2: Forestry, nature management and processing of renewable resources, pp. 316–321 (In Russian).

7. Peretrukhin V. V., Chernushevich G. A. Dosimetric and radiometric assurance of radiation safety at Ivatsevichdrev OJSC. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014. no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 135–139 (In Russian).

8. Criteria for assessing radiation exposure: hygienic standard. Minsk, Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus' Publ., 2012. 232 p. (In Russian).

9. *Pravila vedeniya lesnogo khozyaystva na territoriyakh, podvergnutym radioaktivnomu zagryazneniyu v rezultate katastrofy na ChAES* [Rules of conducting forestry in the territories subjected to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP disaster]. Gomel', In-t radiologii Publ., 2017. 48 p.

10. ТКР-498-2013. Radiation monitoring of the forest fund. Bookmark the permanent observation point. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2013. 28 p. (In Russian).

11. ТКР 239-2010. Radiation control. Survey of cutting areas. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2010. 20 p. (In Russian).

12. ТКР-499-2013. Radiation monitoring of the forest fund. Survey of a permanent observation point. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2013. 28 p. (In Russian).

13. ТКР 251-2010. Radiation control. Sampling and sample preparation of forest products. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2010. 24 p. (In Russian).

14. ТКР 240-2010. Radiation control. Survey of forest land. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2010. 24 p. (In Russian).

15. ТКР 250-2010. Radiation control. The objects of forestry jobs. Procedure for conducting. Minsk, Bellesozashchita Publ., 2010. 27 p. (In Russian).

16. Chernushevich G. A., Peretrukhin V. V. *Radiatsionnaya bezopasnost'. Laboratornyy praktikum: ucheb. posobie dlya studentov po profilyu obrazovaniya "Tekhnika i tekhnologii"* [Radiation safety. Laboratory workshop: textbook manual for students on the profile of education "Engineering and Technology"]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 198 p.

Информация об авторах

Азовская Наталья Олеговна – кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Перетрухин Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: viklar@yandex.ru

Чернушевич Григорий Алексеевич – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gregory1946@rambler.ru

Information about the authors

Azovskaya Natallia Olegovna – PhD (Agriculture), lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: azovskaya_natasha@tut.by

Peretrukhin Viktor Vasil'evich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: viklar@yanbex.ru

Chernushevich Grigoriy Alekseevich – Senior Lecturer, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gregory1946@rambler.ru

Поступила 27.02.2020