

УДК 699.85

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-26-33>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2020

Риски нарушения микроклимата в защитных сооружениях

Октябрьский Р. Д.,

Национальный
исследовательский
университет «Высшая школа
экономики»,
117418, Россия, г. Москва,
ул. Профсоюзная, д. 33, корп. 4

Аннотация

В статье рассматривается одна из проблем, связанная с уязвимостью населения, а также персонала опасных производств, укрываемых в защитных сооружениях при угрозах чрезвычайных ситуаций мирного и военного характера. Проблема заключается в существующем риске нарушения допустимых температурно-влажностных параметров воздушной среды в сооружении.

На основе анализа закономерностей климата и длительности периода автономности защитных сооружений обоснованы методические подходы к выбору расчетных параметров наружного воздуха для проектирования систем воздухообеспечения защитных сооружений.

Для оценки эффективности выбранных параметров наружного воздуха по снижению риска предлагается критерий: вероятность нарушения допустимого микроклимата в ЗС.

Ключевые слова: защитные сооружения, убежища гражданской обороны (убежища ГО), повторяемость температур и энтальпий, «жаркий период», вероятность нарушения микроклимата, среднемесячная температура и энтальпия самого теплого месяца.

Для цитирования: Октябрьский Р.Д. Риски нарушения микроклимата в защитных сооружениях // Проблемы анализа риска. Т. 17. 2020. № 5. С. 26—33, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-26-33>

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Risks of Violation of the Microclimate in Protective Structures (Shelters)

Rostislav D. Oktyabrskiy,
National Research University
"Higher School of Economics",
117418, Russia, Moscow,
Profsoyuznaya str., 33, bldg 4

Abstract

The article discusses one of the problems associated with the vulnerability of the population, as well as the personnel of hazardous industries, who are sheltering in protective structures (shelters) in case of emergency threats (emergencies) of a peaceful and military nature. The problem consists in the existing risk of violation of the permissible temperature and humidity parameters of the air in the shelter.

Based on the analysis of the laws of climate and the duration of the period of autonomy of protective structures, methodological approaches to the selection of design parameters of outdoor air for the design of air supply systems of protective structures are substantiated.

To estimate the effectiveness of the selected outdoor air parameters over reduce risk, a criterion is proposed: the probability of not violating the permissible microclimate in the protective structures.

Keywords: protective structures, civil defense shelters, repeatability of temperatures and enthalpies, "hot period", probability of not violating the microclimate, average monthly temperature and enthalpy of the warmest month.

For citation: Oktyabrskiy R.D. Risks of violation of the microclimate in protective structures (shelters) // Issues of Risk Analysis. Vol. 17. 2020. No. 5. P. 26—33, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-26-33>

The author declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Закономерности климата и расчетные параметры наружного воздуха
2. Анализ случайного совмещения периода автономности с периодом превышения температурно-влажностных параметров наружного воздуха над расчетными (с «жарким периодом»)
3. Выбор расчетной энтальпии наружного воздуха
4. Практическое применение

Заключение

Литература

Введение

Как известно, основным способом инженерной защиты населения от воздействия опасных факторов при чрезвычайных ситуациях (ЧС) мирного и военного времени является размещение людей в защитных сооружениях, в том числе — убежищах ГО.

Защитные сооружения (ЗС) возводятся также для защиты персонала опасных промышленных объектов (атомных электростанций, химических произ-

водств и др.) от воздействия вредных факторов при ЧС техногенного характера (авариях со взрывом, выбросом радиоактивного облака или разливом аварийно химически опасных веществ, пожарах и т. д.).

На систему воздухообеспечения ЗС, как правило, возлагается три жизненно важных функции: защитная (очистка приточного воздуха и создание подпора), поддержание допустимого газового состава воздуха, а также поддержание допустимого микроклимата (при отсутствии средств охлаждения воздуха).

Однако последнее требование может быть нарушено из-за случайного характера изменения температурно-влажностных параметров наружного воздуха. В связи с этим необходимо оценить риски этих нарушений при выборе расчетных температурно-влажностных параметров наружного воздуха с целью минимизации производительности систем воздухообеспечения при проектировании ЗС.

1. Закономерности климата и расчетные параметры наружного воздуха

При обеспечении требуемого микроклимата средствами вентиляции наиболее неблагоприятные условия создаются в летнее время, т. к. наружный воздух имеет повышенные температуру и энтальпию (теплосодержание), а значит, меньшую способность ассимиляции тепловлагодизбытков.

При выявлении требуемой воздухоподдачи для удаления тепловлагодизбытков из ЗС должен учитываться характер источников теплоступлений:

- для помещений, в которых скрытыми тепловыделениями (влажновыделениями) можно пренебречь из-за их малости по сравнению с явными («сухими») тепловыделениями (например, помещение ДЭС, узлы связи и т. д.), в качестве расчетного параметра принимают температуру наружного воздуха;
- для помещений, в которых скрытые тепловыделения составляют значительную часть от полных тепловыделений (убежища ГО, где основным источником тепловлагодизыделений являются люди), в качестве расчетного параметра принимают энтальпию наружного воздуха [1, 2].

Обычно при проектировании систем вентиляции расчетные параметры наружного воздуха вы-

бираются исходя из допустимого числа часов обеспечения температуры и энтальпии.

В Справочниках по климату [3, 4] содержатся таблицы повторяемости температур наружного воздуха для конкретных географических пунктов. Используя эти данные, можно построить интегральные графики суммарной повторяемости температур в годовом периоде на нормальной вероятностной сетке для конкретного климатического пункта (рис. 1).

Задаваясь длительностью периода ненарушения расчетной температуры P_t (в процентах) в годовом

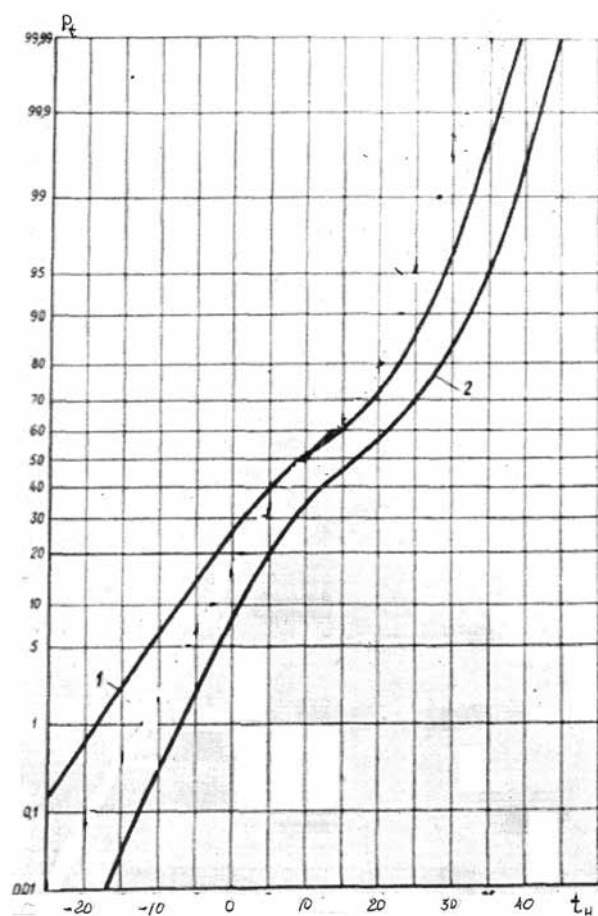


Рис. 1. Интегральные графики суммарной повторяемости почасовых температур наружного воздуха в течение года в южных городах, в том числе в СНГ: 1 — Астрахань; 2 — Ашхабад

Figure 1. Integrated graphs of the total repeatability of hourly outdoor air temperatures during the year in southern cities, including in the Community of Independent States: 1 — Astrakhan; 2 — Ashgabad

периоде, т. е. годовой обеспеченностью, можно определить значение этой температуры. При этом период нарушения расчетной температуры в часах («жаркий период») вычисляется с помощью выражения

$$N_{\text{ж}} = 8760 (1 - P_t / 100), \text{ ч.} \quad (1)$$

Таким образом, по интегральному графику возможно определить годовую обеспеченность температур, не превышающих выбранную расчетную. Эта обеспеченность означает, что только в $(100 - P_t)$ процентах случаев (часов) в году произойдет нарушение с вероятностью, близкой к единице.

Однако длительность периода автономности сооружения составляет всего несколько суток в годовом периоде, поэтому вероятность нарушения наружных параметров климата (и, соответственно, микроклимата в сооружении) будет значительно меньше единицы. Эту величину возможно определить нижеприведенным методом.

2. Анализ случайного совмещения периода автономности с периодом превышения температурно-влажностных параметров наружного воздуха над выбранными расчетными

Длительность периода автономности установлена нормативными документами. Для убежищ ГО этот период составляет двое суток, а для защитных сооружений на опасных производствах — от пяти и более суток.

Рассмотрим закономерности случайного совпадения периода эксплуатации убежища с периодом стояния параметров наружного воздуха, превышающих расчетные. Для этого исходим из следующих предпосылок:

- нарушением микроклимата в сооружении в летнее время считается превышение параметров воздуха в убежище над допустимыми внутренними;
- нарушение микроклимата в сооружении возможно только при повышении параметров наружного воздуха над расчетными наружными;
- эксплуатация сооружения по прямому назначению (т. е. в период автономности) может начаться в любой случайный момент времени года с продолжительностью менее «жаркого периода», т. е. пери-

ода стояния наружных параметров выше принятых расчетных.

Равномерное распределение часов с нарушением наружных параметров в летнем периоде маловероятно, а единичные часовые превышения параметров наружного воздуха над расчетными наружными могут не вызвать нарушения микроклимата вследствие большой тепловой инерции сооружения.

Наихудшие условия создаются, когда сутки, содержащие все 24 ч с превышением параметров над расчетными наружными, следуют непрерывно.

Вполне вероятно, что в отдельный случайно взятый год возможны и другие варианты распределения суток, содержащих по $X < 24$ ч с нарушением, предсказать которые затруднительно. Однако все они, по существу, будут более благоприятными для внутреннего микроклимата.

Примем следующие обозначения:

$N_{\text{э}}$ — расчетная длительность непрерывной эксплуатации убежища в период автономности (час);

$N_{\text{ж}}$ — «жаркий период», т. е. длительность периода с превышением параметров наружного воздуха над расчетными наружными (суммарное число часов в году с превышением параметров наружного воздуха над расчетными), ч.

Для выявления закона распределения случайного числа часов с нарушением параметров микроклимата в период автономности рассмотрим следующие вероятности состояний.

Вероятность того, что ровно k часов периода автономности убежища совпадет с «жарким периодом»:

$$\left. \begin{aligned} P_{(k=1)} &= \frac{2}{8760 - N_{\text{э}} + 1} \\ &\dots \\ &\dots \\ P_{(k=N_{\text{э}}-1)} &= \frac{2}{8760 - N_{\text{э}} + 1} \\ P_{(k=N_{\text{э}})} &= \frac{N_{\text{ж}} - N_{\text{э}} + 1}{8760 - N_{\text{э}} + 1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь $P(k=1) = P(k=2) = \dots = P(k=N_{\text{э}}-1)$ — вероятности совмещения по K часов периода эксплуатации $N_{\text{э}}$ сооружения с периодом стояния температур или энтальпий наружного воздуха выше расчетных.

В указанных выражениях полагается, что

$$N_{\text{э}} < N_{\text{ж}} < 8760 \text{ ч.}$$

Тогда вероятность нарушения микроклимата в убежище можно выразить

$$P_{(k=0)} = 1 - \sum_{k=1}^{N_3} P_k = 1 - \frac{N_{\text{ж}} + N_3 - 1}{8760 - N_3 + 1} = \frac{8760 - 2N_3 - N_{\text{ж}} + 2}{8760 - N_3 + 1}. \quad (3)$$

Составим полную группу событий:

событие А — несовпадение N_3 с $N_{\text{ж}}$;

событие В — частичное совпадение N_3 с $N_{\text{ж}}$;

событие С — полное совпадение N_3 с $N_{\text{ж}}$.

Вероятности этих событий:

$P(A) = P_{(k=0)}$; см. формулу (3).

$$P(B) = P\{1 \leq k \leq N_3 - 1\} = \frac{2(N_3 - 1)}{8760 - N_3 + 1}, \quad (4)$$

$$P(C) = P\{k = N_3\} = \frac{N_{\text{ж}} - N_3 + 1}{8760 - N_3 + 1}. \quad (5)$$

А вероятность хотя бы частичного совпадения

$$P_{(k>0)} = \frac{N_{\text{ж}} + N_3 - 1}{8760 - N_3 + 1}. \quad (6)$$

Математическое ожидание числа часов нарушения при этом:

$$M_{(k)} = N_3 \cdot N_{\text{ж}} / (8760 - N_3 + 1). \quad (7)$$

Если задаться требуемой вероятностью превышения наружных температур над выбранной расчетной, то из выражения (3) можно определить соответствующий ей «жаркий период», т.е. длительность превышения часовых наружных температур над расчетной наружной:

$$N_{\text{ж}} = 8760 - 2N_3 + 2 - P_{(k=0)} \cdot (8760 - N_3 + 1). \quad (8)$$

По графику суммарной повторяемости наружных температур конкретного климатического пункта (графику, построенному по данным таблиц повторяемости, приведенных в [3, 4], возможно определить искомую расчетную температуру. Для этого следует преобразовать полученную величину $N_{\text{ж}}$ в проценты суммарной повторяемости температур, не превышающих расчетную:

$$P_t = (1 - N_{\text{ж}} / 8760) \cdot 100, \%. \quad (9)$$

Пример.

Удаление теплоизбытков из сооружения с преобладанием явных тепловыделений (пункты управления, узлы связи, ДЭС) осуществляется системой вентиляции.

Определить расчетную температуру наружного воздуха в климатических условиях г. Астрахани при вероятности нарушения температуры в сооружении, равной 0,8 в течение 48 ч автономности (2 суток).

Решение.

По формуле (8) определяем длительность периода стояния наружных температур, превышающих искомую расчетную («жаркий период»):

при $P_{(k=0)} = 0,8$ и $N_3 = 48$ ч имеем

$$N_{\text{ж}} = 8760 - 2 \cdot 48 + 2 - 0,8(8760 - 48 + 1) = 1696 \text{ ч.}$$

По формуле (9) вычисляем повторяемость часовых температур не выше расчетной:

$$P_t = (1 - 1696 / 8760) \cdot 100 = 80,6\%.$$

По графику суммарной повторяемости температур для г. Астрахани (см. рис. 1) находим искомую расчетную температуру: $t_n = 22,5^\circ\text{C}$.

Используя приведенные зависимости, возможно решить обратную задачу: определить вероятность нарушения микроклимата при выбранной в качестве расчетной среднемесячной температуры наиболее теплого месяца.

Таким образом, вероятность нарушения допустимых параметров микроклимата внутри убежища в период автономности может служить оценкой риска или критерием эффективности выбранных параметров наружного воздуха.

3. Выбор расчетной энтальпии наружного воздуха

В сооружениях, где основным источником тепло- и влаговыведений являются люди, то есть в убежищах ГО, требуемый расход воздуха зависит от выбранной наружной энтальпии [1, 2].

Однако годовые обеспеченности энтальпии в климатических справочниках не приводятся. В нормативном документе [5] предписывается расчетную энтальпию наружного воздуха принимать по картам районирования. Но в каждом таком районе приводятся не конкретные значения энтальпии, а возможные их диапазоны, что ставит проектировщика в тупик.

Для устранения этого недостатка предлагаются следующие методические подходы выбора расчетной энтальпии наружного воздуха:

1) Программный способ.

В Справочниках по климату [3, 4] приводятся таблицы повторяемости сочетаний температуры и относительной влажности для ряда географических пунктов.

Существуют компьютерные программы перевода этих таблиц в таблицы повторяемости сочетаний температуры и энтальпии, разработанные в ЦНИИ МО [6, с. 134]. Полученные таблицы возможно использовать для построения интегральной кривой обеспеченности часовых энтальпий, по аналогии с кривой обеспеченности часовых температур (см. рис. 1).

2) Приближенный графический способ.

На основе анализа кривых обеспеченности часовых температур, а также часовых энтальпий в годовом периоде установлено, что с обеспеченности 80% и выше эти графики превращаются в прямые линии на вероятностной сетке нормального распределения [6, с. 138]. Это означает, что характер кривых обеспеченности на завершающем участке кривой подчиняется нормальному закону.

Поэтому, зная значения хотя бы двух-трех точек на координатной сетке нормального распределения, возможно найти примерное значение остальных точек, начиная от обеспеченности 80% и выше.

Пример.

Определить обеспеченность среднемесячной энтальпии самого теплого месяца в климатических условиях города Астрахани.

Известны из [7, с. 70]:

- параметры А, $I_a = 61,1$ кДж/кг при обеспеченности 95% (400 ч необеспеченности);
- параметры Б $I_b = 64,5$ кДж/кг при обеспеченности 98% (200 ч необеспеченности);
- параметры В $I_v = 84,6$ кДж/кг при обеспеченности, близкой к 100%;
- среднемесячная энтальпия самого теплого месяца $I_{\text{ср.мес}} = 56$ кДж/кг.

Решение.

На вероятностной сетке наносим точки параметров А, Б и В (рис. 2) и проводим по точкам аппроксимирующую прямую линию до пересечения со значением среднемесячной энтальпии самого теплого месяца, равным 56 кДж/кг.

На графике этому значению соответствует 90% обеспеченности. То есть возможно нарушение в те-

чение $8760 (1 - 0,9) = 876$ ч с вероятностью, близкой к единице (если сооружение эксплуатируется круглый год).

Далее, зная годовую обеспеченность среднемесячной энтальпии самого теплого месяца, можно определить вероятность ненарушения микроклимата в убежище ГО для периода автономности 48 ч.

Пример.

Из предыдущего примера для климата г. Астрахани известны среднемесячная энтальпия самого теплого месяца 56 кДж/кг и ее необеспеченность в годовом периоде $100 - 90 = 10\%$, соответствующая $N_{\text{ж}} = 876$ ч.

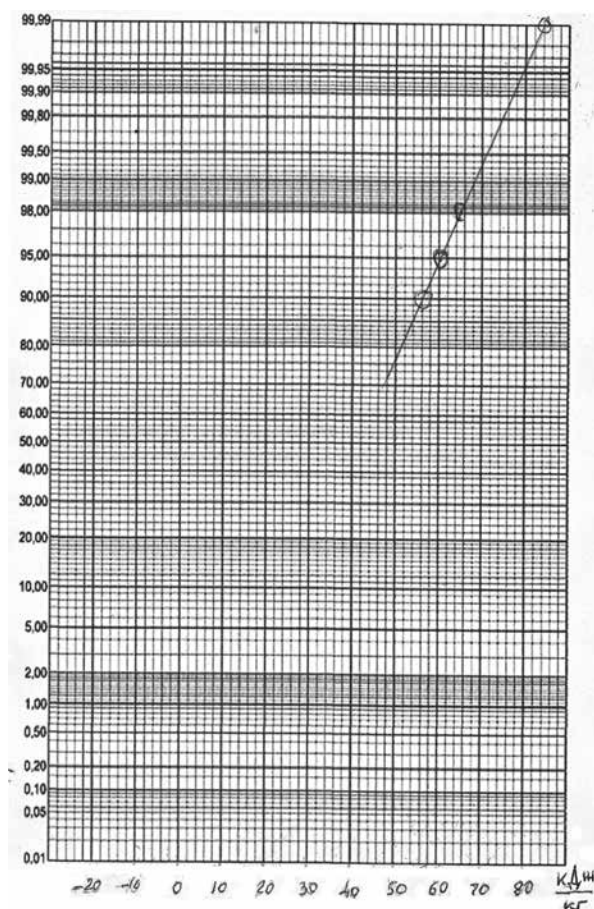


Рис. 2. Определение обеспеченности среднемесячной энтальпии самого теплого месяца в климатических условиях г. Астрахани

Figure 2. The determination of provision of the average monthly enthalpy for the warmest month in the climatic conditions of Astrakhan

Определить вероятность нарушения микроклимата в убежище ГО в период автономности длительностью 48 ч.

Решение.

По формуле (3) вероятность нарушения микроклимата в убежище

$$P_{(k=0)} = (8760 - 2 \cdot 48 - 876 + 2) / (8760 - 48 + 1) = 0,89.$$

4. Практическое применение

При разработке строительных норм и правил для убежищ ГО [1] среднемесячные параметры самого теплого месяца были рекомендованы в качестве расчетных для проектирования систем воздухообеспечения типовых убежищ ГО (для периода автономности $N_g = 48$ ч).

Для обоснования этих параметров были выполнены расчеты вероятностей нарушения микроклимата для разных климатических пунктов. В результате установлено, что в большинстве климатических пунктов России и СНГ эти вероятности находятся в пределах от 0,8 до 0,9.

При данных параметрах климата подсчитаны усредненные воздухоподачи при 1-м режиме на одного укрываемого в убежище ГО, которые были помещены в таблицу 34* СНиП II-11-77* [1] и, позднее, в [8] и [2].

Представляется целесообразным использовать данный подход и при проектировании защитных сооружений на опасных производствах, где период автономности более длительный и составляет не менее 120 ч.

Примечание.

При внесении Изменения № 1 в Свод правил СП 88.13330.2014 [2] составителями в таблице 10.2 название графы «Климатические зоны, различаемые по параметрам А наружного воздуха» было ошибочно заменено на «Расчетные параметры наружного воздуха».

Однако расчетной энтальпией является энтальпия, соответствующая среднемесячной температуре и относительной влажности наиболее теплого месяца, а не «среднемесячной максимальной температуре и относительной влажности наиболее теплого месяца». Поэтому, чтобы не запутать проектировщика при расчетах [2, с. 63], следует в данном случае руководствоваться СП 88.13330.2014 (без Изменения № 1).

Заключение

Предложенный метод выбора расчетных летних параметров наружного воздуха при проектировании систем воздухообеспечения защитных сооружений учитывает стохастический характер совпадения периода автономности с периодом стояния наружных параметров, превышающих расчетные.

Метод позволяет оценить риски нарушения микроклимата в ЗС и на основе количественной оценки вероятности этого события минимизировать производительность систем воздухообеспечения ЗС.

Литература [References]

1. СНиП II-11-77* Защитные сооружения гражданской обороны, 1978. [SNiP II-11-77* Protective structures of civil defense. 1978 (Russia).]
2. СП 88.13330.2014 Свод правил Защитные сооружения гражданской обороны, 2014. Актуализированная редакция СНиП II-11-77*. [The set of rules SP 88.13330.2014 Protective structures of civil defense. 2014 Updated version of SNiP II-11-77* (Russia).]
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. М., 1990. [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. M., 1990 (Russia).]
4. Справочник по климату СССР. «Температура воздуха и почвы». Гидрометеиздат, Л., 1988. [Reference book on the climate of the USSR. "Air and soil temperature". Hydrometeizdat, L., 1988. (Russia).]
5. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями № 1, 2). [The set of rules SP 131.13330.2012 Construction climatology. 2012. Updated version of SNiP 23-01-99* with Changes No. 1, 2 (Russia).]
6. Октябрьский Р.Д. Управление риском в системах жизнеобеспечения города и технологические аспекты инженерной защиты населения от чрезвычайных ситуаций. Научное изд-во. ГАСИС, М., 2005. 270 с. [Oktyabrskiy R.D. "Risk Management in the Systems of Urban Life Support and Engineering Technologies for Emergency protection M., GASIS, 2005. 270 p. (Russia).]
7. СНиП II-33-75 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, 1976. [SNiP II-33-75 Heating, ventilation and air conditioning, 1976 (Russia).]
8. Руководство по проектированию и расчету защитных сооружений гражданской обороны. ОАО «ЦНИИ-промзданий». М., 2004. [Guidelines for the design and calculation of protective structures of civil defense. Public corporation "Tsniipromzdaniiy". M., 2004. (Russia).]

Сведения об авторе

Октябрьский Ростислав Дмитриевич: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой в ГАСИС до 2010 г., после 2010 г. профессор кафедры Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Количество публикаций: более 200, в т. ч. 4 монографии и 10 учебных пособий

Область научных интересов: надежность инженерных систем жизнеобеспечения зданий и населенных мест, коллективная защита населения и персонала опасных производств от чрезвычайных ситуаций, строительная теплофизика и климатизация зданий

Контактная информация:

Адрес: 117418, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 33, к. 4

E-mail: rostisl-o@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 12.06.2020

Принята к публикации: 24.07.2020

Дата публикации: 30.10.2020

The paper was submitted: 12.06.2020

Accepted for publication: 24.07.2020

Date of publication: 30.10.2020